



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 181 024**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>: G02C 7/02

12

TRADUCCION DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **97940198.1**

86 Fecha de presentación: **09.09.1997**

87 Número de publicación de la solicitud: **0 927 377**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **07.07.1999**

54 Título: **Juegos de lentes oftálmicas multifocales progresivas.**

30 Prioridad: **20.09.1996 FR 96.11478**

45 Fecha de la publicación de la mención BOPI:  
**16.02.2003**

45 Fecha de la publicación del folleto de patente:  
**16.02.2003**

73 Titular/es: **ESSILOR INTERNATIONAL**  
**(Compagnie Générale d'Optique)**  
**147, Rue de Paris**  
**F-94220 Charenton-le-Pont, FR**

72 Inventor/es: **Baudart, Thierry;**  
**Bourdoncle, Bernard;**  
**Laloux, Thierry;**  
**Pedrono, Claude y**  
**Rossier, Claire**

74 Agente: **García Peiró, Ana Adela**

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).

## DESCRIPCION

Juegos de lentes oftálmicas multifocales progresivas.

La presente invención tiene por objeto un juego de lentillas oftálmicas multifocales progresivas; la misma se refiere también a un procedimiento de determinación de un ergorama para un juego de lentillas oftálmicas multifocales progresivas, asociando el ergorama a cada lentilla un punto enfocado en cada dirección de visión en las condiciones del enfoque. Por último, se refiere también a un procedimiento de definición de una lentilla oftálmica progresiva.

Las lentillas oftálmicas multifocales progresivas, son ahora bien conocidas. Las mismas se utilizan para corregir la presbicia, y permiten que el portador de las gafas observe los objetos en una amplia gama de distancias, sin tener que retirar sus gafas. Tales lentillas incluyen típicamente una zona de visión de lejos, situada en la parte alta de la lentilla, una zona de visión de cerca, situada en la parte baja de la lentilla, una zona intermedia que conecta la zona de visión de cerca y la zona de visión de lejos, así como una meridiana principal de progresión que atraviesa estas tres zonas.

El documento FR-A-2 699 294, describe en su preámbulo los diferentes elementos de una lentilla oftálmica multifocal progresiva de este tipo, así como los trabajos realizados por la peticionaria para mejorar el confort de los portadores de tales lentillas. Se hace referencia a este documento para mayores precisiones sobre estos diferentes puntos.

La peticionaria ha propuesto también, por ejemplo en las patentes US-A-5 270 745 o US-A-5 272 495, el hecho de hacer que varíe la meridiana, y en particular su descentrado en un punto de control de la visión de cerca, en función de la adición y de la ametropía.

La peticionaria ha propuesto incluso, para satisfacer mejor las necesidades visuales de los presbítos, y mejorar el confort de las lentillas multifocales progresivas, diversas mejoras (FR-a-2 683 642, FR-A-2 699 294, FR-A-2 704 327). El documento FR-A-2 683 642 sugiere tener en cuenta, para la definición de la meridiana de las lentillas, las posiciones del ojo en la órbita; estas posiciones dependen de la distancia de visión y de la inclinación de cabeza en el plano sagital.

Habitualmente, estas lentillas multifocales progresivas incluyen una cara delantera esférica, que es la cara opuesta al portador de las lentes, y una cara trasera esférica o tórica, dirigida hacia el portador de las lentes. Esta cara esférica o tórica permite adaptar la lentilla a la ametropía del usuario, de modo que una lentilla multifocal progresiva no está definida, generalmente, más que por su superficie esférica. Según se conoce bien, una superficie esférica de este tipo está definida generalmente por la altitud de todos sus puntos. Se utilizan también los parámetros constituidos por las curvaturas mínimas y máximas en cada punto, o más habitualmente, su semisuma y su diferencia. Esta semisuma y esta diferencia, más multiplicadas por un factor  $n-1$ ,  $n$ , que constituye el índice de refracción del material de la lentilla, se denominan esfera media o potencia y cilindro.

Se han definido familias de lentillas multifocales progresivas, estando cada lentilla de una familia caracterizada por una adición, que corresponde a la variación de potencia entre la zona de visión de lejos y la zona de visión de cerca. De manera más precisa, la adición, indicada con A, corresponde a la variación de potencia entre un punto L de la zona de visión de lejos, y un punto P de la zona de visión de cerca, que se denominan respectivamente punto de medición de la visión de lejos y punto de medición de la visión de cerca, y que representan los puntos de intersección de la mirada y de la superficie de la lentilla para una visión en el infinito y para una visión de lectura.

En una misma familia de lentillas, la adición varía de una lentilla a otra de la familia, entre un valor de adición mínimo y un valor de adición máximo. Habitualmente, los valores mínimo y máximo de adición son, respectivamente, de 0,75 dioptrías y de 3,5 dioptrías, y la adición varía de 0,25 dioptrías en 0,25 dioptrías de una lentilla a otra de la familia.

Las lentillas de la misma adición, difieren para el valor de la esfera media en un punto de referencia, llamado también base. Se puede optar, por ejemplo, por medir la base en el punto L de medición de la visión de lejos.

Se define también mediante la elección de un par (adición, base), un conjunto o juego de caras delanteras esféricas para lentillas multifocales progresivas. habitualmente, se puede definir también 5 valores de bases y 12 valores de adiciones, es decir, sesenta caras delanteras. En cada una de las bases, se realiza una optimización para una potencia dada.

La utilización una de las estas caras delanteras, de una cara trasera esférica o tórica próxima a la cara trasera utilizada para la optimización, permite cubrir el conjunto de necesidades del portador de lentilla multifocales progresivas. Este método conocido permite, a partir de lentillas semi-acabadas, en las que solamente se ha conformado la cara delantera, preparar lentillas adaptadas a cada portador, mediante una simple mecanización de una cara trasera esférica o tórica.

Este método presenta el inconveniente de no ser más que una aproximación; en consecuencia, los resultados obtenidos con una cara trasera diferente de la utilizada para la optimización, son menos buenos que los correspondientes a la cara trasera utilizada para la optimización.

Se ha propuesto, en el documento US-A-5.444.503, una lentilla multifocal progresiva en la que la cara trasera está adaptada a cada portador, y está constituida por una superficie esférica. Esta superficie esférica no es multifocal, y parece calculada con vistas a suministrar la potencia óptica necesaria en determinados puntos de referencia. Según este documento, esta solución permitiría paliar los defectos provenientes de la sustitución de la cara trasera que haya servido para la optimización de una cara trasera próxima.

Esta solución presenta el inconveniente de complicar considerablemente la fabricación de las lentillas: implica medir la posición de las lentillas sobre el portador, y determinar a continuación y mecanizar una cara trasera esférica.

La invención propone una lentilla oftálmica

multifocal progresiva cuya estética ha sido mejorada, y que presenta un rendimiento incrementado con relación a las lentillas conocidas, permitiendo conservar la facilidad de adaptación de lentillas semi-acabas a un portador. Conservando siempre esta facilidad de realización, la invención asegura que la adaptación de lentillas por mecanización simple de la cara trasera, no induce defectos de visión, incluso aunque la cara trasera sea diferente de la cara trasera utilizada para la optimización.

De forma más precisa, la invención propone un juego de lentillas oftálmicas multifocales progresivas, determinados por medio de erogramas que asocian, para cada lentilla, un punto enfocado en cada dirección de mirada en las condiciones del enfoque;

en el que, para una lentilla en las condiciones de enfoque, la potencia de portador se define, en una dirección de mirada y para un punto objeto, como la suma de la proximidad objeto y de la proximidad imagen de dicho punto objeto;

en el que cada una de las lentillas presenta, una primera y una segunda superficies, siendo la primera superficie una superficie multifocal progresiva;

una zona de visión de lejos, una zona de visión de cerca, y una meridiana principal de progresión que atraviesa estas dos zonas, siendo las zonas de visión de lejos y de cerca y la meridiana, conjuntos de direcciones de mirada en las condiciones de enfoque;

una adición de potencia A, igual a la variación de potencia de portador para el punto enfocado del erograma, entre una dirección de mirada de referencia, en la zona de visión de lejos, y una dirección de mirada de referencia, en la zona de visión de cerca;

y en el que, las variaciones a lo largo de la meridiana, de la potencia de portador para el punto enfocado del erograma, son sensiblemente idénticas para todas las lentillas del juego que presentan la misma adición.

Según un modo de realización, las lentillas presentan, cada una de ellas, una adición predefinida, elegida en un conjunto discreto, siendo la diferencia de adición de potencia A entre dos lentillas del juego que tienen la misma adición predefinida, inferior o igual a 0,125 dioptrías.

Es posible una aberración de astigmatismo en una dirección de mirada en las condiciones de enfoque que está definida, para un punto objeto, como para cualquier lentilla, sobre la meridiana, de modo que la aberración de astigmatismo para el objeto enfocado del erograma sea inferior o igual a 0,2 dioptrías.

Según un modo de realización, en el que se ha definido una aberración de astigmatismo en una dirección de mirada en las condiciones de enfoque para un punto objeto, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque, que la amplitud angular, en grados, entre las líneas para las que la aberración de astigmatismo para los puntos del erograma vale 0,5 dioptrías, a 25° por debajo de un punto de montaje de la lentilla, presente un valor superior a  $15/A + 1$ , que es la adición de potencia.

También es posible prever, estando la abe-

rración de astigmatismo, en una dirección de mirada en las condiciones de enfoque definida para un punto objeto, que para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque, la amplitud angular en grados, entre las líneas para las que la aberración de astigmatismo para los puntos del erograma vale 0,5 dioptrías, a 35° por debajo de un punto de montaje de la lentilla, presente un valor superior a  $21/A + 10$ , que es la adición de potencia.

Según un modo de realización, habiéndose definido una aberración de astigmatismo en una dirección de mirada en las condiciones de enfoque para un punto objeto, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque, que el ángulo sólido delimitado por las líneas para las que la aberración de astigmatismo para los puntos del erograma vale 0,5 dioptrías, y los puntos situados formando un ángulo de 45° respecto a un punto de montaje de la lentilla, presente un valor superior a 0,70 estereorradianes.

Según otro modo de realización, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque, en la zona de visión de lejos, en cada dirección de mirada, la diferencia de potencia de portador entre el punto enfocado del erograma y los puntos objetos cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado comprende entre 0 y 0,5 dioptrías, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

Se puede prever que para cada una de las lentillas, en las condiciones de enfoque, en la zona de visión de cerca, en cada dirección de mirada, la diferencia de potencia de portador entre el punto enfocado del erograma y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado inferior a 1 dioptría en valor absoluto, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

Según un modo de realización, una aberración de astigmatismo en una dirección de mirada en las condiciones de enfoque que se ha definido para un punto objeto, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque, en la zona de visión de lejos, en cada dirección de mirada, la diferencia de aberración de astigmatismo entre el punto enfocado del erograma y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho enfocado comprende entre 0 y 0,5 dioptrías, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

También es posible, con una aberración de astigmatismo en una dirección de mirada, en las condiciones de enfoque, definida para un punto objeto, que para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque, en la zona de visión de cerca, en cada dirección de mirada, la diferencia de aberración de astigmatismo entre el punto enfocado del erograma y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado que, en valor absoluto, es inferior a 1 dioptría, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

La invención propone también un procedimiento de determinación de un erograma para un juego de lentillas oftálmicas multifocales progresivas, asociando dicho erograma, a cada lentilla, un punto enfocado en cada dirección de mirada,

en las condiciones del enfoque, que comprende las etapas de:

- definición de las características estándar de un portador, y en particular, la ametropía y la adición; 5
- definición de un entorno en forma de conjunto de puntos objeto a mirar para el portador estándar; 10
- cálculo de la dirección de mirada para el punto objeto de referencia, para la visión de cerca, en aproximación de lentilla delgada, para una potencia deducida de la ametropía y de la adición; 15
- cálculo de la acomodación a partir de la dirección de mirada para el punto objeto de referencia, para la visión de cerca y la separación pupilar; 20
- determinación de la semi-derecha de Donders del portador, a partir de la acomodación y de la convergencia para el punto objeto de referencia para la visión de cerca; 25
- determinación de la dirección de mirada para los otros puntos objeto del entorno, mediante un proceso iterativo, en aproximación de lentilla delgada, a partir de la curva de Donders. 30

La etapa de determinación de la dirección de mirada para los otros puntos objeto del entorno puede comprender, para cada uno de los otros puntos objeto citados:

- el cálculo de una convergencia sin lentilla; 35
- el cálculo de la acomodación a partir de la curva de Donders; 40
- el cálculo de una potencia en aproximación de lentilla delgada; 45
- determinación de desviaciones provocadas por una lentilla delgada de la potencia calculada; 45
- determinación de una dirección de mirada que permite compensar estas desviaciones la citada lentilla delgada de la potencia calculada; 50
- cálculo de una convergencia a partir de la nueva dirección de mirada; 55
- cálculo de una potencia en aproximación de lentilla delgada, a partir de la nueva convergencia y de la curva de Donders. 60

Se puede además, en este caso, asociar a cada lentilla una potencia de portador en cada dirección de mirada, en las condiciones del enfoque, siendo la citada potencia de portador la última potencia en aproximación de lentilla delgada calculada en el transcurso de las etapas de repetición hasta la convergencia. 65

La invención tiene también por objeto un procedimiento de definición de una lentilla oftálmica

progresiva, mediante optimización de las características ópticas de una lentilla oftálmica, siendo calculadas las características ópticas en el transcurso de la optimización con la ayuda de un programa de trazado de radios, en las condiciones del enfoque.

Las características ópticas pueden ser la potencia de portador y la aberración de astigmatismo, en las condiciones del enfoque.

Se puede definir la potencia de portador para un punto objeto, como la suma de la proximidad imagen y de la proximidad objeto.

Según un modo de realización del procedimiento, la optimización consiste en minimizar, por iteraciones, las diferencias entre las características ópticas de la lentilla y de los valores objetivo para la potencia de portador de los valores de potencia de portador obtenidos según el procedimiento expuesto más arriba, de definición de una lentilla oftálmica progresiva.

En un modo de realización, la optimización consiste en minimizar, mediante iteraciones, las diferencias entre las características ópticas de la lentilla y los valores objetivo, y se utilizan, como valores objetivo para la aberración de astigmatismo, los valores de astigmatismo de una lentilla que presenta una primera superficie progresiva conocida con una adición superficial igual a una adición de potencia de portador objetivo de la lentilla oftálmica a definir, y una segunda superficie esférica tal que la potencia en el punto de referencia de visión de lejos sea nula.

