

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 301 232**

⑤① Int. Cl.:
G02C 7/06 (2006.01)
G02C 7/02 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **99402280 .4**
⑧⑥ Fecha de presentación : **17.09.1999**
⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **0990939**
⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **05.04.2000**

⑤④ Título: **Lentillas oftálmicas tóricas.**

③⑩ Prioridad: **28.09.1998 FR 98 12109**

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.06.2008

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.06.2008

⑦③ Titular/es: **ESSILOR INTERNATIONAL COMPAGNIE
GENERALE D'OPTIQUE
147, rue de Paris
94227 Charenton Cédex, FR**

⑦② Inventor/es: **Baudart, Thierry y
Le Saux, Gilles**

⑦④ Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 301 232 T3

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

DESCRIPCIÓN

Lentillas oftálmicas tóricas.

5 El objeto de la presente invención es un procedimiento de determinación de una lentilla oftálmica única adaptada a un portador al que se ha diagnosticado astigmatismo; dichas lentillas se denominan también lentillas oftálmicas tóricas, y se diferencia de las lentillas oftálmicas denominadas esféricas, que están destinadas a portadores sin diagnóstico de astigmatismo. El procedimiento puede aplicarse indistintamente a una lentilla unifocal o multifocal.

10 Las lentillas oftálmicas multifocales son muy conocidas; entre dichas lentillas multifocales se puede distinguir entre las denominadas lentillas progresivas y lentillas dedicadas más concretamente a la visión de cerca.

Las lentillas multifocales plantean un problema particular para el portador astigmático. El astigmatismo suministrado al portador es la resultante de tres componentes:

- 15
- el cilindro local de la superficie progresiva, caracterizado por su amplitud (o módulo) y su eje;
 - el cilindro prescrito y su eje;

20

 - el astigmatismo oblicuo.

Actualmente, para corregir a un portador astigmático se realiza una lentilla cuya cara delantera se optimiza en el caso de una prescripción esférica y cuya cara trasera es un toro simple. Así, no se tienen en cuenta las degradaciones introducidas por el toro; se puede como máximo jugar con el astigmatismo oblicuo ajustando la base de la cara

25

delantera. Por motivos económicos, no se puede multiplicar el número de bases ya existentes.

Las lentillas oftálmicas multifocales progresivas son muy conocidas en la actualidad. Se utilizan para corregir la presbicia y permiten que el portador de gafas observe los objetos en una amplia gama de distancias, sin tener que quitarse las gafas. Ese tipo de lentillas comportan de forma típica una zona de visión de lejos, situada en la parte superior de la lentilla, una zona de visión de cerca, situada en la parte inferior de la lentilla, una zona intermedia que une la zona de visión de cerca y la zona de visión de lejos, así como un meridiano principal de progresión que atraviesa dichas tres zonas.

30

El documento FR-A-2699294 describe en su preámbulo los distintos elementos de una lentilla oftálmica multifocal progresiva de ese tipo, así como los trabajos llevados a cabo por el solicitante para mejorar el confort de los portadores de ese tipo de lentillas. Se hará referencia a dicho documento para tratar con mayor precisión dichos puntos diversos.

35

El solicitante propuso asimismo, por ejemplo en las patentes US-A-5270745 o US-A-5272495 hacer variar el meridiano y, principalmente, descentrarlo en un punto de control de la visión de cerca, en función de la adición y de la ametropía.

40

El solicitante también propuso, para satisfacer mejor las necesidades visuales de los presbítes y mejorar el confort de las lentillas multifocales progresivas, diversas mejoras (FR-A-2683642, FR-A-2699294, FR-A-2704327).

45 Existen también unas lentillas dedicadas más concretamente a la visión de cerca; dichas lentillas no presentan una visión de lejos con un punto de referencia definido como en las lentillas progresivas clásicas. Dichas lentillas se prescriben en función de la potencia necesaria para el portador respecto de la visión de cerca, independientemente de la potencia en visión de lejos. Una lentilla de ese tipo se describe en un artículo de *L'Opticien Lunetier* de abril de 1988 y se comercializa por el solicitante con la marca Essilor Delta; dicha lentilla es sencilla de utilizar y tan fácil de soportar como una lentilla progresiva, y es atractiva para la población de los presbítes no equipada con lentillas progresivas. Dicha lentilla se describe también en la solicitud de patente FR-A-2588973. Presenta una parte central que equivale al cristal unifocal que se utilizaría normalmente para corregir la presbicia, de forma que se asegura una visión de cerca satisfactoria. Por otra parte, presenta un ligero descenso de potencia en la parte superior, lo que asegura al portador una visión neta también más allá del campo habitual de visión de cerca. Por último, la lentilla presenta un

50

55 punto con un valor de potencia igual a la potencia nominal de visión de cerca, una zona de potencia más elevada en la parte inferior del cristal, y una zona de potencia menor en la parte superior del cristal.

Habitualmente, las lentillas multifocales, ya sean progresivas o dedicadas a la visión de cerca, comportan una cara multifocal esférica, por ejemplo la cara opuesta al portador de gafas, y una cara esférica o tórica, denominada cara de prescripción. Dicha cara esférica o tórica permite adaptar la lentilla a la ametropía del usuario, de forma que una lentilla multifocal sólo se define por lo general por su superficie esférica. Como es bastante conocido, ese tipo de superficie esférica se define por lo general por la altitud de todos sus puntos. Se utilizan también los parámetros constituidos por las curvas mínimas y máximas en cada punto, o con mayor frecuencia su semisuma y su diferencia. Dicha semisuma y dicha diferencia multiplicadas por un factor $n-1$, siendo n el índice de refracción del material de la

60

65 lentilla, se denominan esfera media y cilindro.

En el caso de las lentillas multifocales progresivas, se define un conjunto o juego de caras multifocales esféricas por la elección de un par (adición, base). Habitualmente, se pueden definir así 5 valores de bases y 12 valores de

ES 2 301 232 T3

adiciones, es decir, sesenta caras multifocales. En cada una de las bases se realiza una optimización para una potencia determinada, es decir, para una cara de prescripción esférica de una curva determinada.

5 La utilización con una de las caras multifocales de una cara de prescripción esférica o tórica de una potencia similar a la de la cara de prescripción considerada para la optimización permite cubrir el conjunto de las necesidades de los portadores de lentillas multifocales progresivas. Ese procedimiento conocido permite, a partir de lentillas semiacabadas en las que sólo está conformada la cara multifocal, preparar unas lentillas adaptadas a cada portador, por simple fabricación de una cara de prescripción esférica o tórica.

10 Un procedimiento análogo se utiliza para la optimización y la prescripción de lentillas dedicadas a la visión de cerca.

Este procedimiento presenta el inconveniente de ser solamente una aproximación; en consecuencia, los resultados obtenidos con una cara de prescripción distinta de la utilizada para la optimización son peores que los correspondientes a la cara de prescripción utilizada para la optimización.

15 La patente US-A-5444503 describe una lentilla que presenta una superficie multifocal y una superficie de prescripción. Con respecto a la técnica anterior, que sugiere definir la superficie de prescripción para obtener una potencia determinada en el punto de referencia de visión de lejos, en dicho documento se propone definir la superficie de prescripción de la lentilla en función de la potencia que requiere el portador en una pluralidad de superficies elementales. Para ello, dicho documento propone calcular las aberraciones sobre toda la superficie y hacer variar una superficie continua parametrizada, por ejemplo una superficie definida por ranuras, con ayuda de algoritmos matemáticos de optimización conocidos. En la práctica, más allá de esta afirmación de principio, dicho documento propone utilizar para optimizar la superficie de prescripción la distancia a la córnea en una superficie elemental, la distancia objeto en una superficie elemental, la inclinación de la lentilla en la montura, la forma de la montura y la curva de la lentilla. Dicho documento no se pronuncia en lo que respecta al cálculo efectivo de la superficie de prescripción. Según dicho documento, esta solución permitiría paliar los defectos que provienen de la sustitución de la cara trasera que ha servido para la optimización por una cara trasera cercana.

30 Dicha solución presenta el inconveniente de que complica la fabricación de las lentillas, e implica la determinación y fabricación de una cara trasera esférica. En ese caso, se debe optimizar y fabricar dos superficies complejas. El procedimiento propuesto no parece fundado en datos fisiológicos:

35 La solicitud de patente WO-A-9613748 propone también utilizar para lentillas multifocales una superficie de prescripción atórica, de forma que se limitan los defectos respecto a la superficie de prescripción utilizada para la optimización. Dicho documento propone superficies de prescripción cuyas secciones principales son círculos de radio definido por una ecuación determinada, dependiendo del portador los parámetros de la ecuación de la esfera y del cilindro. La solución propuesta en este documento presenta los mismos inconvenientes que los descritos en referencia al documento US-A-5444503.

40 La solicitud de patente WO-A-9719382 describe una lentilla oftálmica progresiva que presenta una cara delantera esférica o con simetría de revolución y una cara trasera obtenida combinando una superficie progresiva que tiene una adición y una superficie tórica que presenta un toro adaptado al astigmatismo del portador. La fórmula de combinación de dichas dos superficies se precisa en el documento y da la altitud de un punto en función de sus coordenadas en una referencia ortonormal, de la esfera media de la superficie progresiva en dicho punto, y de las curvas de la superficie progresiva en las direcciones de la referencia ortonormal.

45 La combinación algebraica de las dos superficies en dicho documento, gracias a la fórmula de combinación facilitada, no da resultados ópticos satisfactorios. Este procedimiento obliga al fabricante a volver a curvar la superficie delantera de las lentillas para tener una calidad óptica satisfactoria, degradando así la estética de la lentilla.

Las patentes de la técnica anterior son simplistas o poco explícitas en lo que respecta a las técnicas de cálculo. Dichas técnicas no parecen fundadas en datos fisiológicos y no utilizan ningún trazado de rayos.

55 La invención propone un procedimiento de determinación de una lentilla tórica, fundado en una ley fisiológica, que permite tener en cuenta la torsión del ojo para una dirección determinada de la mirada. Se hace de forma que para cada dirección de la mirada la potencia y el astigmatismo, tanto en valor como en dirección, sean lo más conformes posible a la prescripción en la referencia vinculada al ojo. El cálculo del astigmatismo en dicha referencia permite tener en cuenta el efecto de torsión del ojo, cuando el portador mira en una dirección excéntrica. El procedimiento utiliza un trazado de rayos, y por lo tanto un procedimiento óptico.

60 La invención propone un procedimiento como el definido en la reivindicación 1, que permite definir una lentilla adaptada a una prescripción tórica, teniendo como objetivo el comportamiento de una lentilla esférica; se denomina en este contexto lentilla esférica a una lentilla adaptada en su prescripción a un portador sin astigmatismo, es decir, que no presente ningún cilindro global.

La invención permite de ese modo obtener unas lentillas como las que se definen en las reivindicaciones 11 y 12 adaptadas a portadores astigmáticos, que presentan mejores propiedades ópticas que las de la técnica anterior.

ES 2 301 232 T3

El procedimiento general propuesto aplicable a cualquier tipo de lentilla permite paliar los inconvenientes debidos al toro en una prescripción tórica clásica, y devolver al portador una percepción equivalente a la de una prescripción esférica.

5 La invención propone asimismo calcular una lentilla única para cada prescripción. Con ayuda de otros parámetros como la forma de la montura, la distancia córnea-cristal o el ángulo pantoscópico, se puede calcular un cristal para cada portador.

En las reivindicaciones subordinadas se definen unos modos de realización dependientes.

10 Otras ventajas y propiedades de la invención se desprenderán de la lectura siguiente de las formas de realización de la invención, ofrecidas a modo de ejemplo, y en referencia a los dibujos que muestran:

fig. 1, un esquema de un sistema óptico de ojo y lentilla;

15 fig. 2 y 3, esquemas que definen una referencia vinculada al ojo;

fig. 4 a 7, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla de la técnica anterior;

20 fig. 8 a 10, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla de referencia;

fig. 11 a 14, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla cuya cara anterior está optimizada según la invención, y con una cara trasera sensiblemente distinta de la de la lentilla de la técnica anterior;

25 fig. 15 a 17, representaciones de las propiedades superficiales de la cara delantera de una lentilla optimizada según la invención

fig. 18 a 20, representaciones de las propiedades superficiales de la cara trasera de una lentilla de partida, en un segundo ejemplo de realización de la invención;

30 fig. 21 a 23, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla de referencia;

fig. 24 a 27, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla cuya cara trasera está optimizada según la invención;

35 fig. 28 a 30, representaciones de las propiedades superficiales de la cara trasera de la lentilla optimizada según la invención

fig. 31 a 34, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla análoga de la técnica anterior;

40 fig. 35 a 38, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla unifocal cuya cara delantera está optimizada según un tercer ejemplo de realización de la invención;

fig. 39 a 41, representaciones de las propiedades superficiales de la cara delantera de la lentilla unifocal optimizada

45 fig. 42 a 45, representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla análoga de la técnica anterior;

De forma sobradamente conocida, en cualquier punto de una superficie esférica se define una esfera media D dada por la fórmula

$$50 \quad D = \frac{n-1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

55 en la que R_1 y R_2 son los radios de curvatura máxima y mínima expresados en metros, y n es el índice del material que constituye la lentilla.

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

$$60 \quad C = (n-1) \left| \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right|$$

Se definen para una lentilla determinada, y por ejemplo para una lentilla multifocal, sus magnitudes ópticas correspondientes, a saber, una potencia y un astigmatismo; la potencia se define como se explica a continuación. El astigmatismo se calcula por ejemplo como se explica en B. Bourdoncle y col., Ray tracing through progressive ophthalmical lenses, 1990 International Lens Design Conference, D.T. Moore ed., Proc. Soc. Photo. Opt. Instrum Eng. Se obtienen así posibles definiciones de la potencia óptica y del astigmatismo de la lentilla, en las condiciones de porte. Se entiende por condiciones de porte la posición de la lentilla con respecto al ojo del portador medio, definida sobre todo por el ángulo pantoscópico, que es de aproximadamente 12°, por la distancia cristal-ojo, la separación pupilar.

ES 2 301 232 T3

No sólo se pueden utilizar esas definiciones sino también determinar la potencia y el astigmatismo a partir de los coeficientes de la descomposición de la superficie de onda. Se obtienen además unas definiciones representativas de las condiciones del portador.

5 La figura 1 muestra un esquema de un sistema óptico de ojo y lentilla, y muestra las definiciones utilizadas en lo sucesivo en la descripción. Se denomina Q' al centro de rotación del ojo, y se define una esfera de cimas, de centro Q' , y de radio q' , tangente a la cara trasera de la lentilla en un punto del eje horizontal. A modo de ejemplo, un valor del radio q' de 27 mm corresponde a un valor corriente y proporciona unos resultados satisfactorios en el momento del porte de las lentillas.

