

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 857**

51 Int. Cl.:

**G02C 7/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.03.2012 PCT/EP2012/055146**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2012 WO12130736**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2012 E 12710088 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2017 EP 2691806**

54 Título: **Lente oftálmica progresiva**

30 Prioridad:

**31.03.2011 EP 11305381**

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

**07.03.2018**

73 Titular/es:

**ESSILOR INTERNATIONAL (100.0%)  
147, rue de Paris  
94220 Charenton-le-Pont, FR**

72 Inventor/es:

**DE ROSSI, HÉLÈNE;  
MOINE, JÉRÔME;  
REGO, CARLOS y  
GUILLOT, MATTHIEU**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 657 857 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Lente oftálmica progresiva

**CAMPO DE LA INVENCIÓN**

5 La invención se refiere a una lente oftálmica progresiva. La invención también se refiere a una pieza elemental de lente semiacabada que tiene una primera superficie esférica y una segunda superficie sin acabar que está destinada a ser mecanizada adicionalmente para formar una lente oftálmica progresiva. La invención también se refiere a un método para fabricar dicha lente oftálmica progresiva y a dicha pieza elemental de lente semiacabada.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

10 Un usuario puede ser prescrito con una corrección de potencia óptica positiva o negativa. La prescripción oftálmica puede incluir una prescripción de potencia y/o una prescripción de astigmatismo. Para usuarios con presbicia, el valor de la corrección de potencia es diferente para visión de lejos y para visión de cerca, debido a las dificultades de acomodación en la visión de cerca. La prescripción comprende así un valor de potencia de visión de lejos y una adición que representa el incremento de potencia entre visión de lejos y visión de cerca. La adición es cualificada como adición prescrita. Las lentes oftálmicas adecuadas para usuarios con presbicia son lentes multifocales, siendo las más  
15 adecuadas de todas las lentes multifocales progresivas.

La prescripción oftálmica puede incluir una prescripción de astigmatismo. Tal prescripción es producida por el oftalmólogo en forma de un par formado por un valor de eje (en grados) y un valor de amplitud (en dioptrías). El valor de amplitud representa la diferencia entre potencia mínima y máxima en una dirección dada que permite corregir el defecto visual del usuario. De acuerdo con el convenio elegido, el eje representa la orientación de una de dos potencias con  
20 relación a un eje de referencia y en el sentido de rotación elegido. Usualmente, se utiliza el convenio TABO. En este convenio, el eje de referencia es horizontal y el sentido de rotación es en sentido contrario a las agujas del reloj para cada ojo, cuando mira al usuario. Un valor de eje de  $+45^\circ$  representa por ello un eje orientado oblicuamente, que cuando mira al usuario, se extiende desde el cuadrante situado arriba a la derecha cuadrante situado abajo a la izquierda. Dicha prescripción de astigmatismo es medida sobre el usuario mirando en visión de lejos. El término « astigmatismo » es  
25 utilizado para designar el par (amplitud, ángulo); a pesar de que este uso no es estrictamente correcto, este término es también utilizado para referirse a la amplitud del astigmatismo. El experto en la técnica puede comprender a partir del contexto qué significado ha de ser considerado. Es también sabido para el experto en la técnica que la potencia y astigmatismo prescritos de un usuario son usualmente llamados esfera SPH, cilindro CYL y eje.

Para obtener una lente oftálmica progresiva correspondiente a una prescripción de un usuario, una pieza elemental de  
30 lente oftálmica puede ser proporcionada por un fabricante de lentes. Generalmente, una pieza elemental de lente oftálmica semiacabada comprende una primera superficie correspondiente a una superficie óptica de referencia, por ejemplo una superficie progresiva en el caso de lentes de adición progresiva tradicionales, y una segunda superficie sin acabar. Una pieza elemental de lente semiacabada que tiene características ópticas adecuadas es seleccionada basándose en la prescripción del usuario y la superficie sin acabar es mecanizada y pulida por un laboratorio de  
35 prescripción de modo que obtenga una lente que cumpla con la prescripción. La pieza elemental de lente semiacabada puede ser producida mediante moldeo o acabado superficial digital. La superficie sin acabar puede ser mecanizada mediante acabado superficial digital.

Una lente oftálmica progresiva puede también ser obtenida mecanizando directamente ambas superficies utilizando  
40 equipos de acabado superficial digital. Una pieza elemental de lente en bruto es proporcionada; una primera superficie esférica es mecanizada y una segunda superficie esférica es mecanizada, siendo determinada la segunda superficie esférica por optimización óptica basada en datos relativos a la primera superficie esférica y en datos relativos al usuario. Así se obtiene una lente oftálmica que cumple con la prescripción.

Cualquiera que se la tecnología utilizada - partiendo de una pieza elemental de lente semiacabada, o mecanizando  
45 ambas superficies por acabado superficial digital - se requiere un posicionamiento preciso de la lente sobre la máquina de acabado superficial digital para asegurar que las características ópticas de la lente son satisfechas.

El documento WO-A-2010/072749 describe un método de fabricación de una lente oftálmica mediante acabado superficial digital e identifica el problema del posicionamiento preciso del miembro de lente en un dispositivo de bloqueo.

**RESUMEN DE LA INVENCIÓN**

50 La invención según se ha definido en las reivindicaciones pretende facilitar la fabricación de una lente oftálmica progresiva al tiempo que mantiene la calidad óptica de la lente.

Este objeto es conseguido con una lente oftálmica progresiva que comprende una superficie frontal y una superficie posterior, teniendo cada superficie en cada punto una altitud, un valor de esfera media y un valor de cilindro, comprendiendo la superficie frontal de la lente:

- una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos;
- una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca;
- un meridiano principal,

en donde la superficie frontal es regresiva y tiene:

- 5
- un valor normalizado de gradiente de esfera de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central de la lente incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de visión de lejos y el punto de referencia de visión de cerca;
  - un valor normalizado de gradiente de cilindro de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente.

- 10 De acuerdo con una realización, la superficie frontal de la lente tiene además una cuarta derivada con respecto al valor normalizado de altitud de menos de  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2 \cdot \text{dioptría}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente.

El objeto de la invención es también conseguido con una lente oftálmica progresiva que comprende una superficie frontal y una superficie posterior, teniendo cada superficie en cada punto una altitud, un valor de esfera media y un valor de cilindro, comprendiendo la superficie frontal de la lente:

- 15
- una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos;
  - una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca;
  - un meridiano principal,

en donde la superficie frontal es regresiva y tiene una cuarta derivada con respecto al valor normalizado de altitud de menos de  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2 \cdot \text{dioptría}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central de la lente incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de visión de lejos y el punto de referencia de visión de cerca.

- 20 De acuerdo con una realización, al menos una superficie de la lente comprende dos micro-marcas y un punto central situado en el centro de un segmento que enlaza las dos micro-marcas, siendo la porción central de la lente un círculo de 40 mm de diámetro centrado sobre el punto central.

- 25 El objeto de la invención es también conseguido con una pieza elemental de lente de gafas semiacabada que tiene una primera superficie regresiva y una segunda superficie sin acabar, teniendo la primera superficie regresiva en cada punto una altitud, un valor de esfera media y un valor de cilindro, en donde la primera superficie regresiva comprende una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos, una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca, un meridiano principal, y en donde la primera superficie regresiva tiene una cuarta derivada con respecto al valor normalizado de altitud de menos de  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2 \cdot \text{dioptría}^{-1}$  en cualquier punto en al menos una porción central de la pieza elemental incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de división de lejos y el punto de referencia de visión de cerca.
- 30

De acuerdo con una realización, la primera superficie regresiva tiene además:

- un valor normalizado de gradiente de esfera de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto de la porción central; y
- 35
- un valor normalizado de gradiente de cilindro de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central.

El objeto de la invención es también conseguido con una pieza elemental de lente de gafas semiacabada que tiene una primera superficie regresiva y una segunda superficie sin acabar, teniendo la primera superficie regresiva en cada punto una altitud, un valor de esfera media y un valor de cilindro, en donde la primera superficie regresiva comprende una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos, una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca, un meridiano principal, y en donde la primera superficie regresiva tiene:

40

- un valor normalizado de gradiente de esfera de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de visión de lejos y el punto de referencia de visión de cerca; y
- un valor normalizado de gradiente de cilindro de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central.

- 45 De acuerdo con una realización, la pieza elemental tiene marcas que definen una posición de un punto central de la pieza elemental, siendo la porción central de la pieza elemental un círculo de 40 mm de diámetro centrado sobre el punto central.

La invención también se refiere a un método para fabricar una pieza elemental de lente semiacabada, que comprende las operaciones de:

- definir una primera superficie y una segunda superficie sin acabar, teniendo la primera superficie en cada punto una altitud, un valor de esfera media y un valor de cilindro;
- 5     – definir una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos, una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca, un meridiano principal y una porción central de la primera superficie incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de visión de lejos y el punto de referencia de visión de cerca;
- determinar la primera superficie que tiene:
- 10     ○ una regresión del valor de esfera media entre al menos una porción de la zona de visión de lejos y al menos una porción de la zona de visión de cerca; y
- una cuarta derivada con respecto al valor normalizado de altitud de menos de  $5,0 \cdot 10^{-5}$  en cualquier punto en la porción central;
- acabar superficialmente o moldear la primera superficie.

15    La invención también se refiere a un método para fabricar una pieza elemental de lente semiacabada, que comprende las operaciones de:

- definir una primera superficie y una segunda superficie sin acabar, teniendo la primera superficie en cada punto una altitud, un valor de esfera media y un valor de cilindro;
- definir una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos, una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca, un meridiano principal y un punto central de la primera superficie incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de visión de lejos y el punto de referencia de visión de cerca;
- 20     – determinar la primera superficie que tiene:
- una regresión del valor de esfera media entre al menos una porción de la zona de visión de lejos y al menos una porción de la zona de visión de cerca; y
- 25     ○ un valor normalizado de gradiente de esfera de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central; y
- un valor normalizado de gradiente de cilindro de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central.
- 30     – acabar superficialmente o moldear la primera superficie.

La invención se refiere además a un método para fabricar una lente oftálmica progresiva que comprende las operaciones de:

- proporcionar datos relativos a un usuario,
- seleccionar una pieza elemental de una lente semiacabada de acuerdo con la invención;
- 35     – realizar una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en datos relativos a la primera superficie regresiva de la pieza elemental;
- proporcionar la pieza elemental de lente semiacabada seleccionada y acabar superficialmente o moldear la superficie sin acabar de la pieza elemental de acuerdo con el resultado de la optimización óptica.

40    La invención se refiere además a un método para fabricar una lente oftálmica progresiva, que comprende las operaciones de:

- proporcionar datos relativos a un usuario,
- definir una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos, una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca, un meridiano principal;
- definir una primera superficie de la lente que tiene:

- 5
  - o una regresión del valor de esfera media entre al menos una porción de la zona de visión de lejos y al menos una porción de la zona de visión de cerca; y
  - o un valor normalizado de gradiente de esfera de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central de la lente incluyendo una porción del meridiano principal, el punto de referencia de la visión de lejos y el punto de referencia de la visión de cerca;
  - o un valor normalizado de gradiente de cilindro de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente;
- realizar una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en datos relativos a la primera superficie regresiva de la pieza elemental;
- 10
  - determinar una segunda superficie de la lente de acuerdo con el resultado de la optimización óptica;
  - acabar superficialmente o moldear la primera y segunda superficies.

La invención también se refiere a un método para fabricar una lente oftálmica progresiva, que comprende las operaciones de:

- proporcionar datos relativos a un usuario,
- 15
  - definir una zona de visión de lejos que tiene un punto de referencia de visión de lejos, una zona de visión de cerca que tiene un punto de referencia de visión de cerca, un meridiano principal;
  - definir una primera superficie de la lente que tiene:
    - o una regresión del valor de esfera media entre al menos una porción de la zona de visión de lejos y al menos una porción de la zona de visión de cerca; y
    - 20
      - o una cuarta derivada con respecto al valor normalizado de altitud de menos de  $5,0 \cdot 10^{-5}$  en cualquier punto en una porción central de la lente que incluye una porción del meridiano principal, el punto de referencia de la visión de lejos y el punto de referencia de la visión de cerca;
  - realizar una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en datos relativos a la primera superficie regresiva de la lente;
  - 25
    - determinar una segunda superficie de la lente de acuerdo con el resultado de la optimización óptica;
    - acabar superficialmente o moldear la primera y segunda superficies.

La invención también se refiere a un conjunto de aparatos para fabricar una lente oftálmica progresiva y/o a una pieza elemental del lente semiacabada, en donde los aparatos están adaptados para realizar las operaciones del método de acuerdo con la invención.

30 La invención se refiere además a un producto de programa informático que comprende una o más secuencias de instrucciones almacenadas y accesibles a un procesador y que, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador realice las operaciones del método de acuerdo con la invención. La invención también se refiere a un medio legible por ordenador que realiza una o más secuencias de instrucciones del producto de programa informático de la invención.

35 El punto de referencia de visión de lejos (respectivamente el punto de referencia de visión de cerca) puede ser, por ejemplo, un punto de control. Más generalmente, el punto de referencia de visión de lejos (respectivamente el punto de referencia de visión de cerca) puede ser cualquier otro punto de la superficie frontal en la zona de visión de lejos (respectivamente en la forma de visión de cerca).

40 Como las variaciones de esfera y cilindro (también llamadas gradientes de esfera y gradientes de cilindro) y/o la aceleración de las variaciones de esfera y cilindro son controladas sobre la superficie frontal de la lente oftálmica progresiva de acuerdo con la invención, es así posible asegurar una viabilidad técnica mejorada de la mecanización con una máquina de acabado superficial digital de la superficie posterior al tiempo que se mantiene la calidad óptica de la lente.

45 Otras características y ventajas de la invención aparecerán a partir de la siguiente descripción de realizaciones de la invención, dadas como ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos citados más abajo.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las figs. 1 a 5 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un

mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie frontal de una pieza elemental de lente semiacabada, de acuerdo con un primer ejemplo comparativo.

5 Las figs. 6 a 10 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie frontal de una pieza elemental de lente semiacabada, de acuerdo con un segundo ejemplo comparativo

Las figs. 11 a 15 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie frontal de una pieza elemental de lente semiacabada, de acuerdo con una primera realización de la invención.

10 Las figs. 16 a 20 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie frontal de una pieza elemental de lente semiacabada, de acuerdo con una segunda realización de la invención.

Las figs. 21 a 25 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie frontal de una pieza elemental de lente semiacabada, de acuerdo con una tercera realización de la invención.

15 Las figs. 26 a 40 dan análisis ópticos de los rendimientos nominales de las lentes consideradas.

Las figs. 41 a 45 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie posterior cuando se utiliza la pieza elemental de lente semiacabada de las figs. 1 a 5.

20 Las figs. 46 a 50 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie posterior cuando se utiliza la pieza elemental de lente semiacabada de las figs. 6 a 10.

Las figs. 51 a 55 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie posterior cuando se utiliza la pieza elemental de lente semiacabada de las figs. 11 a 15.

25 Las figs. 56 a 60 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie posterior cuando se utiliza la pieza elemental de lente semiacabada de las figs. 16 a 20.

30 Las figs. 61 a 65 son un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano, un mapa de esfera media, un mapa de cilindro; un mapa de gradiente de esfera y un mapa de gradiente de cilindro respectivamente de una superficie posterior cuando se utiliza la pieza elemental de lente semiacabada de las figs. 21 a 25.

Las figs. 66 a 68 dan análisis ópticos de los rendimientos nominales de la lente de acuerdo con el primer ejemplo comparativo cuando ocurren defectos de posicionamiento.

Las figs. 69 a 71 dan análisis ópticos de los rendimientos nominales de la lente de acuerdo con la tercera realización de la invención cuando ocurren defectos de posicionamiento.

35 Las figs. 72 a 77 comparan los análisis ópticos de los rendimientos nominales y los análisis ópticos de los rendimientos cuando ocurren defectos de posicionamiento.

La fig. 78 es un gráfico que muestra la desviación máxima de los rendimientos nominales para cada lente considerada.

Las figs. 79 y 80 muestran un sistema de referencia definido con respecto a micro-marcas, para una superficie que soporta micro-marcas y para una superficie que no soporta micro-marcas respectivamente.

40 La fig. 81 es una ilustración esquemática de una lente progresiva multifocal.

La fig. 82 es una vista en perspectiva de una pieza elemental de lente que ha de ser posicionada sobre un bloqueador.

La fig. 83 es un diagrama de flujo de las operaciones de un método de fabricación de una lente de acuerdo con la invención.

45 Puede apreciarse que elementos en las figuras están ilustrados para simplicidad y claridad y no han sido dibujados a escala necesariamente. Por ejemplo, las dimensiones de algunos de los elementos en las figuras pueden estar exageradas con relación a otros elementos para ayudar a mejorar la comprensión de las realizaciones de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS

Una lente progresiva comprende dos superficies esféricas simétricas de modo no rotativo, por ejemplo pero no limitado a, superficie progresiva, superficie regresiva, superficies tóricas o superficies atóricas.

Como es sabido, cada punto de una superficie esférica tiene una altitud  $z$ . Para cada punto de la superficie, una curvatura mínima  $CURV_{\min}$  viene dada por la fórmula:

5 
$$CURV_{\min} = \frac{1}{R_{\max}}$$

donde  $R_{\max}$  es el radio de curvatura máximo local, expresado en metros y  $CURV_{\min}$  está expresado en dioptrías.

De manera similar, una curvatura máxima  $CURV_{\max}$  puede ser definida en cualquier punto de una superficie esférica por la fórmula:

$$CURV_{\max} = \frac{1}{R_{\min}}$$

10 donde  $R_{\min}$  es el radio de curvatura mínimo local, expresado en metros y  $CURV_{\max}$  está expresado en dioptrías.

Puede observarse que cuando la superficie es esférica localmente, el radio de curvatura mínimo  $R_{\min}$  y el radio de curvatura máximo  $R_{\max}$  son el mismo y, por consiguiente, las curvaturas mínima y máxima  $CURV_{\min}$  y  $CURV_{\max}$  son también idénticas.

15 A partir de estas expresiones de las curvaturas mínima y máxima  $CURV_{\min}$  y  $CURV_{\max}$ , las esferas mínima y máxima etiquetadas  $SPH_{\min}$  y  $SPH_{\max}$  pueden ser deducidas de acuerdo con el tipo de superficie considerado.