Se puede utilizar también, como lentilla de partida, para la optimización, una lentilla que presenta una primera superficie progresiva conocida con una adición superficial igual a una adición de potencia de portador objetivo de la lentilla oftálmica a definir, y una segunda superficie esférica. 35

Por último, la optimización consiste, ventajosamente, en hacer variar una capa esférica variable, ajustada a la citada lentilla de partida. 40

Otras ventajas y características de la invención, se pondrán de manifiesto con la lectura de la descripción que sigue de modos de realización de la invención, dados a título de ejemplo y con referencia a los dibujos, los cuales muestran:

La Figura 1, un esquema de un sistema óptico de ojo y lentilla; 50

La Figura 2, un organigrama de las diferentes etapas de definición de punto de referencia para la visión de cerca y el cálculo de la curva de Donders del portador; 55

La Figura 3, una representación esquemática de los dos ojos y de la dirección de mirada;

La Figura 4, una representación gráfica de la ley de Donders; 60

La Figura 5, un organigrama de las diferentes etapas de cálculo del ergograma por fuera del punto de referencia para la visión de cerca; 65

La Figura 6, la tendencia típica de un ergograma, en dioptrías;

La Figura 7, un ejemplo de perfil de base que puede ser utilizado para la realización de lentillas según la invención;

La Figura 8, la variación de la potencia óptica a lo largo de la meridiana, para las diferentes adiciones, desde 0,75 hasta 3,5 dioptrías;

La Figura 9, representaciones gráficas que corresponden con las de la Figura 8, para una lentilla de la técnica anterior;

La Figura 10, una representación análoga a la de la Figura 8, a la que se han añadido, no obstante, las representaciones gráficas de las potencias ópticas de portador para lentillas correspondientes a las potencias ópticas extremas para cada base;

La Figura 11, representaciones gráficas que corresponden con las de la Figura 10, para una lentilla de la técnica anterior;

La Figura 12, los resultados obtenidos según la invención, en términos de variación con relación al ergorama;

La Figura 13, los resultados correspondientes a los de la Figura 12, para la aberración de astigmatismo, para la misma lentilla;

Las Figuras 14 a 16, representaciones de potencia óptica, de aberración de astigmatismo y de potencia óptica a lo largo de la meridiana para una lentilla conocida;

Las Figuras 17 a 19, representaciones de potencia óptica, de aberración de astigmatismo y de potencia óptica a lo largo de la meridiana, para una primera lentilla según la invención, y

Las Figuras 20 a 22, representaciones de potencia óptica, de aberración de astigmatismo y de potencia óptica a lo largo de la meridiana, para una segunda lentilla según la invención.

De manera en sí conocida, en cualquier punto de una superficie esférica, se define una esfera media D dada mediante la fórmula:

$$D = \frac{n-1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

donde  $R_1$  y  $R_2$  son los radios de curvatura máximo y mínimo, expresados en metros, y n es el índice del material que constituye la lentilla.

Se define también un cilindro C, dado mediante la fórmula:

$$C = (n - 1) \cdot \left| \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right|$$

La invención propone definir las características de las lentillas, no sólo en términos de esfera media o de cilindro, sino tomando en cuenta la situación del portador de las lentillas. La Figura 1 muestra, a este efecto, un esquema de un sistema óptico de ojo y de lentilla.

En el esquema de la Figura 1, el plano medio de la lentilla está inclinado con relación a la

vertical, en un ángulo que corresponde con la inclinación habitual de las monturas de las gafas. Este ángulo es, por ejemplo, de 12°.

Se denomina Q' el centro de rotación del ojo, y se define una esfera de cúspides, de centro Q' y de radio q', que es tangente a la cara trasera de la lentilla en un punto del eje horizontal.

A título de ejemplo, un valor del radio q' de 27 mm, corresponde con un valor normal, y proporciona resultados satisfactorios durante el enfoque de las lentillas.

Una dirección dada de mirada, corresponde con un punto J de la esfera de cúspides, y puede ser también identificada, en coordenadas esféricas, por dos ángulos alfa y beta. El ángulo alfa, es el ángulo formado entre la recta Q'J y el plano horizontal que pasa por el punto Q', mientras que el ángulo beta es el ángulo formado entre la recta Q'J y el plano vertical que pasa por el punto Q'.

Una dirección dada de mirada, corresponde con un punto J de la esfera de cúspides, o con un par (alfa, beta). En el espacio objeto, se define, para un punto M sobre el rayo luminoso correspondiente, una proximidad objeto PO como la inversa de la distancia MJ entre el punto M y el punto J de la esfera de cúspides:

$$PO = 1/MJ.$$

Esto permite un cálculo de la proximidad objeto en el marco de una aproximación lentilla delgada en cualquier punto de la esfera de cúspides, que se utiliza para la determinación del ergorama, como se explica más abajo. Para una lentilla real, se puede considerar, con la ayuda de un programa de trazado de radios, la proximidad objeto como la inversa de la distancia entre el punto objeto y la superficie delantera de la lentilla, sobre el radio correspondiente. Esto se describe con mayor detalle más adelante, durante la descripción del proceso de optimización.

Sin embargo, para la misma dirección de mirada (alfa, beta), la imagen de un punto M que tenga una proximidad objeto dada, se forma entre dos puntos S y M que corresponden respectivamente a distancias focales mínima y máxima (que serán las distancias focales sagital y tangencial en el caso de las superficies de revolución). Se denomina proximidad imagen del punto M, a la cantidad:

$$P1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{JT} + \frac{1}{JS} \right)$$

Por analogía con el caso de la lentilla delgada, se define así, en una dirección dada de mirada y para una proximidad objeto dada, es decir, para un punto del espacio objeto sobre el rayo luminoso correspondiente, la potencia óptica como la suma de la proximidad imagen y de la proximidad objeto.

Con las mismas notaciones, se define en cada dirección de mirada y para una proximidad objeto dada, la aberración de astigmatismo AA, como:

$$AA = \left| \frac{1}{JT} - \frac{1}{JS} \right|$$

Esta aberración de astigmatismo corresponde al astigmatismo del haz de rayos creado por la

superficie delantera esférica y la superficie trasera esférica.

Se obtienen así dos definiciones según la invención, de la potencia óptica y de la aberración de astigmatismo de la lentilla, en las condiciones del enfoque. Se podrían utilizar también otras definiciones, pero éstas presentan la ventaja de estar definidas de forma simple, y de poder ser calculadas fácilmente con la ayuda de un programa de trazado de radios, para una lentilla dada.

Se define por tanto, según la invención, un ergorama que proporciona, para cada dirección de mirada, una proximidad objeto y una potencia de portador. El ergorama se define para una situación dada del portador, es decir, para un par ametropía - adición.

El ergorama resulta ser así una función que asocia a cuatro variables (ametropía, adición, y dirección de mirada bajo la forma de los ángulos alfa y beta), dos valores (una proximidad objeto y una potencia de portador).

El ergorama así definido puede ser determinado mediante estudios y pruebas fisiológicas, ergonómicas y posicionales, y mediante el conocimiento de leyes ópticas. Se puede considerar, en particular:

- las desviaciones prismáticas inducidas por la potencia encontrada sobre el vidrio, determinadas mediante la regla de PRENTICE (Prisma =  $H \cdot \text{Pot.}$ ). Estas desviaciones prismáticas llegan a modificar la posición de los ojos y de la cabeza de forma diferente, en función de la ametropía;
- la acomodación subjetiva utilizada en función de la adición prescrita, de la ametropía y la proximidad del objeto. Esta acomodación se calcula según la regla de DONDERS mejorada, que liga la convergencia (o proximidad aparente del objeto) y la acomodación, para asegurar una visión binocular normal; para más detalles sobre esta ley, se podrá hacer referencia a la Figura 4 que se describe más adelante;
- la bajada de la agudeza en función de la edad, que puede traducirse en una aproximación de la distancia de visión de cerca cuando la adición aumenta;
- las preferencias posicionales de los portadores, en un entorno dado, que determinan una posición de la cabeza y de los ojos para un esfuerzo de visión de cerca, y la estrategia visuo-motriz empleada para describir este entorno.

A título de ejemplo, se describe un modo de determinación del ergorama, para una ametropía dada, por ejemplo mediante una potencia en el punto L de visión de lejos, y para una adición dada.

Según la invención, se puede proceder de la forma siguiente: en primer lugar, se determina la dirección de mirada y la potencia para mirar el punto de visión de cerca. Se deduce la pendiente de la semi-recta de Donders. Todo esto, asociado a una estrategia de exploración, permite determinar la potencia de las otras direcciones de mirada.

Ahora se va a explicar con mayor detalle, este modo de determinación del ergorama, con referencia a las Figuras 2 a 5, para una lentilla izquierda. La Figura 2 muestra un organigrama de las diferentes etapas de definición del punto de referencia para la visión de cerca, y de cálculo de la curva de Donders del portador.

Según se ha explicado en lo que antecede, se empieza por determinar la dirección de mirada y la potencia para mirar el punto de visión de cerca.

Para esto, se eligen las características del portador estándar, etapa 10 de la Figura 2. Se puede considerar, por ejemplo, que el portador estándar presenta las características siguientes: es isométrico y ortofórico, los dos ojos acomodan la misma cantidad y se desplazan en la misma cantidad en caso de versión, y de manera simétrica en caso de vergencia; la separación pupilar es de 65 mm, la distancia vidrio - centro de rotación ocular es de 27 mm, la distancia centro de rotación ocular - centro de rotación de la cabeza es de 100 mm, y el ángulo pantoscópico es de  $12^\circ$ . El centro de rotación ocular es el punto indicado con Q' en la Figura 1.

La inclinación de la cabeza viene dada por la posición del plano FRANCFORT con relación a la horizontal, como se explica en las solicitudes de Patente núms. FR-A-2 683 642 y FR-A-2 683 643, a nombre de la solicitante.

Para un intento de visión de cerca, la bajada estándar de los ojos es de  $33^\circ$ , y la bajada de la cabeza es de  $35^\circ$  para que el plano de trabajo sea paralelo al horóptero vertical medio.

A continuación se elige un entorno de trabajo, etapa 20, Figura 2, para posicionar a continuación el portador estándar elegido en la etapa 10. Se elige, por ejemplo, un puesto de trabajo en una oficina, descrito mediante un documento de formato conocido (A4, por ejemplo), apoyado sobre un plano de trabajo horizontal de dimensiones asimétricas conocidas. El punto central M situado a los  $2/3$  de la altura de este documento, constituye el lugar sobre el que sitúa el portador, de forma natural, su mirada, y constituirá un primer punto de referencia, para la visión de cerca.

Este punto M se coloca a la distancia de visión de cerca dada por la adición, y para una inclinación total de mirada estándar de  $68^\circ$ , es decir, la suma de  $33^\circ$  y de  $35^\circ$  con relación a la horizontal.

De este modo, se ha posicionado el portador estándar en un entorno dado. Este posicionamiento no depende más que de las características del portador, y en especial de la ametropía y de la adición.

En la etapa 30 de la Figura 2, se introduce una lentilla y se calculan las variaciones de la dirección de mirada provocadas por la presencia de la lentilla. Se efectúan los cálculos correspondientes en aproximación de lentilla delgada, en todos los puntos de la esfera de cúspides. En otros términos, se considera en cualquier punto de la esfera de cúspides, una lentilla delgada infinitesimal cuyo eje pasa por el centro de rotación óptica del ojo.

La Figura 3 muestra esquemáticamente el ojo derecho OD y el ojo izquierdo OG, y mediante líneas de puntos, la dirección de mirada, para mi-

rar al punto de referencia para visión de cerca M. Se sabe que la potencia de portador, en la dirección correspondiente con respecto al punto M, es igual a la suma de la potencia en visión de lejos, y de la adición. Cuando se introduce en la trayectoria de mirada, sobre la esfera de cúspides, una lentilla delgada que presenta una potencia correspondiente, representada mediante líneas de puntos en la Figura 3, los rayos son desviados, como se ha representado con trazos continuos en la Figura 3, de modo que el punto fijado ya no es el punto M, sino el punto M'. La Figura 3 muestra una vista en planta: está claro, sin embargo, que las desviaciones se generan, no sólo en un plano horizontal, sino también en un plano vertical.

La inclinación determinada en la tapa 20, se modifica así por la introducción del cristal en la trayectoria óptica, a causa de las desviaciones prismáticas inducidas por la potencia encontrada sobre el cristal, que debe ser igual a la potencia VL prescrita, aumentada por la adición prescrita.

En la etapa 40 de la Figura 2, se determinan los movimientos de los ojos, y eventualmente de la cabeza, que permiten corregir estas desviaciones prismáticas.

Por ejemplo, se puede considerar que la desviación prismática vertical está compensada por un movimiento vertical de los ojos y por los movimientos de la cabeza para poder fijar este punto. La parte de cada órgano en esta compensación, depende de la ametropía del portador. Para potencias VL inferiores a -2 dioptrías, se considera que la compensación está totalmente asegurada por los ojos. Para ametropías de +2 dioptrías y mayores, la parte de la cabeza en la compensación, es total, es decir, los ojos no se mueven. Para potencias VL entre -2 dioptrías y +2 dioptrías, se considera que la parte de la cabeza en la compensación aumenta de una forma lineal: en otros términos, para una potencia VL de -1 dioptría, la desviación prismática vertical se compensa en un 75 % por los movimientos oculares y en un 25 % por los movimientos de la cabeza.

Se considera que la desviación prismática horizontal se compensa integralmente mediante los movimientos oculares que entrañan una modificación de la convergencia.

Se realizan de nuevo los cálculos en aproximación de lentilla delgada, en cualquier punto de la esfera de cúspides, como se ha explicado con referencia a la etapa 30.

Al final de la etapa 40, se determinan los movimientos de los ojos y, eventualmente, de la cabeza, que permiten corregir estas desviaciones prismáticas, y con ello la dirección de mirada para mirar al punto de referencia de la visión de cerca.

Se conocen, de hecho, los puntos sobre los cristales en los que la potencia debe ser igual a la potencia VL prescrita, aumentada en la adición prescrita. Se conoce también el posicionamiento exacto del portador, por el hecho de los movimientos oculares y de la cabeza para la compensación. Se determinan así las posiciones de los centros de rotación de los ojos y de la cabeza con respecto al documento, y por tanto al plano de trabajo.

En la etapa 50 de la Figura 2, se calcula a partir de la posición así determinada, la acomodación

subjetiva del portador. De hecho, se conoce la potencia sobre el vidrio, la posición del vidrio por delante del ojo, y la distancia objeto para mirar el punto de referencia de la visión de cerca.

La acomodación subjetiva se deduce con la ayuda de la fórmula:

$$\text{potencia de portador} = \text{proximidad objeto} - \text{acomodación}$$

que corresponde con la aproximación lentilla delgada efectuada en cualquier punto de la esfera de cúspides.

En la etapa 60 de la Figura 2, al conocer esta acomodación y la dirección de mirada, se determina la ley de Donders aplicable al portador. Esta ley proporciona, en función de la edad, una relación entre la convergencia y la acomodación.