10 Una dirección determinada de la mirada corresponde a un punto J de la esfera de las cimas, y también puede referenciarse, en coordenadas esféricas, mediante dos ángulos α y β . El ángulo α es el ángulo formado entre la recta $Q'J$ y el plano horizontal que pasa por el punto Q' , mientras que el ángulo β es el ángulo formado entre la recta $Q'J$ y el plano vertical que pasa por el punto Q' . Una dirección determinada de la mirada corresponde por lo tanto a un punto J de la esfera de las cimas o a un par (α, β) . La imagen de un punto del espacio objeto, en una dirección de la mirada y a una distancia objeto determinada, se forma entre dos puntos S y T que corresponden a unas distancias focales mínima y máxima, que serían las distancias focales sagital y tangencial en el caso de superficies de revolución. En el eje óptico, la imagen de un punto del espacio objeto en el infinito se forma en el punto F' . La distancia D es la focal del sistema ojo-lentilla.

20 Se denomina ergorama a una función que asocia a cada dirección de la mirada la distancia del punto objeto que se mira habitualmente; para conocer más detalles sobre una definición posible de un ergorama, se podrá consultar el documento FR-A-2753805. Dicho documento describe un ergorama, su definición y su procedimiento de modelización. Un ergorama particular consiste en tomar sólo puntos en el infinito. Para el procedimiento de la invención, se pueden considerar o no puntos en el infinito.

La figura 2 muestra la posición del ojo y de la referencia vinculada al ojo, en la dirección de mirada principal., $\alpha = \beta = 0$, denominada dirección primaria de la mirada. La figura 3 muestra la posición del ojo y de la referencia que está vinculada al mismo en una dirección (α, β) .

30 Se denota como $\{x, y, z\}$ una referencia fija, cuyo centro es Q' ; el eje x pasa por el centro de la lentilla, el eje y es vertical y el eje z horizontal. Se denota como $\{x_m, y_m, z_m\}$ una referencia vinculada al ojo, cuyo centro es Q' , cuyo eje x_m está determinado por la dirección de la mirada, y que coincide con la referencia $\{x, y, z\}$ para la dirección primaria de la mirada. La ley de Listing da las relaciones entre las referencias $\{x, y, z\}$ y $\{x_m, y_m, z_m\}$, ver Legend, Optique Physiologique, tomo 1, Edition de la Revue d'Optique, París 1969.

40 La orientación y el valor del astigmatismo se pueden definir de ese modo en la referencia vinculada al ojo y en una dirección determinada de la mirada así como el valor de la potencia, a partir de la descomposición de la superficie de onda que entra en la pupila del ojo, supuesto radio unidad por simplificación; éstos corresponden al valor y la orientación del astigmatismo, así como a la potencia realmente percibidas por el portador. La superficie de la onda que entra en la pupila del ojo en cada dirección de la mirada puede obtenerse de forma sobradamente conocida por trazado de rayos.

45 De forma sobradamente conocida, una superficie de onda puede descomponerse en una pupila de radio unidad por dos polinomios de Zernike; en el ámbito oftálmico se limita por lo general a los primeros términos de esta representación. Una superficie de onda puede aproximarse por una combinación lineal de polinomios, del tipo:

$$50 \quad z(x_m, y_m, z_m) = \sum_i a_i p_i$$

55 en la que p_i son los polinomios de Zernike, y a_i son coeficientes reales. Para cada dirección de la mirada, la superficie de onda que entra en la pupila del ojo puede por lo tanto expresarse mediante las relaciones siguientes, en las que p_i son los polinomios de Zernike llevados a la referencia vinculada al ojo:

$$p_3 = 2x_m y_m$$

$$60 \quad p_4 = 2(x_m^2 + y_m^2) - 1$$

$$p_5 = x_m^2 - y_m^2$$

$$65 \quad z(x_m, y_m, z_m) = \sum_i a_i p_i$$

ES 2 301 232 T3

La invención propone efectuar dicha descomposición en una referencia vinculada al ojo, por ejemplo la referencia {xm, ym, zm} antes citada. En ese caso, los coeficientes a3, a4 y a5 son representativos de la potencia media y del astigmatismo, por las relaciones siguientes:

5 - El término variable de la potencia media viene dado en ese caso por $4a_4$,

- El módulo del astigmatismo viene dado por $4\sqrt{a_3^2 + a_5^2}$, y

10 - El eje del astigmatismo se deduce de la relación a_3/a_5

También se podrían utilizar otras definiciones de la potencia o del astigmatismo en una referencia vinculada al ojo teniendo en cuenta otros coeficientes de la descomposición, pero éstos presentan la ventaja de ser simples y de poder calcularse fácilmente con ayuda de un programa de trazado de rayos, para una lentilla determinada.

15 La invención propone utilizar esa modelización de las superficies de ondas en cada dirección de la mirada para la definición de una lentilla oftálmica, teniendo en cuenta los datos fisiológicos del portador.

Para ello, se considera la prescripción necesaria para el portador en visión de lejos, en potencia y en astigmatismo, que puede transformarse en coeficientes (A_3, A_4, A_5). Dichos coeficientes describen la superficie de onda que habría que generar para corregir perfectamente al portador en visión de lejos. Expresado en la referencia de Listing vinculada al ojo, el triplete de dichos coeficientes se mantiene constante para todas las direcciones de la mirada.

20 Seguidamente se considera una lentilla de referencia, que es una lentilla esférica, es decir, sin toro o astigmatismo; se puede escoger como lentilla de referencia una lentilla que presente una adición y una potencia media idénticas a las que se han prescrito; una solución en el caso de una lentilla multifocal progresiva consiste en considerar una lentilla esférica del solicitante, del tipo descrito en las solicitudes de patente FR-A-2683642, FR-A-2683643 y FR-A-2699294, y que se vende con la marca Varilux.

30 A esa lentilla de referencia corresponde una superficie de onda en cada dirección de la mirada para un espacio objeto determinado, y para unas condiciones de montaje determinadas; se puede así deducir de ello un triplete (a_3, a_4, a_5) para cada una de las direcciones de la mirada. Se puede considerar como espacio objeto determinado un ergorama del tipo antes citado, o un espacio objeto cualquiera. Para el montaje, se pueden considerar unas condiciones de montaje clásicas, como las descritas en la solicitud de patente antes citada del solicitante; también se podría considerar las condiciones de montaje de un portador determinado.

35 Se puede definir para cada dirección de la mirada una superficie de onda objetivo a partir de distintos tripletes (a_3, a_4, a_5) y de la prescripción (A_3, A_4, A_5) susceptible de ser utilizada para la optimización de una lentilla. En cada dirección de la mirada, la superficie de onda objetivo está representada por un triplete (a'_3, a'_4, a_5), siendo

$$40 \quad 4a'_4 = 4a_4 \quad (1)$$

$$4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2} = 4\sqrt{a_3^2 + a_5^2} \quad (2)$$

45 La primera relación (1) expresa el hecho de que se desea conservar el comportamiento del cristal de referencia respecto a la potencia.

50 La segunda relación representa el astigmatismo "residual", que corresponde a la separación entre el astigmatismo creado por la lentilla y el astigmatismo prescrito al portador, y traduce el hecho de que la presencia del toro no debe degradar los rendimientos de la lentilla de referencia. Se advertirá que la invención se describe en este caso bajo la hipótesis de que el astigmatismo prescrito en visión de lejos es en realidad el astigmatismo que hay que aplicar en cada dirección de la mirada, en la referencia vinculada al ojo. También se podría adaptar perfectamente los valores del astigmatismo y cambiar el triplete (A_3, A_4, A_5) en función de las direcciones de la mirada.

55 La limitación impuesta sobre el astigmatismo residual es que éste sea igual al astigmatismo del cristal de referencia; en el caso ideal, el astigmatismo residual debería ser nulo en cada dirección de la mirada. Resulta que esa limitación ideal no permite siempre obtener una solución física; la limitación impuesta por la relación (2) es menos rigurosa que la limitación ideal, y permite obtener una solución. La elección de la lentilla de referencia propuesta asegura que en las zonas foveales el astigmatismo sea sensiblemente nulo, y por lo tanto:

$$60 \quad 4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2} = 0$$

lo que implica

$$65 \quad a'_3 = A_3 \text{ y}$$

$$a'_5 = A_5$$

ES 2 301 232 T3

Debido a ello, el eje del astigmatismo y su módulo son iguales al eje del astigmatismo prescrito y a su módulo, al menos en la zona foveal.

5 Esas dos relaciones definen en realidad una lentilla objetivo, que puede utilizarse para la optimización de lentillas en un programa de optimización, como se explica más adelante. Dicha lentilla objetivo:

- presenta el comportamiento de la lentilla de referencia respecto a la potencia;
- presenta un astigmatismo residual igual al astigmatismo de la lentilla de referencia.

10

En el ejemplo antes ofrecido, la lentilla de referencia presenta la misma potencia y la misma adición que la lentilla prescrita. También se podría escoger como lentilla de referencia una lentilla de potencia o de adición distinta de la prescrita. En ese caso, la relación (1) se expresaría así:

15

$$a'_4 = m + na_4 \quad (1')$$

siendo m y n dos números reales escogidos de forma que la potencia en visión de lejos y la adición presenten los valores prescritos. Dicho de otro modo, m y n son las soluciones de dos ecuaciones con dos incógnitas, en las direcciones de la mirada de las que se conocía la prescripción, es decir, visión de lejos y visión de cerca.

20

La invención propone utilizar dichos valores objetivos para definir lentillas, por un procedimiento de optimización sobradamente conocido. Se advertirá que la invención se ha descrito a continuación en el caso más complejo de una lentilla progresiva multifocal, y que se aplica igualmente a la optimización de cristales esféricos, que corresponden a un caso particular en el que

25

$$4\sqrt{A_3^2 + A_5^2} = 0$$

30

La invención se aplica también al caso de un cristal unifocal, que corresponde a $4A_4 = \text{constante}$.

Por último, la invención utiliza ventajosamente un programa de trazado de radios para la determinación de la superficie optimizada, en condiciones fisiológicas, y permite optimizar una cara delantera de la lentilla, para una cara trasera determinada, o lo contrario.

35

Se describe a continuación un procedimiento de optimización que puede utilizarse para la puesta en práctica de la invención. El objetivo del procedimiento de optimización, partiendo de una lentilla de partida, es hacer variar los parámetros que definen al menos una de las superficies de una lentilla corriente de forma que se satisfagan lo mejor posible las limitaciones (1) y (2) antes definidas.

40

Para ello se puede considerar una función de mérito, representativa de las diferencias entre la lentilla objeto de optimización y la lentilla objetivo, definida a continuación. Para un conjunto de puntos de la lentilla, o de direcciones de la mirada, indexadas por una variable i, se considera la función de mérito expresada de la forma siguiente:

45

$$\sum_i p_i \sum_j \omega_{ij} (V_{ij} - C_{ij})^2$$

en la que

50

p_i es una ponderación del punto i;

V_{ij} es el valor bien del astigmatismo residual o bien de la potencia en el punto i, para la lentilla corriente;

55

C_{ij} es el valor bien del astigmatismo objetivo, bien de la potencia objetivo;

ω_{ij} es la ponderación de la diferencia de astigmatismo o de potencia en el punto i.

60

Se define pues de esta forma un objetivo y una función de mérito representativa de las diferencias de las propiedades ópticas de una lentilla con respecto a ese objetivo. Una función de mérito de ese tipo es evidentemente positiva y debe minimizarse en el transcurso del proceso de optimización.

65

Para proceder a la optimización, basta entonces con escoger una lentilla de partida y un procedimiento de cálculo que permita hacer disminuir el valor de la función de mérito por iteraciones. Se puede utilizar ventajosamente como procedimiento de cálculo un procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados, o también cualquier otro procedimiento de optimización sobradamente conocido. Utilizando el procedimiento de ajuste de los mínimos cuadrados y una función de mérito del tipo antes definido, basta proceder a una decena de iteraciones para llegar en la mayoría de los casos a una lentilla que presente buenos rendimientos.

ES 2 301 232 T3

Para proceder a la optimización, se puede utilizar ventajosamente para la lentilla objeto de optimización una descomposición de la superficie de onda en la pupila del ojo, según los polinomios de Zernike, de forma que se utilicen directamente las limitaciones en forma de las relaciones (1) y (2) antes citadas. En ese caso, se puede partir de la lentilla de partida y añadir a la superficie correspondiente una capa objeto de optimización, y modificar sólo dicha capa en el proceso de optimización, pudiendo modelizarse a su vez dicha capa mediante polinomios de Zernike.

Se ofrece a continuación un ejemplo de optimización que utiliza ese tipo de descomposición en polinomios de Zernike. La prescripción, como se ha indicado antes, facilita un triplete (A_3, A_4, A_5); la lentilla de referencia facilita, en las direcciones de la mirada correspondiente a los puntos i escogidos, unos tripletes $(a_3, a_4, a_5)_i$.

El objetivo se expresa en ese caso en cada dirección de la mirada, o para cada punto i :

$$C_{i1} = 4a_4$$

$$C_{i2} = 4\sqrt{a_3^2 + a_5^2}$$

para el triplete $(a_3, a_4, a_5)_i$ correspondiente.

La lentilla corriente presenta en la dirección de la mirada correspondiente al punto i un valor corriente de potencia de

$$V_{i1} = 4a'_4$$

y se utiliza para V_{i2} el astigmatismo residual, como se explica anteriormente:

$$V_{i2} = 4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2}$$

Se hacen variar los valores de a_3, a_4 y a_5 en los distintos puntos i para hacer disminuir la función de mérito, como se ha explicado antes.

Tras el final de la optimización, se obtiene un mapa de altitud de la superficie optimizada, que define la superficie que debe realizarse.

Los ejemplos siguientes ofrecen varios modos de realización de la invención.

Ejemplo 1

En este ejemplo se optimiza la superficie delantera de una lentilla, cuya superficie trasera es una superficie tórica del tipo de las utilizadas según la técnica anterior, pero que no corresponde necesariamente a la prescripción tórica del portador. Se pretende obtener una lentilla multifocal para la prescripción siguiente:

- potencia en visión de lejos: 3 dioptrías;

- astigmatismo: 2 dioptrías;

- eje del astigmatismo: 135°;

- adición: 2 dioptrías;

- índice de refracción igual a 1,502

Las figuras 4 a 7 muestran representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla de la técnica anterior; la figura 4 muestra la potencia según el meridiano, con la definición de potencia dada anteriormente. Las abscisas están graduadas en dioptrías y las ordenadas dan la altura en grados en el cristal; el trazo continuo muestra la potencia y los trazos discontinuos las cantidades $1/JT$ y $1/JS$ definidas en la figura 1, para las distancias objeto correspondientes a un ergorama representativo de las distancias de los puntos objetos en cada dirección de la mirada para asegurar al portador un confort óptico. La figura 5 es una representación de las líneas de equipotencia, es decir, líneas formadas por los puntos que tienen un valor de potencia idéntico. Los ejes de abscisas y de ordenadas dan respectivamente los ángulos β y α . La figura 6 muestra, con los mismos ejes, las líneas de igual astigmatismo oblicuo. La figura 7 muestra el astigmatismo residual, tal y como se ha definido antes.

Esta lentilla es una lentilla de la técnica anterior, en la que la cara trasera lleva el toro, mientras que la cara delantera es una superficie multifocal progresiva como las descritas en las patentes del solicitante. Esta lentilla presenta una

ES 2 301 232 T3

base de 6,20 dioptrías, una potencia en visión de lejos de 2,97 dioptrías, una adición de potencia de 1,97 dioptrías y un astigmatismo de 2,11 dioptrías con un eje de 135°.