Cuando la superficie considerada es la superficie lateral del objeto - también llamada superficie frontal, las expresiones son las siguientes:

$$SPH_{\min} = (n-1) * CURV_{\min} = \frac{n-1}{R_{\max}} \text{ and } SPH_{\max} = (n-1) * CURV_{\max} = \frac{n-1}{R_{\min}}$$

donde  $n$  es el índice del material constituyente de la lente.

20 Si la superficie considerada es una superficie lateral de globo ocular - también llamada superficie posterior, las expresiones son las siguientes:

$$SPH_{\min} = (1-n) * CURV_{\min} = \frac{1-n}{R_{\max}} \text{ and } SPH_{\max} = (1-n) * CURV_{\max} = \frac{1-n}{R_{\min}}$$

donde  $n$  es el índice del material constituyente de la lente.

25 Como es sabido, una esfera media  $SPH_{\text{media}}$  en cualquier punto de una superficie esférica puede también ser definida por la fórmula:

$$SPH_{\text{media}} = \frac{1}{2} (SPH_{\min} + SPH_{\max})$$

- Un cilindro  $CYL$  está también definido por la fórmula  $CYL = SPH_{\max} - SPH_{\min}$ .

30 Las características de cualquier cara compleja de la lente pueden ser expresadas por medio de las esferas medias y cilindros locales. Una superficie puede ser considerada como esférica localmente cuando el cilindro es al menos de 0,25 dioptrías.

Siempre que una lente es caracterizada por referencia a una de sus superficies esféricas, se define un referencial con respecto a micro-marcas como se ha ilustrado en las figs. 79 y 80, para una superficie que soporta micro-marcas y para una superficie que no soporta micro-marcas respectivamente.

35 Las lentes progresivas comprenden micro-marcas que han sido hechas obligatorias por una norma ISO 8990-2 armonizada. También pueden ser aplicadas marcas temporales sobre la superficie de la lente, que indican posiciones de puntos de control sobre la lente, tales como un punto de control para visión de lejos, un punto de control para visión de cerca, un punto de referencia de prisma y una cruz de ajuste por ejemplo. Si las marcas temporales están ausentes o han sido borradas, es siempre posible para un experto posicionar los puntos de control sobre la lente utilizando un gráfico de montaje y las micro-marcas permanentes. El fabricante de la lente ha de garantizar la prescripción en los puntos de control.

40 Las micro-marcas también hacen posible definir el referencial para ambas superficies de la lente.

La fig. 79 muestra el referencial para la superficie que soporta las micro-marcas. El centro de la superficie ( $x=0$ ,  $y=0$ ) es el punto de la superficie en el que la normal  $N$  a la superficie corta el centro del segmento que enlaza las dos micro-marcas.  $MG$  es el vector unitario colineal definido por las dos micro-marcas. El vector  $Z$  del referencial es igual a la normal unitaria ( $Z = N$ ); el vector  $Y$  del referencial es igual al producto vectorial de  $Z$  por  $MG$ ; el vector  $X$  del referencial es igual al producto vectorial de  $Y$  por  $Z$ .  $\{X, Y, Z\}$  forman por ello un triedro ortonormal directo. El centro del referencial es el centro de la superficie  $x=0$  mm,  $y=0$  mm. El eje  $X$  es el eje horizontal y el eje  $Y$  es el eje vertical.

La fig. 80 muestra el referencial para la superficie opuesta a la superficie que soporta las micro-marcas. El centro de esta segunda superficie ( $x=0$ ,  $y=0$ ) es el punto en el que la normal  $N$  que corta al centro del segmento que enlaza las dos micro-marcas sobre la primera superficie corta a la segunda superficie. El referencial de la segunda superficie es construido del mismo modo que el referencial de la primera superficie, es decir el vector  $Z$  es igual a la normal unitaria de la segunda superficie; el vector  $Y$  es igual al producto vectorial de  $Z$  por  $MG$ ; el vector  $X$  es igual al producto vectorial de  $Y$  por  $Z$ . Como para la primera superficie, el eje  $X$  es el eje horizontal y el eje  $Y$ . El centro del sistema de referencia de la superficie es también  $x=0$  mm,  $y=0$  mm.

De manera similar, sobre una pieza elemental del lente semiacabada, la norma ISO 10322-2 requiere que se apliquen micro-marcas. El centro de la superficie esférica de una pieza elemental del lente semiacabada puede por ello ser determinado así como un referencial como se ha descrito anteriormente.

Además, una lente multifocal progresiva puede también ser definida por características ópticas, tomando en consideración la situación de la persona que usa las lentes. Puede hacerse referencia a los documentos EP-A-0 927 377, EP-A-0 990 939 o WO-A-2010/100528 por ejemplo que definen una lente con características ópticas.

Como es conocido per se, es posible definir una potencia óptica y astigmatismo de un usuario, en cada dirección de visión.

Pueden calcularse definiciones posibles de la potencia óptica y del astigmatismo de la lente, en las condiciones de uso, como se ha explicado en el artículo de B. Bourdoncle y col., Titulado "Ray tracing through progressive ophthalmic lenses", 1990 International Lens Design Conference, D.T. Moore ed., Proc. Soc. Photo. Opt. Instrum. Eng. Las condiciones de uso pueden ser calculadas a partir de un programa de trazado de rayos, para una lente dada. Además, la potencia óptica y el astigmatismo pueden ser calculados de manera que la prescripción sea satisfecha para un usuario que utiliza sus gafas en las condiciones de uso. La potencia óptica y el astigmatismo pueden también ser medidos por un frontofocómetro.

Los valores en términos ópticos pueden ser expresados para direcciones de la mirada. Las direcciones de la mirada son usualmente dadas por su grado de descenso y azimut en un marco cuyo origen es el centro de rotación del ojo. Cuando la lente está montada enfrente del ojo, un punto llamado la cruz de ajuste es colocado antes de la pupila o antes del centro  $Q'$  de rotación del ojo para una dirección principal de la mirada. La dirección principal de la mirada corresponde a la situación en la que un usuario está mirando recto hacia adelante. En el marco elegido, la cruz de ajuste corresponde así a un ángulo de descenso  $\alpha$  de  $0^\circ$  y a un ángulo de azimut  $\beta$  de  $0^\circ$  en cualquier superficie de la lente en que esté posicionada la cruz de ajuste - superficie posterior o superficie frontal.

En el resto de la descripción, pueden utilizarse términos como « superior », « inferior », « horizontal », « vertical », « por encima », « por debajo », u otras palabras que indiquen posición relativa. Estos términos han de ser comprendidos en las condiciones de uso de la lente. Notablemente, la parte "superior" de la lente corresponde a un ángulo de descenso negativo  $\alpha < 0^\circ$  y la parte "inferior" de la lente corresponde a un ángulo de descenso positivo  $\alpha > 0^\circ$ . De manera similar, la parte "superior" de la superficie de una lente - o de una pieza elemental de lente semiacabada - corresponde a un valor positivo a lo largo del eje  $y$ , y preferiblemente a un valor a lo largo del eje  $y$  superior al valor de  $y$  en la cruz de ajuste y la parte "inferior" de la superficie de una lente - o de una pieza elemental de lente semiacabada - corresponde a un valor negativo a lo largo del eje  $y$  y en el marco como se ha definido anteriormente con respecto a las figs. 79 y 80, y preferiblemente a un valor a lo largo del eje  $y$  inferior al valor de  $y$  en la cruz de ajuste.

Las zonas del campo visual vistas a través de una lente están esquemáticamente ilustradas en la fig. 81. La lente comprende una zona 26 de visión de lejos situada en la parte superior de la lente, una zona 28 de visión de cerca situada en la parte inferior de la lente y una zona intermedia 30 situada en la parte inferior de la lente entre la zona 26 de visión de lejos y la zona 28 de visión de cerca. La lente tiene también un meridiano principal 32 que pasa a través de las tres zonas y que define un lado nasal y un lado temporal. Típicamente, la zona 26 de visión de lejos incluye un punto de control FV de visión de lejos y la zona 28 de visión de cerca incluye un punto de control NV de visión de cerca. Cuando se considera una superficie de la lente, la zona de visión de lejos y la zona de visión de cerca pueden ser definidas como la proyección de las zonas antes definidas sobre la superficie. Cuando se considera la superficie de una lente o de una pieza elemental de lente semiacabada, la zona de visión de lejos, respectivamente de la zona de visión de cerca, pueden ser definidas como las zonas que contribuyen a la zona de campo de visión de lejos, respectivamente a la zona de campo de visión de cerca, cuando la lente es utilizada.

Para el propósito de la invención, la línea meridiana 32 de una lente progresiva es definida como sigue: para cada descenso de la vista en un ángulo  $\alpha = \alpha_1$  entre la dirección de la mirada correspondiente a la cruz de ajuste y una

dirección de la mirada que está en la zona de visión de cerca, se busca la dirección de la mirada ( $\alpha_1, \beta_1$ ) para la que la que el astigmatismo residual local es mínimo. Así, todas las direcciones de la mirada definidas de ese modo forman la línea meridiana del sistema ergorama-ojo-lente. La línea meridiana de la lente representa el lugar de las direcciones de la mirada media de un usuario cuando está mirando desde visiones de lejos a visiones de cerca. La línea meridiana 32 de una superficie de la lente puede ser definida como sigue: cada dirección ( $\alpha, \beta$ ) de la mirada que pertenece a la línea meridiana óptica de la lente corta a la superficie en un punto (x, y). La línea meridiana de la superficie es el conjunto de puntos correspondientes a las direcciones de la mirada de la línea meridiana de la lente. La línea meridiana 32 de una superficie esférica de la lente - o de una superficie esférica de una pieza elemental de lente semiacabada - puede también ser definida como sigue: para cada línea y entre el centro del referencial de la superficie (x=0 mm; y=0 mm) y la parte inferior de la superficie, se busca el punto (x, y) para el que el cilindro local es mínimo.

Como se ha mostrado en la fig. 81, el meridiano 32 separada la lente en un área nasal y un área temporal. Como se espera, el área nasal es el área de la lente que está entre el meridiano y la nariz del usuario mientras que el área temporal es el área que está entre el meridiano y la sien del usuario.

La invención se basa en un estudio hecho por la solicitante de la distorsión. Notablemente, la solicitante ha establecido que una superficie frontal regresiva mejora la distorsión óptica en visión periférica sobre la lente final. La solicitante ha observado que cuanto más regresiva era la superficie frontal, mejor era compensada la distorsión.

Por "superficie regresiva" se quiere indicar una superficie esférica continua que tiene una zona de visión de lejos, una zona de visión de cerca y una zona de valor de esfera media decreciente que conecta las zonas de visión de lejos y de visión de cerca. Por "superficie progresiva" se quiere indicar una superficie esférica continua que tiene una zona de visión de lejos, una zona de visión de cerca y una zona de valor de esfera medio creciente que conecta las zonas de visión de lejos y de visión de cerca.

La "adición de una superficie" puede ser definida como la variación de esfera media entre el punto de referencia (NV) de visión de cerca que pertenece a la zona de visión de cerca y el punto de referencia (FV) de visión de lejos que pertenece a la zona de visión de lejos. Los puntos de referencia pueden ser por ejemplo, pero no estar limitados a, puntos de control. La adición de la superficie puede ser expresada como:

$$Add_{superficie} = SPH_{media}(NV) - SPH_{media}(FV);$$

Si  $Add_{superficie} > 0$ , la superficie es una superficie progresiva;

Si  $Add_{superficie} < 0$ , la superficie es una superficie regresiva.

Cuando el punto de referencia de visión de lejos y el punto de referencia de visión de cerca son seleccionados en las zonas de visión de lejos y de visión de cerca de tal modo que el valor absoluto de la realización de la superficie es maximizando, este valor de adición será denominado el valor de adición máximo de la superficie.

La superficie regresiva de la pieza elemental de la lente de acuerdo con la invención tiene un valor de esfera media en al menos una porción de la zona de visión de lejos que es mayor que el valor de esfera media en al menos una porción de la zona de visión de cerca.

Sin embargo, cuando la superficie frontal es regresiva, es decir el valor de esfera media en al menos una porción de la zona de visión de lejos es mayor que el valor de esfera media en al menos una porción de la zona de visión de cerca, la superficie posterior debe tener una adición más fuerte incluso para obtener una adición de potencia positiva sobre la lente final. Para una lente progresiva adecuada para una prescripción de 2 dioptrías de adición prescrita, la superficie frontal debería tener una adición negativa de aproximadamente 3 dioptrías por ejemplo, la superficie posterior debería tener una adición positiva de aproximadamente 5 dioptrías para asegurar una adición de potencia positiva de aproximadamente 2 dioptrías de la lente.

Tal variación de esfera fuerte sobre la superficie posterior inducirá también una variación de cilindro fuerte. Variaciones fuertes de esfera y cilindro aumenta la complejidad cuando se mecaniza la superficie.

De hecho, cuando se mecaniza una superficie de la lente, se realiza en primer lugar una operación de fresado en la que el material es retirado de la superficie de la lente para llevar la superficie tan próxima como sea posible a la geometría requerida para obtener las características superficiales buscadas. A continuación se realiza una operación de pulido para obtener una superficie transparente al tiempo que se preserva la geometría obtenida después de fresado.

Durante la operación de fresado, los gradientes de esfera y de cilindro impactarán en la aceleración de la herramienta de mecanización. Cuanto más fuertes son los gradientes, más elevada es la aceleración, lo que puede conducir a una degradación de la superficie obtenida después del fresado y por tanto a degradaciones de rendimientos ópticos.

Durante la operación de pulido, los gradientes tienden a ser filtrados. Siempre que los valores de los gradientes varían de forma brusca, la operación de pulido suavizará esta variación, lo que puede conducir a una degradación de la superficie obtenida después de pulido, notablemente a lo largo de la línea meridiana.

Además, elevados gradientes de esfera y de cilindro y fuertes variaciones de gradientes hacen las superficies muy sensibles al posicionamiento de una con respecto a otra. Los errores de posicionamiento entre ambas superficies son causados por el proceso de fabricación, por ejemplo cuando la pieza elemental de la lente es posicionada sobre un bloqueador de una máquina de acabado superficial digital para crear la segunda superficie a partir de la superficie sin acabar.

La fig. 82 ilustra el posicionamiento de una pieza elemental 10 de lente en un marco de referencia de un dispositivo 20 de bloqueo de lente de una máquina de acabado superficial digital.

El marco de referencia de la pieza elemental 10 de lente en el bloqueador 20 de lente puede ser definido por:

- 10       – traslaciones  $T_X$  y  $T_Y$  en un plano horizontal XY con valores  $T_X$ ,  $T_Y$  que definen el desplazamiento del punto central O de la pieza elemental de la lente a lo largo de las direcciones X e Y respectivamente en el plano horizontal;
- traslación  $T_Z$  a lo largo de un eje vertical Z,
- orientación  $R_Z$  de la pieza elemental de la lente alrededor del eje vertical Z,
- orientación  $R_Y$  de la pieza elemental de la lente alrededor del eje horizontal Y,
- 15       – orientación  $R_X$  de la pieza elemental de la lente alrededor del eje horizontal X.

Un error en el posicionamiento de la pieza elemental de la lente, es decir una traslación y/o rotación conducirán a un acabado superficial de una segunda superficie con un desplazamiento con respecto a la primera superficie y los rendimientos ópticos de la lente final no coincidirán con los rendimientos nominales (siendo los rendimientos nominales los rendimientos teóricos de la lente considerando que no hay errores de fabricación). Un método para compensar el error de posicionamiento cuando se fabrica la lente está descrito en el documento WO-A- 2010/072749. Sin embargo, siempre que una superficie tiene un diseño difícil, es decir elevados gradientes de esfera y de cilindro y fuertes variaciones de gradientes, incluso un ligero error en el posicionamiento dará como resultado una divergencia óptica más fuerte entre los rendimientos ópticos de la lente y los rendimientos nominales.

Por ello, la invención propone una pieza elemental de lente semiacabada con una superficie regresiva que tiene un diseño muy suave. Tal diseño suave asegurará que los gradientes no cambian de una manera demasiado drástica. Por ello, cuando la superficie sin acabar de la pieza elemental sea mecanizada para satisfacer un diseño óptico objetivo y la prescripción del usuario, los valores y variaciones de gradientes de esfera y de cilindro serán también mejor controlados.

La invención también propone una lente progresiva con una superficie regresiva frontal que tiene un diseño muy suave. En lo que sigue, se ha dado una descripción detallada con respecto a una primera superficie regresiva de una pieza elemental de lente semiacabada. Aún, la descripción siguiente podría ser dada en términos similares para la superficie regresiva frontal de una lente progresiva.

Como se ha explicado anteriormente, una superficie esférica puede ser definida localmente por la esfera media y el cilindro.

También pueden definirse gradientes de esfera y de cilindro. El gradiente es definido convencionalmente como el vector cuyas coordenadas a lo largo de este eje son respectivamente iguales a las derivadas parciales de la esfera media (respectivamente del cilindro) a lo largo de este eje, y, aunque éste es un uso erróneo del lenguaje, llamaremos a la norma del vector de gradiente el gradiente, es decir:

$$\text{GradSPH} = \left\| \overrightarrow{\text{gradSPH}} \right\| = \sqrt{\left( \frac{\partial \text{SPH}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{SPH}}{\partial y} \right)^2}$$

$$\text{GradCYL} = \left\| \overrightarrow{\text{gradCYL}} \right\| = \sqrt{\left( \frac{\partial \text{CYL}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{CYL}}{\partial y} \right)^2}$$

Los gradientes de esfera y de cilindro son representativos de variaciones locales en esfera y cilindro. El gradiente de esfera es todo lo menor posible cuando la adición de la superficie es pequeña o lenta, es decir no es repentina. Sin embargo, una superficie progresiva o regresiva necesaria tiene un gradiente de esfera distinto de cero.

El cilindro es representativo de cuánto se desvía la superficie local de una superficie esférica. Variaciones en la esfera conducen a la necesidad de variaciones en el cilindro, y el cilindro no puede ser nulo en toda la superficie de la lente.