La Figura 4 muestra una representación gráfica de la ley de Donders. Se han representado, en abscisas, la convergencia en  $m^{-1}$ , y en ordenadas, la acomodación en dioptrías. La curva de trazos interrumpidos, muestra la relación entre estas dos magnitudes, para un portador joven (25 años). Las curvas de trazos continuos y de trazos mixtos muestran, respectivamente, la relación entre estas dos magnitudes, para portadores de 41 y de 50 años.

Conociendo para el punto de referencia de visión de cerca, la acomodación y la convergencia, se determina la pendiente de la parte lineal de la curva de Donders.

El límite de la parte horizontal de la curva de Donders viene dado por la acomodación máxima del portador, que depende de la edad. La edad está ligada a la adición, en base a estudios clínicos.

Se conoce así, tras la etapa 60 de la Figura 2, la recta de Donders que nos permite unir, a continuación, la acomodación subjetiva con la convergencia, para el portador elegido.

De este modo, se tiene una definición completa del portador y de su posición en su entorno. A continuación se determina, para cualquier dirección de los ojos, y por tanto para cualquier punto de los cristales, una potencia asociada y una proximidad objeto, por exploración del entorno del portador, como se explica con referencia a la Figura 5.

Para ello, se fija una estrategia de exploración del entorno, y las reglas de compensación de las desviaciones prismáticas mediante los movimientos de la cabeza y de los ojos.

Para la exploración del documento, se puede decir, de una manera general, que el portador no mueve la cabeza más que para compensar las desviaciones prismáticas según la regla que se ha descrito en lo que antecede. La mayor parte de la exploración del documento queda asegurada, por tanto, mediante movimientos oculares.

Por la parte de arriba del documento, la cabeza y los ojos se desplazan simultáneamente para alcanzar una posición final tal que la inclinación de los ojos sea nula cuando la inclinación de la cabeza es nula.

Por otra parte, más allá del plano de trabajo, la distancia del objeto es interpolada, de forma lineal, a la posición vertical de los ojos en las

órbitas, entre la distancia del plano de trabajo y el infinito, la cual es la distancia objeto en visión de lejos (inclinación nula de la cabeza y de los ojos).

Se define así una estrategia de exploración del entorno, es decir, un conjunto de puntos mirados del entorno, y de posiciones asociadas de los ojos y la cabeza.

Para cada uno de estos puntos, conociendo la proximidad objeto, se determina la dirección de mirada y la potencia necesaria, como se explica ahora, con referencia a la Figura 5.

En la etapa 100, se toma un punto del entorno. Ventajosamente, el entorno está descrito en coordenadas angulares que tienen como origen el centro de rotación del ojo para la lentilla sobre la que se realizan los cálculos, y la exploración se hace de manera incremental, en grado en grado, a partir de la posición más baja posible ( $80^\circ$ ) en el plano sagital.

En la etapa 110, para este punto del entorno, se calcula la convergencia en ausencia de lentilla: en efecto, se conoce la distancia desde el punto hasta el centro de rotación del ojo, y la separación pupilar del portador.

En la etapa 120, conociendo esta convergencia y la curva de Donders del portador, se determina una acomodación, y se calcula la potencia necesaria sobre la lentilla. De hecho, la curva de Donders proporciona la acomodación en función de la convergencia; se calcula la potencia en aproximación de lentilla delgada, como se ha explicado más arriba con referencia a la etapa 50 de la Figura 2.

La etapa 130 de la Figura 5, corresponde de hecho a la etapa 30 de la Figura 2. En la etapa 130, la introducción de la lentilla que presenta la potencia determinada en la etapa 120, provoca desviaciones prismáticas que necesitan, para compensación de los movimientos de los ojos y de la cabeza, por lo tanto, una modificación de la distancia del punto mirado y de la convergencia. Como en la etapa 30, se efectúan los cálculos en aproximación de lentilla delgada en cualquier punto de la esfera de cúspides.

En la etapa 140, se calcula la nueva acomodación y la nueva potencia que entrañan estas modificaciones.

A continuación se vuelve a pasar a la etapa 130, con la nueva potencia calculada.

Mediante iteraciones sucesivas, es decir, mediante repetición de las etapas 130 y 140, se minimizan los errores de enfoque, y se obtiene, a fin de cuentas, una potencia para la que el sistema se encuentra estabilizado. De hecho, los cálculos convergen, generalmente al cabo de 10 a 15 iteraciones.

A esta potencia corresponden una posición de la cabeza y una posición de los ojos en las órbitas, que proporcionan el lugar sobre el cristal sobre el que situar esta potencia, para mirar el punto del entorno elegido en la etapa 100.

De este modo se determina, para una dirección de mirada, una proximidad objeto y una potencia de la lentilla, que permiten mirar un punto dado del entorno.

En la etapa 150, se pasa al punto siguiente del entorno, siguiendo la estrategia de exploración

explicada más arriba, y se pasa de nuevo a la etapa 110.

De este modo, al final de la exploración, se obtiene una tabla de valores para el ojo derecho, y una tabla de valores para el ojo izquierdo, que contienen, para cada posición angular del ojo en la órbita, y por tanto para cada punto de un cristal, una potencia y una distancia objeto asociadas.

De este modo, se han calculado, para el portador estándar, en un entorno dado, y para una ametropía y una adición dadas, las potencias y la proximidad para cada dirección de mirada.

Se puede, así, determinar el ergorama. Por ejemplo, se efectúan los cálculos descritos en lo que antecede, para valores de adición que varían, por pasos de 0,25, entre 0,50 y 3,50 dioptrías, y para valores de potencia en visión de lejos que varían por pasos de 0,50, entre -12 y 12 dioptrías.

Así, se puede determinar el ergorama para las diferentes ametropías y adiciones. En resumen, se procede como sigue:

- se definen las características estándar de un portador, y en particular la ametropía y la adición;
- se define un entorno, es decir, un conjunto de puntos a mirar;
- se calcula la dirección de mirada para el punto de visión de cerca, en aproximación de lentilla delgada, en cualquier punto de la esfera de cúspides, para una potencia deducida de la ametropía y de la adición;
- se deduce la curva de Donders del portador, que relaciona la acomodación y la convergencia, y
- se determina la dirección de mirada y la potencia para los demás puntos del entorno, mediante un proceso iterativo, en aproximación de lentilla delgada, en cualquier punto de la esfera de cúspides, a partir de la curva de Donders.

Esta definición del ergorama permite, además, definir sobre un cristal, una meridiana principal de progresión, por medio de un conjunto de dirección de mirada. La meridiana principal de progresión se define, ventajosamente, a partir del ergorama, y corresponde, para una ametropía y una adición dadas, al conjunto de direcciones de mirada correspondientes a puntos del entorno situados en el plano sagital.

Se pueden utilizar, bien entendido, otras definiciones de la meridiana principal de progresión.

La Figura 6 muestra la tendencia típica de un ergorama a lo largo de la meridiana, en dioptrías, en función del ángulo alfa entre la dirección de mirada y el plano horizontal que pasa por el punto Q', para una ametropía correspondiente a una potencia nula en visión de lejos, y una adición de 2,00 dioptrías. En la Figura 6 se han representado solamente las variaciones del ergorama en función del ángulo alfa. De hecho, en primera aproximación, se puede considerar, razonablemente, que el ergorama no es función más que

del ángulo alfa, y que solamente varía un poco en función del ángulo beta. Típicamente, el ergorama es nulo en el punto de control de la visión de lejos, y tiene un valor del orden de 2,5 a 3,5 dioptrías en el punto de control de la visión de cerca.

La invención propone considerar, para la optimización de la cara esférica de una lentilla, no ya los valores de esfera media y del cilindro, sino los valores de potencia óptica y de aberración de astigmatismo. La toma en consideración de estos valores ópticos, y ya no superficiales, permite una mejor definición de la cara esférica de las lentillas, y una mejor conservación de las propiedades ópticas de las lentillas, de adición constante, para diferentes potencias.

La Figura 7 muestra un ejemplo del perfil de base que puede ser utilizado para la realización de lentillas según la invención. La Figura 7 representa, en ordenadas, los valores de las bases, y en abcisas, los valores de las potencias ópticas correspondientes al punto de referencia. Según muestra la Figura, se pueden utilizar, para definir las lentillas, valores de bases de 2, 3,5, 4,3, 5,3 y 6,2 dioptrías. Para un valor de potencia óptica, es decir, para un valor de abcisas en la Figura 7, se utiliza el valor de base proporcionado por el gráfico de la Figura 7. Esta opción de cinco valores permite, por tanto, cubrir todas las potencias ópticas de portador entre -6 y +6 dioptrías.

La invención propone definir las lentillas con la ayuda de un programa de optimización de parámetros ópticos de las lentillas, con las características siguientes.

Se define una función válida para su utilización en la optimización, mediante la elección de un objetivo y de ponderaciones de las diferentes zonas del objetivo.

Se describe el objetivo, para una ametropía dada, mediante una opción de potencia en visión de lejos, y para una adición dada.

Para la potencia, se considera como objetivo la potencia de portador dada por el ergorama, para la ametropía y la adición elegidas.

Para la aberración de astigmatismo, se pueden utilizar, como objetivo, los resultados proporcionados por la medición de una lentilla de la técnica anterior, como por ejemplo las lentillas comercializadas por la solicitante bajo la marca "Comfort". De manera más precisa, para la ametropía y la adición dadas, se considera una lentilla conocida de igual adición, de potencia nula en el punto de visión de lejos. Se obtiene así una lentilla conocida, que presenta la adición y la ametropía elegidas.

Se mide, para esta lentilla, con la ayuda de un programa de trazado de radios, la aberración de astigmatismo, tal como la que se ha definido anteriormente, en la situación del enfoque, y a partir de los valores de proximidad proporcionados por el ergorama. Se pueden considerar las condiciones del enfoque definidas en la Figura 1. Se obtiene así, en cada dirección de mirada, dada mediante un par (alfa, beta), un valor de aberración de astigmatismo.

Se pueden modificar estos valores, para mejorar aún más los rendimientos, disminuyendo los valores de aberración de astigmatismo obtenidos

en las zonas laterales, para ampliar la zona de visión de lejos y la zona de visión de cerca.

Se considera entonces una lentilla objetivo, cuyas características ópticas son las siguientes:

- 5       – sobre la meridiana, definida por el ergorama, potencia dada por el ergorama y aberración de astigmatismo nula;
- 10      – por fuera de la meridiana, potencia dada por el ergorama y aberración de astigmatismo medida sobre la lentilla correspondiente de la técnica anterior, modificada en su caso.

15       De este modo se tiene, en cada dirección de mirada, un valor de potencia de portador y uno de aberración de astigmatismo, proporcionados por la lentilla objetivo.

20       El objeto del programa de optimización, a partir de una lentilla que se ha de optimizar, es el de aproximarse, tanto como sea posible, a la lentilla objetivo. Se puede, para ello, considerar una función de valor, representativa de las separaciones entre la lentilla que se ha de optimizar y la lentilla objetivo, que se define como sigue. Para un conjunto de puntos de la lentilla, o de la esfera de cúspides, o incluso de direcciones de mirada, indexados por medio de una variable  $i$ , se considera la función de valor escrita de la forma siguiente:

$$\Sigma \rho_i \cdot \Sigma w_{ij} \cdot (V_{ij} - C_{ij})^2$$

30       donde:  $\rho_i$  es una ponderación del punto  $i$ ;

35        $V_{ij}$  es el valor del  $j^\circ$  tipo de parámetro en el punto  $i$ ;

40        $C_{ij}$  es el valor objetivo del  $j^\circ$  tipo de parámetro en el punto  $i$ ;

45        $w_{ij}$  es la ponderación del  $j^\circ$  tipo de parámetro en el punto  $i$ .

50       Se puede, por ejemplo, llegar a resultados apropiados considerando un conjunto de 700 puntos, repartidos sobre la meridiana (70 puntos) y sobre el resto de la lentilla, con una concentración más importante alrededor de la meridiana.

55       Se puede fijar  $j$  en 2, y utilizar los parámetros constituidos por la potencia de portador y la aberración de astigmatismo, como se ha explicado ya en lo que antecede.

60       La ponderación  $\rho_i$  de los puntos  $i$ , permite efectuar un sopesado más o menos importante en las diversas regiones de la lentilla. Resulta preferible prever una ponderación importante sobre la meridiana, y disminuir la ponderación con el alejamiento respecto a la meridiana.

65       El valor  $V_{ij}$  se mide, para el punto  $i$ , mediante un programa de trazado de radios, utilizando las definiciones de potencia de portador y de aberración de astigmatismo dados más arriba, a partir del valor de proximidad proporcionado por el ergorama.  $V_{i1}$  es el valor de potencia de portador medido en el punto  $i$ , y  $V_{i2}$  es el valor de aberración de astigmatismo medido en el punto  $i$ .

De manera más precisa, se puede proceder como sigue. En la dirección alfa - beta del punto  $i$ , se construye, mediante un programa de trazado

de radios, el radio proveniente del centro de rotación del ojo, que atraviesa la cara trasera de la lentilla, la lentilla, a continuación la cara delantera, y desemboca en el espacio objeto. Se considera entonces el punto objeto situado sobre el radio así trazado, a una distancia de la cara delantera del cristal igual a la inversa de la proximidad objeto dada por el erograma para la dirección alfa - beta. A partir de este punto objeto, se trazan una pluralidad de radios, por ejemplo tres, hacia la lentilla, para reconstruir los puntos J y T de la Figura 1; se procede así a una evaluación exacta de la imagen obtenida de un punto objeto dado. Se calcula así la proximidad imagen y la aberración de astigmatismo  $V_{i2}$ . A partir del erograma y de la proximidad imagen calculada, se determina la potencia de portador  $V_{i1}$  en la dirección alfa - beta.

Los valores  $C_{ij}$  son los valores objetivos: en el ejemplo,  $C_{i1}$  es el valor de potencia de portador y  $C_{i2}$  es el valor de aberración de astigmatismo, en el punto i.

$w_{ij}$  es la ponderación del jº tipo de parámetro en el punto i. Se puede favorecer así, para un punto dado, la potencia de portador o el astigmatismo.

Se define por tanto, de esta manera, un objetivo, y una función de valor, representativa de las separaciones de las características ópticas de una lentilla con relación a este objetivo. Una función de valor de este tipo es, evidentemente, positiva, y debe ser minimizada en el transcurso del proceso de optimización.

Para proceder a la optimización, resulta entonces suficiente elegir una lentilla de partida y un método de cálculo que permita hacer disminuir, mediante iteraciones, el valor de la función de valor.

Se puede utilizar, ventajosamente, como método de cálculo, un método de cuadrados menores amortiguados, o incluso cualquier otro método de optimización en sí conocido.