5 Las figuras 8 a 10 muestran representaciones de las propiedades ópticas de la lentilla de referencia utilizada para la optimización; esta lentilla es una lentilla esférica, de equipotencia de 2,97 dioptrías en visión de lejos, de igual adición de 1,98 dioptrías y sin astigmatismo. Las figuras 8 a 10 muestran unas representaciones análogas a las de las figuras 4 a 6, con las mismas convenciones.

10 Las figuras 11 a 14 muestran unas representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla optimizada según la invención; las figuras 11 a 14 muestran también unas representaciones análogas a las de las figuras 4 a 7, con las mismas convenciones. Como se ha indicado antes, se ha optimizado la cara delantera, utilizando la lentilla de partida de igual cara delantera que la lentilla de la técnica anterior, pero con una superficie trasera tórica aproximada, y la lentilla de las figuras 8 a 10 como lentilla de referencia. Las figuras muestran que las propiedades ópticas de la lentilla optimizada según la invención son muy similares a las de la lentilla de referencia. Se han evitado así las aberraciones
15 introducidas por la cara trasera tórica de la lentilla de la técnica anterior. La lentilla presenta una base de 6,63 dioptrías, una potencia en visión de lejos de 3,02 dioptrías, una adición de potencia de 1,94 dioptrías y un astigmatismo de 1,99 dioptrías de eje 135°.

20 Las figuras 15 a 17 muestran representaciones de las propiedades superficiales de la cara delantera de la lentilla de las figuras 11 a 14. La figura 15 muestra la potencia superficial o esfera media D , igual a la que se ha definido antes: el trazo continuo da la esfera media y los trazos discontinuos los valores $C_1 = (n-1)/R_1$ y $C_2 = (n-1)/R_2$, siendo R_1 y R_2 los radios principales de curva. Las abscisas están graduadas en dioptrías y las ordenadas dan la altura de la cara delantera en mm. La esfera media en el punto de referencia de visión de lejos es de 6,63 dioptrías, para un cilindro de 0,63 dioptrías; la esfera media en el punto de referencia de visión de cerca es de 8,63 dioptrías, para un cilindro de
25 0,64 dioptrías. Se constata de esa única representación que la invención conduce a un reparto del cilindro o del toro sobre las dos caras de la lentilla optimizada.

La figura 16 muestra las líneas de isosfera media de la cara delantera de la lentilla; los ejes están graduados en mm; la figura 17 muestra las líneas de isocilindro, con los mismos ejes. Esas figuras muestran que la cara delantera de
30 la lentilla de la invención es muy distinta de las caras delanteras de las lentillas clásicas.

La invención, como la puesta en práctica en este ejemplo, muestra las aberraciones inducidas por los procedimientos de la técnica anterior, y muestra cómo la invención, por la consideración de los datos fisiológicos del portador, y gracias a cálculos ópticos, permite reducir esas aberraciones. Se corrigen así las aberraciones inducidas por el toro en
35 las lentillas de la técnica anterior, y se da al portador una visión foveal equivalente a la de un portador emétropo de la misma adición. Se muestra asimismo que la parte tórica que falta en la lentilla de partida se transfiere a la lentilla delantera.

40 Ejemplo 2

En este ejemplo, la invención se aplica a la optimización de la cara trasera de una lentilla multifocal progresiva, para la que el toro y la degeneración se encuentran en la cara trasera de la lentilla.

45 La prescripción es la siguiente:

- potencia en visión de lejos: 3 dioptrías;

50 - astigmatismo: 2 dioptrías;

- eje del astigmatismo: 45°;

- adición: 2 dioptrías;

55 - índice de refracción 1.502 dioptrías.

La cara delantera de la lentilla es esférica.

60 Las figuras 18 a 20 muestran, con las mismas convenciones que las figuras 15 a 17, representaciones de las propiedades superficiales de la cara trasera de la lentilla de partida; la cara delantera es esférica; la cara trasera está calculada de forma aproximada mediante la suma de las altitudes de una superficie multifocal progresiva clásica y de una superficie tórica, teniendo en cuenta la cara delantera. Más concretamente, se consideran las tres superficies siguientes.

65 S_1 : superficie progresiva de adición 2,00 dioptrías, y de base 6,20 dioptrías;

S_2 : esfera de radio idéntico al radio en visión de lejos de la superficie progresiva clásica;

ES 2 301 232 T3

S_3 : superficie tórica que asegura un astigmatismo de 2,00 dioptrías y una potencia de 3,00 dioptrías para la cara delantera en cuestión.

La altitud de un punto de la cara trasera de partida viene dada por

$$z = -z_1 + z_2 + z_3$$

en la que z_1 , z_2 y z_3 son las altitudes respectivas de tres superficies S_1 , S_2 y S_3 ; los términos $-z_1 + z_2$ definen aproximadamente una superficie plana en visión de lejos, y degresiva en visión de cerca; el término z_3 añade el efecto tórico esperado. Se obtiene de esa forma una cara trasera de esfera media en visión de lejos de 3,34 dioptrías, con degresión de 2,18 dioptrías. En el punto de referencia de visión de lejos, la cara trasera presenta un cilindro de 1,99 dioptrías, y en el punto de referencia de visión de cerca, presenta un cilindro de 2,07 dioptrías. La cara delantera de la lentilla presenta una superficie esférica de radio de 6,20 dioptrías.

Las figuras 21 a 23 muestran, con las mismas convenciones que las figuras 8 a 10, representaciones de las propiedades ópticas de la lentilla de referencia. Se utiliza como lentilla de referencia una lentilla que presenta una cara delantera progresiva clásica y una cara trasera esférica; la lentilla presenta una potencia nula en visión de lejos, una adición de potencia de 2,19 dioptrías y una base de 6,20 dioptrías, como se ha indicado anteriormente.

Las figuras 24 a 27 muestran representaciones de las propiedades ópticas de la lentilla optimizada según la invención, con las mismas convenciones que las figuras 11 a 14. La lentilla optimizada presenta una potencia en el punto de referencia de visión de de lejos de 2,98 dioptrías, un astigmatismo en le mismo punto de 1,94 dioptrías, una potencia en el punto de referencia de visión de cerca de 5,12 dioptrías, y un astigmatismo en el mismo punto de 1,97 dioptrías. Dicha lentilla se obtiene añadiendo una potencia de tres dioptrías a la lentilla de referencia utilizada.

Las figuras 28 a 30 muestran representaciones de las propiedades superficiales de la cara trasera de la lentilla optimizada según la invención, con las mismas convenciones que las figuras 15 a 17. La cara trasera presenta en el punto de control de la visión de lejos una esfera media de 3,34 dioptrías, y un cilindro de 1,79 dioptrías. En el punto de referencia de visión de cerca, la cara trasera presenta una esfera media de 1,49 dioptrías y un cilindro de 1,59 dioptrías. La degresión de la cara trasera es de 1,85 dioptrías.

Las figuras 31 a 34 muestran a modo de comparación representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla de la técnica anterior. Las convenciones son las mismas que las de las figuras 24 a 27. Se constata de nuevo, como en el ejemplo de la figura 11, que la lentilla optimizada según la invención presenta menores aberraciones que las de la lentilla de la técnica anterior. Por otra parte, el astigmatismo residual, tal y como lo percibe el portador, es similar al del astigmatismo de la lentilla de referencia.

40 Ejemplo 3

En este ejemplo se optimiza la superficie delantera de una lentilla unifocal cuya cara trasera comporta un toro clásico.

La prescripción es la siguiente:

- esfera: 0 dioptrías;

- cilindro: 2,75 dioptrías;

- eje del cilindro: 90°;

- índice de refracción 1,604.

La lentilla de partida presenta una cara delantera esférica cuya base es de 4,58 dioptrías. La cara trasera es la que corresponde a la prescripción según la técnica anterior.

En este caso muy simple, los objetivos de astigmatismo resultantes se suponen nulos y los objetivos de potencia son todos idénticos e iguales a 1.375 dioptrías.

Las figuras 35 a 38 muestran, con las mismas convenciones que las figuras 4 a 7, las propiedades ópticas de la lentilla optimizada según la invención. En el punto de control, la potencia es de 1,39 dioptrías, y el astigmatismo de 2,74 dioptrías.

Las figuras 39 a 41 muestran, con las mismas convenciones que las figuras 28 a 30, representaciones de las propiedades superficiales de la cara delantera de la lentilla unifocal optimizada. La esfera media en el punto de control es de 4,58 dioptrías, y el cilindro de 0,02 dioptrías.

ES 2 301 232 T3

A modo de comparación, las figuras 42 a 45 muestran unas representaciones de las propiedades ópticas de una lentilla esférica de la técnica anterior para la misma prescripción. Las convenciones de las representaciones son las mismas que las de las figuras 35 a 38.

5 Se constata de nuevo que la invención permite reducir las aberraciones y obtener una lentilla para la que el astigmatismo residual percibido por el portador es sensiblemente nulo.

10 La invención permite, en el caso de las lentillas multifocales o unifocales, obtener unas propiedades ópticas similares a las de las mejores lentillas de la técnica anterior, pese a la prescripción de un astigmatismo. El procedimiento de la invención asegura unos resultados mejores que la solución propuesta en el documento WO-A-9719382: de hecho, permite tener en cuenta las propiedades ópticas de la lentilla, tal y como el portador la percibe en realidad, y no sólo un cálculo algebraico necesariamente aproximado.

15 Queda claro que en todos estos ejemplos se puede intercambiar fácilmente el papel de las superficies delantera y trasera. También se puede repartir indistintamente la potencia, el toro y la progresión en una u otra de las dos superficies de la lentilla, o parcialmente en una superficie y la otra. En el caso de las lentillas progresivas, se puede utilizar como objetivo una lentilla plana de la misma adición, como en el ejemplo 1; también se podría utilizar una lentilla progresiva que presente una potencia equivalente a la potencia prescrita.

20 Por supuesto, es posible utilizar otros procedimientos de optimización y otras representaciones de las superficies además del procedimiento y las representaciones propuestas en términos de superficies de ondas descompuestas en polinomios de Zernike.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 301 232 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de determinación por optimización de una lentilla oftálmica para un portador al que se ha prescrito un astigmatismo, que comprende las etapas de:

- elección de una lentilla de partida y definición de una lentilla corriente igual a la lentilla de partida.
- elección de una lentilla de referencia adaptada a un portador sin prescripción de astigmatismo.
- 10 - modificación de la lentilla corriente, de forma que se minimicen en una pluralidad de direcciones de la mirada y en una referencia vinculada al ojo:
- la diferencia entre la potencia de la lentilla corriente y la potencia de la lentilla de referencia;
- 15 - la diferencia entre el astigmatismo residual y el astigmatismo de la lentilla de referencia;

20 definiéndose el astigmatismo residual como la diferencia entre el astigmatismo prescrito y el astigmatismo generado por la lentilla corriente a la vez en amplitud y en eje en la referencia vinculada al ojo y para cada dirección de la mirada.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la potencia, el astigmatismo y el astigmatismo residual se calculan por trazado de rayos.

25 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que el astigmatismo prescrito y representado por su descomposición (A_3, A_4, A_5) en polinomios de Zernike, y en el que, en cada dirección de la mirada, la superficie de onda generada por la lentilla corriente está representada por su descomposición (a'_3, a'_4, a'_5) en polinomios de Zernike, y en el que la amplitud del astigmatismo residual en dicha dirección de la mirada es igual a $4 \sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2}$.

30 4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2, ó 3, en el que en cada dirección de la mirada, la superficie de onda generada por la lentilla corriente está representada por su descomposición (a'_3, a'_4, a'_5) en polinomios de Zernike, y en el que la potencia en dicha dirección de la mirada es igual a $4a'_4$.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la lentilla oftálmica es una lentilla progresiva.

35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la lentilla oftálmica es una lentilla dedicada a la visión de cerca.

40 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la orientación de la referencia vinculada al ojo en una dirección de la mirada (α, β) se deduce de la de la referencia en la dirección $\alpha = \beta = 0$ por medio de la ley de Listing.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la lentilla de referencia es una lentilla esférica.

45 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8 en el que la etapa de modificación se itera de forma que se hace disminuir dichas diferencias.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la etapa de modificación comprende la modificación de sólo una de las superficies de la lentilla corriente.

50 11. Una lentilla obtenida por el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10.