Una cuarta derivada con respecto a la altitud z puede también ser definida en cada punto de la superficie esférica. Dicha cuarta derivada puede ser expresada como sigue:

$$D_4(x, y) = \sqrt{\left(\frac{d^4 z(x, y)}{dx^4}\right)^2 + \left(\frac{d^4 z(x, y)}{dx^3 dy}\right)^2 + \left(\frac{d^4 z(x, y)}{dx^2 dy^2}\right)^2 + \left(\frac{d^4 z(x, y)}{dx dy^3}\right)^2 + \left(\frac{d^4 z(x, y)}{dy^4}\right)^2}$$

La cuarta derivada  $D_4$  es representativa de la rapidez de cambio de los valores de gradientes, es decir la aceleración de la esfera y variaciones de cilindro.

5 La invención propone controlar el valor de la cuarta derivada  $D_4$  sobre la primera superficie de la pieza elemental de la lente. Dicho control contribuirá así a reducir significativamente la posible degradación de la superficie durante la operación de pulido cuando para la mecanización de la segunda superficie de la lente y también cuando para la mecanización de esta primera superficie debería ser usada una técnica de acabado superficial digital como se ha explicado con más detalle a continuación.

10 Esta cantidad es controlada, al menos sobre una porción central de la primera superficie de la pieza elemental de la lente. Esta porción central incluye una porción del meridiano principal, un punto de referencia en la zona de visión de lejos y un punto de referencia en la zona de visión de cerca. Los puntos de referencia pueden ser los puntos de control definidos anteriormente, pero podrían elegirse cualesquiera otros puntos de referencia. Por ejemplo, el valor de  $D_4$  es controlado dentro de un círculo de diámetro de 40 mm - es decir un radio de 20 mm alrededor del centro de la pieza elemental de la lente; esto aumenta para excluir regiones en el borde de una lente que son utilizadas de modo no frecuente por el usuario de la lente. Los rendimientos ópticos de la lente son considerados típicamente dentro de una porción central para direcciones de visión comprendidas dentro de un cono de +/- 40° de apertura centrado sobre el centro de rotación del ojo. La invención también propone normalizar el valor de la cuarta derivada, para obtener una cantidad que no es una función de la adición de la superficie. El factor de normalización implica el valor de adición.

20 Notablemente, la invención propone establecer un valor límite a la cuarta derivada  $D_4$  cuando se determina la superficie regresiva de la pieza elemental de la lente semiacabada. Más específicamente, el valor normalizado de la cuarta derivada  $D_4$  está limitado a  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  sobre al menos la porción central de la pieza elemental de la lente y preferiblemente está limitado a  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  de la pieza elemental.

25 Estando el valor máximo de la cuarta derivada  $D_4$  situado a lo largo de la línea meridiana de la superficie esférica de la pieza elemental de la lente, el valor normalizado de la cuarta derivada  $D_4$  puede estar limitado a  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  - y más preferiblemente limitado a  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  - sobre una porción de la pieza elemental de la lente delimitada por la línea meridiana +/- 5 mm. Sin embargo, el valor de la cuarta derivada  $D_4$  puede no ser nulo sobre esta parte central y ha de esperarse un valor mínimo de  $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$ . El factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie.

30 La invención también propone controlar el valor de los gradientes de esfera y de cilindro sobre la primera superficie de la pieza elemental de la lente. Tal control contribuirá así a reducir significativamente la posible degradación de la superficie durante la operación de fresado cuando se mecaniza la segunda superficie de la lente y también cuando se mecaniza esta primera superficie debería utilizarse una técnica de acabado superficial digital.

35 Los gradientes de esfera y de cilindros son controlados, al menos sobre una porción central de la primera superficie de la pieza elemental de la lente. Por ejemplo, los gradientes de esfera y de cilindro son controlados dentro del círculo de diámetro de 40 mm definido anteriormente. Los valores límite de gradientes de esfera y de cilindro pueden ser normalizados para obtener una cantidad que no es una función de la adición de la superficie.

40 Notablemente, la invención propone establecer un valor límite al gradiente de esfera cuando se determina la superficie regresiva de la pieza elemental de la lente semiacabada. Más específicamente, el valor normalizado del gradiente de esfera está limitado a  $7,5 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  sobre al menos la porción central de la pieza elemental de la lente y preferiblemente está limitado a  $6,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  sobre la porción central de la pieza elemental. Sin embargo, el valor del gradiente de esfera puede no ser nulo sobre esta porción central y ha de esperarse un valor mínimo de  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^{-1}$ . El factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie.

45 Además, la invención también propone establecer un valor límite al gradiente de cilindro cuando se determina la superficie regresiva de la pieza elemental de la lente semiacabada. Más específicamente, el valor normalizado del gradiente de cilindro está limitado a  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  sobre al menos la porción central de la pieza elemental de la lente y preferiblemente está limitado a  $1,25 \text{ mm}^{-1}$  sobre la porción central de la pieza elemental de la lente. Sin embargo, el valor del gradiente de cilindro puede no ser nulo sobre esta porción central y ha de esperarse un valor mínimo de  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^{-1}$ . El factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie.

50 A continuación, usaremos un sistema de coordenadas ortonormal en el que el eje x corresponde al eje horizontal de la lente y el eje y al eje vertical; el centro O del marco de referencia es el centro geométrico de la superficie de la pieza elemental de la lente como se ha definido con respecto a las figs. 79 y 80. En la descripción que sigue, los ejes están graduados en milímetros.

Las figs. 1 a 25 son ilustraciones de superficies de piezas elementales de lente semiacabadas, es decir superficies frontales de las lentes finales. Las figs. 1 a 5 y 6 a 10 son ilustraciones de superficies de acuerdo con ejemplos

comparativos fuera del marco de la invención y las figs. 11 a 15 y 16 a 20 y 21 a 25 son ilustraciones de superficies de acuerdo con tres ejemplos de la invención. En lo siguiente, se hará referencia a Lente 1 y Lente 2 para los dos ejemplos comparativos y se hará referencia a Lente 3, Lente 4 y Lente 5 para los tres ejemplos de la invención.

5 Los cinco ejemplos están dados para una lente para un usuario cuya prescripción sería potencia óptica prescrita en visión de lejos de 0 dioptrías, astigmatismo prescrito en visión de lejos de 0 dioptrías y adición prescrita de 2,5 dioptrías para piezas elementales de lente semiacabadas de 60 mm de diámetro. El valor de esfera media en el punto de control de visión de lejos es de 4,72 dioptrías.

10 La fig. 1 es un gráfico de variación de esfera media relativamente al valor de esfera media del punto de control de visión de lejos a lo largo del meridiano para la superficie del primer ejemplo comparativo. El eje x está graduado en dioptrías y los valores del eje y son en mm. El punto de control de visión de lejos tiene un valor de eje x de 0 mm, un valor de eje y de 8 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 4,72 dioptrías y un cilindro de 0,02 dioptrías. El punto de control de visión de cerca tiene un valor de eje x de 3 mm, un valor de eje y de -14 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 2,20 dioptrías y un cilindro de 0,04 dioptrías. La adición de superficie nominal es de -2,52 dioptrías, calculada como la diferencia entre esferas medias en los puntos de control.

15 La fig. 6 es un gráfico de variación de esfera media relativamente al valor de esfera media del punto de control de visión de lejos a lo largo del meridiano para la superficie del primer ejemplo comparativo. El eje x está graduado en dioptrías y los valores del eje y son en mm. El punto de control de visión de lejos tiene un valor de eje x de 0 mm, un valor de eje y de 8 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 4,72 dioptrías y un cilindro de 0,02 dioptrías. El punto de control de visión de cerca tiene un valor de eje x de 3 mm, un valor de eje y de -14 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 2,20 dioptrías y un cilindro de 0,06 dioptrías. La adición de superficie nominal es de -2,52 dioptrías, calculada como la diferencia entre esferas medias en los puntos de control.

20 La fig. 11 es un gráfico de variación de esfera media a lo largo del meridiano para la superficie de acuerdo con un primer ejemplo de la invención. El eje x está graduado en dioptrías y los valores del eje y son en mm. El punto de control de visión de lejos tiene un valor de eje x de 0 mm, un valor de eje y de 8 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 4,72 dioptrías y un cilindro de 0,07 dioptrías. El punto de control de visión de cerca tiene un valor de eje x de 3 mm, un valor de eje y de -14 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 2,20 dioptrías y un cilindro de 0,08 dioptrías. La adición de superficie nominal es de -2,51 dioptrías, calculada como la diferencia entre esferas medias en los puntos de control.

25 La fig. 16 es un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano para la superficie de acuerdo con un segundo ejemplo de la invención. El eje x está graduado en dioptrías y los valores del eje y son en mm. El punto de control de visión de lejos tiene un valor de eje x de 0 mm, un valor de eje y de 8 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 4,72 dioptrías y un cilindro de 0,07 dioptrías. El punto de control de visión de cerca tiene un valor de eje x de 3 mm, un valor de eje y de -14 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 2,20 dioptrías y un cilindro de 0,08 dioptrías. La adición de superficie nominal es de -2,51 dioptrías, calculada como la diferencia entre esferas medias en los puntos de control.

30 La fig. 21 es un gráfico de esfera media a lo largo del meridiano para la superficie de acuerdo con un tercer ejemplo de la invención. El eje x está graduado en dioptrías y los valores del eje y son en mm. El punto de control de visión de lejos tiene un valor de eje x de 0 mm, un valor de eje y de 8 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 4,71 dioptrías y un cilindro de 0,10 dioptrías. El punto de control de visión de cerca tiene un valor de eje x de 3 mm, un valor de eje y de -14 mm sobre la superficie, y tiene una esfera de 2,21 dioptrías y un cilindro de 0,10 dioptrías. La adición de superficie nominal es de -2,50 dioptrías, calculada como la diferencia entre esferas medias en los puntos de control.

35 Puede verse a partir de la comparación de las figs. 1 y 6 a las figs. 11, 16 y 21 que el valor de regresión es aproximadamente el mismo para todas las superficies pero las variaciones de esfera en proximidad de los puntos de control son menos fuertes sobre las superficies de acuerdo con la invención. Más específicamente la variación aguda de esfera y cilindro situada cerca de los puntos de control han sido alisadas sobre las superficies de acuerdo con la invención, notablemente para el ejemplo de Lente 5. El valor máximo de la cuarta derivada  $D_4$  definida anteriormente es representativo de estas variaciones agudas de esfera y cilindro.  $D_4$  está directamente ligada a la aceleración de la esfera y cilindro. Cuando se establece un valor límite a  $D_4$  sobre al menos una porción central de la superficie incluyendo una porción del meridiano, el punto de control de visión de cerca y el punto de control de visión de lejos, las áreas del meridiano donde las aceleraciones de la esfera media son las más fuertes son suavizadas.

40 Las figs. 2, 7, 12, 17 y 22 son mapas que muestran la variación de esfera media con relación al valor de esfera media del punto de control de visión de lejos para las superficies frontales de las Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. Estos mapas muestran la proyección de la superficie sobre el plano (x, y); serán reconocidos el marco de referencia (x, y) definido anteriormente así como el meridiano principal. Los puntos de control de visión de lejos y visión de cerca tienen coordenadas respectivas de (0; 8) y (3; -14).

45 En las figs. 2, 7, 12, 17 y 22, pueden verse líneas iso-esfera, en otras palabras líneas que unen puntos que tienen el mismo valor de esfera media. Puede observarse que los gradientes de esfera son mucho menores, es decir las líneas iso-esfera están más separadas, sobre las superficies de acuerdo con la invención por comparación con las superficies de los ejemplos comparativos.

Las figs. 3, 8, 13, 18 y 23 son mapas de cilindro para las superficies frontales de las Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente; se han utilizado los mismos convenios gráficos e indicaciones que los de las figs. 2, 7, 12, 17 y 22, mostrando simplemente cilindro en lugar de esfera en este dibujo. Puede observarse que los gradientes de cilindro son mucho menores, es decir las líneas iso-cilindro están más separadas, sobre las superficies de acuerdo con la invención por comparación con las superficies de los ejemplos comparativos.

Las figs. 4, 9, 14, 19 y 24 son mapas de gradientes de esfera para las superficies frontales de las Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. Estos mapas confirman que los gradientes de esfera de las superficies de acuerdo con la invención son mucho menores que los gradientes de esfera de superficies de ejemplos comparativos que tienen un diseño difícil. Notablemente, el gradiente de esfera normalizado a la adición superficial nominal es menor que  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en el círculo de 40 mm centrado sobre el punto O para las superficies de la invención - tómesese nota de que los mapas muestran los valores no normalizados de gradientes de esfera.

Las figs. 5, 10, 15, 20 y 25 son mapas de gradientes de cilindro para las superficies frontales de las Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. Estos mapas confirman que los gradientes de cilindro de la superficie de acuerdo con la invención son mucho menores que los gradientes de cilindro de superficies de ejemplos comparativos que tienen un diseño difícil. Notablemente, el gradiente de cilindro es menor que  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en el círculo de 40 mm centrado sobre el punto O para las superficies de la invención - tómesese nota de que los mapas muestran los valores no normalizados de gradientes de esfera.

También puede observarse que las líneas iso-gradiente en las figs. 14-15, 19-20, 24-25 están mucho más espaciadas, menos cerca entre si, en la porción central de la lente en comparación a las figs. 4-5 y 9-10. La variación de gradientes sobre las superficies frontales de las Lente 3, Lente 4 y Lente 5 es mucho menor que la variación de gradientes sobre la superficie frontal de la Lente 1 y Lente 2. Esto indica que la cuarta derivada  $D_4$  tiene valores pequeños sobre las superficies de la invención en comparación con superficies de los ejemplos comparativos.

Además, el valor máximo de  $D_4$ , en la zona de visión de lejos está situado cerca del punto de control de visión de lejos, es decir al menos a 4 mm por encima del centro de la superficie a lo largo del eje y, y preferiblemente al menos a 8 mm por encima del centro de la superficie a lo largo del eje y. Además, el valor máximo de  $D_4$  en la zona de visión de cerca está situado por debajo del punto de control de visión de cerca, es decir al menos a 8 mm por debajo del centro de la superficie, y preferiblemente al menos a 14 mm por debajo del centro de la superficie. Como consecuencia, las variaciones de gradientes serán menores sobre la porción central de la primera superficie de la pieza elemental de lente semiacabada. Además, el valor máximo de  $D_4$  de la superficie posterior calculada será también menor y el acabado superficial será más preciso.

La Tabla I siguiente resume los valores máximos normalizados de la cuarta derivada  $D_4$ , el gradiente de esfera y el gradiente de cilindro para las superficies frontales de las lentes consideradas.

Tabla I

	Criterios de Superficie Frontal		
	$D_4 \text{ (mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1})$	Grad SPH ( $\text{mm}^{-1}$ )	Grad CYL ( $\text{mm}^{-1}$ )
Lente 1	$6,90 \cdot 10^{-5}$	$9,23 \cdot 10^{-1}$	1,74
Lente 2	$5,52 \cdot 10^{-5}$	$7,96 \cdot 10^{-1}$	1,55
Lente 3	$4,14 \cdot 10^{-5}$	$6,96 \cdot 10^{-1}$	1,35
Lente 4	$2,84 \cdot 10^{-5}$	$6,01 \cdot 10^{-1}$	1,17
Lente 5	$2,36 \cdot 10^{-5}$	$5,12 \cdot 10^{-1}$	$9,97 \cdot 10^{-1}$

Las figs. de 26 a 40 son análisis ópticos del rendimiento nominal de las lentes consideradas. Los rendimientos nominales son definidos como el mejor compromiso seleccionado resultante de la repartición de defectos ópticos sobre la lente. Una función óptica objetivo es entonces definida para ser utilizada durante la optimización óptica cuando se definen las superficies características de la lente. La lente fabricada finalmente obtenida puede tener rendimientos ópticos que se desvían ligeramente de los rendimientos nominales, debido notablemente a limitaciones de mecanización y a defectos de posicionamiento.

Las figs. 26, 29, 32, 35, 38 representan potencia nominal a lo largo del meridiano principal para las lentes Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. La adición óptica es de 2,69 dioptrías para la Lente 1 y Lente 2; 2,67 dioptrías para la Lente 3; 2,66 dioptrías para la Lente 4 y la Lente 5, siendo nula la potencia en el punto de control de visión de lejos. Es inmediatamente evidente que los rendimientos ópticos a lo largo del meridiano son los mismos para todas las lentes.

Las figs. 27, 30, 33, 36 y 39 muestran potencia nominal percibida por el usuario con lentes Lente 1, Lente 2, Lente 3,

Lente 4 y lente 5 respectivamente. Las figs. 28, 31, 34, 37 y 40 muestran astigmatismo resultante para con las lentes Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. Es inmediatamente evidente que los rendimientos ópticos son sustancialmente los mismos para todas las lentes.

5 Utilizar una pieza elemental de lente semiacabada de acuerdo con la invención permite una fabricación de la lente más fácil al tiempo que mantiene los rendimientos ópticos de la lente como se explicará a continuación.

Las figs. 41 a 65 son ilustraciones de una segunda superficie para lentes fabricadas a partir de piezas elementales de lente de las figs. 1 a 25, es decir superficies posteriores de las lentes consideradas Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5.

10 Las figs. 41, 46, 51, 56 y 61 son gráficos de variación de esfera media a lo largo del mediano para las superficies posteriores de Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. La progresión de potencia superficial nominal es de 4,76 dioptrías para la Lente 1 y Lente 2; 4,77 dioptrías para las Lente 3, Lente 4 y Lente 5, calculadas como la diferencia entre esferas medias en los puntos de control.

15 Puede verse a partir de la comparación de las figs. 41 y 46 a las figs. 51, 56 y 61 que las variaciones agudas de esfera y cilindro en los puntos de control son más suaves, notablemente en las figs. 56 y 61. La fabricación de la segunda superficie será por ello más fácil.

20 Las figs. 42, 47, 52, 57 y 62 son mapas que muestran la variación de esfera media relativamente al valor de esfera media del punto de control de visión de lejos para las superficies posteriores de Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. Las figs. 43, 48, 53, 58 y 63 son mapas que muestran cilindro para las superficies posteriores de Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente. Las figs. 44, 49, 54, 59 y 64 son mapas que muestran gradientes de esfera para las superficies posteriores de Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente y las figs. 45, 50, 55, 60 y 65 son mapas que muestran gradientes de cilindro para las superficies posteriores de Lente 1, Lente 2, Lente 3, Lente 4 y Lente 5 respectivamente.