Para una ametropía y una adición dadas, se puede considerar como lentilla de partida, una lentilla de la técnica anterior que presente una cara esférica de igual adición, con un valor de base en el punto de control de la visión de lejos, igual al proporcionado por la curva de la Figura 7; a esta cara esférica, se asocia una cara esférica que permite obtener la ametropía deseada, para un espesor dado en el centro. Así, para una potencia dada, la lentilla de la invención presenta una superficie delantera más plana que una lentilla de la técnica anterior.

Para proceder a la optimización, se puede partir, ventajosamente, de esta lentilla de partida, añadir a la superficie esférica una capa que se ha de optimizar, y modificar solamente esta capa durante el proceso de optimización. Por ejemplo, se puede utilizar como capa una modelización mediante un polinomio de Zernike; esto permite facilitar los cálculos de los trazados de radios, siendo el polinomio de Zernike transcrito de nuevo, en términos de altitudes, al final del proceso de optimización, con el fin de obtener una carta de altitudes de los puntos de la cara esférica.

Se llega así, para una ametropía dada y para una adición dada, a una lentilla optimizada, tras

las iteraciones del programa de optimización. Utilizando el método de los cuadrados menores amortiguados, la función de valor definida más arriba, y una lentilla de partida de ese tipo, es suficiente con proceder a una decena de iteraciones, para llegar, en la mayor parte de los casos, a una lentilla que presente buenos rendimientos.

Para evitar tener que proceder a una optimización para cada par ametropía - adición, se puede optar por no proceder a la optimización más que para los valores centrales de potencia de cada meseta horizontal de la curva de la Figura 7. Para potencias próximas, se añade simplemente a la lentilla de partida la capa esférica calculada en el programa de optimización. A posteriori, se comprueba que los rendimientos ópticos obtenidos son correctos, es decir, próximos al objetivo correspondiente. Así, en el ejemplo de perfil de base de la Figura 7, no se procede más que a una optimización para todas las potencias ópticas de portador entre -2,5 y 0 dioptrías, que corresponden a una base de 3,5 dioptrías.

La invención permite obtener resultados casi idénticos cualquiera que sea la potencia óptica del portador, para una adición dada.

Las Figuras siguientes muestran ejemplos de lentillas según la invención, y de lentillas conocidas. En lo que sigue, se utilizan las definiciones siguientes de la zona de visión de lejos, de la zona de visión intermedia, y de la zona de visión de cerca: estas zonas se definen como el conjunto de direcciones de mirada o de puntos correspondientes de la lentilla en los que la aberración de astigmatismo es inferior a 0,5 dioptrías. Se denomina línea de iso-astigmatismo a las líneas constituidas por puntos para los que la aberración de astigmatismo presenta un valor constante. El área de mirada en la zona de visión de lejos, es entonces la superficie que barre la mirada en la zona de visión de lejos, es decir, entre las líneas de iso-astigmatismo a 0,5 dioptrías, el borde de la lentilla, y por encima del centro geométrico de la lentilla.

La amplitud del campo en visión de cerca, es entonces la amplitud angular a la altura del punto de medición de la visión de cerca, entre las líneas de iso-astigmatismo, 0,5 dioptrías.

La Figura 8 muestra la variación de la potencia óptica a lo largo de la meridiana, para las diferentes adiciones, de 0,75 a 3,5 dioptrías. Se ha llevado, sobre las abscisas de la Figura 8, la elevación de la mirada o ángulo alfa, en grados. En ordenadas, se ha representado la variación de potencia óptica con respecto a la potencia óptica en el punto de referencia: esta variación es nula en el punto de referencia, situado sobre la cara delantera de la lentilla, a 8 mm por encima del centro geométrico, es decir, a un ángulo alfa próximo a 8º. Para cada adición, se han representado en la Figura 8 las diferentes potencias ópticas de optimización, que son las definidas más arriba (-4,5, -1,5, 1,3 y 4,75 dioptrías).

Se comprueba que, para una adición dada, la potencia óptica a lo largo de la meridiana es casi idéntica a la que sea la potencia en el punto de referencia en VL; en otras palabras, la invención permite asegurar un "mono-diseño óptico", es decir, unos rendimientos ópticos para el portador en

el espacio intermedio, es decir, en el espacio cristal - ojo, que son independientes de la potencia en VL. Se deducen fácilmente, a partir de la Figura 8, los valores objetivo de la potencia óptica a lo largo de la meridiana, que casi son los alcanzados.

La Figura 9 muestra, a título comparativo, las representaciones gráficas correspondientes, para una lentilla de la técnica anterior. Se comprueba, en la Figura 9, una dispersión más importante de los valores de potencia óptica, para una adición dada, en función de las diferentes potencias en VL. Esto muestra muy bien cómo la invención permite mejorar los rendimientos de las lentillas conocidas.

La Figura 10 muestra una representación análoga a la Figura 8, en la que se han añadido, no obstante, las representaciones gráficas de las potencias ópticas de portador para lentillas correspondientes a las potencias ópticas extremas para cada base, por ejemplo -2,25 y 0 dioptrías para la base de 3,5 dioptrías. Se comprueba, en la Figura 10, que las variaciones de potencia óptica a lo largo de la meridiana, corresponden incluso sensiblemente con los valores objetivo de la Figura 8. Dicho de otro modo, la invención asegura incluso rendimientos ópticos comparables, incluso cuando las caras traseras que han servido para la optimización son sustituidas por caras traseras diferentes.

La Figura 11 muestra, a título comparativo, las representaciones gráficas correspondientes para una lentilla de la técnica anterior. Se comprueba, en la Figura 11, una dispersión mucho más importante de valores de potencia óptica, para una adición dada, en función de las diferentes potencias en VL.

Se obtienen resultados correspondientes para la aberración de astigmatismo. Se asegura, en particular, según la invención, una aberración de astigmatismo inferior a 0,2 dioptrías sobre la meridiana, cualesquiera que sean las potencias en VL y la adición, y para todas las potencias ópticas.

La Figura 12 muestra los resultados obtenidos según la invención, en términos de variación con respecto al ergorama. Las diferentes curvas de la Figura 12 muestran la variación de potencia óptica a lo largo de la meridiana, cuando se separa el ergorama en un valor comprendido entre +2,00 dioptrías y -2,00 dioptrías, con pasos de 0,25 dioptrías. La curva más baja de la Figura, corresponde a una separación de +2,00 dioptrías, y la curva más alta corresponde a una separación de -2,00 dioptrías. A las ordenadas se han llevado las variaciones con respecto a la potencia óptica objetivo, y a las abscisas la elevación de la mirada (ángulo alfa), correspondiendo las curvas de la Figura 12 a una lentilla según la invención, de una adición de +3,50, y de una potencia óptica de 5 dioptrías en el punto de referencia (base de 6,2 dioptrías).

Se desprende de la Figura 12, que la variación de la potencia óptica se mantiene en un valor inferior a 0,125 dioptrías, cuando la separación en el ergorama se encuentra entre 0 y 0,5 dioptrías en la zona de visión de lejos (alfa entre -30 y 0°). En la zona de visión de cerca (alfa entre 20° y -40°), la variación de potencia óptica se mantiene por debajo de 0,125 dioptrías, cuando la sepa-

ración se encuentra en un valor absoluto inferior a 1 dioptría.

Para la misma lentilla, la Figura 13 muestra resultados correspondientes, para la aberración de astigmatismo. Al igual que en la Figura 12, las variaciones de la aberración de astigmatismo se mantienen bajas, incluso cuando se separa del ergorama utilizado en la invención. En visión de lejos, las variaciones de aberración de astigmatismo se mantienen por debajo de 0,125 dioptrías para separaciones en el ergorama que van hasta 0 y 0,50 dioptrías. En visión de cerca, las separaciones en el ergorama pueden alcanzar 1 dioptría sin que la aberración de astigmatismo varíe más de 0,125 dioptrías.

Se obtienen resultados análogos en términos de amplitud de campo en el punto de medición de la visión de cerca: la amplitud de campo no varía más del 15% alrededor del valor nominal cuando la separación en el ergorama es inferior a una dioptría.

En visión de lejos, el área de mirada (área en el interior del iso-astigmatismo a 0,5 dioptrías), no varía más del 15% cuando la separación en el ergorama es inferior a 1 dioptría.

En otros términos, y con relación al ergorama objetivo utilizado en la definición de la potencia óptica, son posibles las separaciones, todo ello asegurando que la potencia óptica y la aberración de astigmatismo, la amplitud de campo en visión de cerca o el área de mirada en visión de lejos, varían débilmente. Incluso aunque el portador de las lentillas no tenga un ergorama correspondiente al utilizado en la invención, los resultados de la lentilla de la invención se mantienen satisfactorios: se aseguran rendimientos ópticos comparables para todos los valores de base y de potencia óptica, para una adición dada, todo ello manteniendo la simplicidad de mecanización de la cara trasera de las lentillas.

Las Figuras 14 a 22 muestran los resultados obtenidos gracias a la invención, en comparación con los resultados de lentillas según la técnica anterior.

En las Figuras 14 a 22 se han representado, para una lentilla de la técnica anterior y para lentillas según la invención, líneas de nivel de la potencia óptica (o de la aberración de astigmatismo), es decir, líneas constituidas por puntos que presentan una potencia óptica idéntica (o una aberración de astigmatismo idéntica). Las líneas han sido representadas para valores de potencia óptica (o de aberración de astigmatismo) que van de 0,25 en 0,25 dioptrías; solamente se han llevado a las Figuras los valores enteros o semi-enteros de la potencia óptica (o de la aberración de astigmatismo), y los valores intermedios (0,25, 0,75, 1,25, etc.) no han sido llevados a las Figuras.

Las lentillas se han representado mediante una indicación en coordenadas esféricas, habiéndose llevado el ángulo beta a las abscisas, y el ángulo alfa a las ordenadas.

En las Figuras 16, 19 y 22, se ha representado la potencia óptica a lo largo de la meridiana, mediante trazos continuos; también aparecen, con trazos punteados, las potencias ópticas mínima y máxima, correspondientes respectivamente a:

- la suma del ergorama y de  $1/JS$ ;
- la suma del ergorama y de  $1/JT$ .

En las Figuras 16, 19 y 22, se ha llevado a las ordenadas el ángulo alfa en grados, y a las abcisas la potencia óptica en dioptrías.

Las Figuras 14 a 16 muestran una lentilla de la técnica anterior, de 70 mm de diámetro; la cara delantera de este cristal consiste en una superficie multifocal progresiva, con una base de 21 dioptrías, de adición 2. La cara trasera se elige de modo que presente una potencia óptica, en visión de lejos, de 4,5 dioptrías, y que presente un prisma de  $1,36^\circ$ . El plano del cristal está inclinado con relación a la vertical en  $12^\circ$ , y presenta un espesor en el centro de 1,2 mm. Se ha considerado un valor de  $q'$  de 27 mm, mencionado con referencia a la Figura 1.

La Figura 14 muestra las líneas de nivel de la potencia óptica, y la Figura 15 las líneas de nivel de la aberración de astigmatismo.

La Figura 16 muestra la potencia óptica, y las potencias ópticas mínima y máxima a lo largo de la meridiana óptica. En el punto de medición de la visión de lejos, como se ha indicado, la potencia óptica es de -4,5 dioptrías. La aberración de astigmatismo es de 0,26 dioptrías. En el punto de medición de la visión de cerca, la potencia óptica es de -2,10 dioptrías. La aberración de astigmatismo es de 0,19 dioptrías. La adición óptica real es, por tanto, de 2,4 dioptrías.

Las Figuras 17 a 19 muestran figuras correspondientes para una primera lentilla según la invención, de 70 mm de diámetro; la cara delantera de este cristal es una superficie multifocal progresiva, de base 2,0 dioptrías, de adición 2,0. La cara trasera se elige de modo que presente una potencia óptica, en visión de lejos, de -4,5 dioptrías, y presente un prisma de  $1,36^\circ$ . El plano del vidrio está inclinado con relación a la vertical en  $12^\circ$ , y presenta un espesor en el centro de 1,2 mm. Se ha considerado el valor de  $1'$  de 27 mm mencionado con referencia a la Figura 1.

La Figura 17 muestra las líneas de nivel de la potencia óptica, y la Figura 18 las líneas de nivel de la aberración de astigmatismo.

La Figura 19 muestra la potencia óptica, y las potencias ópticas mínima y máxima a lo largo de la meridiana óptica. En el punto de medición de la visión de lejos, como se ha indicado, la potencia óptica es de -4,50 dioptrías. La aberración de astigmatismo es de 0,02 dioptrías. En el punto de medición de la visión de cerca, la potencia óptica es de -2,50 dioptrías. La aberración de astigmatismo es de 0,01 dioptrías. La adición óptica real es, por tanto, de 2,00 dioptrías.

Las Figuras 20 a 22 muestran figuras correspondientes a una segunda lentilla según la invención, idéntica a la primera, con una base, no obstante, de 5,3 dioptrías, una adición de 2 dioptrías, y una potencia óptica de 3 dioptrías, y un espesor en el centro de 4,7 mm.

La Figura 20 muestra las líneas de nivel de la potencia óptica, y la Figura 21 las líneas de nivel de la aberración de astigmatismo.

La Figura 22 muestra la potencia óptica, y las potencias ópticas mínima y máxima a lo largo de la meridiana óptica. En el punto de medición

de la visión de lejos, como se ha indicado, la potencia óptica es de 3 dioptrías. La aberración de astigmatismo es de 0,02 dioptrías. En el punto de medición de la visión de cerca, la potencia óptica es de 5,06 dioptrías. La aberración de astigmatismo es de 0,01 dioptrías. La adición óptica real es, por tanto, de 2,06 dioptrías.

La comparación de estas Figuras permite poner claramente de manifiesto las ventajas de la invención.

En primer lugar, la invención permite, con respecto a la técnica anterior, tener en cuenta las diferentes caras traseras, y obtener resultados satisfactorios para el portador, no en términos de esfera media y de cilindro, sino de potencia óptica y de aberración de astigmatismo. Se comprueba, en particular, una fuerte disminución de la aberración de astigmatismo a lo largo de la meridiana, de las curvas de potencia óptica, de potencia óptica mínima y de potencia óptica máxima, que casi se confunden en las lentillas de la invención. De forma más precisa, para las dos lentillas de las Figuras 17 a 22, así como para las otras lentillas de la invención, se asegura que la aberración de astigmatismo se mantiene por debajo de 0,2 dioptrías a lo largo de la meridiana.

A continuación, la invención permite asegurar, para una misma adición, rendimientos casi comparables: las Figuras 18 y 21 presentan tendencias análogas, y aseguran zonas de visión de lejos y de visión de cerca sensiblemente idénticas, y más extendidas que en la lentilla de la Figura 15.