12. Una lentilla según la reivindicación 11, de la cual una superficie es tórica o esférica.

55

60

65

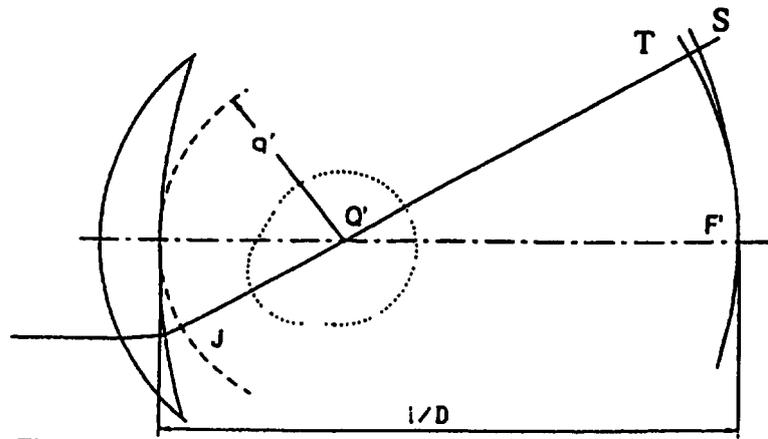


Figura 1

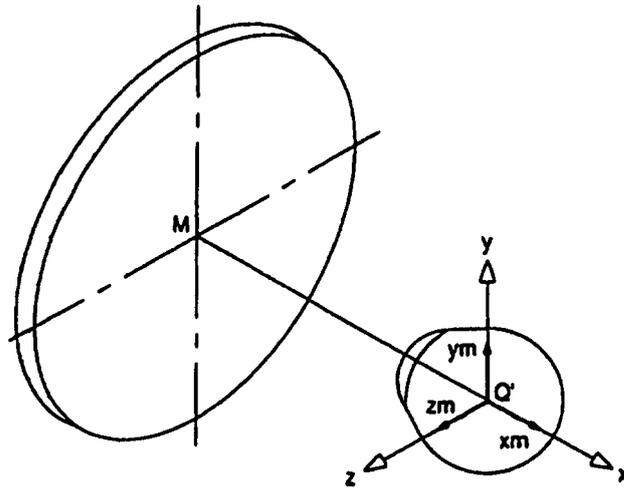


Figura 2

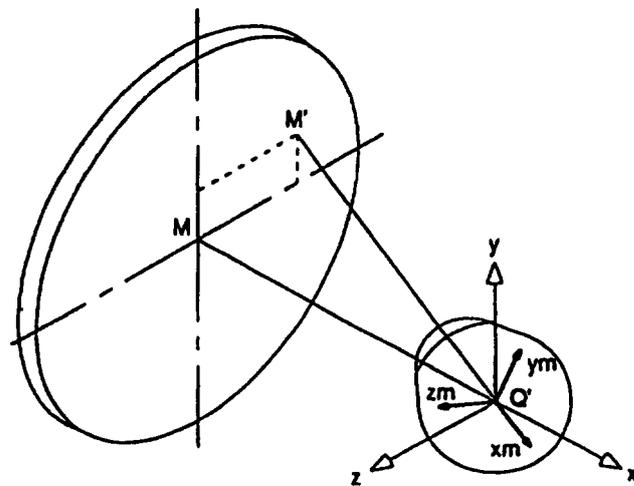


Figura 3

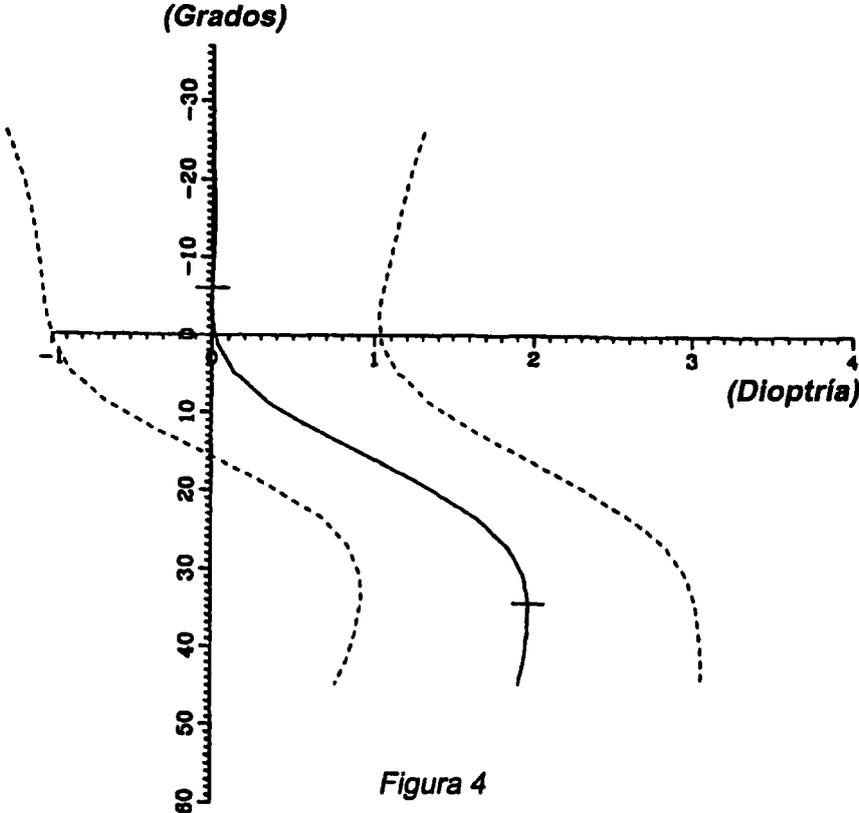


Figura 4

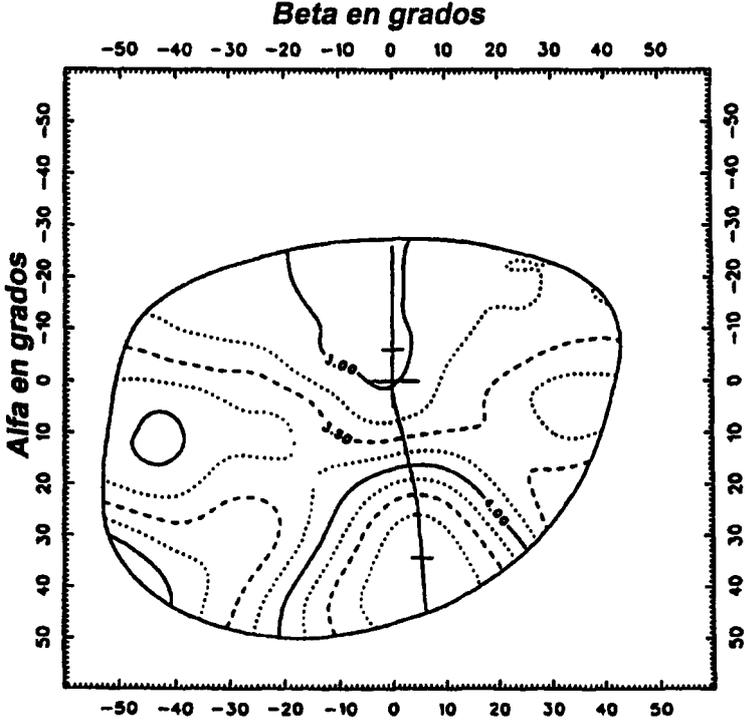


Figura 5

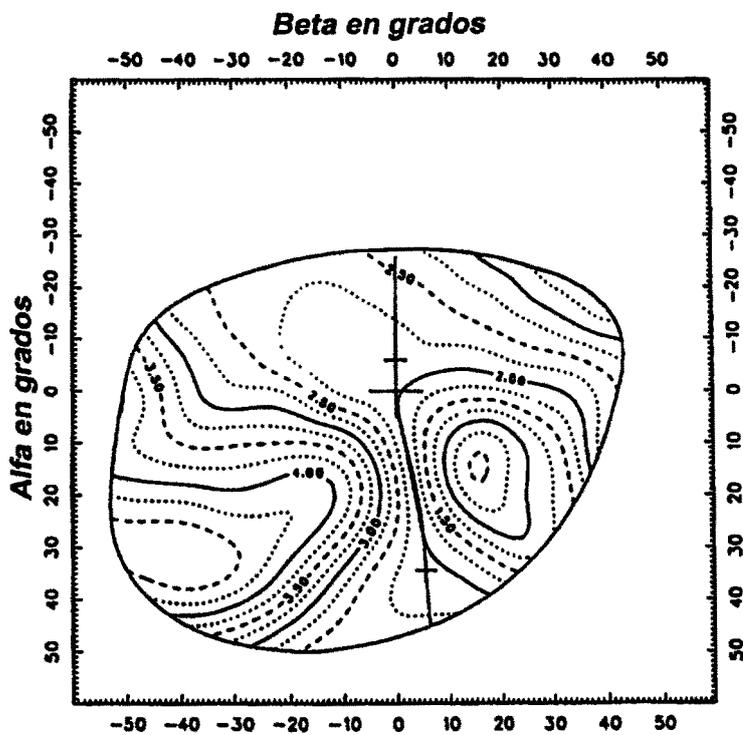


Figura 6

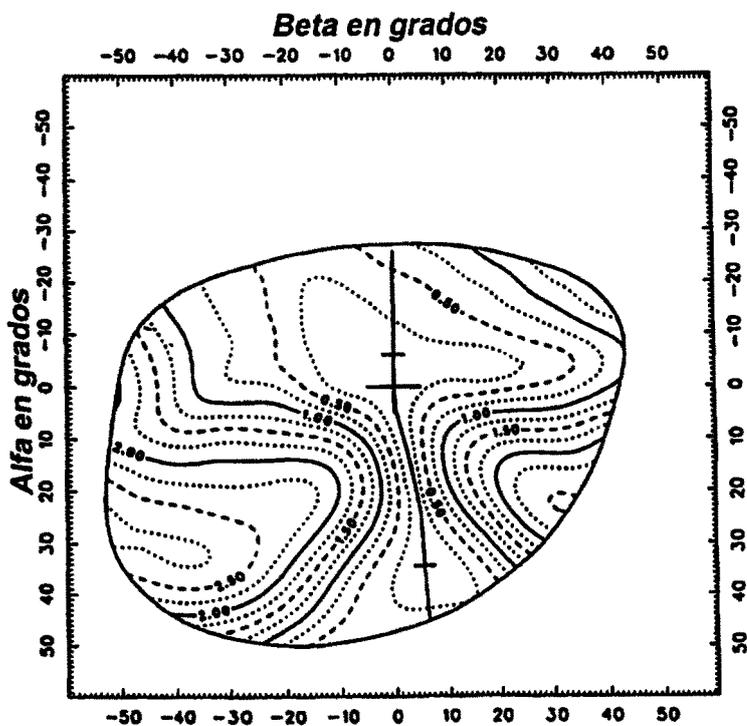


Figura 7

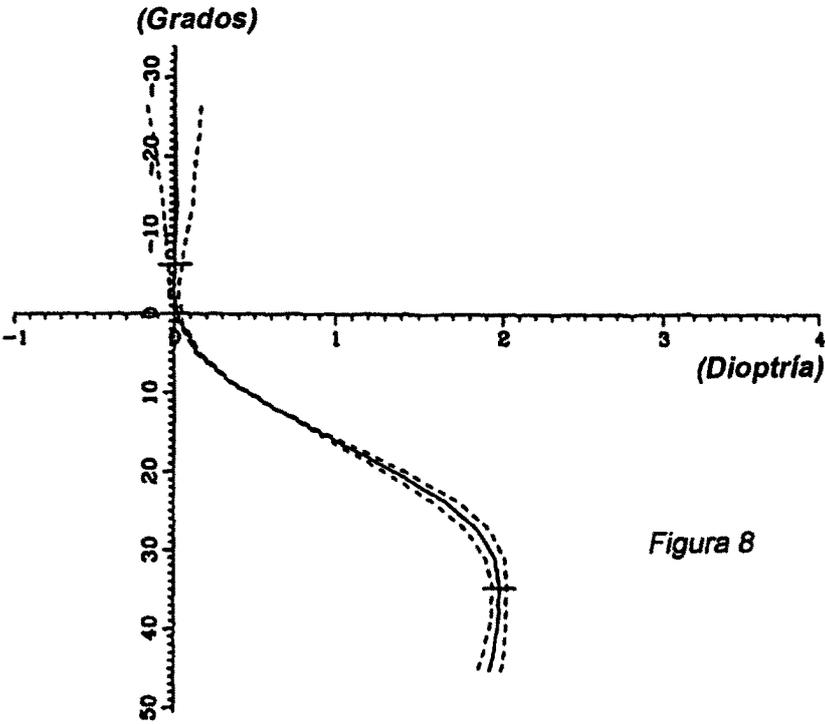