25 Puede observarse que cuando se utiliza, una pieza elemental de lente que tiene una primera superficie de acuerdo con la invención, los gradientes de esfera y cilindro son menores en la segunda superficie en comparación con cuando se utiliza una pieza elemental de lente que tiene una primera superficie de acuerdo con los ejemplos comparativos. Puede observarse también que las líneas iso-gradiente en las figs. 54-55, 59-60, 64-65 están más separadas, menos cerca una de la otra, en la porción central de la lente en comparación con las figs. 44-45 y 49-50. Esto indica que la cuarta derivada  $D_4$  tiene valores menores en las superficies posteriores de lentes que tienen una superficie frontal de acuerdo con la invención cuando es comparada con superficies posteriores de lentes que tienen una superficie frontal de acuerdo con ejemplos comparativos.

30 La Tabla II siguiente resume los valores máximos normalizados de la cuarta derivada  $D_4$ , gradiente de esfera y gradiente de cilindro para las superficies posteriores de las lentes consideradas.

Tabla II

	Criterios de Superficie Posterior		
	$D_4$ ( $\text{mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$ )	Grad SPH ( $\text{mm}^{-1}$ )	Grad CYL ( $\text{mm}^{-1}$ )
Lente 1	$1,49 \cdot 10^{-4}$	1,87	3,57
Lente 2	$1,35 \cdot 10^{-4}$	1,74	3,38
Lente 3	$1,20 \cdot 10^{-4}$	1,60	3,18
Lente 4	$1,05 \cdot 10^{-4}$	1,48	2,98
Lente 5	$9,13 \cdot 10^{-5}$	1,38	2,79

35 Debido al control de los gradientes de esfera y cilindro sobre la superficie frontal, los gradientes de esfera y cilindro pueden ser reducidos sobre la superficie posterior y las aceleraciones de la herramienta de acabado superficial digital serán limitadas durante el acabado superficial de la superficie de la lente. Por ello, el fresado de la superficie será más preciso.

40 Debido al control de la cuarta derivada sobre la superficie frontal, se evitarán también variaciones agudas de gradientes durante el acabado superficial de la superficie posterior de la lente. Por ello, el pulido de la superficie posterior se verá menos afectado.

Por ello, utilizar una pieza elemental semiacabada de acuerdo con la invención, con un diseño suave y valores controlados de la cuarta derivada, hace más fácil fabricar la lente y además mejora la calidad óptica de la lente obtenida después del acabado superficial de la segunda superficie.

De hecho, como se ha mencionado anteriormente con respecto a las figs. 26-40, los rendimientos ópticos nominales son sustancialmente los mismos para todas las lentes. Aún las lentes de la invención son más tolerantes a los defectos de posicionamiento durante la fabricación.

5 Las figs. 66 a 68 son rendimientos ópticos de la Lente 1 con defectos de posicionamiento simulados de  $T_x= +0,2$  mm,  $T_y= +0,2$  mm y  $R_z= +0,5^\circ$  para la superficie frontal y de  $T_x= -0,2$  mm,  $T_y= -0,2$  mm y  $R_z= -0,5^\circ$  para la superficie posterior. Las figs. 69 a 71 son rendimientos ópticos de la Lente 5 con los mismos defectos de posicionamiento simulados. Las figs. 72 a 74 son superposición de los rendimientos ópticos nominales y los rendimientos ópticos simulados con defectos de posicionamiento para la Lente 1, es decir superposición de las figs. 26 a 28 y de las figs. 66 a 68. Las figs. 75 a 77 son superposición de los rendimientos ópticos nominales y de los rendimientos ópticos simulados con defectos de  
10 posicionamiento para la Lente 5, es decir superposición de las figs. 38 a 40 y de las figs. 69 a 71. La fig. 78 es un gráfico que muestra la desviación máxima entre los rendimientos nominales y los rendimientos ópticos simulados con defectos de posicionamiento para cada lente considerada. El impacto de los defectos de posicionamiento fue evaluado sobre una porción central de la lente, y notablemente para direcciones de visión de  $-40^\circ < \alpha < 40^\circ$  y  $-40^\circ < \beta < 40^\circ$ . Para proporcionar el gráfico de la fig. 78, la desviación entre la potencia nominal/astigmatismo resultante y la potencia simulada/astigmatismo resultante fue calculada para cada dirección de visión en la porción central definida anteriormente para cada lente; a  
15 continuación se evaluó la desviación máxima de entre los valores de desviación para todas las direcciones de visión en la porción central de la lente. Es inmediatamente evidente que las lentes que tienen una superficie regresiva frontal de acuerdo con la invención tienen menor desviación de los rendimientos nominales que las lentes que tienen superficie regresiva frontal de acuerdo con ejemplos comparativos incluso aunque han sido simulados los mismos defectos de  
20 posicionamiento. Así, las lentes fabricadas a partir de una pieza elemental de lente de acuerdo con la invención habrán mejorado la calidad óptica una vez fabricadas.

Los valores máximos establecidos para gradientes de esfera, gradientes de cilindro y cuarta derivada cuando se define la superficie frontal regresiva de la lente aseguran que la superficie posterior puede ser fabricada sin crear muchos defectos - durante el fresado y el pulido como se ha explicado anteriormente - pero también aseguran que pequeños defectos de  
25 posicionamiento sólo impacten ligeramente en los rendimientos ópticos de la lente fabricada - la agudeza del usuario no resulta realmente afectada.

Se han realizado varios estudios para analizar la agudeza visual de un usuario con respecto a la potencia y resultados de astigmatismo resultante; notablemente la publicación "Influence of combined power error and astigmatism on visual acuity" en Ophthalmic and Visual Optics Technical Digest, (Optical Society of America, Washington, D.C.,  
30 1995), Vol.1.p151-154) [Catherine FAUQUIER, Thierry BONNIN, Christian MIEGE, Eric ROLAND] Essilor International. Se ha considerado que una desviación de potencia media de 0,31 dioptrías combinada con una desviación de astigmatismo resultante de 0,39 dioptrías (Lente 1) de los rendimientos nominales conduce a una reducción de agudeza de más del 33% que será sustancialmente percibida por la mayor parte de los usuarios, mientras que la desviación de potencia media de 0,22 dioptrías combinada con una desviación de astigmatismo resultante de 0,27 dioptrías (Lente 5) de los rendimientos nominales conduce a una reducción de agudeza menor del 25% lo que podría ser ligeramente  
35 percibido por algunos usuarios.

La Tabla III siguiente resume los valores de desviación máxima de la potencia media  $\Delta P$  y del astigmatismo resultante  $\Delta A$  de las lentes consideradas y da la reducción de agudeza resultante de acuerdo con una relación dada en la publicación por Fauquier y col., citada anteriormente.

40 Tabla III

	$\Delta P$ (dioptrías)	$\Delta A$ (dioptrías)	AC (%)
Lente 1	0,31	0,39	33,6
Lente 2	0,29	0,36	31,4
Lente 3	0,26	0,32	28,3
Lente 4	0,24	0,3	26,5
Lente 5	0,22	0,27	24,2

La solicitante considera una reducción de agudeza AC(%) del 30% como discriminativa.

El valor límite normalizado de  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  para la cuarta derivada  $D_4$  y/o los valores límites de  $7,5 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1} / 1,45 \text{ mm}^{-1}$  para los gradientes de esfera/cilindro sobre al menos una porción central de la superficie regresiva frontal proporcionan que la lente puede ser fácilmente fabricada al tiempo que satisface los rendimientos ópticos nominales.

45 La pieza elemental de lente semiacabada de la invención puede ser fabricada por acabado superficial digital o moldeo. La primera superficie de la pieza elemental de lente semiacabada es determinada estableciendo una regresión del valor de esfera media entre la zona 26 de visión de lejos y la zona 28 de visión de cerca, y una cuarta derivada con respecto al valor de la altitud  $D_4$  menor que  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central. Otros criterios como se

ha definido antes, notablemente valores límites de gradientes de esfera y de gradientes de cilindro, pueden también ser utilizados cuando se determina la primera superficie de la pieza elemental de lente semiacabada.

5 Datos relativos a la primera superficie determinada serán utilizados para controlar la mecanización de un molde o para controlar una máquina de acabado superficial digital para producir la primera superficie de la pieza elemental de lente semiacabada.

Una lente progresiva puede ser fabricada utilizando una pieza elemental de lente semiacabada de acuerdo con la invención.

La fig. 83 es un diagrama de flujo de un ejemplo de las operaciones que pueden ser realizadas para fabricar una lente oftálmica progresiva de acuerdo con la invención.

10 Los datos relativos a un usuario son proporcionados (operación 74). Esto puede hacerse en una primera publicación, es decir, un vendedor de gafas (óptico). Los datos son transmitidos (operación 75) desde una primera ubicación a una segunda ubicación donde se selecciona una pieza elemental de lente semiacabada (operación 77) y donde es llevada a cabo una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en los datos relativos a la primera superficie regresiva de la pieza elemental de lente semiacabada (operación 78). Esto puede hacerse en un laboratorio de un diseñador de lentes. La pieza elemental de lente semiacabada puede ser seleccionada basándose en los datos del usuario, por ejemplo la adición prescrita. El resultado de la optimización óptica es transmitido (operación 80) y se determina una segunda superficie de la lente (operación 81) de acuerdo con el resultado de la optimización óptica. Esto puede hacerse en el mismo laboratorio, o en un laboratorio diferente. Los datos relativos a la segunda superficie son transmitidos (operación 82) a un fabricante de lentes. Utilizando la pieza elemental de lente seleccionada, el fabricante de lente acaba superficialmente la superficie sin acabar de la pieza elemental de acuerdo con la segunda superficie determinada (operación 83). La superficie sin acabar de la pieza elemental puede ser hecha por acabado superficial digital o moldeo.

La lente progresiva de la invención puede también ser fabricada sin utilizar una pieza elemental de lente semiacabada.

25 Se proporcionan datos relativos a un usuario (operación 74). Los datos son transmitidos (operación 75) desde la primera ubicación a una segunda ubicación donde se determina una primera superficie (operación 76). Esto puede hacerse en un laboratorio de un diseñador de lentes. La primera superficie es determinada utilizando los criterios definidos previamente, y notablemente, una regresión del valor de esfera media entre al menos una porción de la zona 26 de visión de lejos y al menos una porción de la zona 28 de visión de cerca, un valor de gradiente de esfera menor de  $7,5 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central de la lente, un valor de gradiente de cilindro menor que  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente y una cuarta derivada con respecto al valor de la altitud ( $D_4$ ) menor que  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-2} \cdot \text{dioptría}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente.

30 Los datos relativos a la primera superficie son transmitidos y se lleva a cabo una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en los datos relativos a la primera superficie (operación 78). Esto puede hacerse en el mismo laboratorio que la determinación de la primera superficie, o en un laboratorio diferente. Los resultados de la optimización óptica son transmitidos (operación 80) y se determina una segunda superficie de la lente (operación 81) de acuerdo con el resultado de la optimización óptica. Esto puede hacerse aún en el mismo laboratorio, o en un laboratorio diferente. Los datos relativos a la primera y segunda superficies son transmitidos (operación 82) a un fabricante de lentes y la lente es producida por acabado superficial digital de doble lado (operación 84) o por moldeo.

40 Estos métodos pueden ser implementados en un ordenador. Pueden proporcionarse productos de programa informático que comprenden una o más secuencias de instrucciones almacenadas que son accesibles a un procesador y que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador lleve a cabo las operaciones de los métodos también propuestos.

45 Tales programas de ordenador pueden ser almacenados en un medio de almacenamiento legible por ordenador tal como, pero no limitado a, cualquier tipo de disco incluyendo discos flexibles, discos ópticos, CD-ROM, discos magnético-ópticos, memorias sólo de lectura (ROM), memorias de acceso aleatorio (RAM) memorias sólo de lectura programables eléctricamente (EPROM), memorias sólo de lectura que se pueden borrar y programar eléctricamente (EEPROM), tarjetas magnéticas u ópticas, o cualquier otro tipo de medio adecuado para almacenar instrucciones electrónicas, y capaz de ser acoplado a un bus de sistema informático. Un medio legible por ordenador que lleva una o más secuencias de instrucciones del producto de programa informático es así propuesto. Esto permite llevar a cabo el método en cualquier ubicación.

50 Se ha propuesto también un conjunto de aparatos para fabricar una lente oftálmica progresiva, en donde los aparatos están adaptados para llevar a cabo el método para su fabricación.

**REIVINDICACIONES**

1. Una lente oftálmica progresiva que comprende una superficie frontal y una superficie posterior, teniendo cada superficie en cada punto una altitud (z), un valor de esfera media ( $SPH_{media}$ ) y un valor de cilindro (CYL), comprendiendo al menos una superficie dos micro-marcas y un punto central situado en el centro de un segmento que enlaza las dos micro-marcas, en donde la porción central de la lente es un círculo de 40 mm de diámetro centrado sobre el punto central, comprendiendo la superficie frontal de la lente:

- una zona (26) de visión de lejos que tiene un punto de referencia (FV) de visión de lejos;
- una zona (28) de visión de cerca que tiene un punto de referencia (NV) de visión de cerca;
- un meridiano principal (32),

10 en donde la superficie frontal es regresiva y tiene:

- un valor normalizado de gradiente de esfera (GradSPH) de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto de la porción central de la lente incluyendo una porción del meridiano principal (32), el punto de referencia (FV) de visión de lejos y el punto de referencia (NV) de visión de cerca, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie;

15 – un valor normalizado de gradiente de cilindro (gradCYL) de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie.

2. Una lente oftálmica progresiva que tiene una primera superficie regresiva y una segunda superficie sin acabar, teniendo la primera superficie regresiva en cada punto una altitud (z), un valor de esfera media ( $SPH_{media}$ ) y un valor de cilindro (CYL), teniendo marcas que definen una posición de un punto central de la pieza elemental, en donde la porción central de pieza elemental es un círculo de 40 mm de diámetro centrado sobre el punto central, en donde la primera superficie regresiva comprende:

- una zona (26) de visión de lejos que tiene un punto de referencia (FV) de visión de lejos;
- una zona (28) de visión de cerca que tiene un punto de referencia (NV) de visión de cerca;
- un meridiano principal (32), y

25

en donde la primera superficie regresiva tiene:

- un valor normalizado de gradiente de esfera (GradSPH) de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la pieza elemental incluyendo una porción del meridiano principal (32), el punto de referencia (FV) de visión de lejos y el punto de referencia (NV) de visión de cerca, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie; y

30 – un valor normalizado de gradiente de cilindro (gradCYL) de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie.

3. Un método para fabricar una pieza elemental de lente semiacabada, que tiene marcas que definen una posición de un punto central de la pieza elemental, en donde la porción central de la pieza elemental es un círculo de 40 mm de diámetro centrado sobre el punto central, que comprende las operaciones de:

35 – definir una primera superficie y una segunda superficie sin acabar, teniendo la primera superficie en cada punto una altitud (z), un valor de esfera media ( $SPH_{media}$ ) y un valor de cilindro (CYL);

40 – definir una zona (26) de visión de lejos que tiene un punto de referencia (FV) de visión de lejos, una zona (28) de visión de cerca que tiene un punto de referencia (NV) de visión de cerca, un meridiano principal (32) e incluyendo la porción central de la primera superficie una porción del meridiano principal (32), el punto de referencia (FV) de visión de lejos y el punto de referencia (NV) de visión de cerca;

– determinar la primera superficie que tiene:

- una regresión del valor de esfera media ( $\Delta SPH_{media}$ ) entre al menos una porción de la zona (26) de visión de lejos y al menos una porción de la zona (28) de visión de cerca; y

45 – un valor normalizado de gradiente de esfera (GradSPH) de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie; y

- un valor normalizado de gradiente de cilindro (gradCYL) de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie;

- acabar superficialmente o moldear la primera superficie.

4. Un método para fabricar una lente oftálmica progresiva, que comprende las operaciones de:

- 5       – proporcionar datos relativos a un usuario,
- seleccionar una pieza elemental de lente semiacabada según la reivindicación 2;
- realizar una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en datos relativos a la primera superficie regresiva de la lente;
- 10       – proporcionar la pieza elemental de lente seleccionada y acabar superficialmente o moldear la superficie sin acabar de la pieza elemental de acuerdo con el resultado de la optimización óptica.

5. Un método para fabricar una lente oftálmica progresiva que tiene una primera y una segunda superficies, donde al menos una superficie comprende dos micro-marcas y un punto central situado en el centro de un segmento que enlaza las dos micro-marcas, en donde la porción central de la lente es un círculo de 40 mm de diámetro centrado sobre el punto central, que comprende las operaciones de:

- 15       – proporcionar datos relativos a un usuario,
- definir la zona (26) de visión de lejos que tiene un punto de referencia (FV) de visión de lejos, una zona (28) de visión de cerca que tiene un punto de referencia (NV) de visión de cerca, un meridiano principal (32);
- definir una primera superficie de la lente que tiene:
  - una regresión del valor de esfera media ( $\Delta\text{SPH}_{\text{media}}$ ) entre al menos una porción de la zona (26) de visión de lejos y al menos una porción de la zona (28) de visión de cerca;
  - un valor normalizado de gradiente de esfera (GradSPH) de menos de  $7,50 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en una porción central de la lente incluyendo una porción del meridiano principal (32), el punto de referencia (FV) de la visión de lejos y el punto de referencia (NV) de la visión de cerca, en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie;
  - 25       – un valor normalizado de gradiente de cilindro (GradCYL) de menos de  $1,45 \text{ mm}^{-1}$  en cualquier punto en la porción central de la lente; en donde el factor de normalización es igual al valor máximo de la adición de la superficie;
  - realizar una optimización óptica de la lente basada en los datos relativos al usuario y en datos relativos a la primera superficie de la lente;
  - 30       – determinar una segunda superficie de la lente de acuerdo con el resultado de la optimización óptica;
  - acabar superficialmente o moldear la primera y segunda superficies.

6. Un producto de programa informático que comprende una o más secuencias de instrucciones almacenadas que son accesibles a un procesador y que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador realice las operaciones del método según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5.

- 35       7. Un medio legible por ordenador que ejecuta una o más secuencias de instrucciones del producto de programa informático de la reivindicación 6.