La amplitud de campo en visión de cerca, en las dos lentillas de la invención, es respectivamente de  $24^\circ$  y de  $26^\circ$ . En la lentilla de la técnica anterior, no es más que de  $18^\circ$ . La amplitud de campo es, en las dos lentillas de las Figuras 17 a 22, como en las otras lentillas de la invención, superior a  $21/A + 10$  grados, siendo A la adición.

Cualitativamente, la invención propone un juego de lentillas en el que los comportamientos ópticos de las diferentes lentillas son sensiblemente idénticos para una misma adición, independientemente de la potencia óptica en el punto de medición de la zona de visión de lejos, lo que corresponde a un "mono-diseño óptico".

De manera más precisa, según la invención, el área de mirada en visión de lejos, que se ha definido más arriba, varía en menos del 15% para una misma adición, cualquiera que sea la potencia óptica en el punto de medición de la zona de visión de lejos.

Según la invención, la amplitud de campo en visión de cerca, que también se ha definido más arriba, varía en menos del 15% para una misma adición, cualquiera que sea la potencia óptica en el punto de medición de la zona de visión de lejos.

Bien entendido, resulta posible invertir los términos de cara delantera y de cara trasera, es decir, prever que la superficie esférica multifocal de la lentilla se encuentra vuelta hacia el portador, sin que esto modifique la invención. Se puede cambiar también el método de optimización, de superficie de partida, o incluso utilizar otras definiciones para la potencia óptica y la aberración de astigmatismo.

## REIVINDICACIONES

1. Juego de lentillas oftálmicas multifocales progresivas, determinadas por medio de ergogramas que asocian a cada dirección de mirada una proximidad objeto y una potencia de portador, para una ametropía y una adición dadas de un portador de lentilla estándar,

en el que para una lentilla, en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, se define una potencia de portador en una dirección de mirada y para un punto objeto, como la suma de la proximidad objeto y de la proximidad imagen de dicho punto objeto,

en el que cada una de las lentillas presenta:

una primera y una segunda superficie, siendo la primera superficie una superficie multifocal progresiva;

una zona de visión de lejos, una zona de visión de cerca, y una meridiana principal de progresión que atraviesa estas dos zonas, siendo las zonas de visión de lejos y de cerca y la meridiana, conjuntos de direcciones de mirada en las condiciones de enfoque;

una adición de potencia A igual a la variación de potencia de portador para el punto enfocado del ergorama, entre una dirección de mirada de referencia en la zona de visión de lejos, y una dirección de mirada de referencia en la zona de visión de cerca;

y en el que las variaciones a lo largo de la meridiana, de potencia de portador para el punto enfocado del ergorama, son sensiblemente idénticas para todas las lentillas del juego que presenten la misma adición.

2. Juego de lentillas según la reivindicación 1, en el que las lentillas presentan, cada una de ellas, una adición predefinida, elegida en un conjunto discreto, teniendo la diferencia de adición de potencia A entre dos lentillas del juego la misma adición predefinida, que es inferior o igual a 0,125 dioptrías.

3. Juego de lentillas según la reivindicación 1 ó 2, en el que, para cualquier lentilla, sobre la meridiana, la aberración de astigmatismo para el punto enfocado del ergorama es inferior o igual a 0,2 dioptrías.

4. Juego de lentillas según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que, para cada una de las lentillas en las condiciones del enfoque para un portador de lentilla estándar, la amplitud angular, en grados, entre las líneas para las que la aberración de astigmatismo para las que los puntos del ergorama vale 0,5 dioptrías,  $25^\circ$  por debajo de un punto de montaje de la lentilla, presenta un valor superior a  $15/A + 1$ , siendo A la adición de potencia.

5. Juego de lentillas según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que, para cada una de las lentillas en las condiciones del enfoque para un portador de lentilla estándar, la amplitud angular, en grados, entre las líneas para las que la aberración de astigmatismo para los puntos del ergorama vale 0,5 dioptrías,  $35^\circ$  por debajo de un punto de montaje de la lentilla, presenta un valor superior a  $21/A + 10$ , siendo A la adición de potencia.

6. Juego de lentillas según una de las reivindi-

caciones 1 a 5, en el que, para cada una de las lentillas, en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, el ángulo sólido delimitado por las líneas para las que la aberración de astigmatismo para los puntos del ergorama vale 0,5 dioptrías, y los puntos situados en un ángulo de  $45^\circ$  de un punto de montaje de la lentilla, presenta un valor superior a 0,70 estereorradianes.

7. Juego de lentillas según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, en la zona de visión de lejos, en cada dirección de mirada, la diferencia de potencia de portador entre el punto enfocado del ergorama y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado comprende entre 0 y 0,5 dioptrías, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

8. Juego de lentillas según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, en la zona de visión de cerca, en cada dirección de mirada, la diferencia de potencia de portador entre el punto enfocado del ergorama y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado inferior a 1 dioptría en valor absoluto, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

9. Juego de lentillas según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, en la zona de visión de lejos, en cada dirección de mirada, la diferencia de aberración de astigmatismo entre el punto enfocado del ergorama y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado presenta entre 0 y 0,5 dioptrías, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

10. Juego de lentillas según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que, para cada una de las lentillas en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, en la zona de visión de cerca, en cada dirección de mirada, la diferencia de aberración de astigmatismo ente el punto enfocado del ergorama y los puntos objeto cuya proximidad presenta una diferencia con la proximidad de dicho punto enfocado en valor absoluto inferior a 1 dioptría, es inferior o igual a 0,125 dioptrías en valor absoluto.

11. Procedimiento de determinación de un ergorama para un juego de lentillas oftálmicas multifocales progresivas, asociando el citado ergorama a cada dirección de mirada una proximidad objeto y una potencia de portador, para una ametropía y una adición dadas de un portador de lentilla estándar, que comprende las etapas de:

definición de las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar;

definición de un entorno bajo la forma de un conjunto de puntos objeto a mirar por el portador estándar;

selección de una ametropía y de una adición para el portador;

cálculo, por iteración de la dirección de mirada para el punto objeto de referencia para la

visión de cerca, en aproximación de lentilla delgada, para una potencia deducida de la ametropía y de la adición;

cálculo de la acomodación a partir de la dirección de mirada para el punto objeto de referencia para la visión de cerca y la separación pupilar;

determinación de la semi-recta de Donders del portador, a partir de la acomodación y de la convergencia para el punto objeto de referencia para la visión de cerca, y

determinación de la dirección de mirada para los otros puntos objeto del entorno, mediante un proceso iterativo, en aproximación de lentilla delgada, a partir de la curva de Donders.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la etapa de determinación de la dirección de mirada para los otros puntos objeto del entorno comprende, para cada uno de los otros puntos citados:

el cálculo de una convergencia sin lentilla;

el cálculo de la acomodación a partir de la curva de Donders;

el cálculo de una potencia en aproximación de lentilla delgada;

la repetición hasta la convergencia sobre una dirección de mirada, de las etapas de:

- determinación de las desviaciones provocadas por una lentilla delgada, de la potencia calculada,
- determinación de una dirección de mirada que permite compensar estas desviaciones, con la citada lentilla delgada, de la potencia calculada;
- cálculo de una convergencia a partir de la nueva dirección de mirada;
- cálculo de una potencia en aproximación de lentilla delgada, a partir de la nueva convergencia y de la curva de Donders.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que se asocia, por otra parte, para cada lentilla, una potencia de portador con cada dirección de mirada en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, y en el que la citada potencia de portador es la última potencia,

en aproximación de lentilla delgada, calculada en el transcurso de las etapas de repetición hasta la convergencia.

14. Procedimiento de definición de una lentilla oftálmica progresiva, por optimización de las características ópticas de una lentilla oftálmica, siendo calculadas las citadas características ópticas en el transcurso de la optimización con la ayuda de un programa de trazado de radios, en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar, en el que la optimización consiste en minimizar, por iteraciones, las diferencias entre las características ópticas de la lentilla y los valores objetivo, y en el que se utilizan como valores objetivo, la potencia de portador de los valores de potencia de portador obtenidos según el procedimiento de la reivindicación 13.

15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que las citadas características ópticas son la potencia de portador y la aberración de astigmatismo, en las condiciones de enfoque para un portador de lentilla estándar.

16. Procedimiento según la reivindicación 14 ó 15, en el que la optimización consiste en minimizar, mediante iteraciones, las diferencias entre las características ópticas de la lentilla y los valores objetivo, y en el que se utilizan, como valores objetivo para la aberración de astigmatismo, los valores de astigmatismo de una lentilla que presenta una primera superficie progresiva conocida, con una adición superficial igual a una adición de potencia de portador objetivo de la lentilla oftálmica que se ha de definir, y una segunda superficie esférica tal que la potencia en el punto de referencia de visión de lejos, sea nula.

17. Procedimiento según la reivindicación 14, 15 ó 16, en el que se utiliza como lentilla de partida para la optimización, una lentilla que presenta una primera superficie progresiva conocida con una adición superficial igual a una adición de potencia de portador objetivo de la lentilla oftálmica que se ha de definir, y una segunda superficie esférica.

18. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que la optimización consiste en hacer variar una capa esférica variable añadida a la citada lentilla de partida.

**NOTA INFORMATIVA:** Conforme a la reserva del art. 167.2 del Convenio de Patentes Europeas (CPE) y a la Disposición Transitoria del RD 2424/1986, de 10 de octubre, relativo a la aplicación del Convenio de Patente Europea, las patentes europeas que designen a España y solicitadas antes del 7-10-1992, no producirán ningún efecto en España en la medida en que confieran protección a productos químicos y farmacéuticos como tales.

Esta información no prejuzga que la patente esté o no incluida en la mencionada reserva.