Figura 8

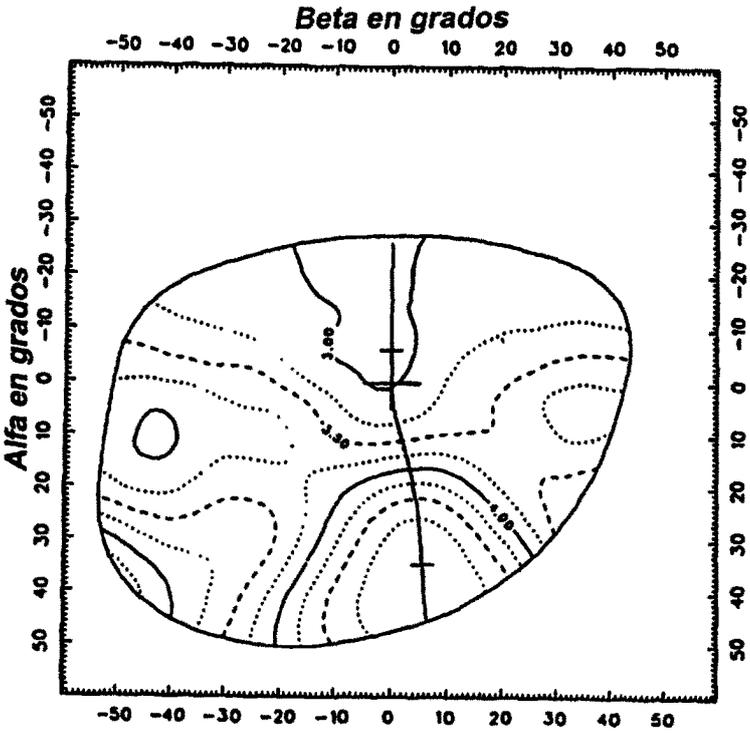


Figura 9

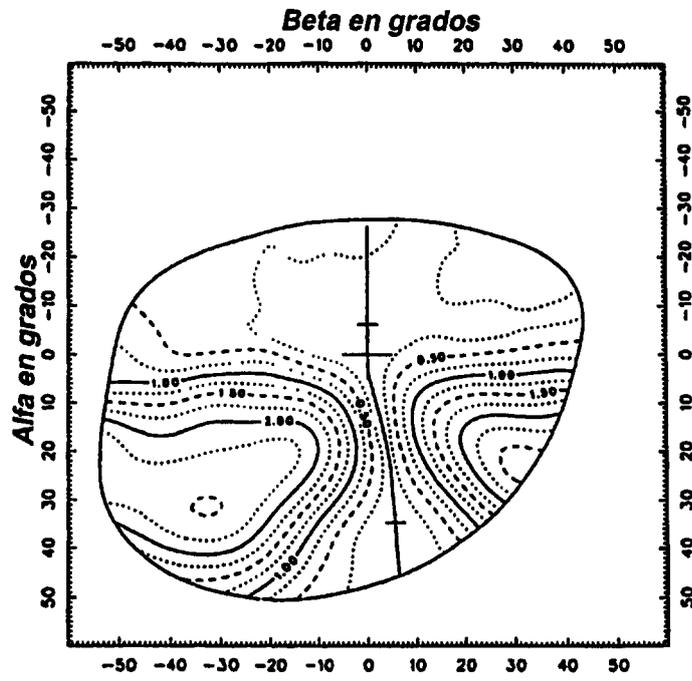


Figura 10

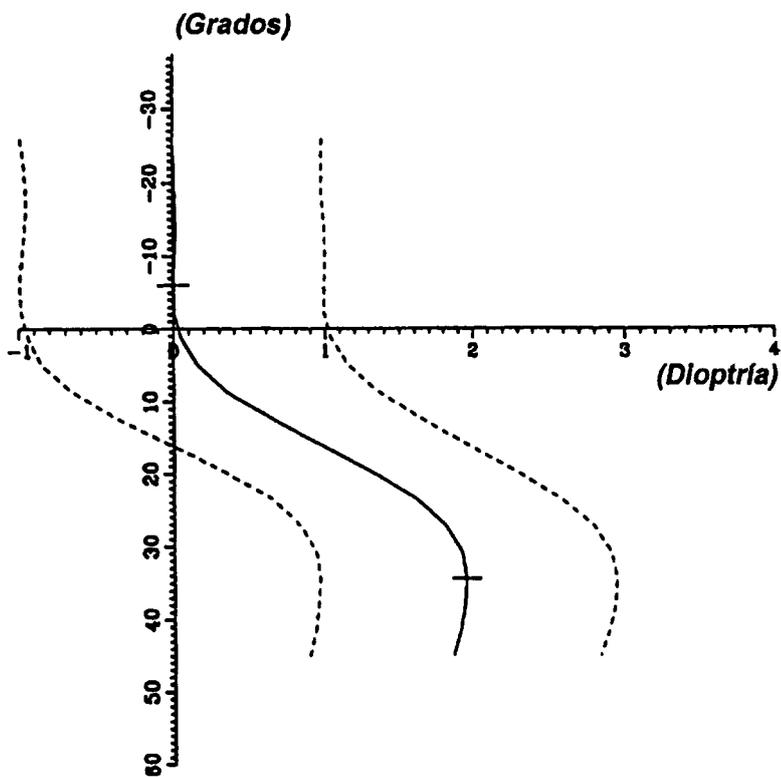


Figura 11

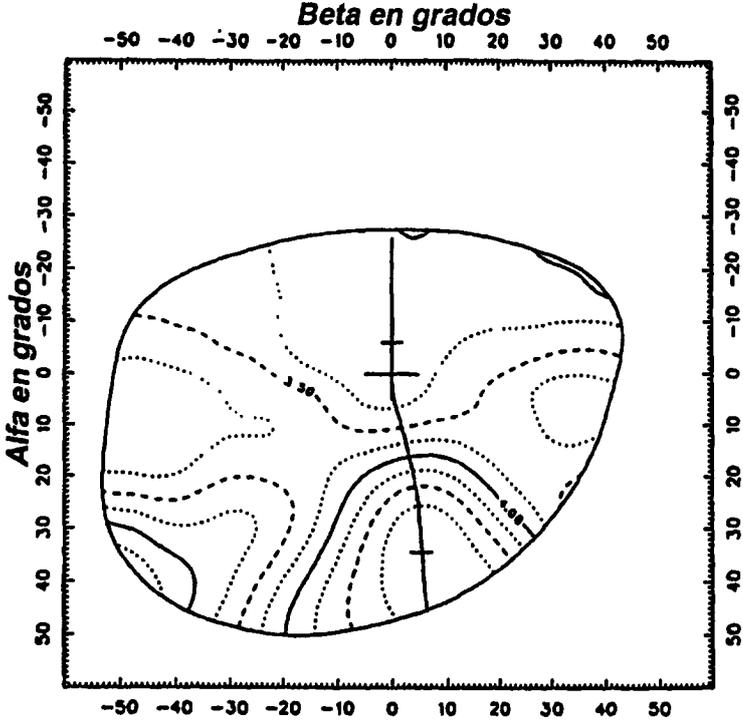


Figura 12

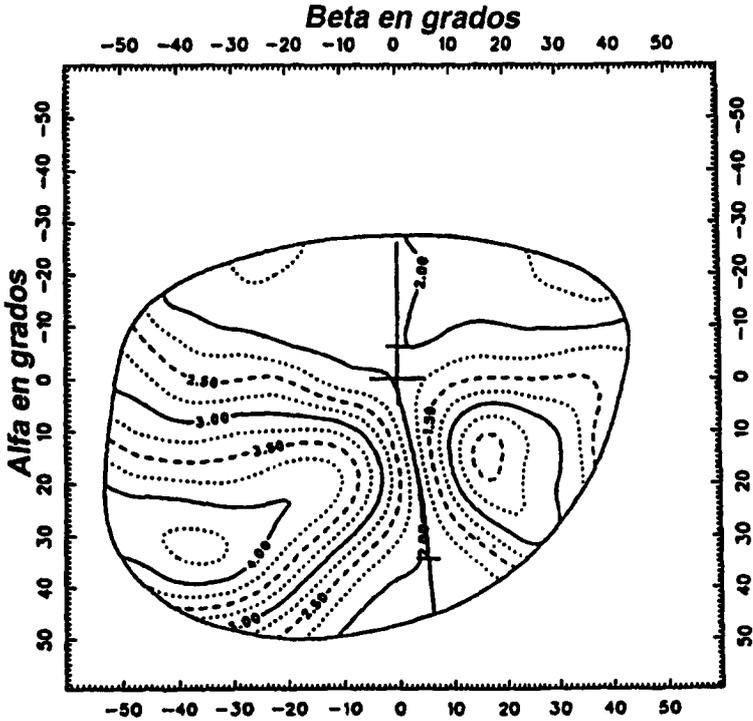


Figura 13

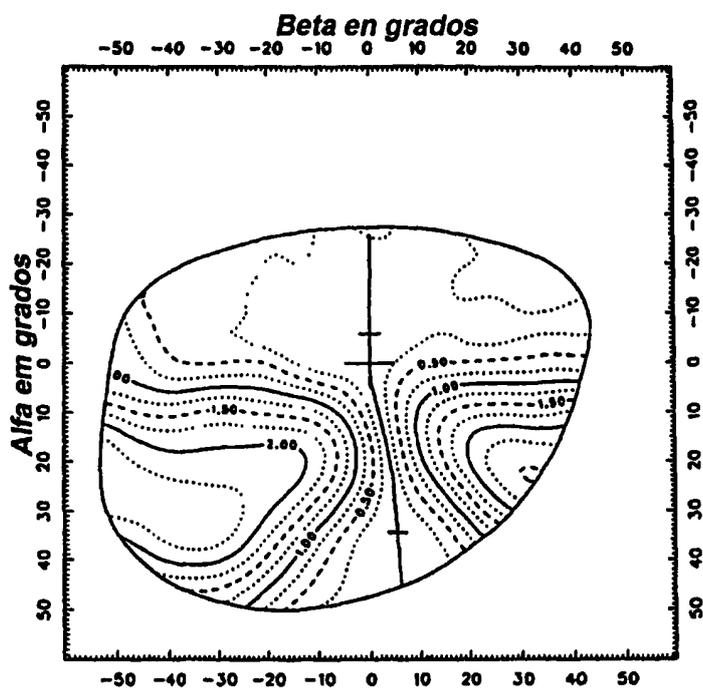


Figura 14

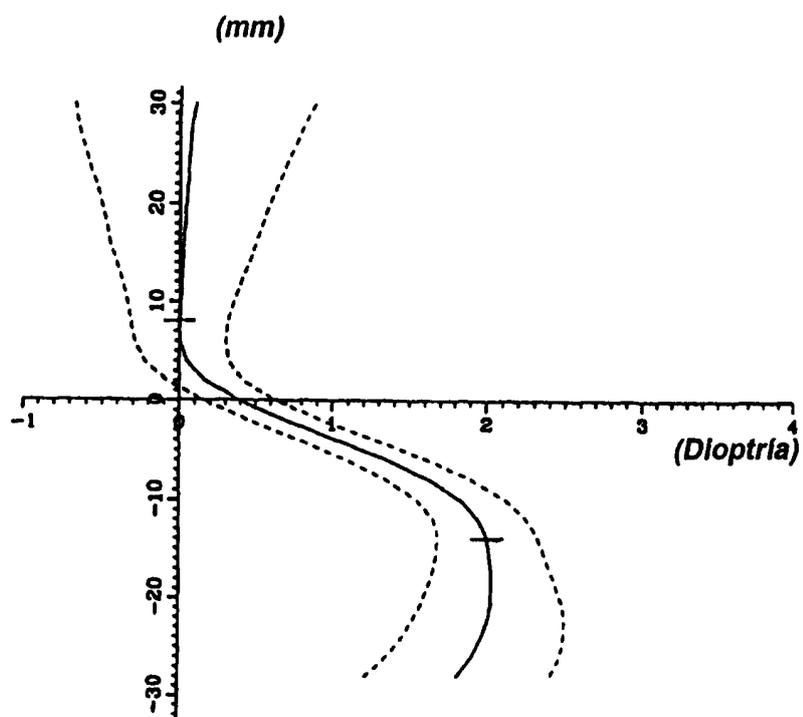


Figura 15

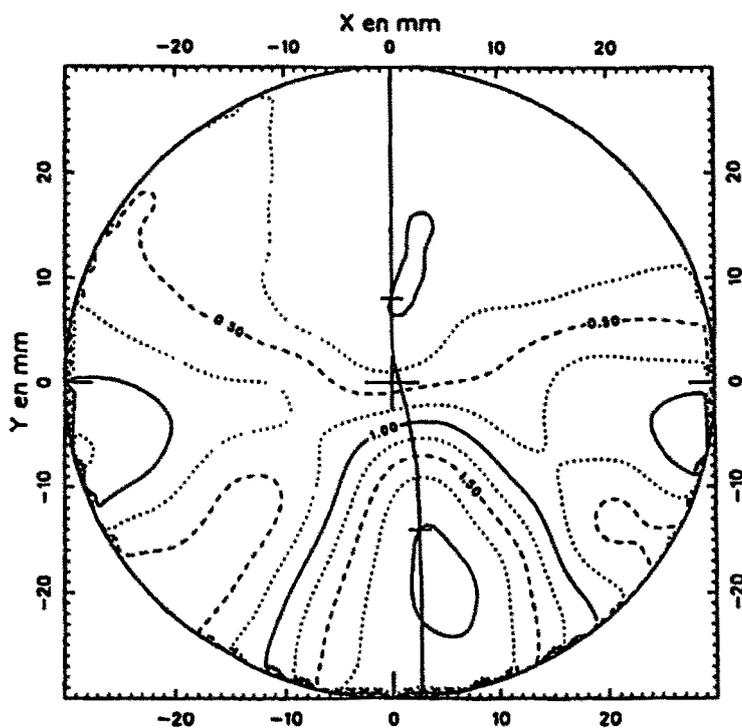


Figura 16

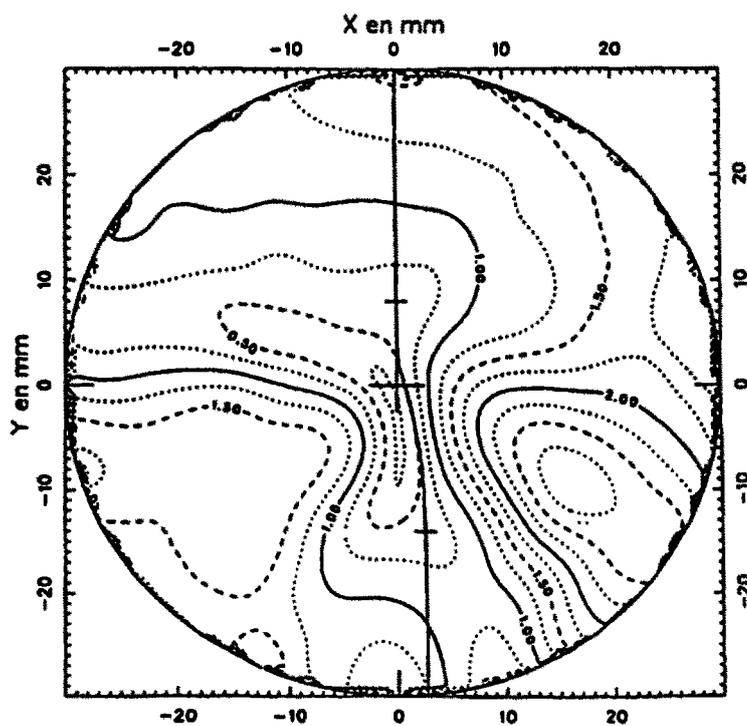


Figura 17