Figura 1	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

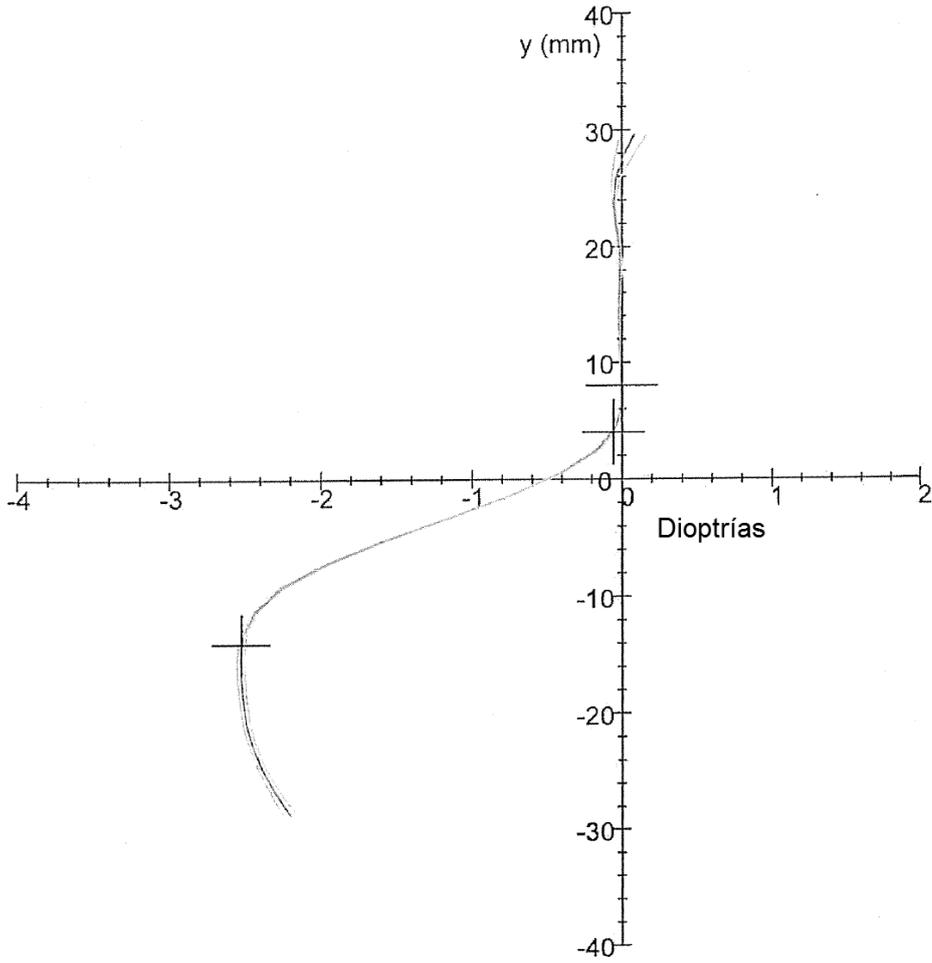


Figura 2	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

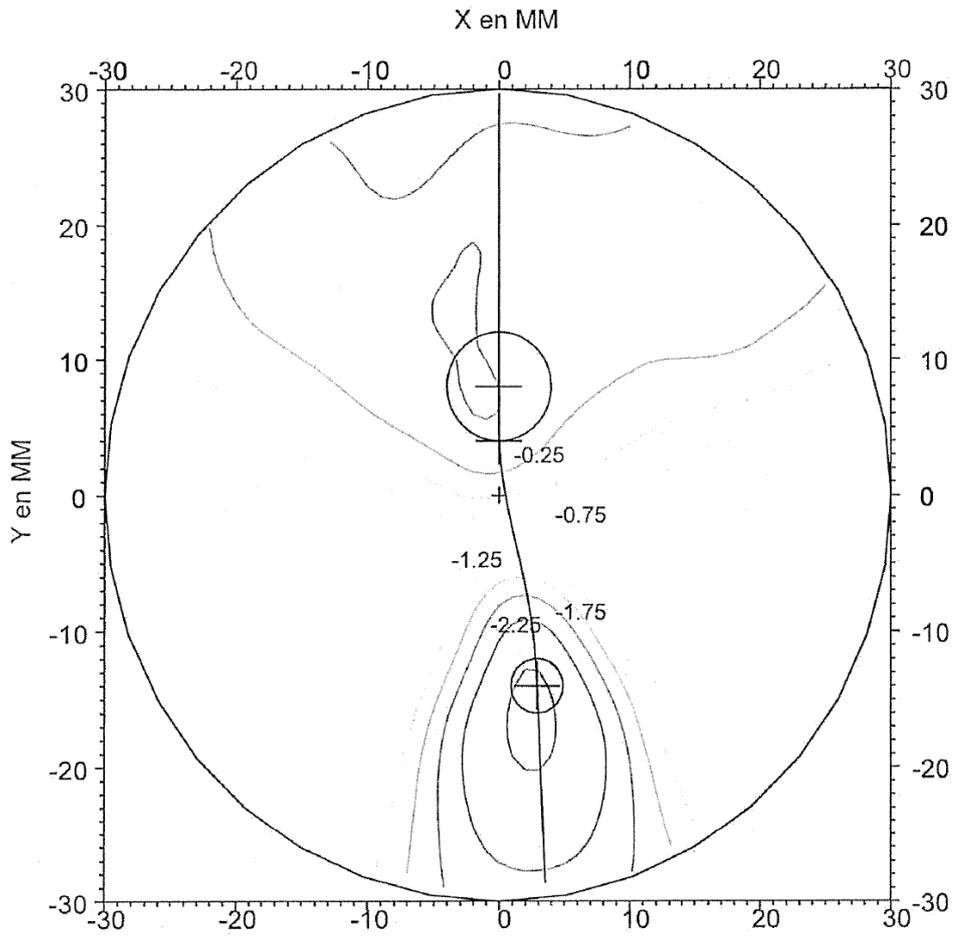


Figura 3	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

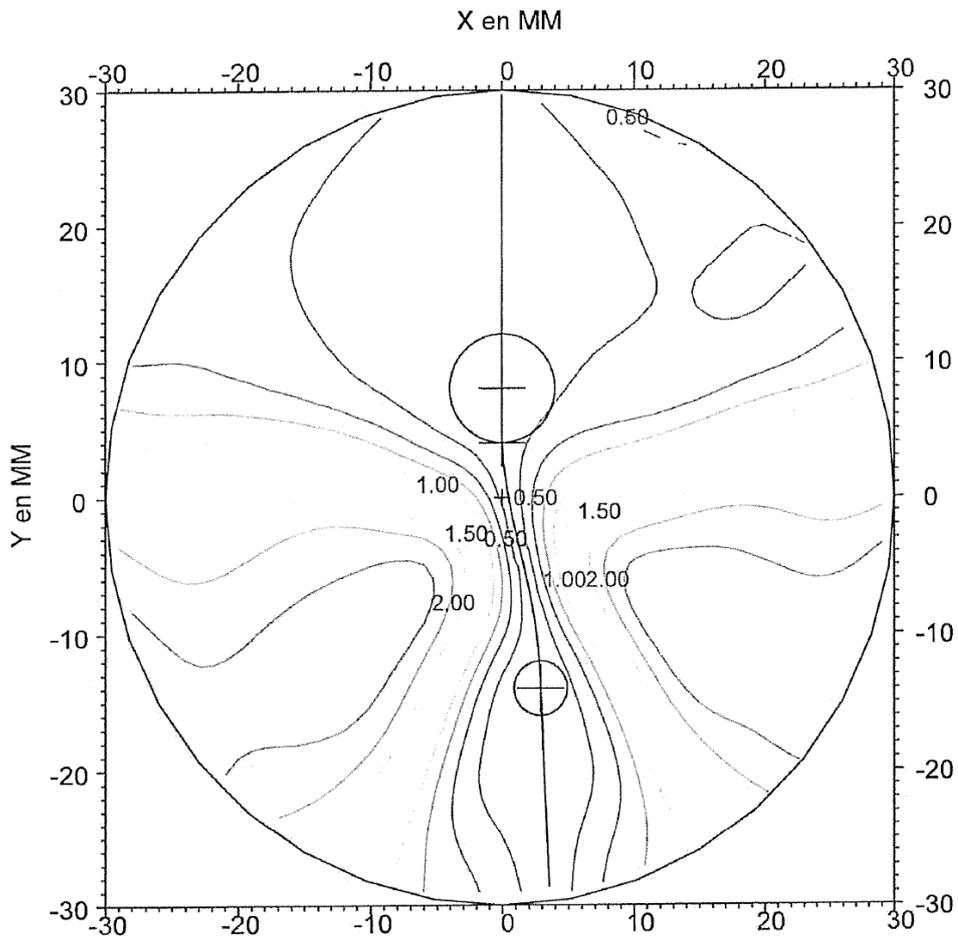


Figura 4	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

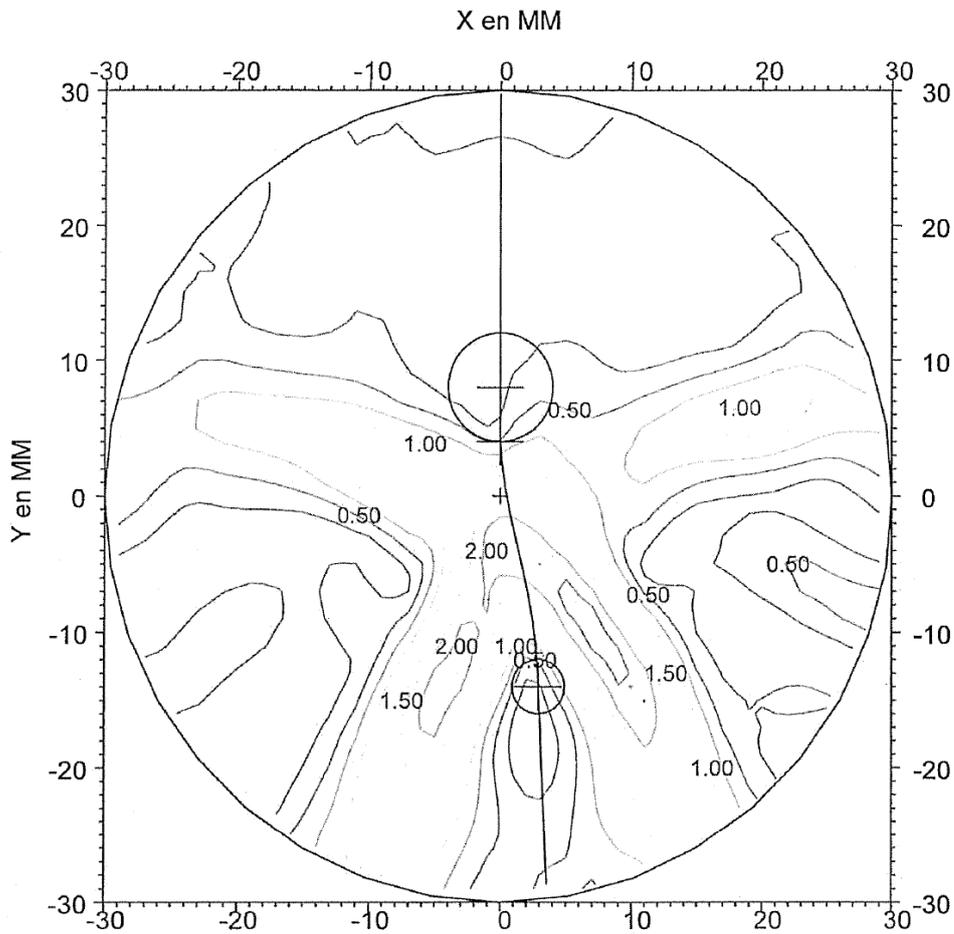


Figura 5	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

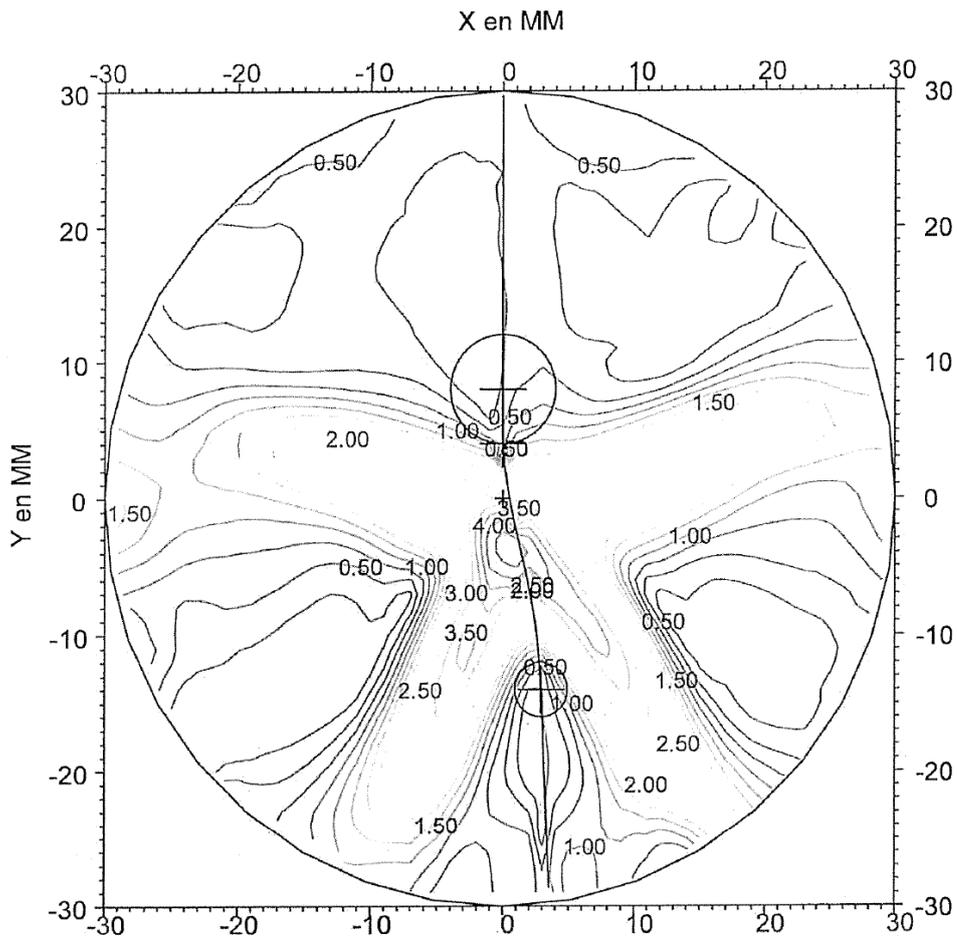


Figura 6	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

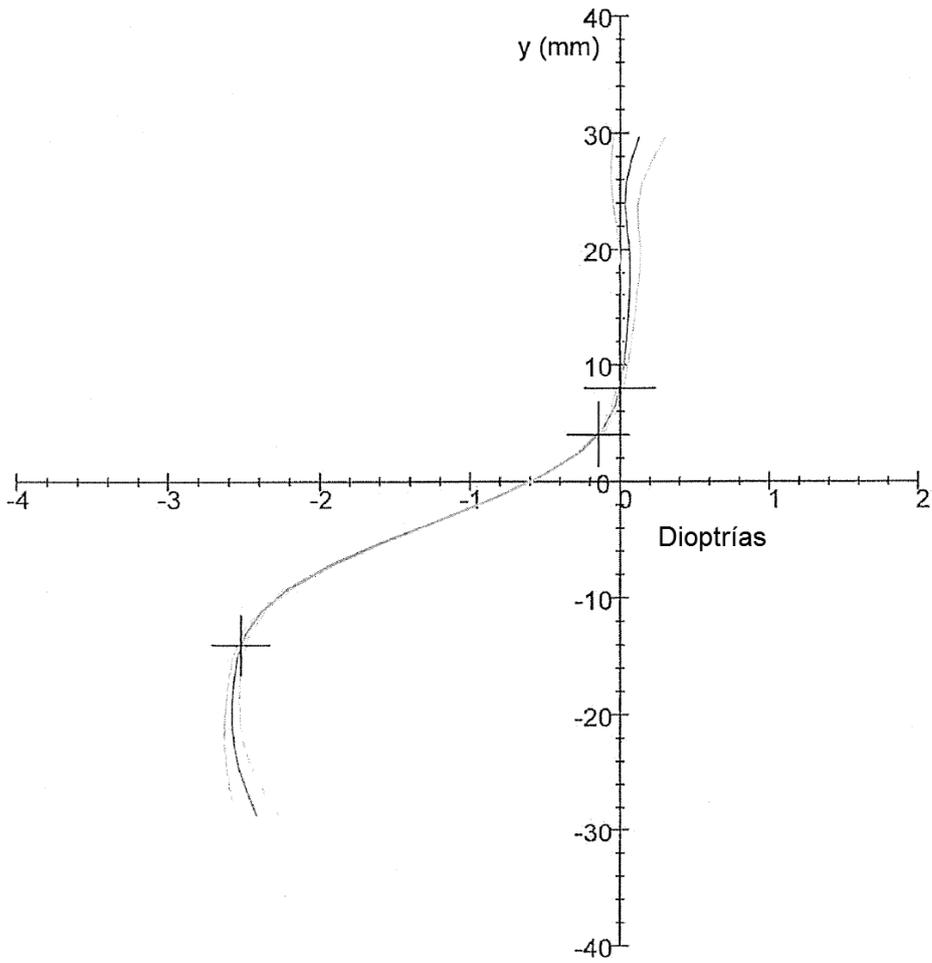


Figura 7	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