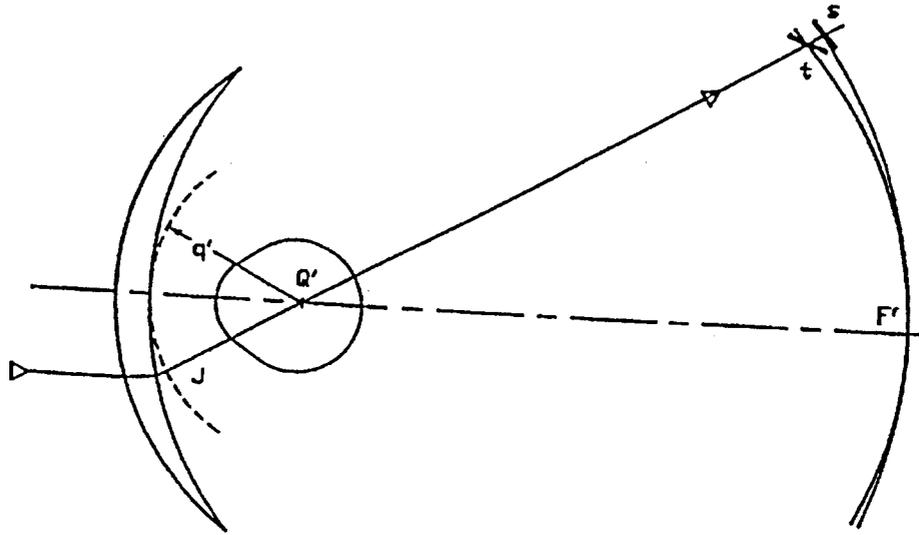


FIGURA 1

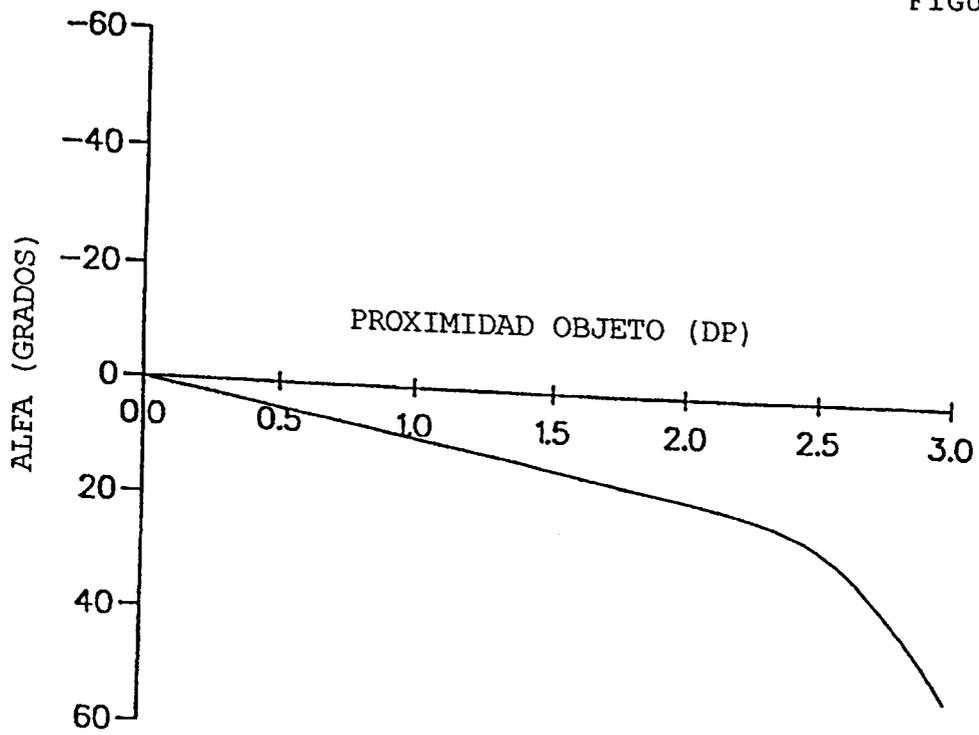


Figura 6

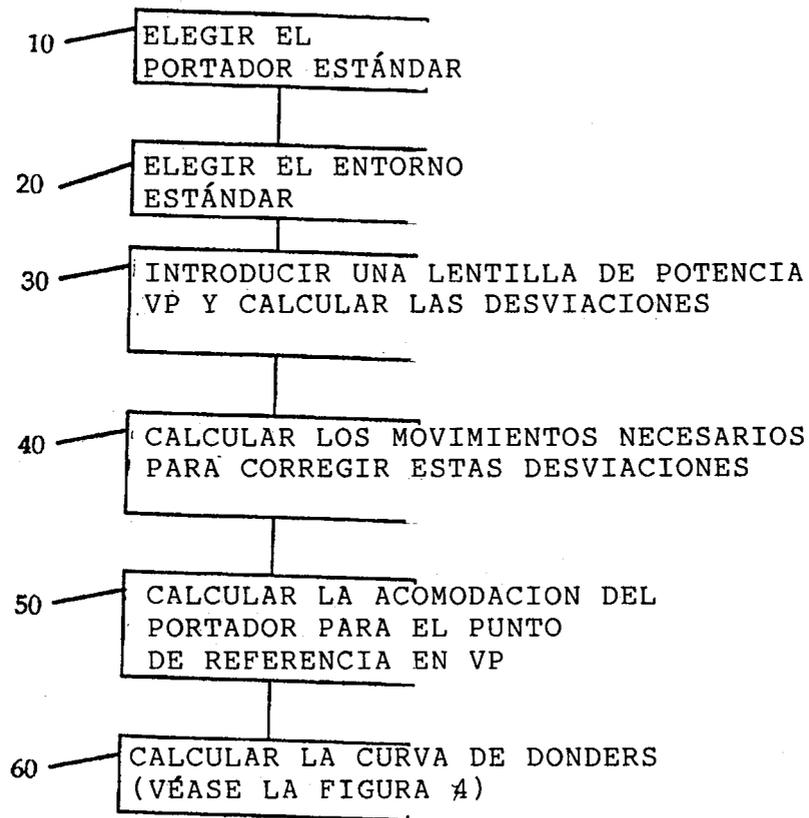


FIGURA 2

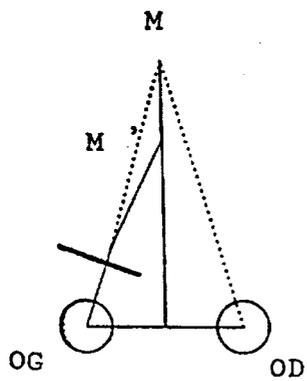


FIGURA 3

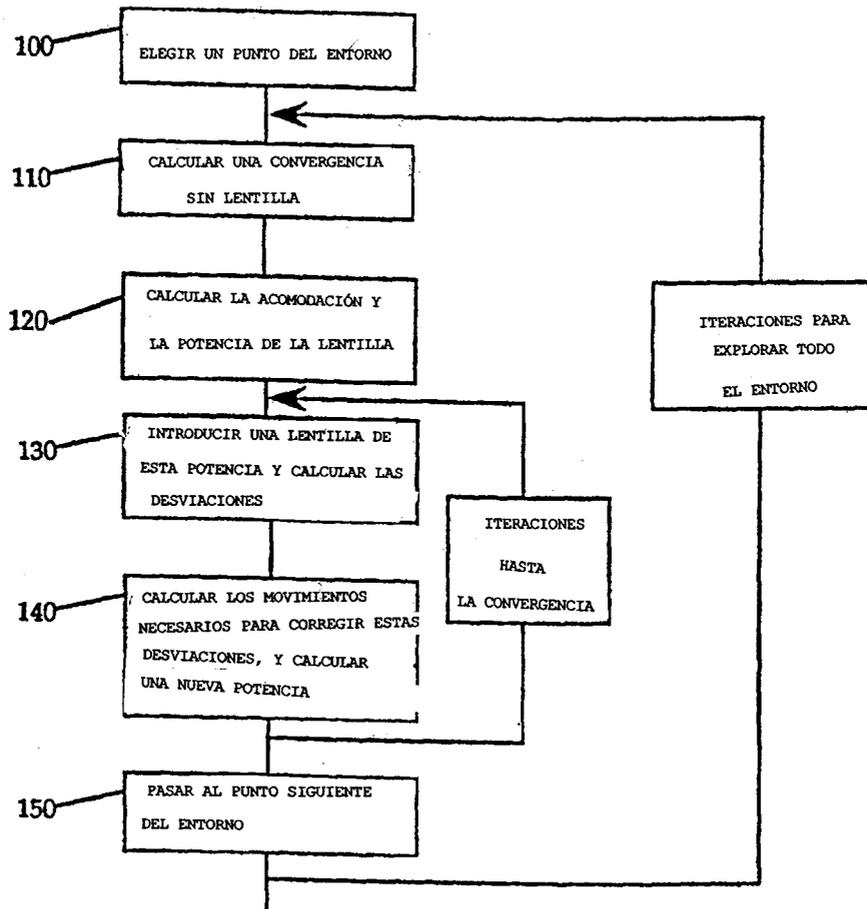


FIGURA 5

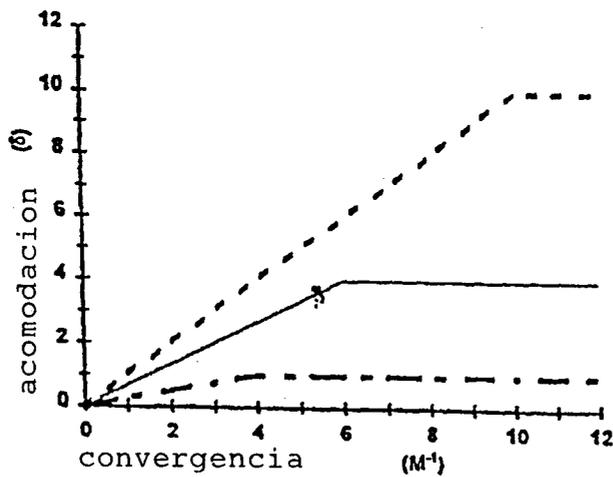


FIGURA 4

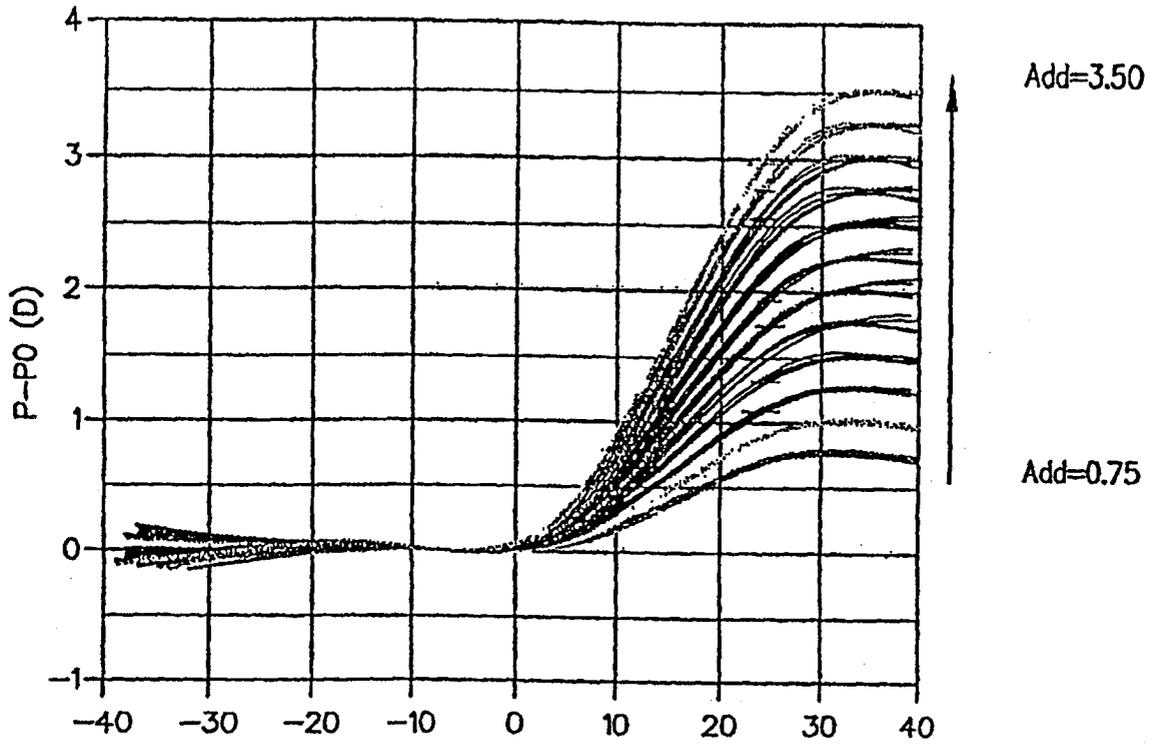


FIGURA 8