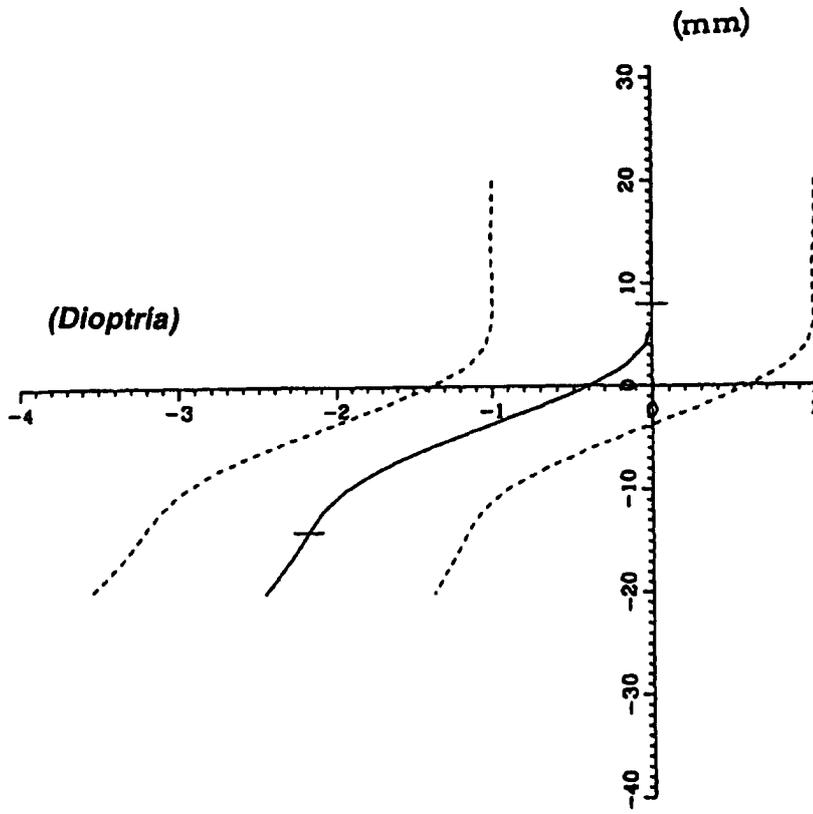


Figura 18

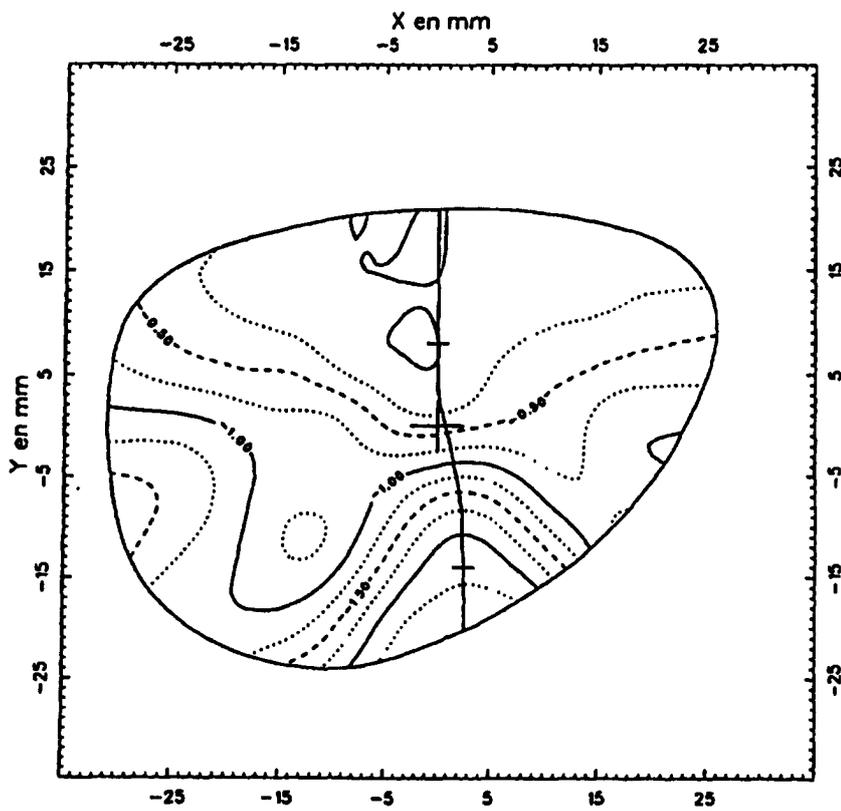


Figura 19

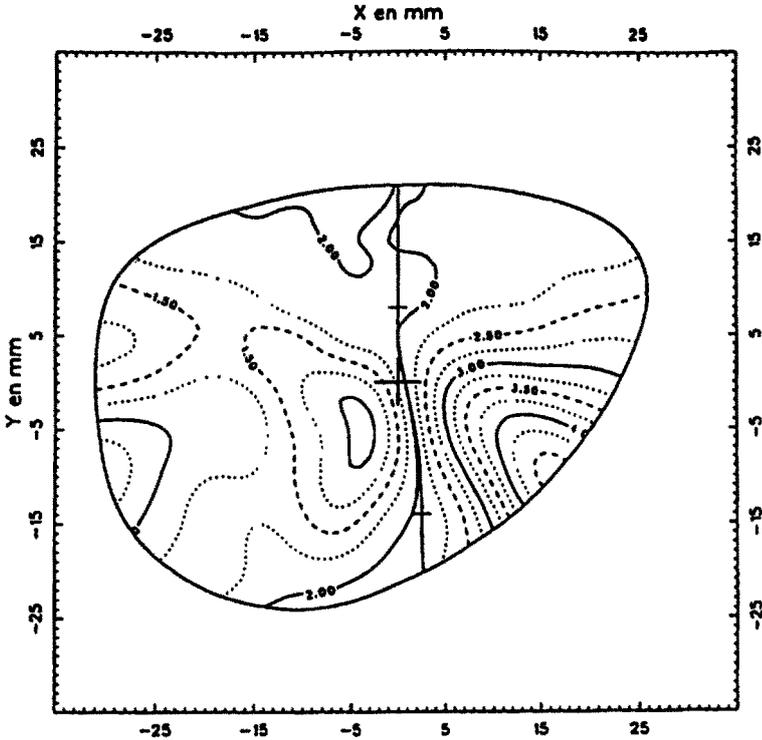


Figura 20

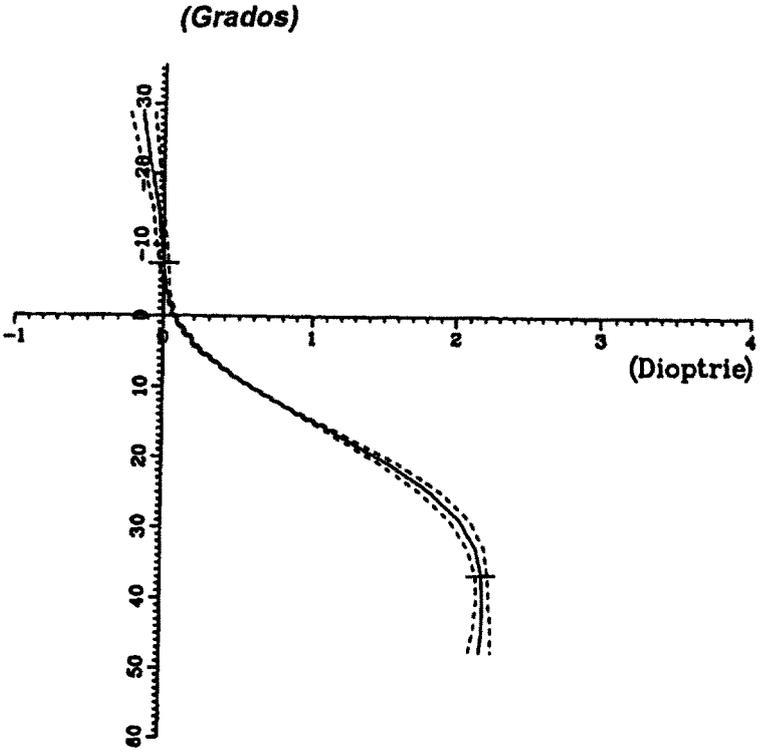


Figura 21

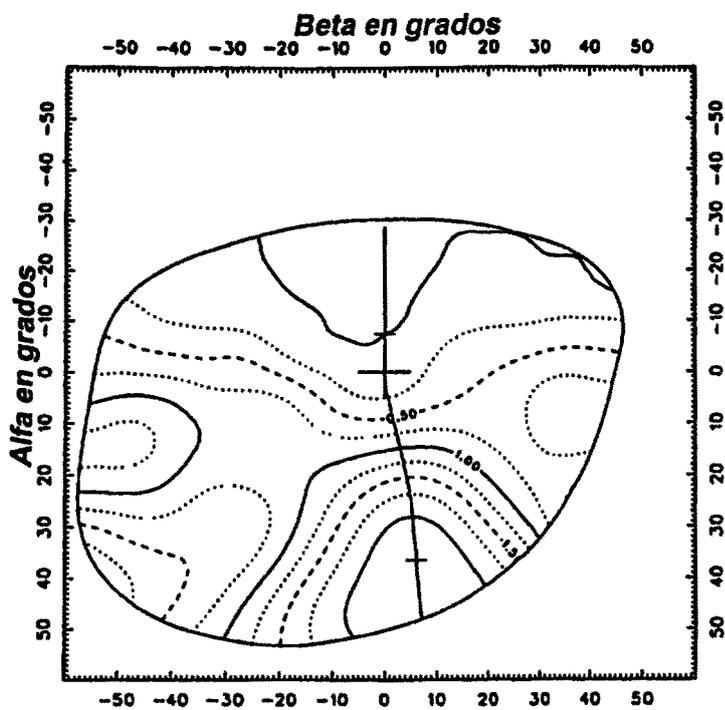


Figura 22

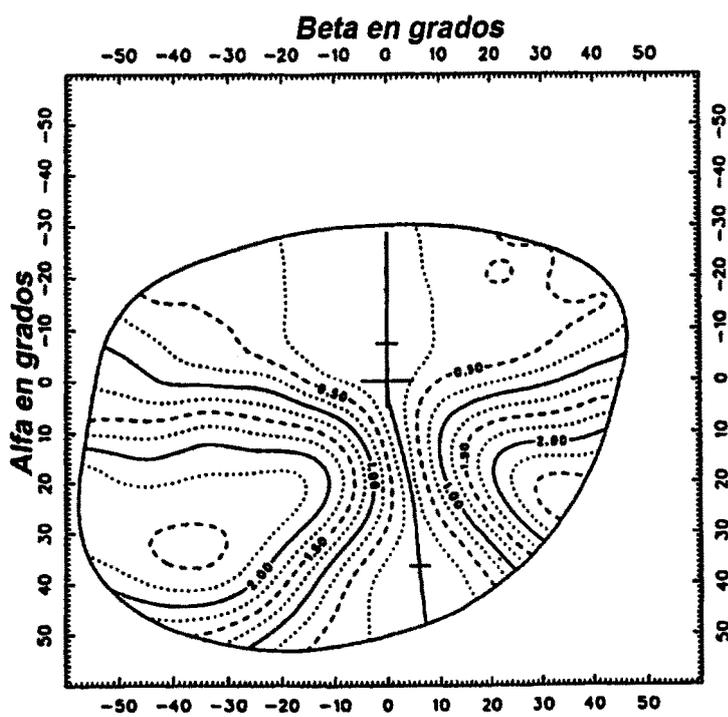


Figura 23

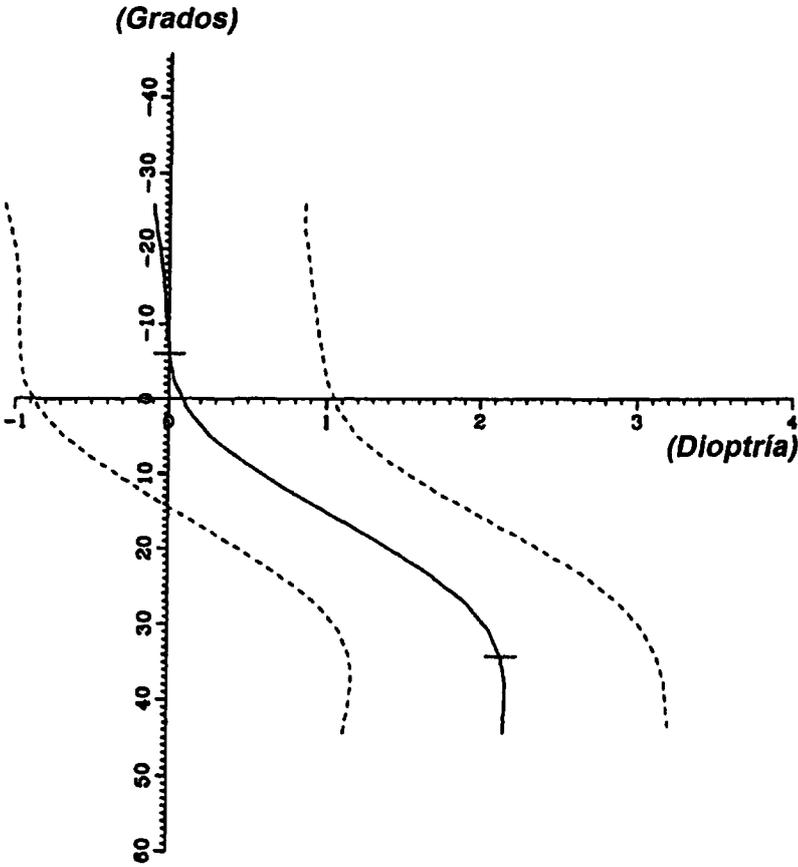


Figura 24

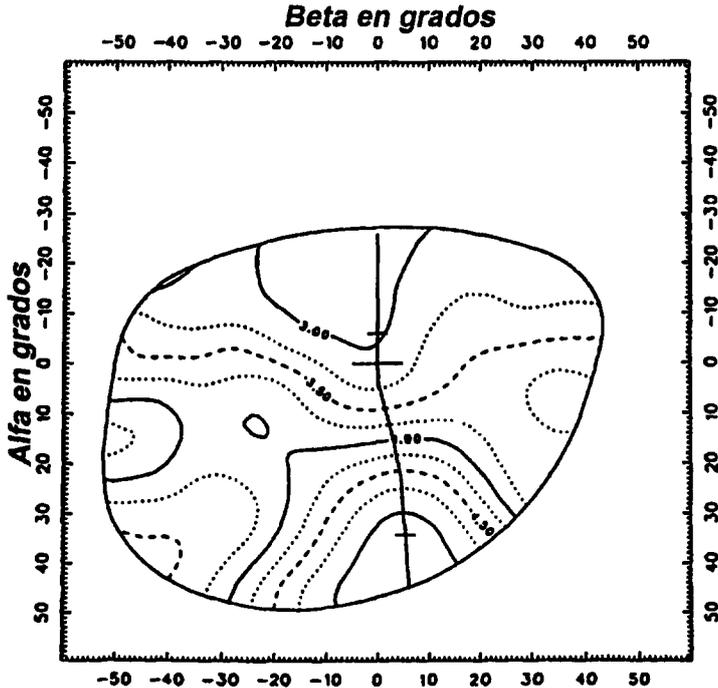


Figura 25

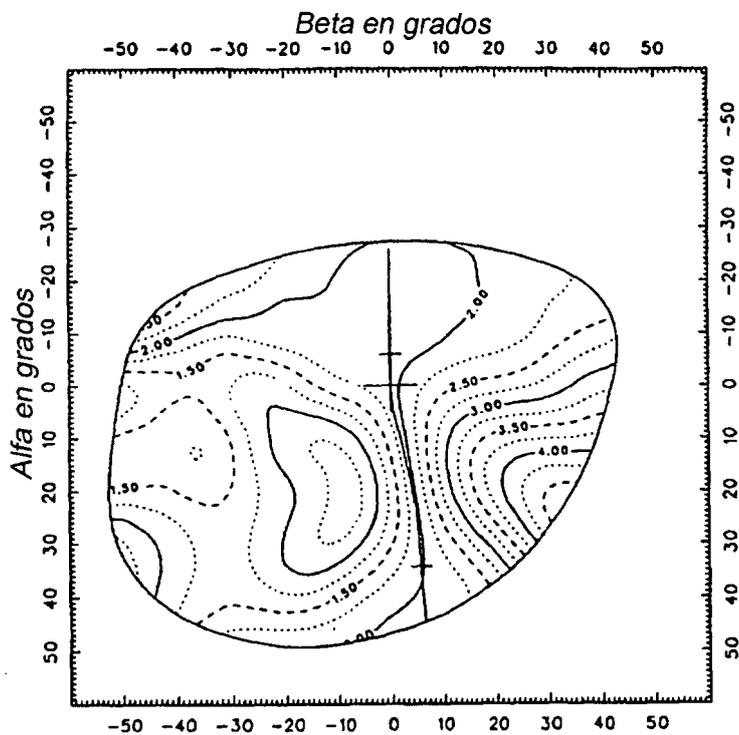


Figura 26