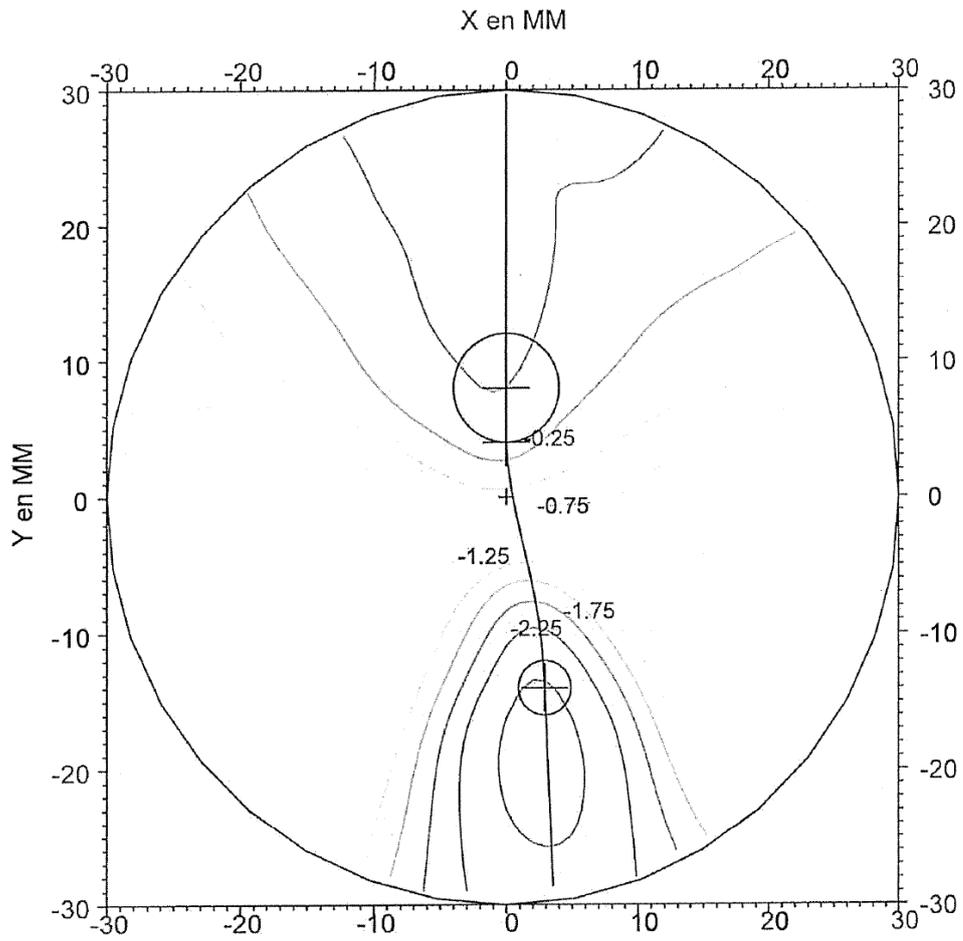


Figura 8	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

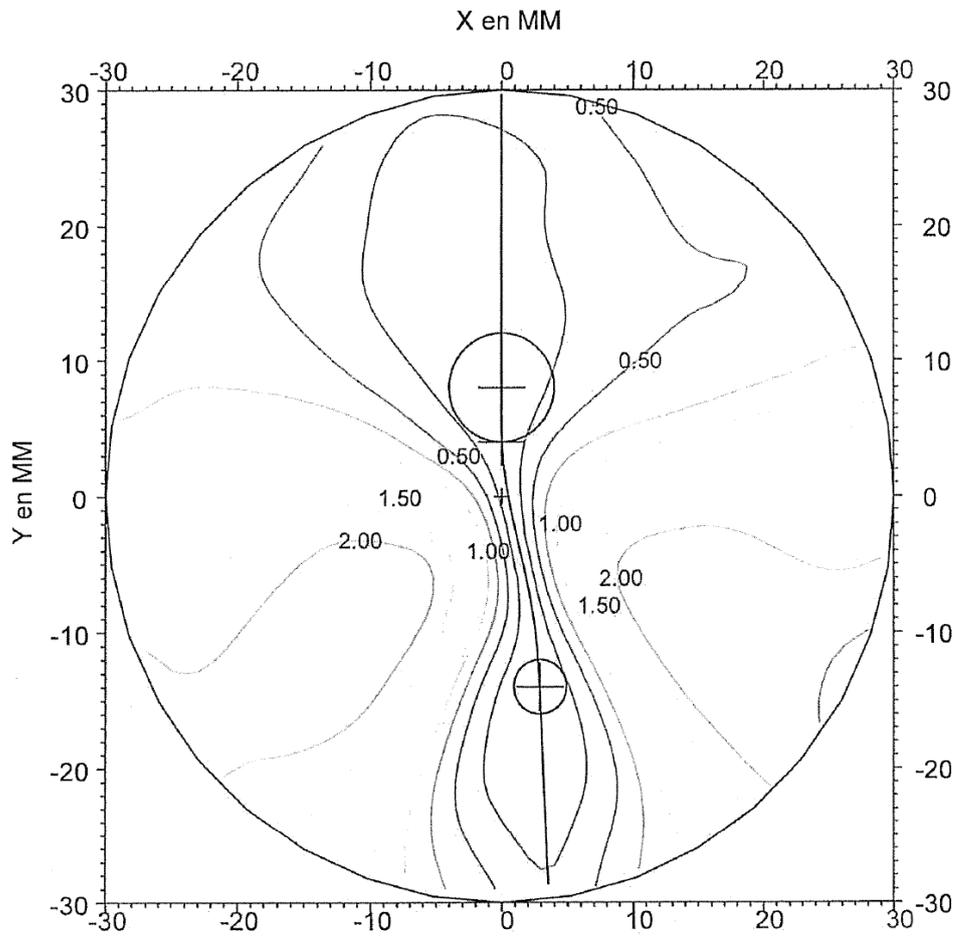


Figura 9	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

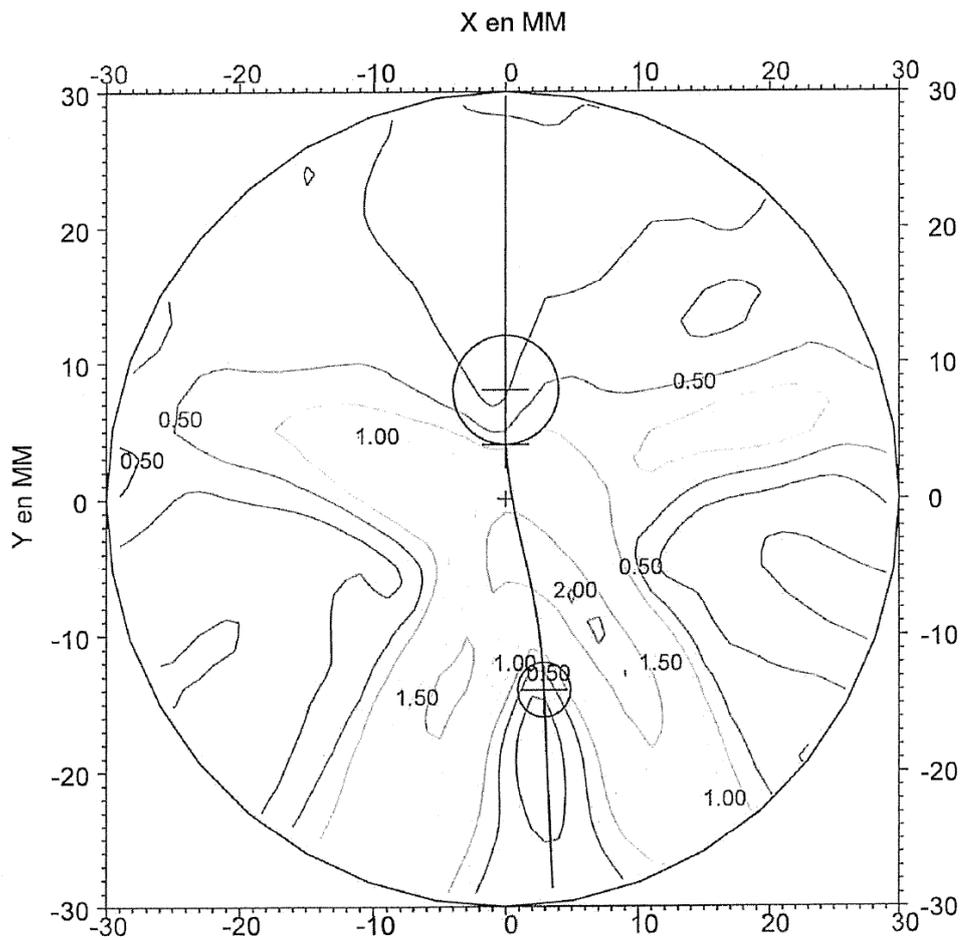


Figura 10	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

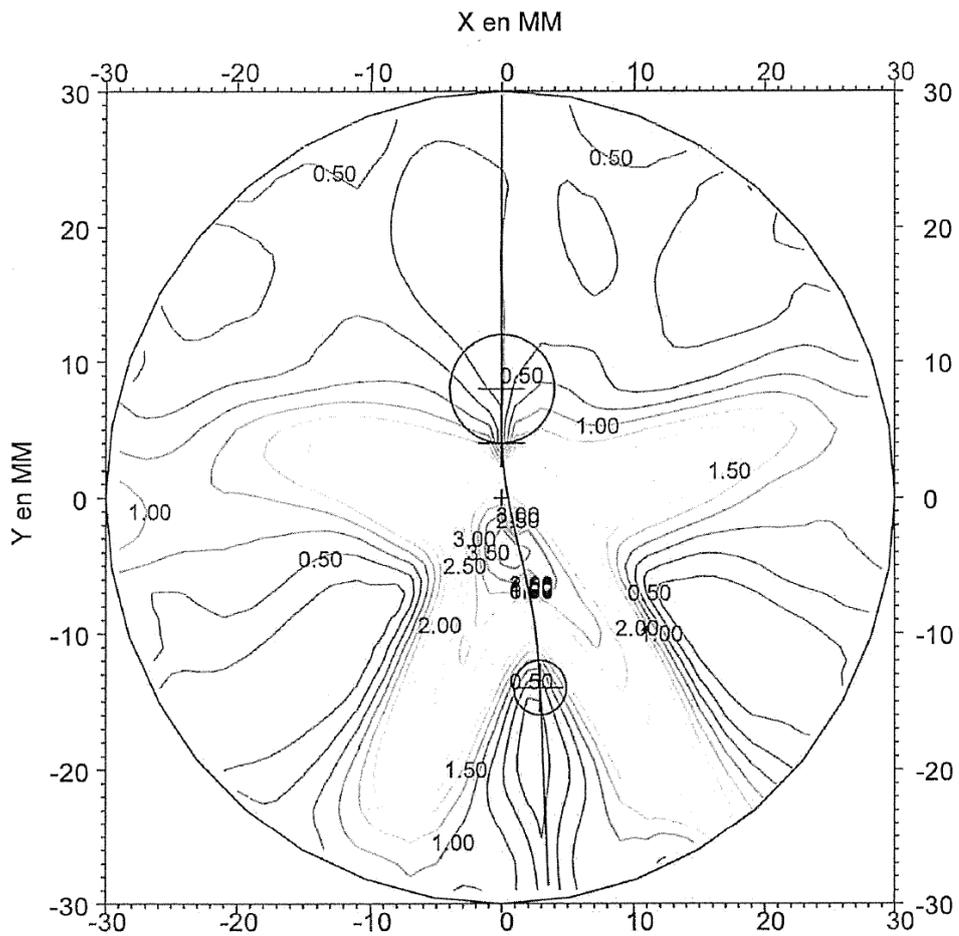


Figura 11	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

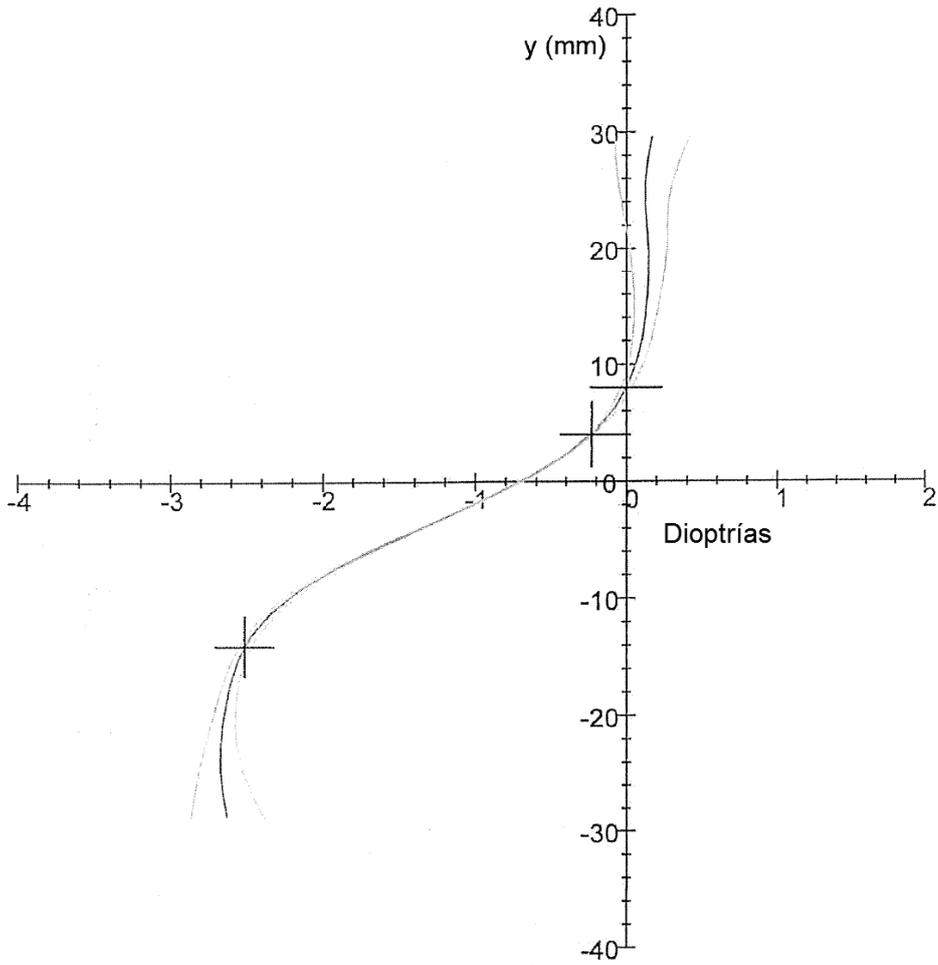


Figura 12	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

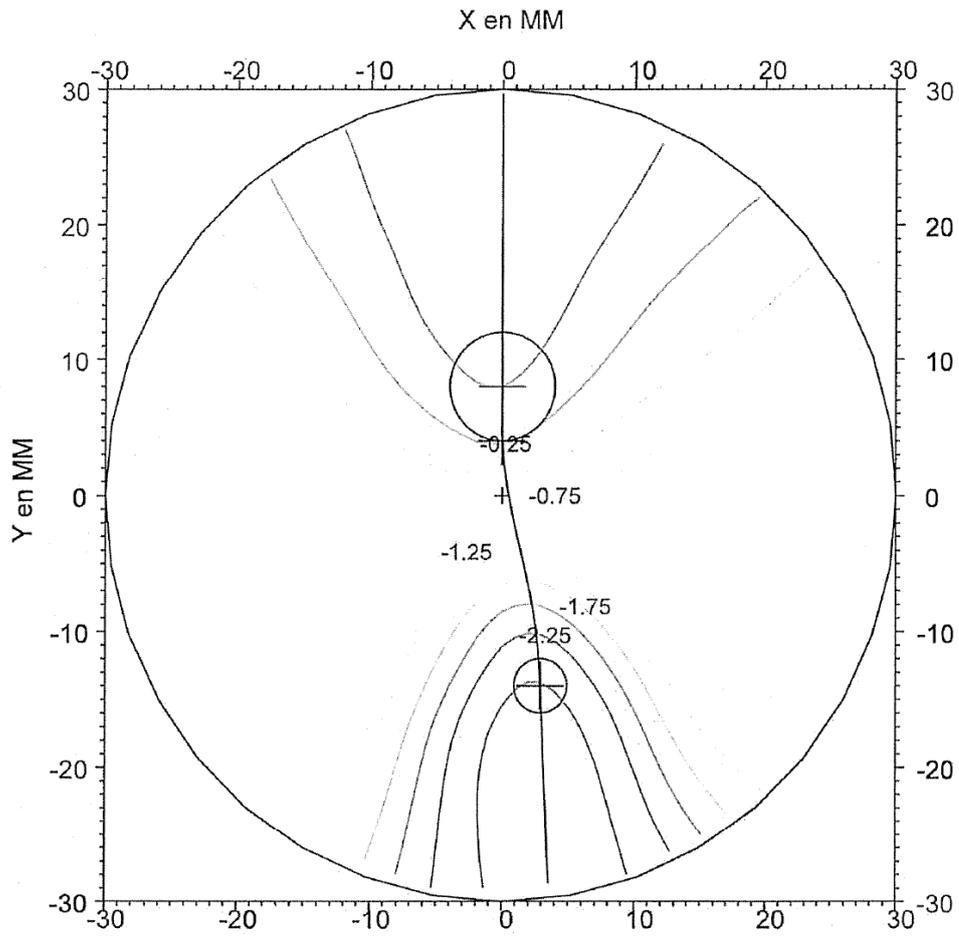


Figura 13	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

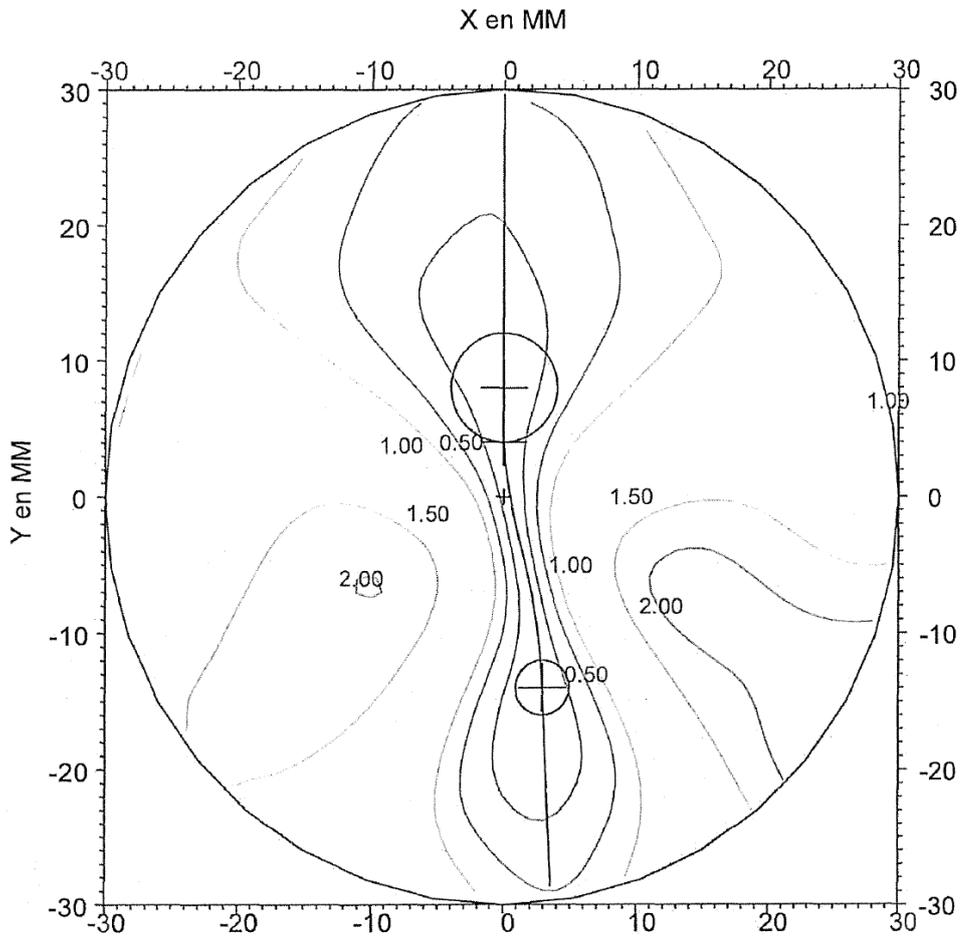