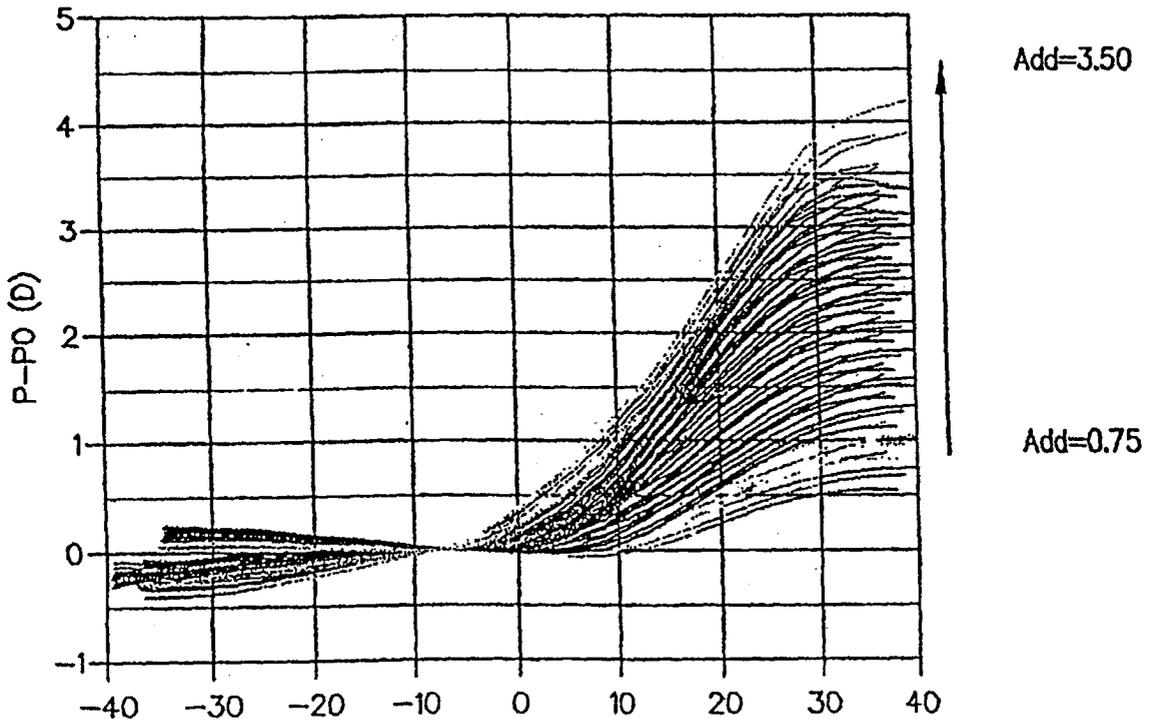


FIGURA 9

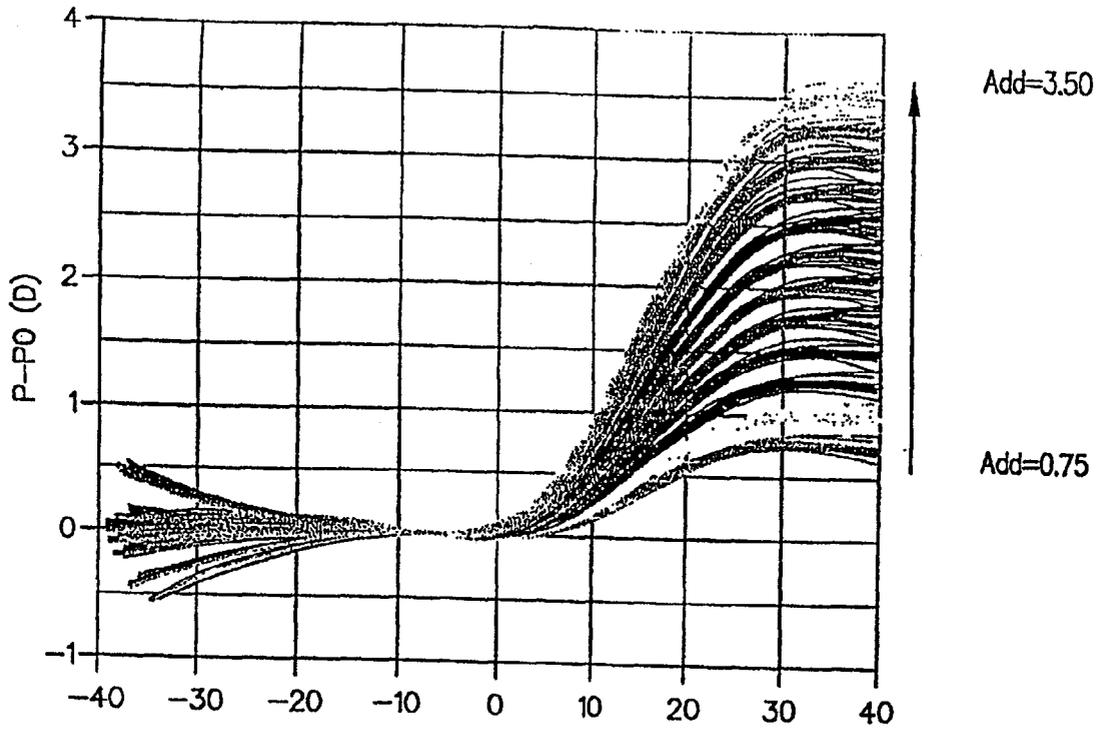


FIGURA 10

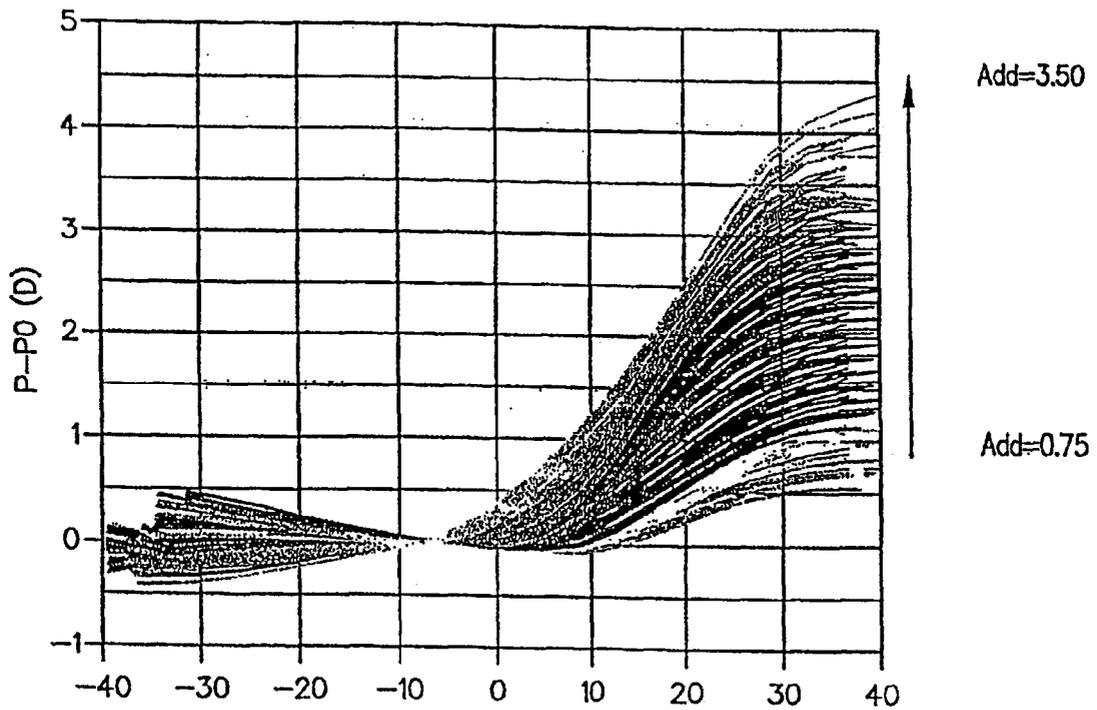


FIGURA 11

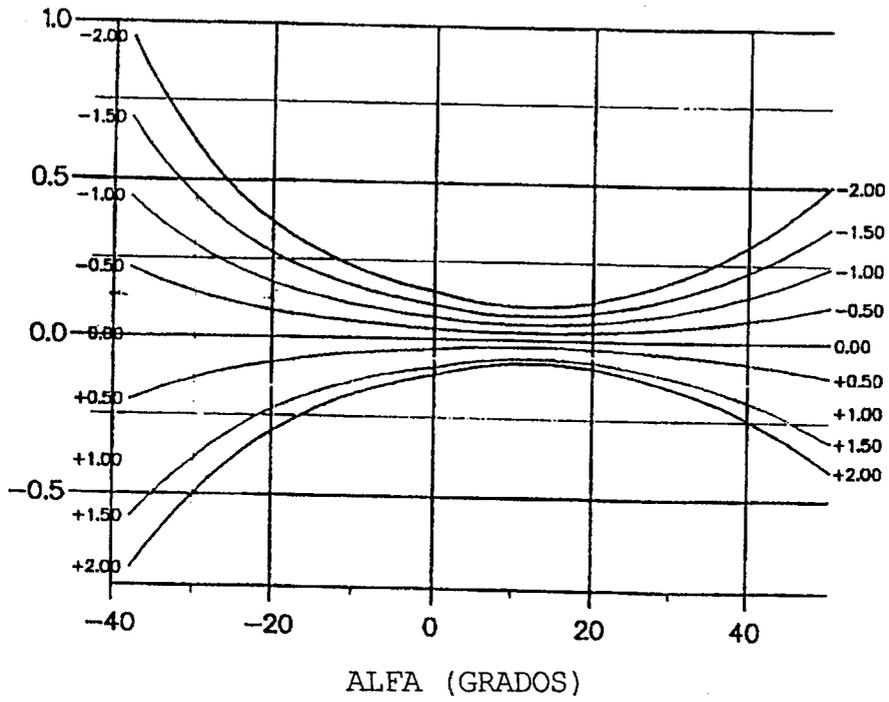


Figura 12

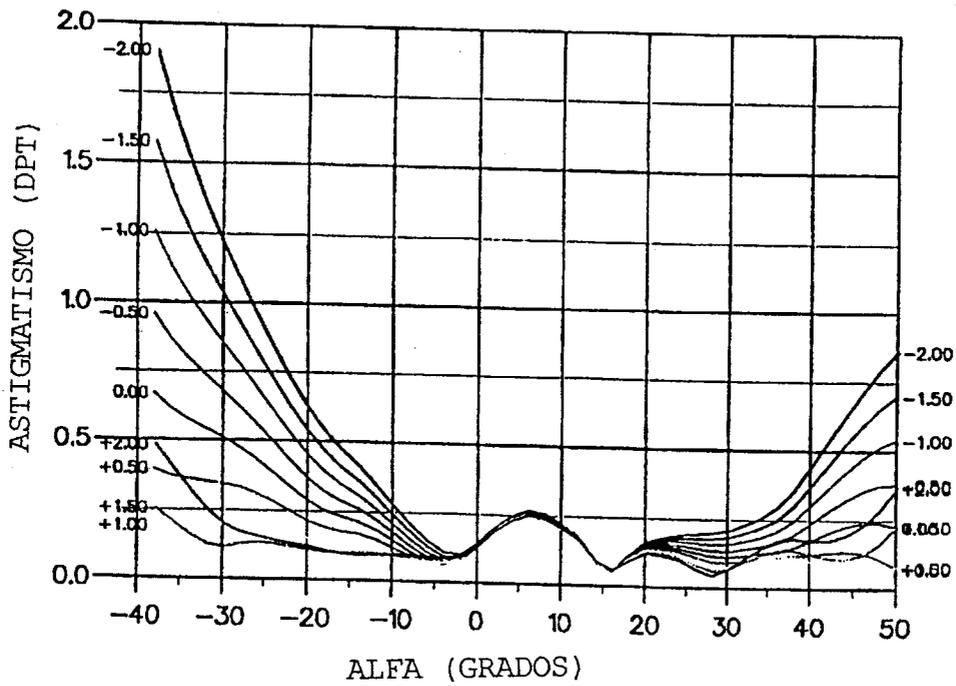


Figura 13

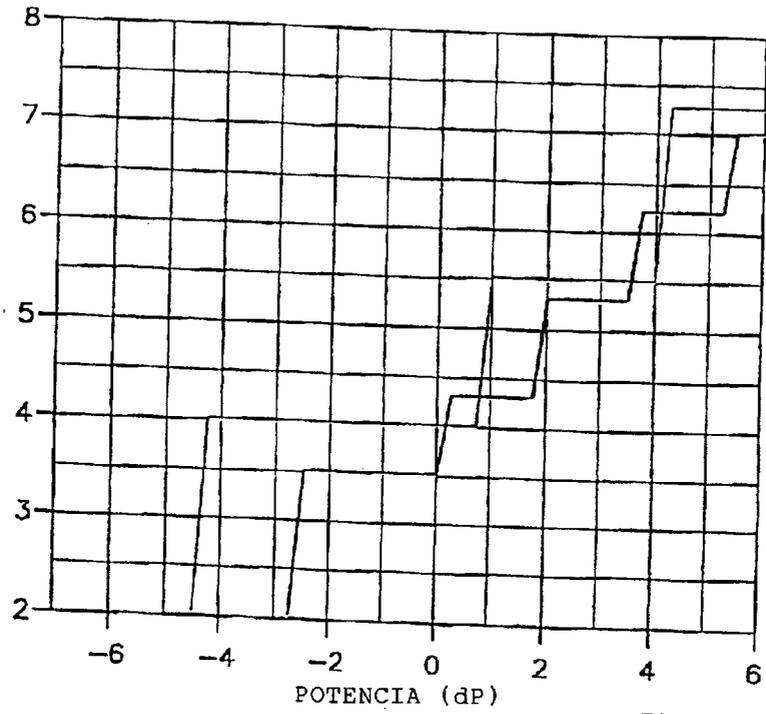


Figura 7

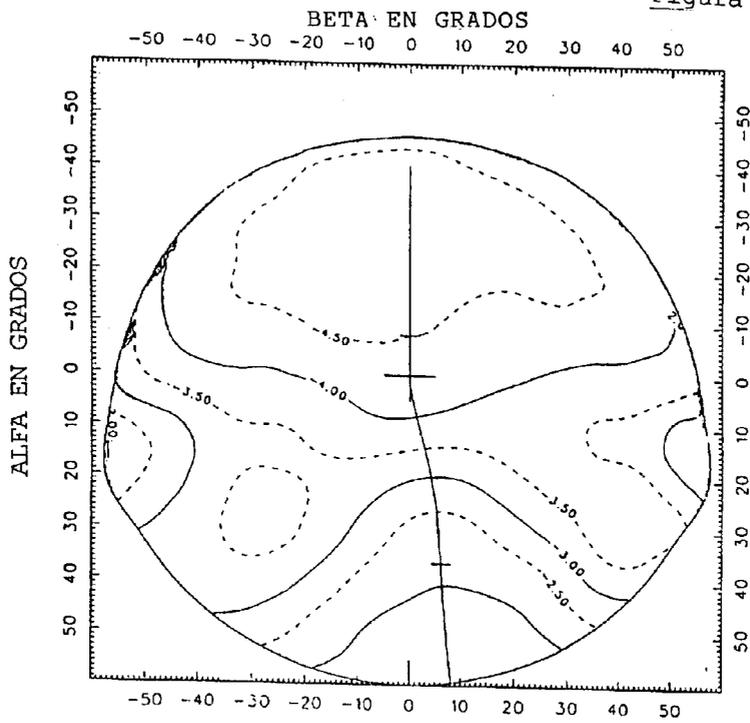


Figura 14

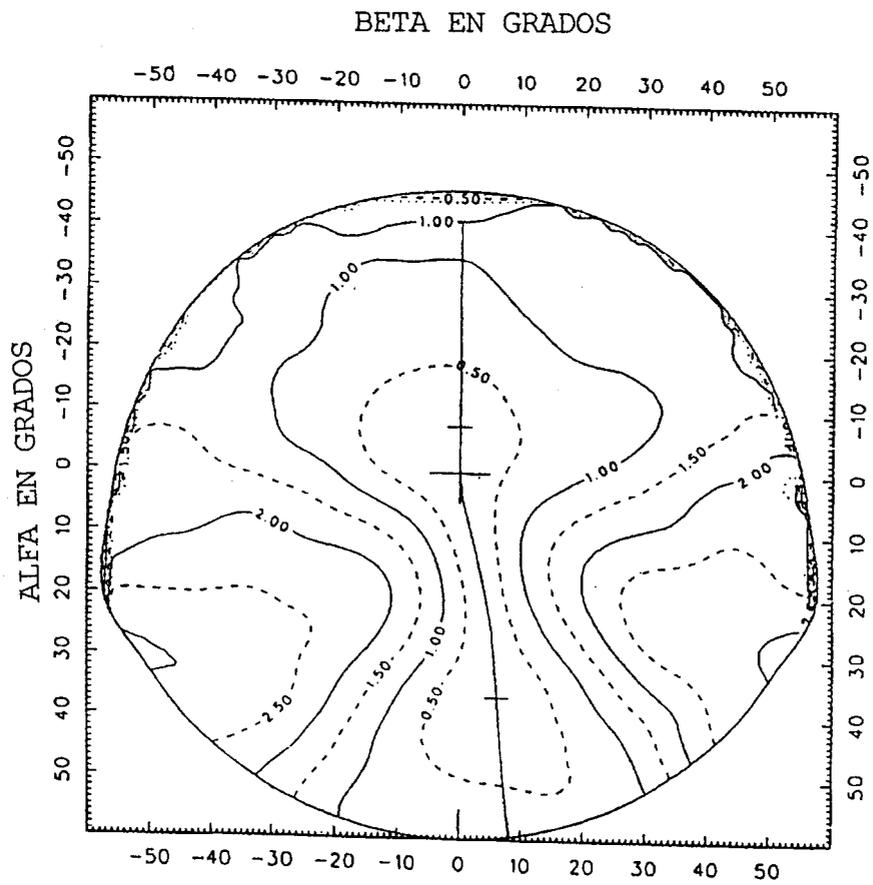