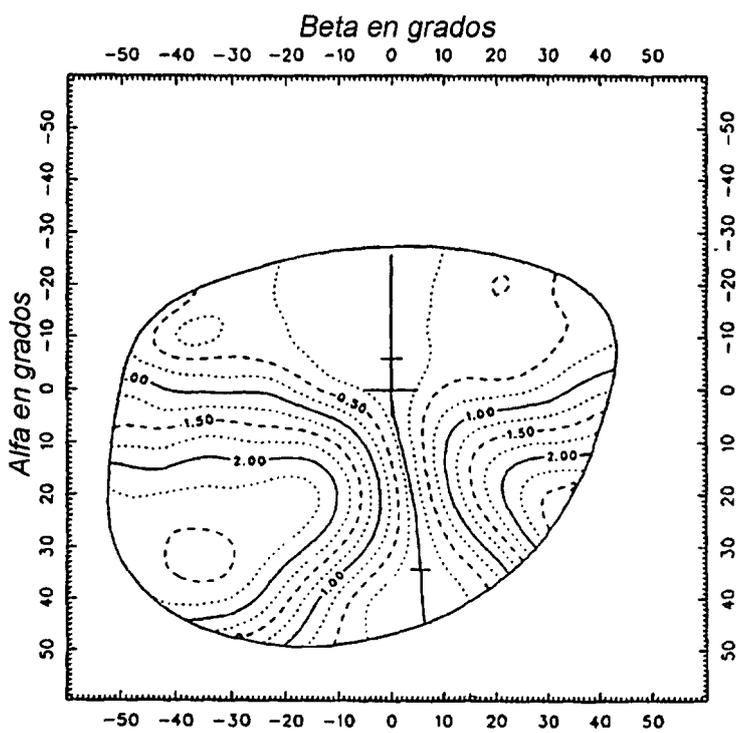


Figura 27

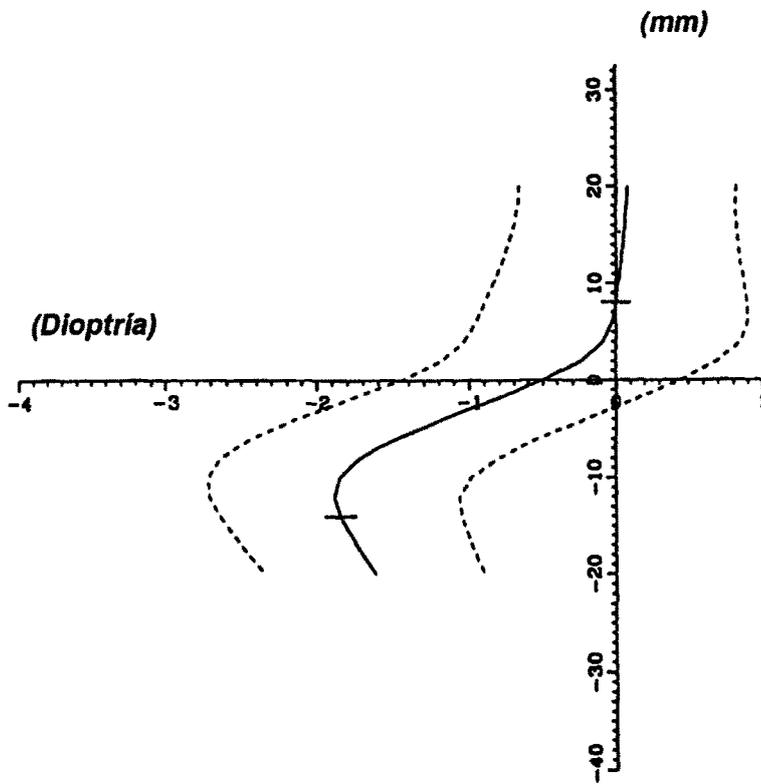


Figura 28

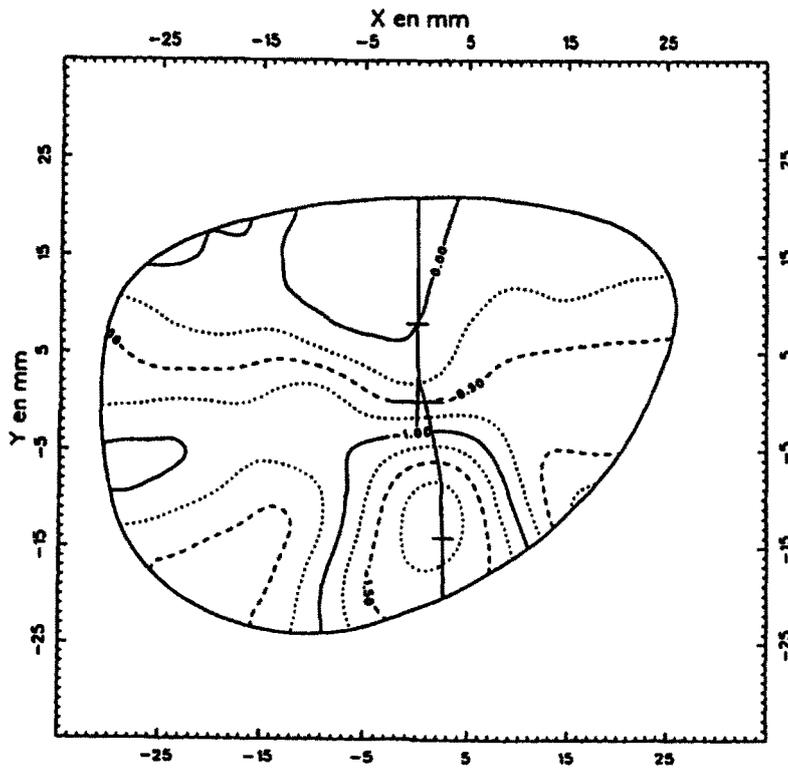


Figura 29

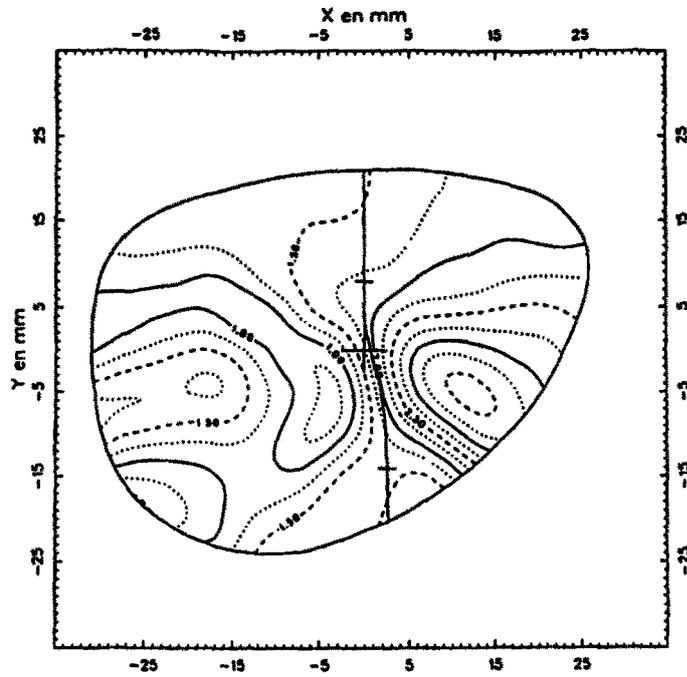


Figura 30

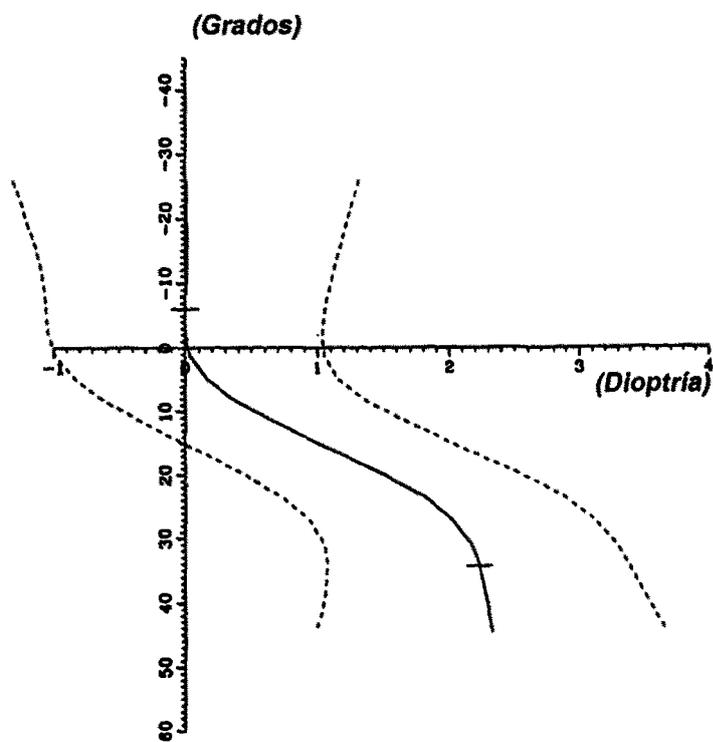


Figura 31

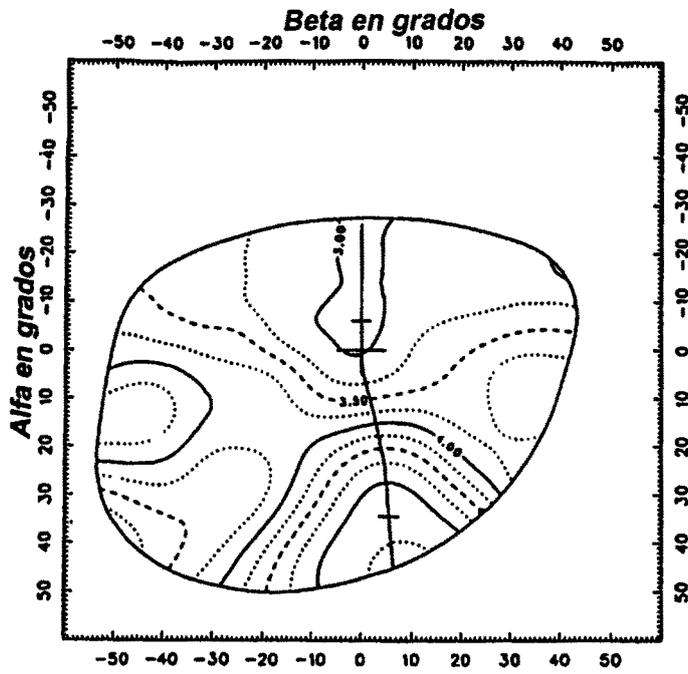


Figura 32

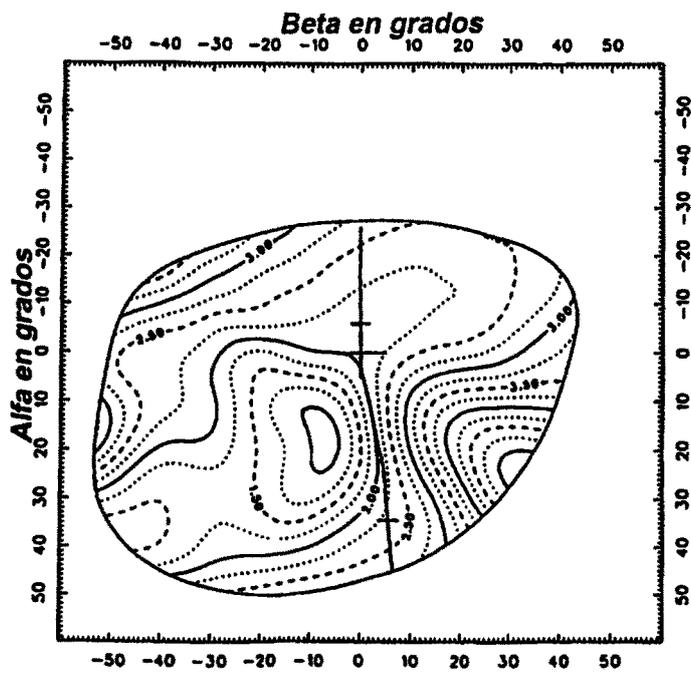


Figura 33

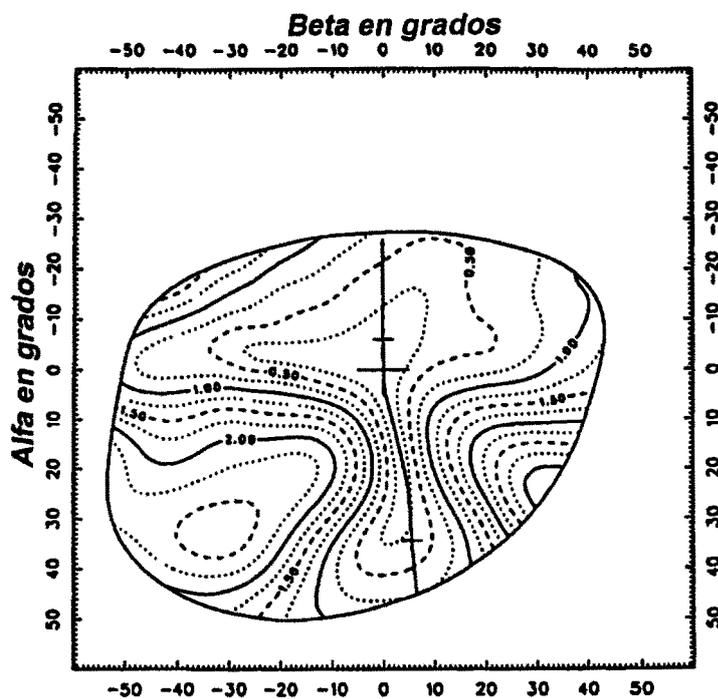


Figura 34

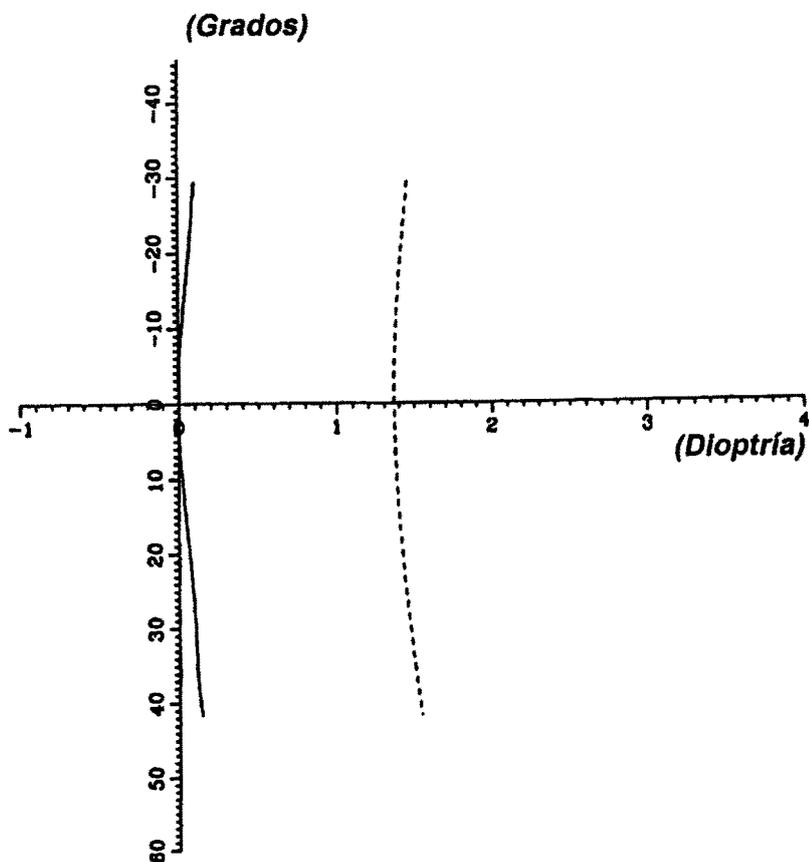


Figura 35

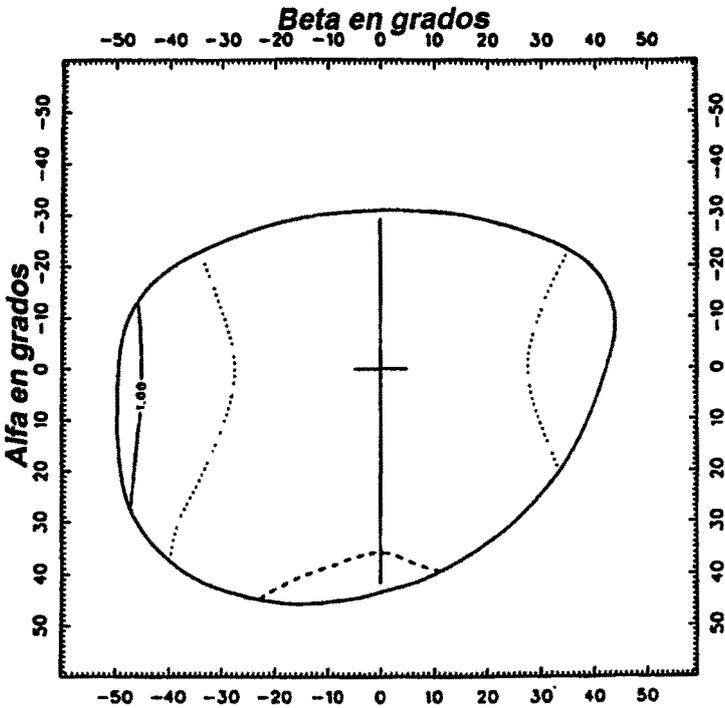