Figura 14	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

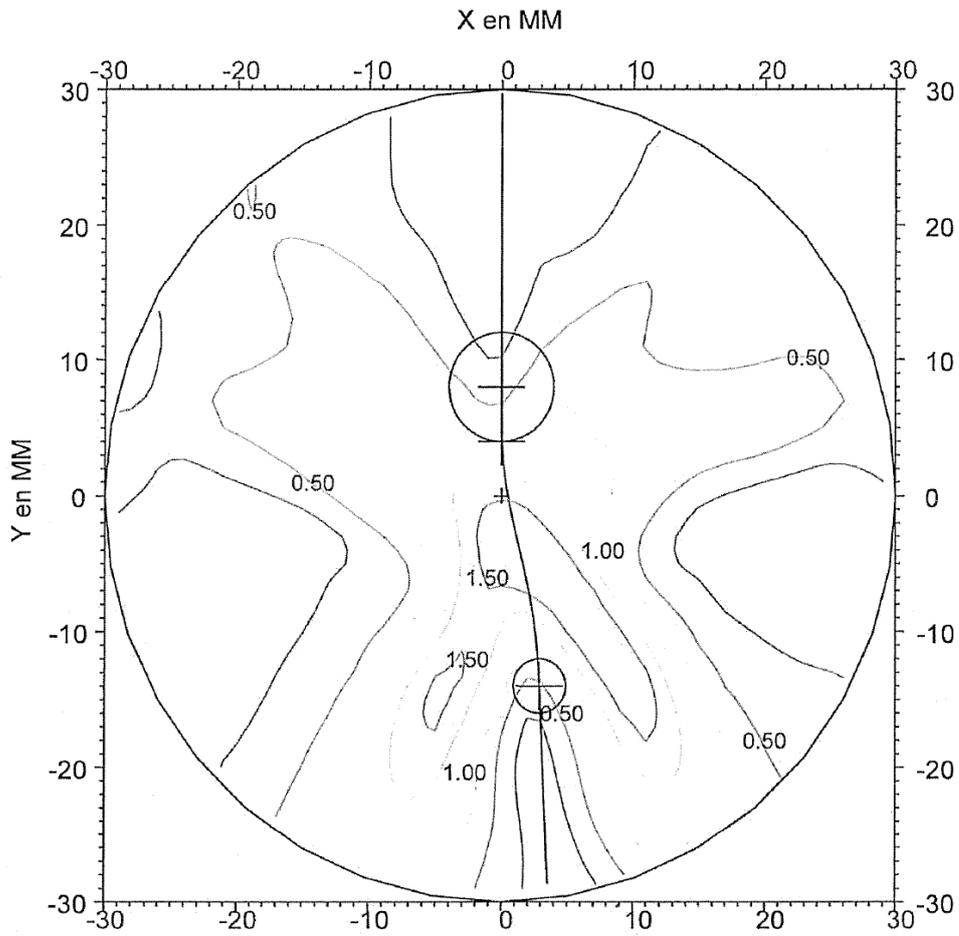


Figura 15	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

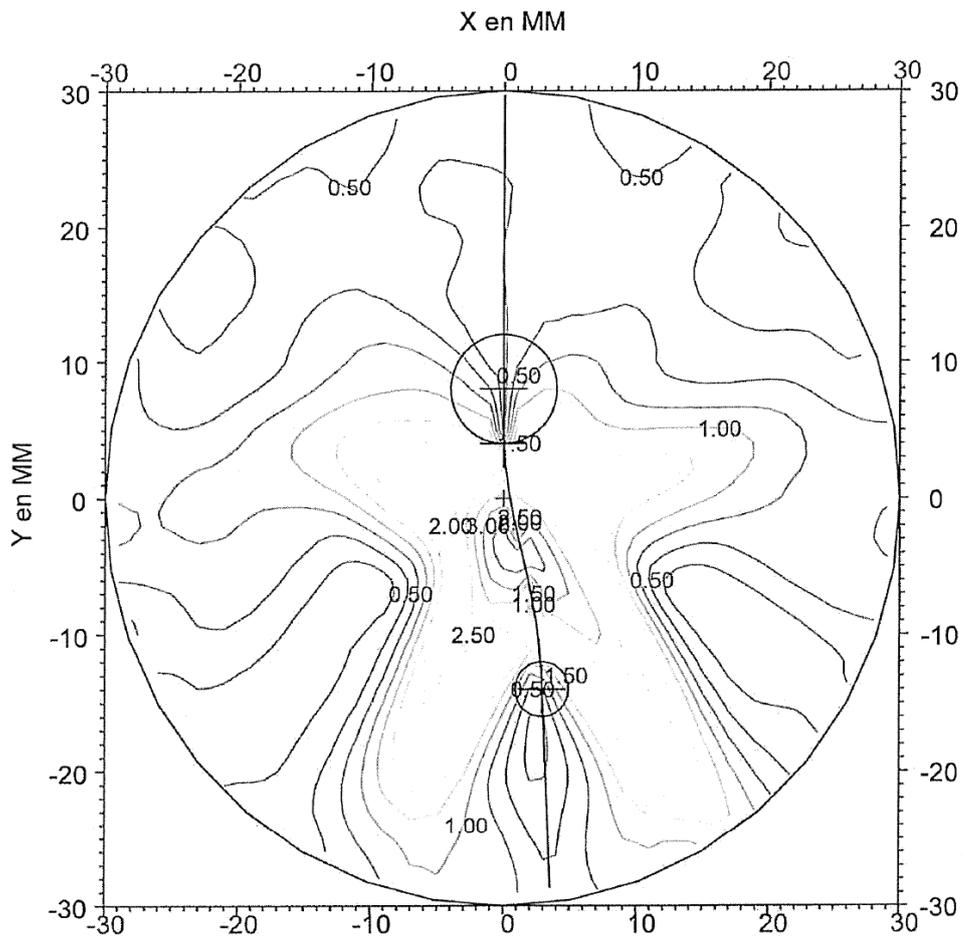


Figura 16	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

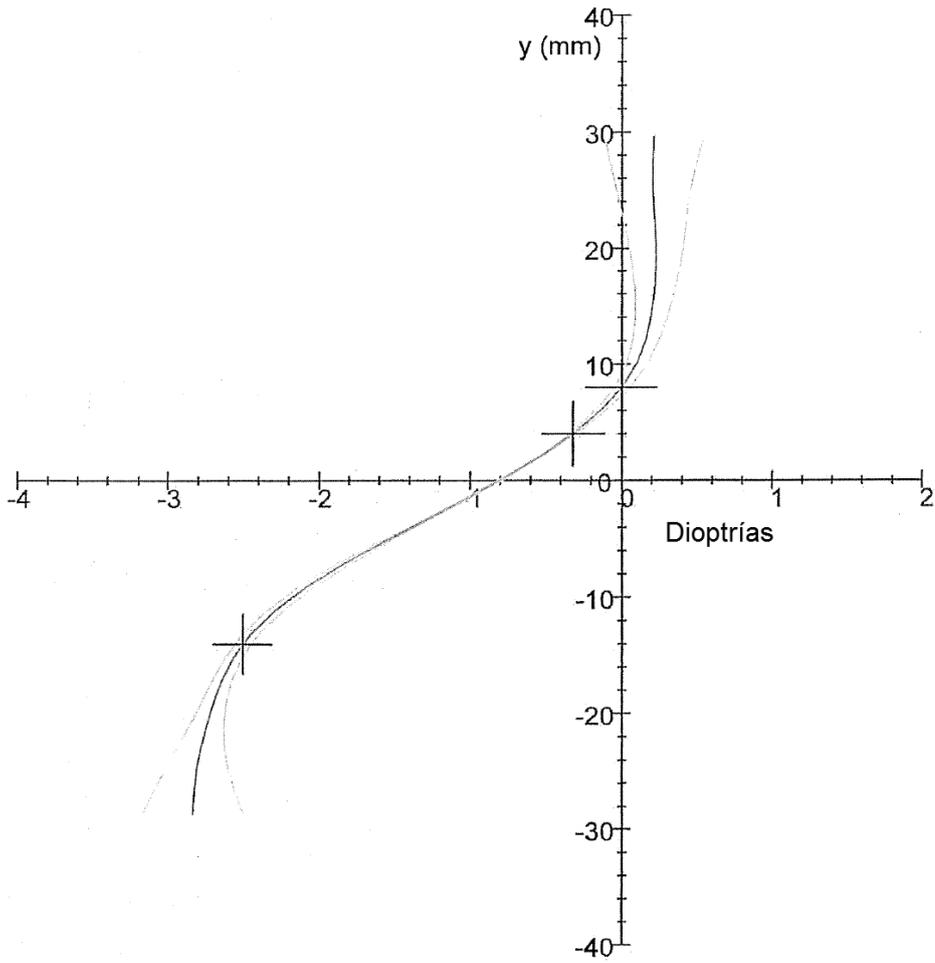


Figura 17	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

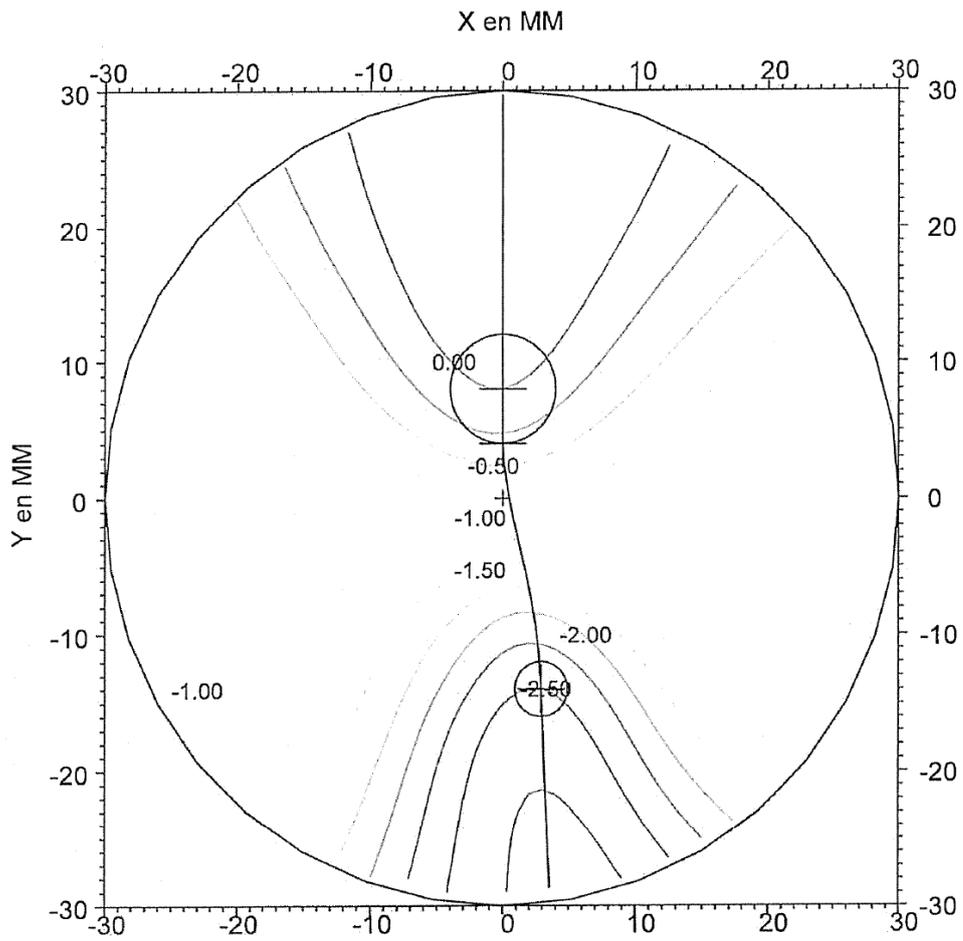


Figura 18	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

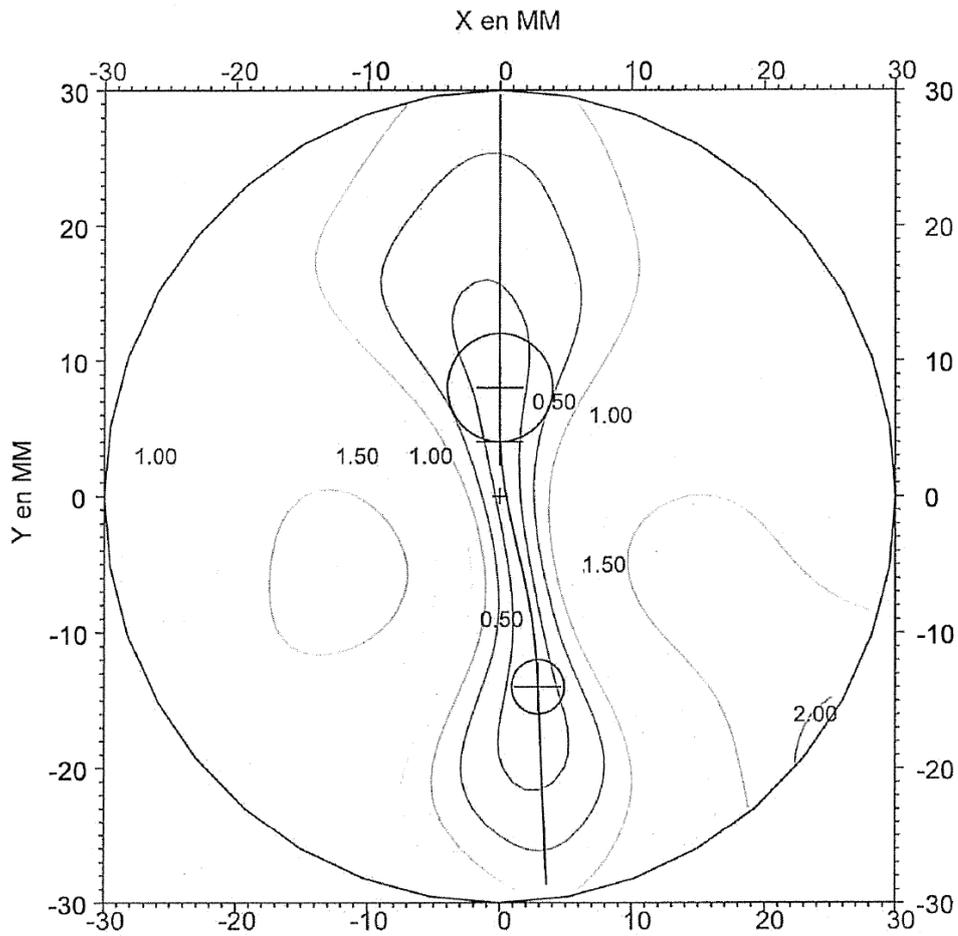


Figura 19	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

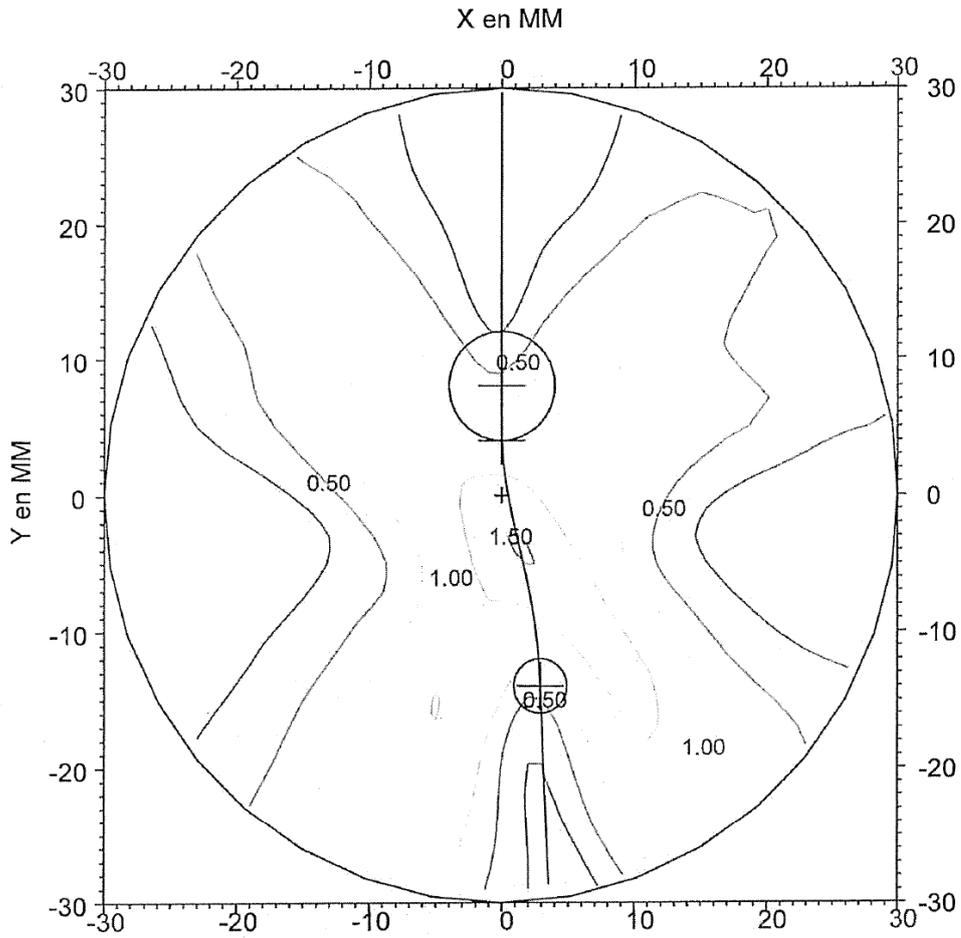


Figura 20	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