Figura 15

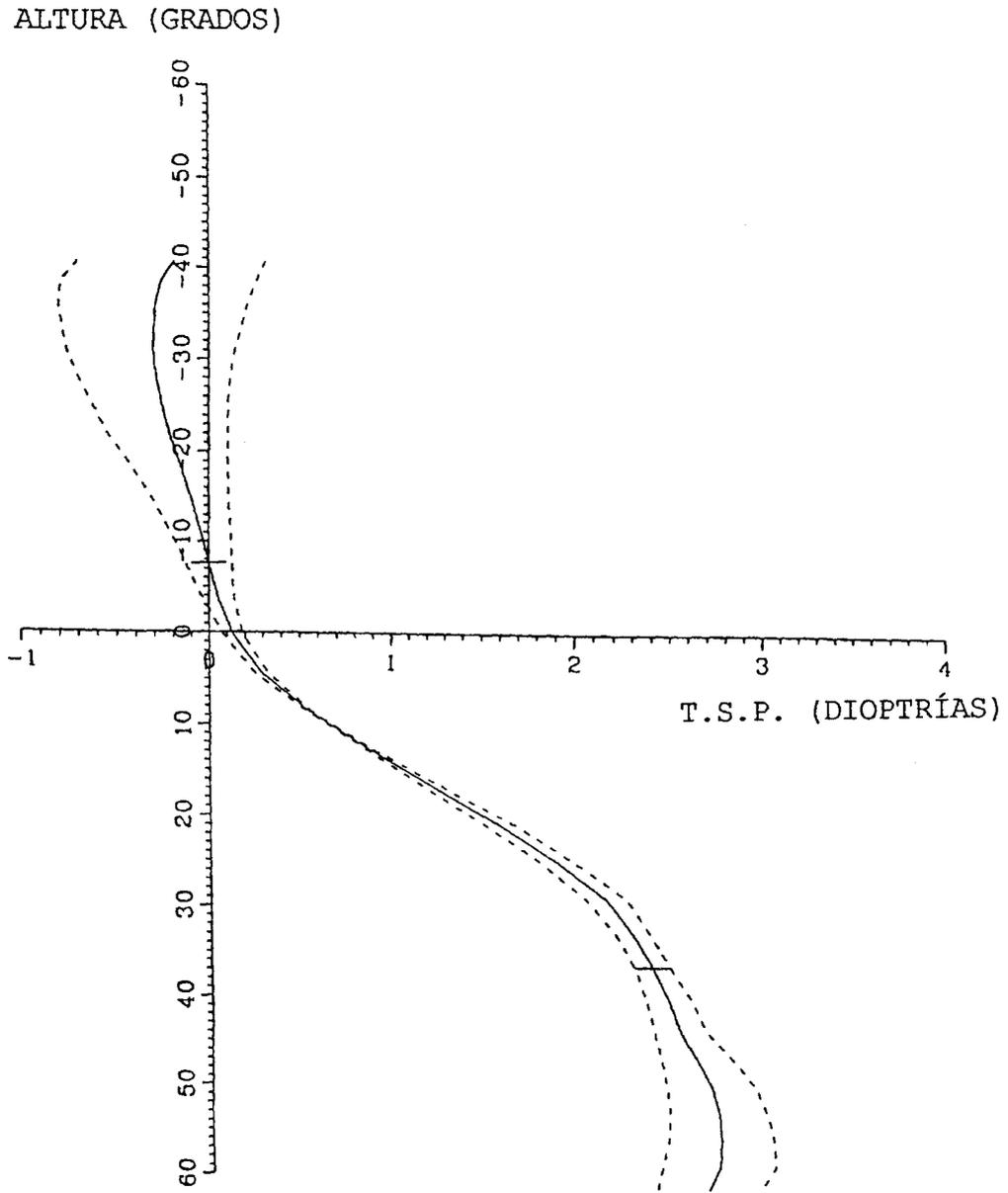


Figura 16

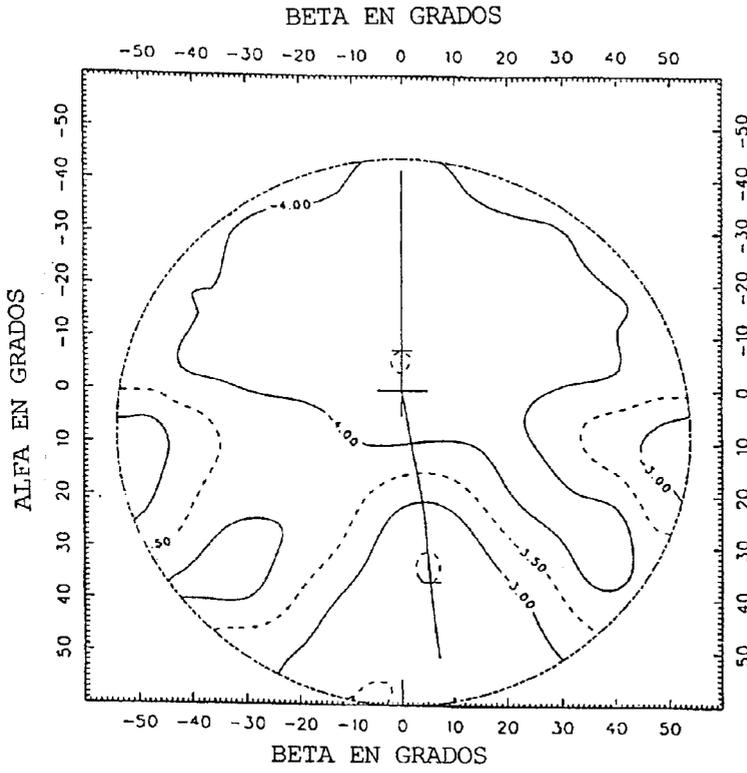


Figura 17

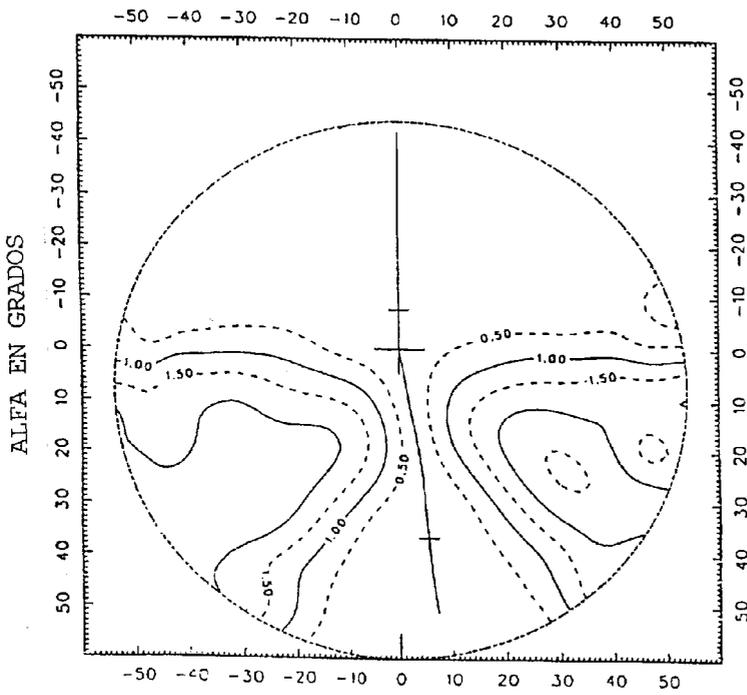


Figura 18

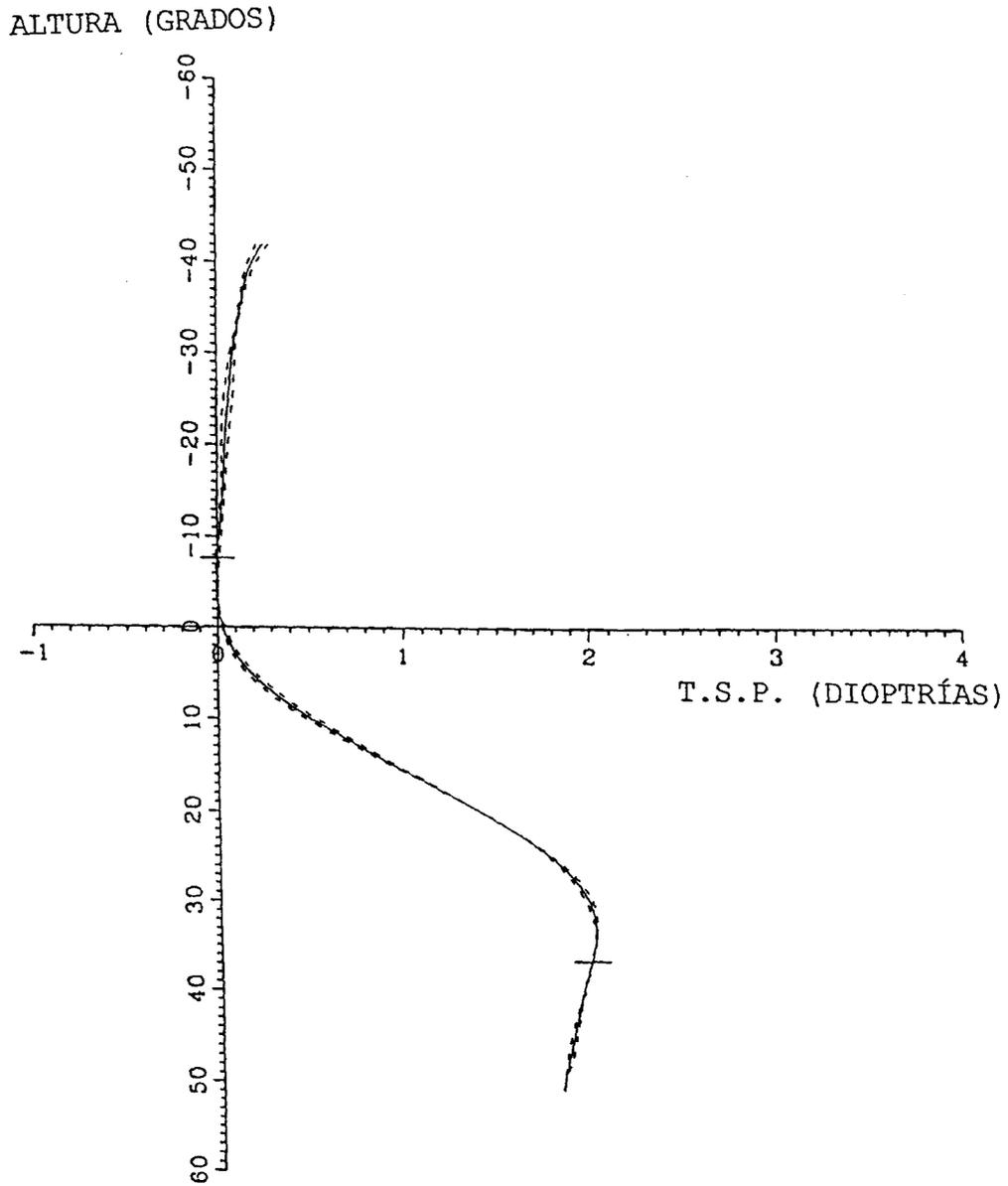


Figura 19

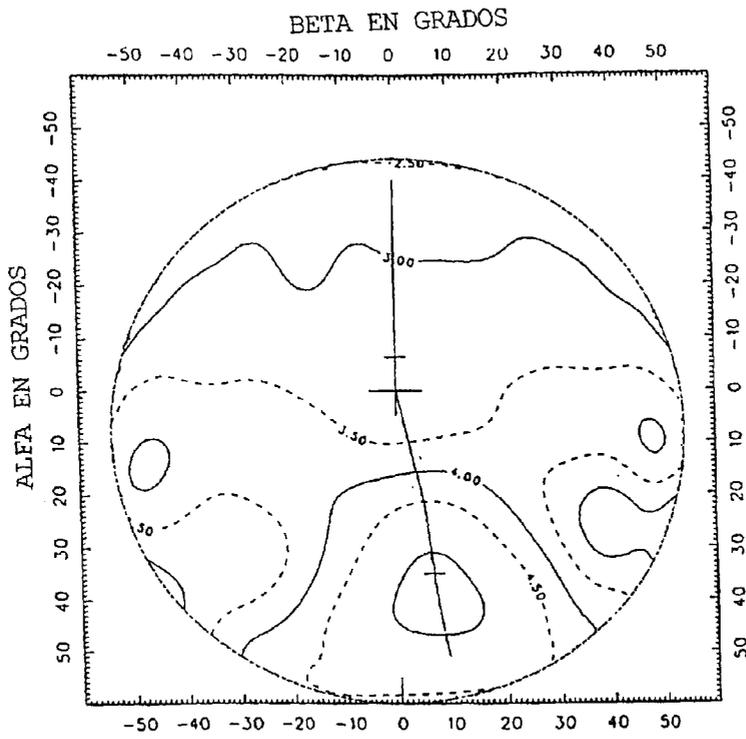


Figura 20

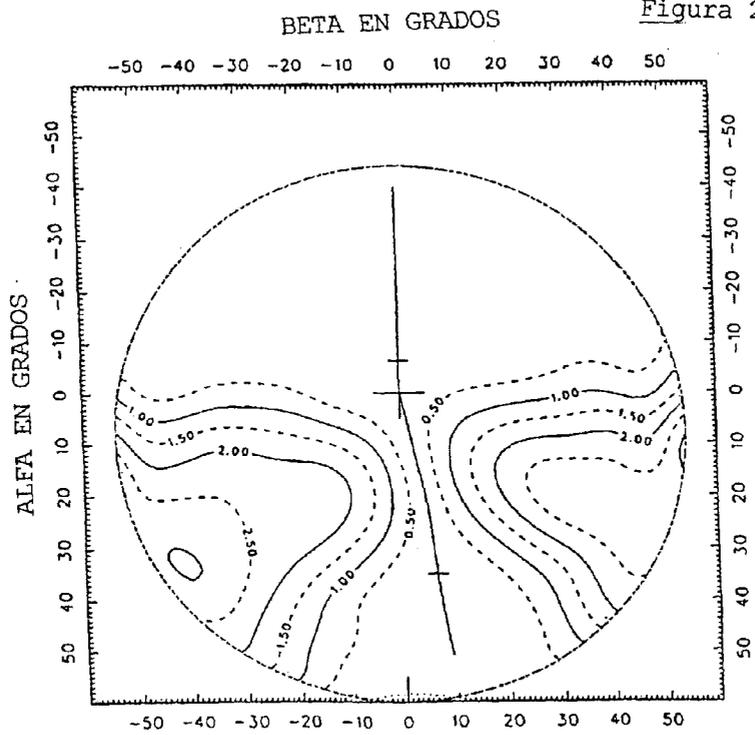


Figura 21

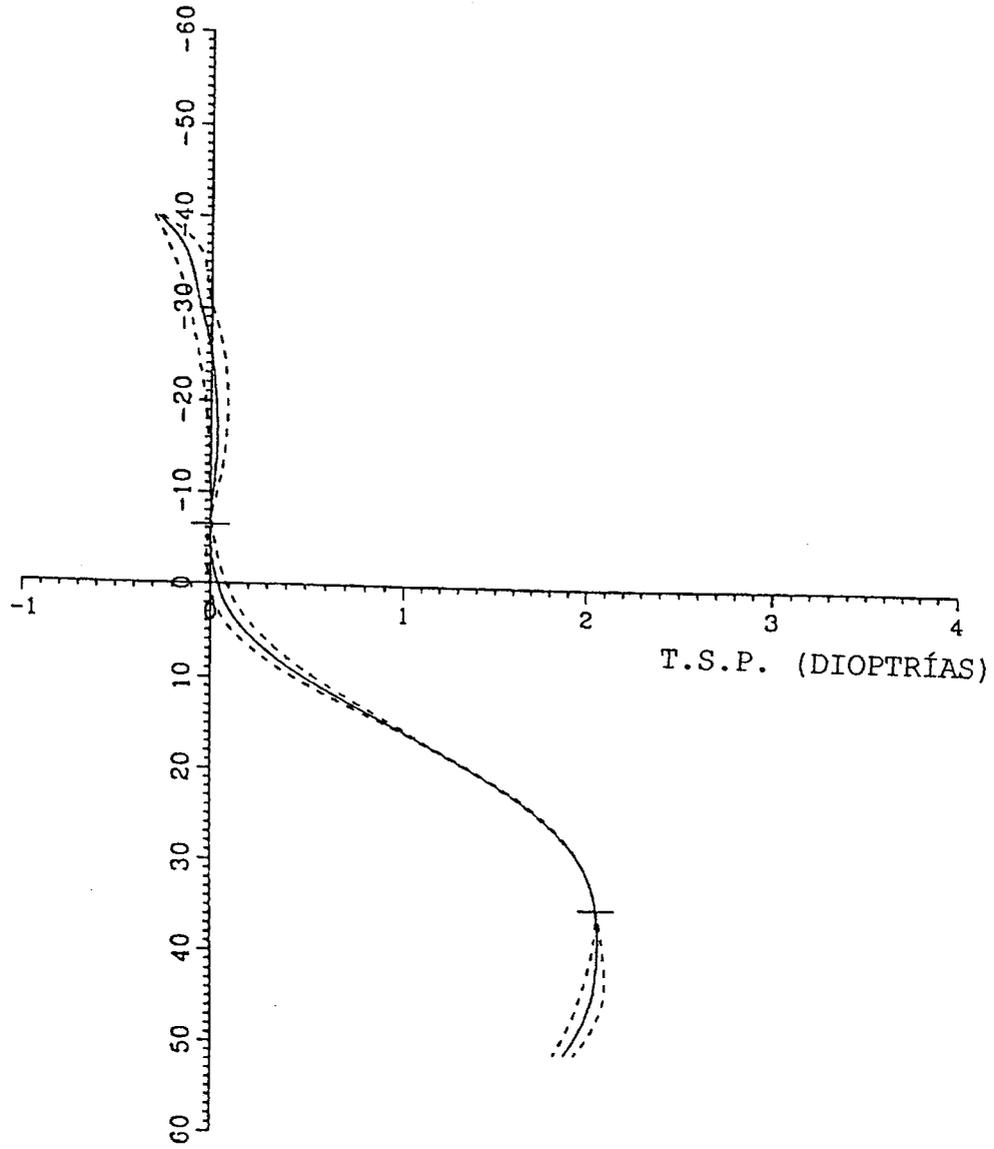


Figura 22