Figura 36

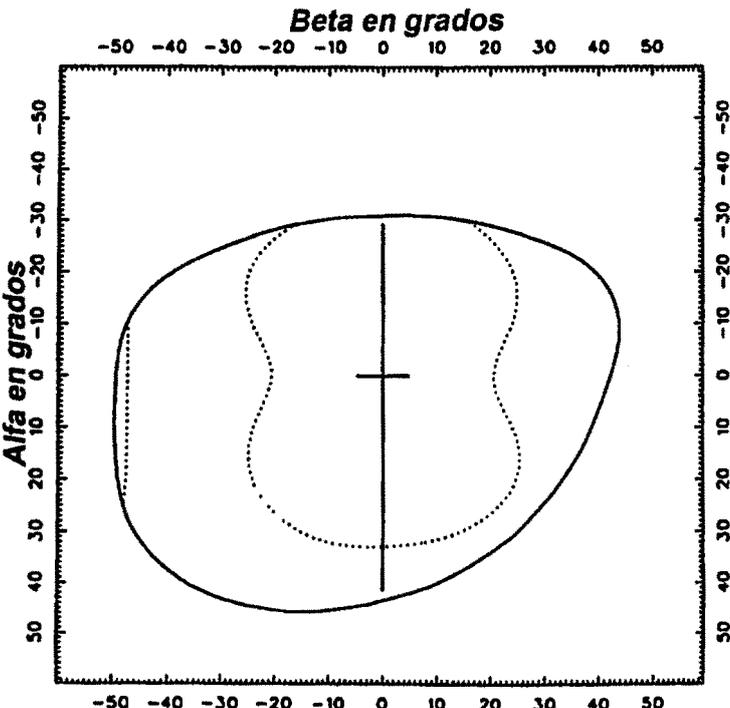


Figura 37

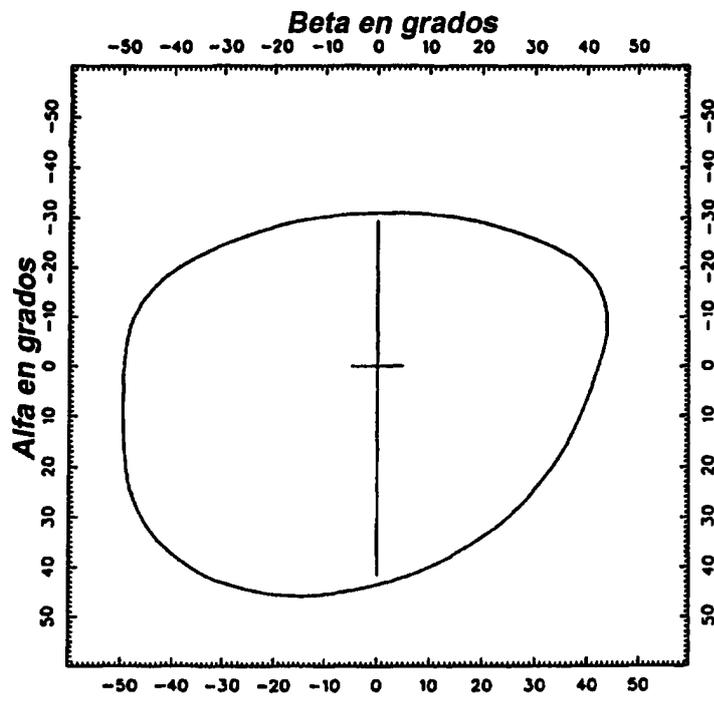


Figura 38

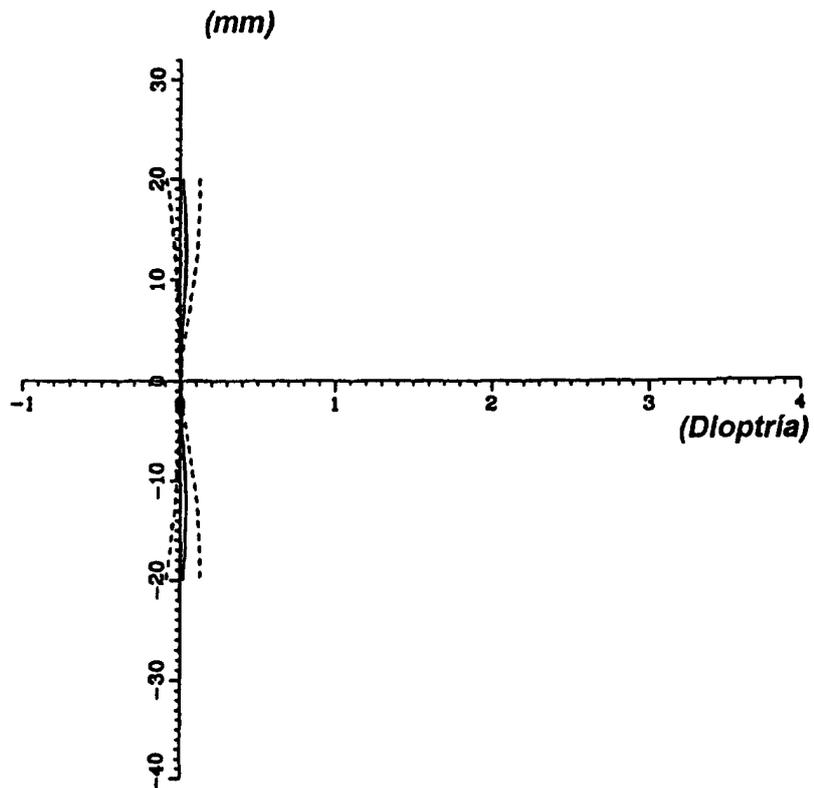


Figura 39

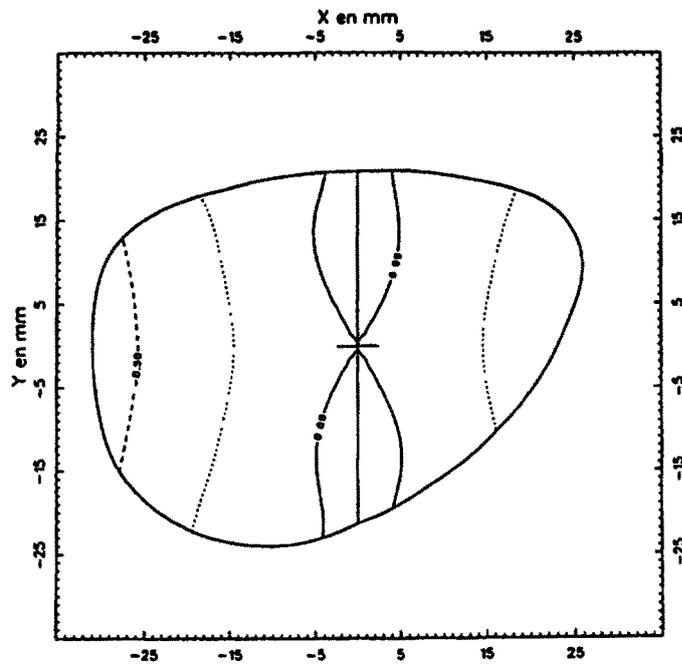


Figura 40

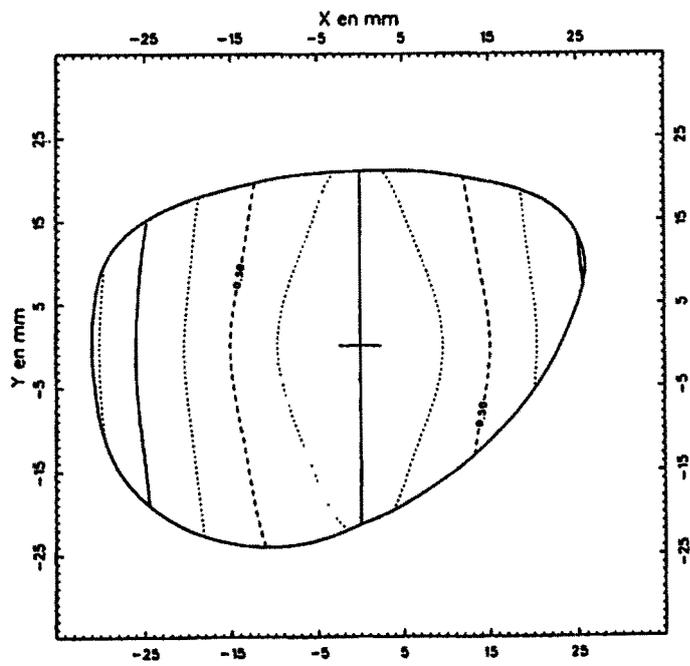


Figura 41

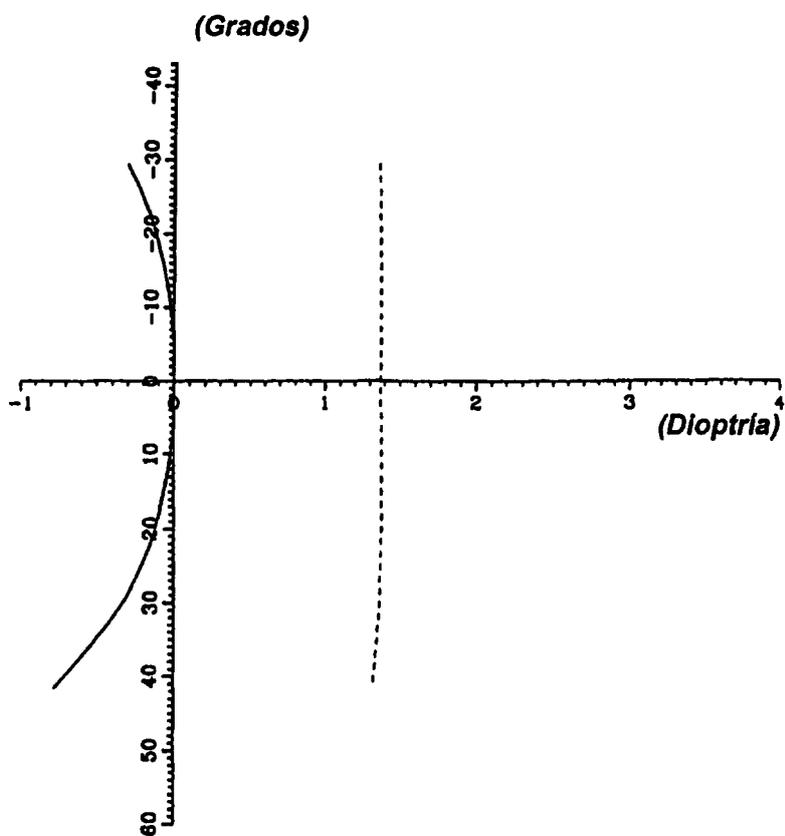


Figura 42

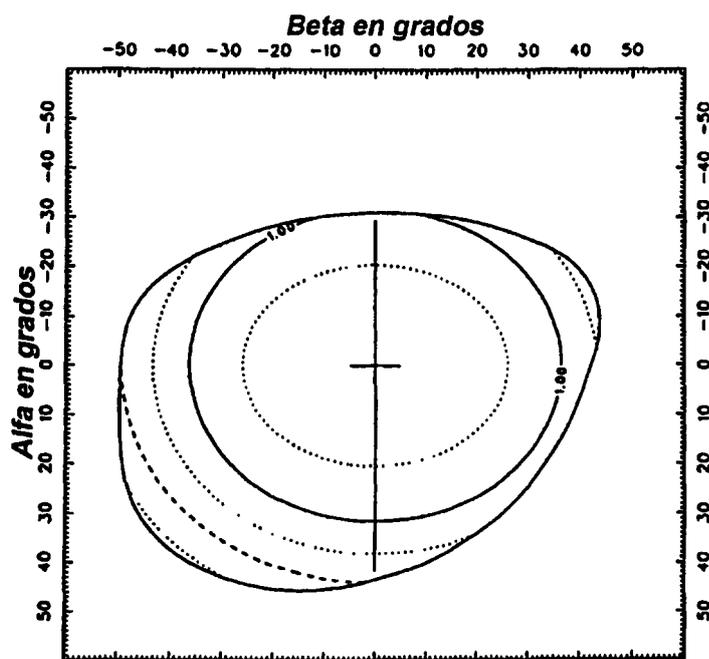


Figura 43

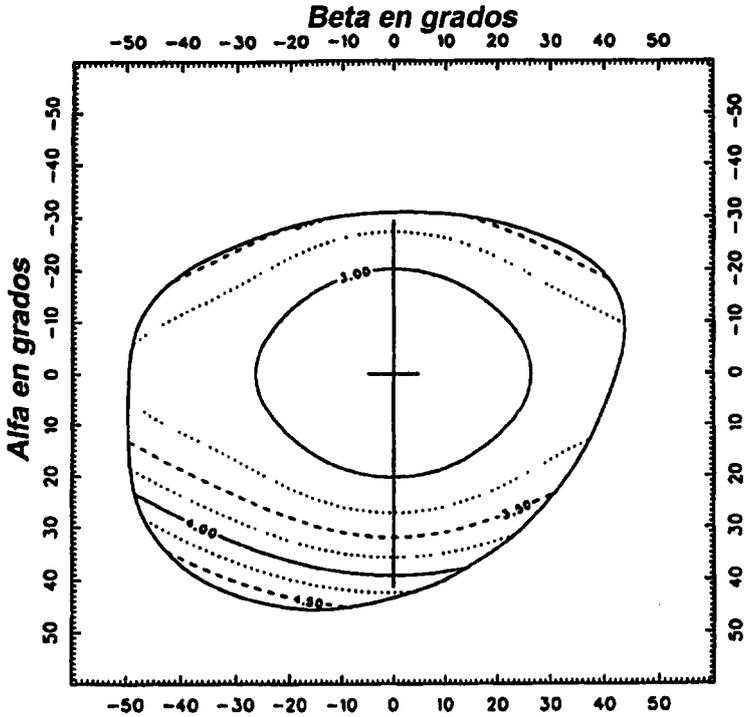


Figura 44

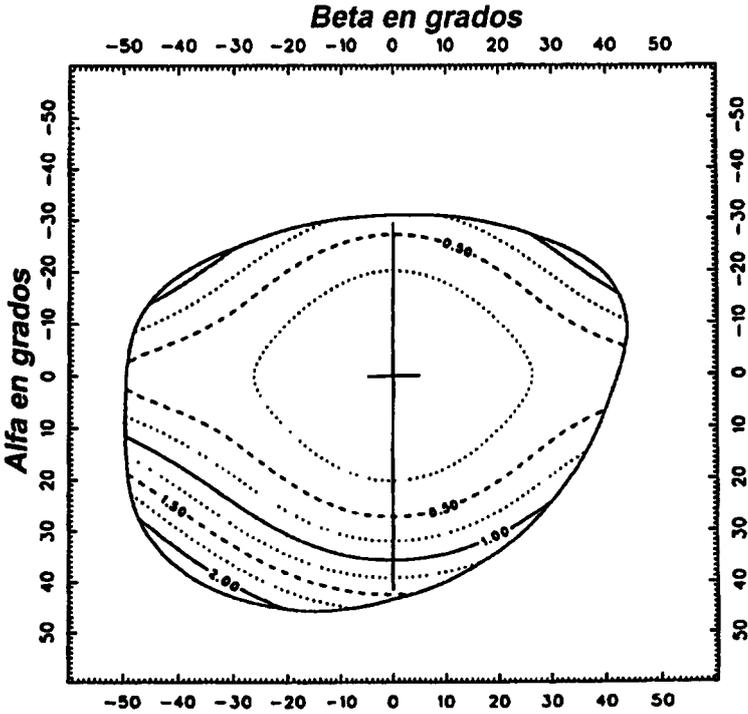


Figura 45