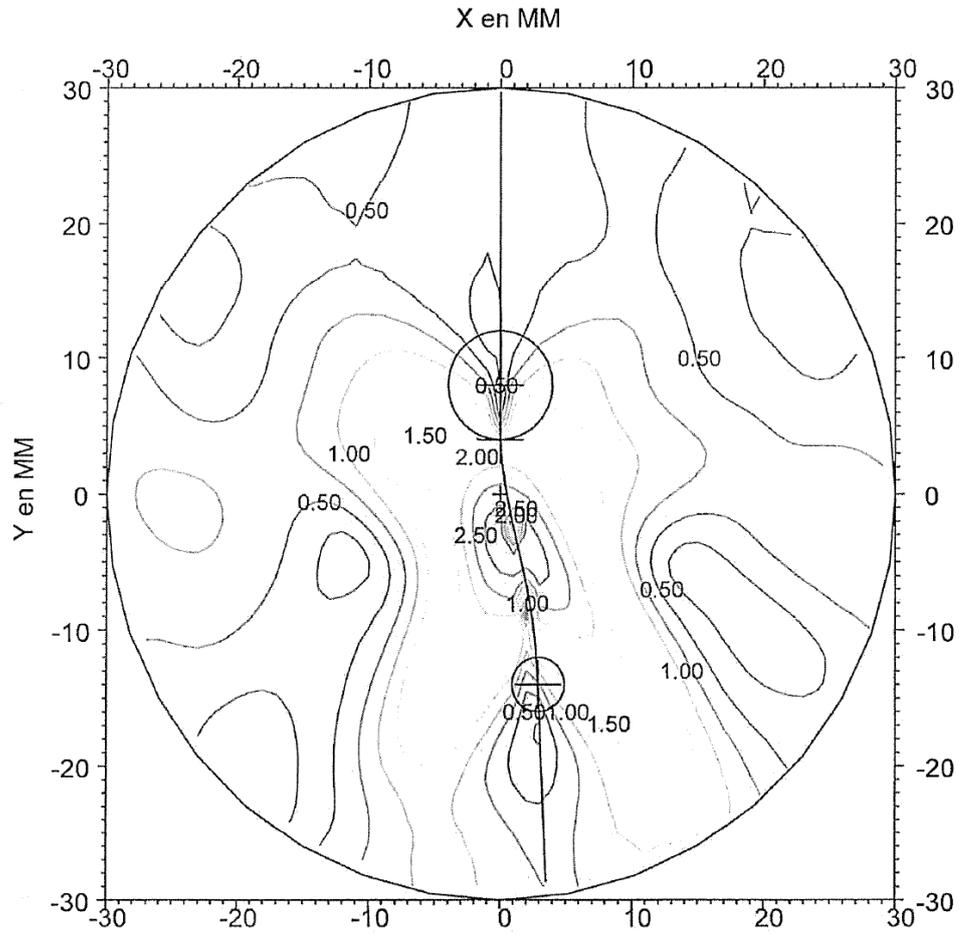


Figura 21	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

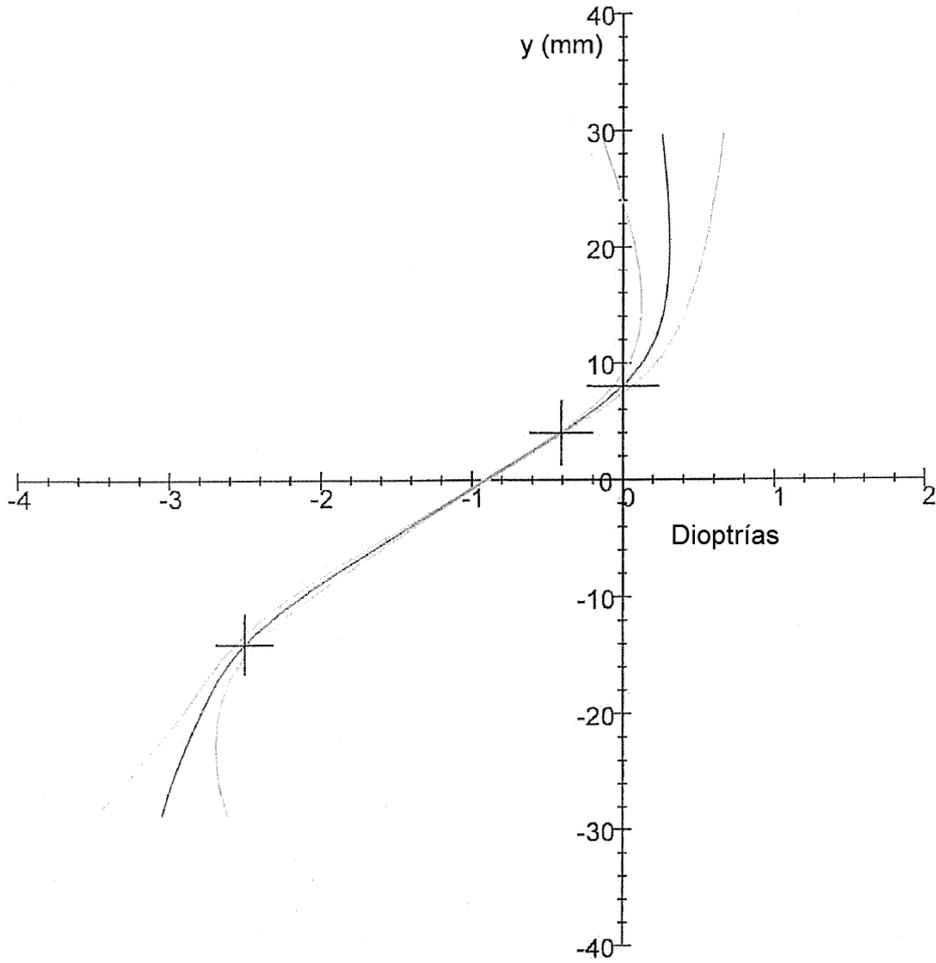


Figura 22	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

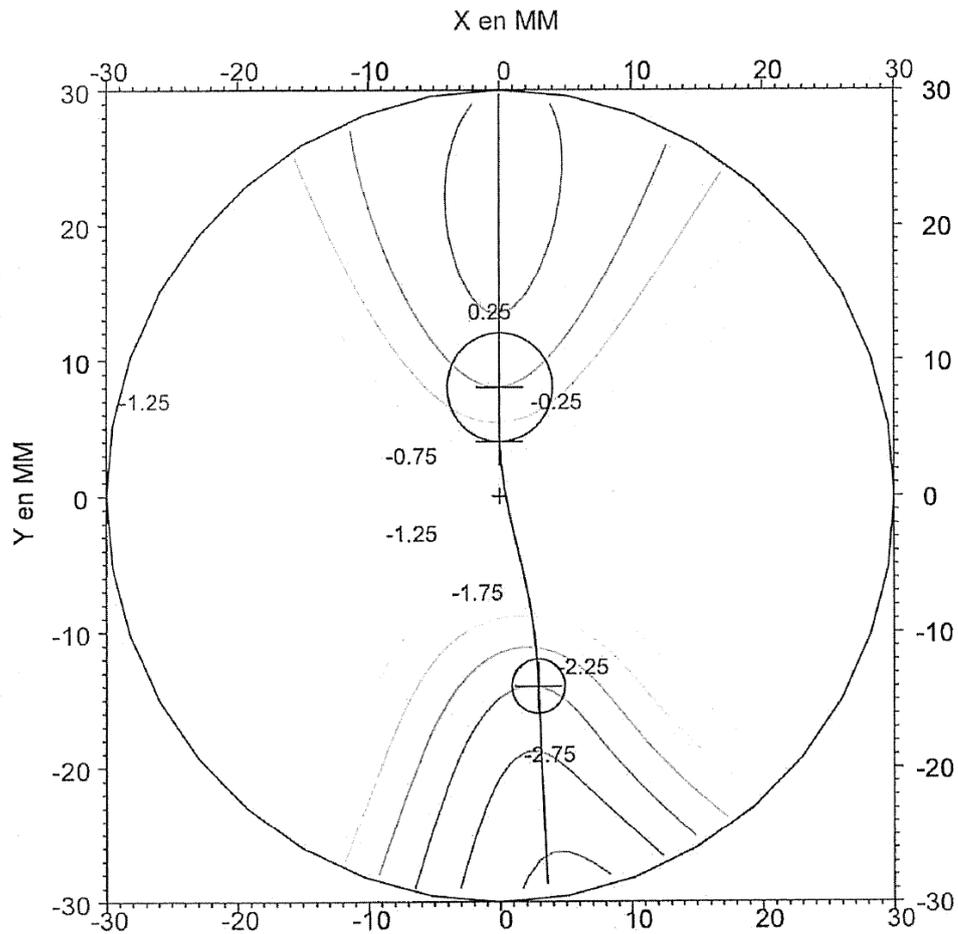


Figura 23	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

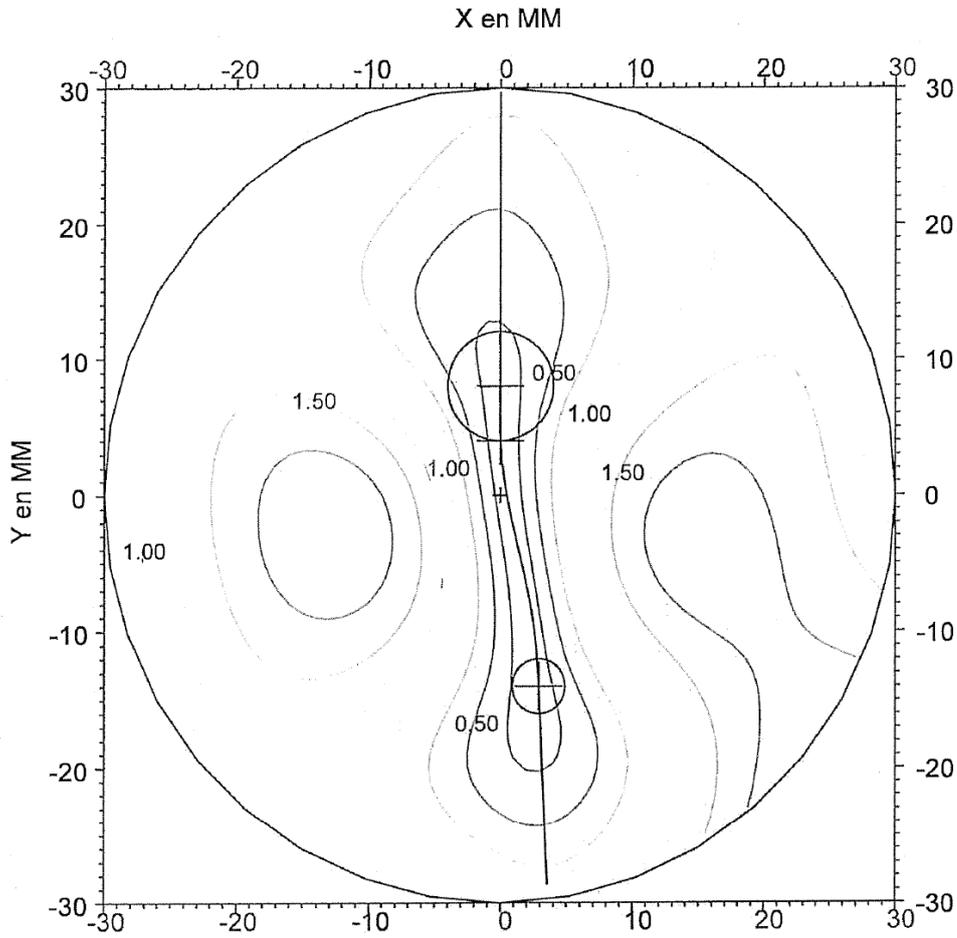


Figura 24	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

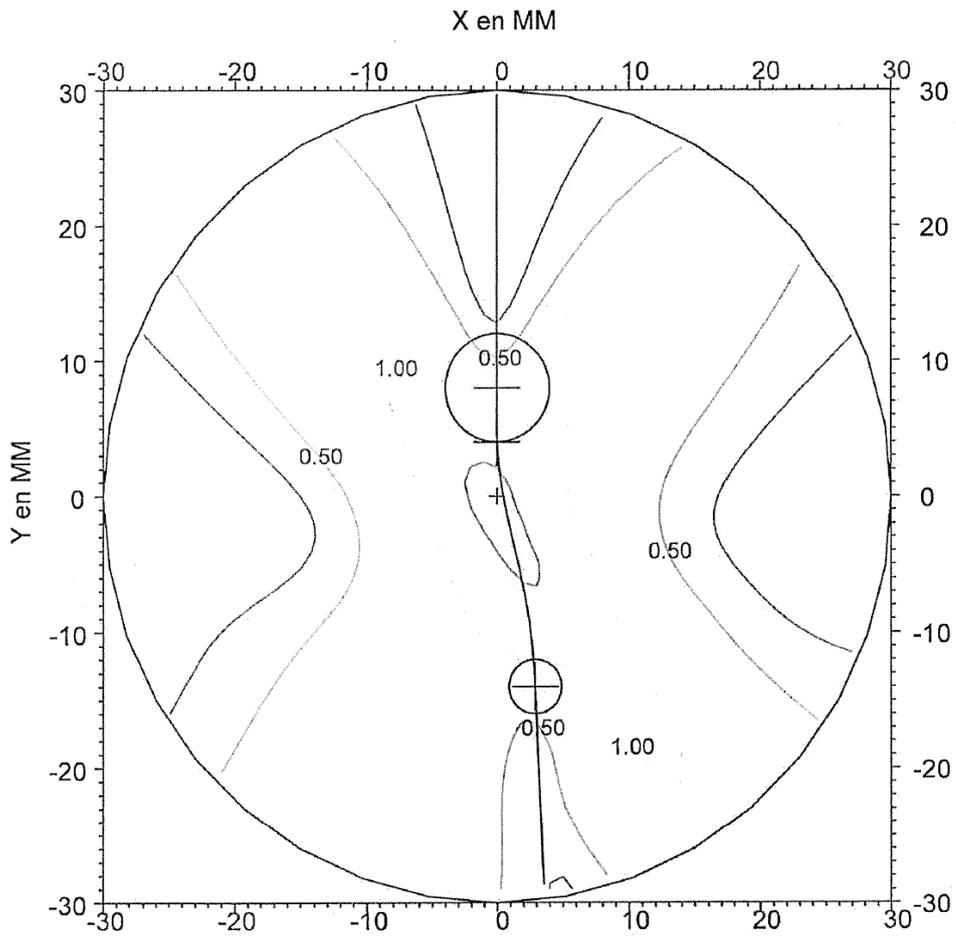


Figura 25	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

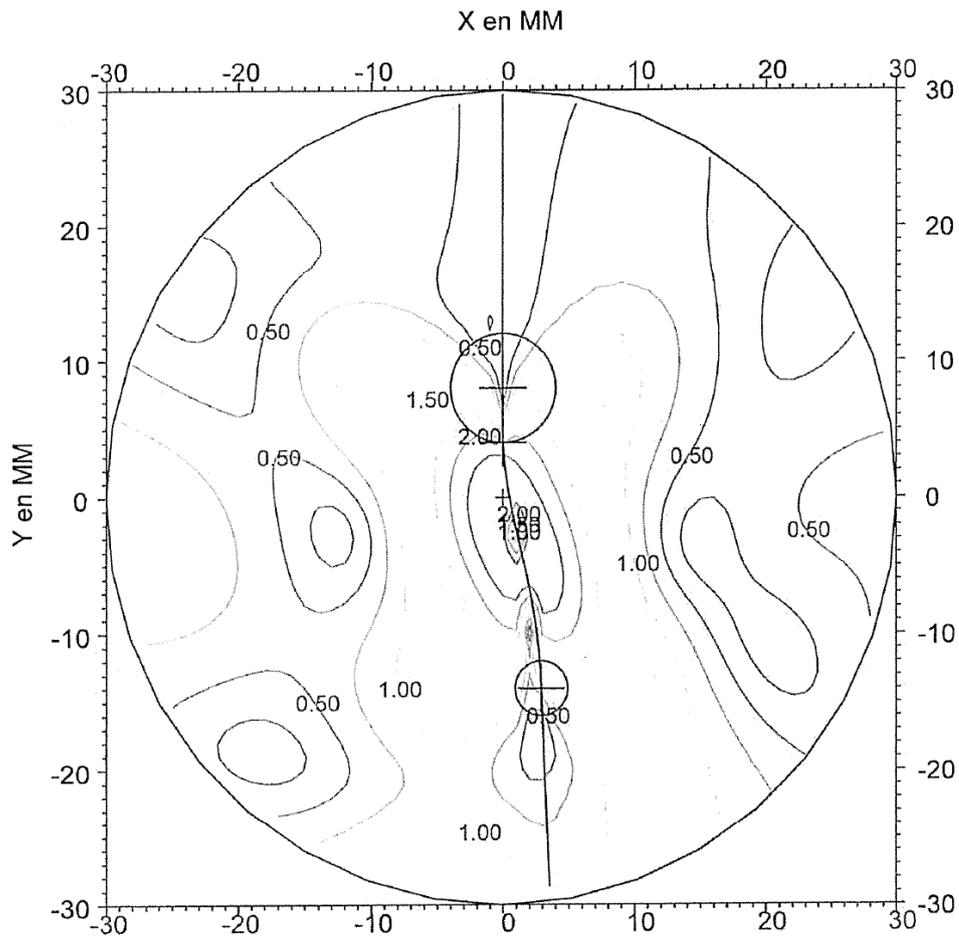


Figura 26	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 1
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

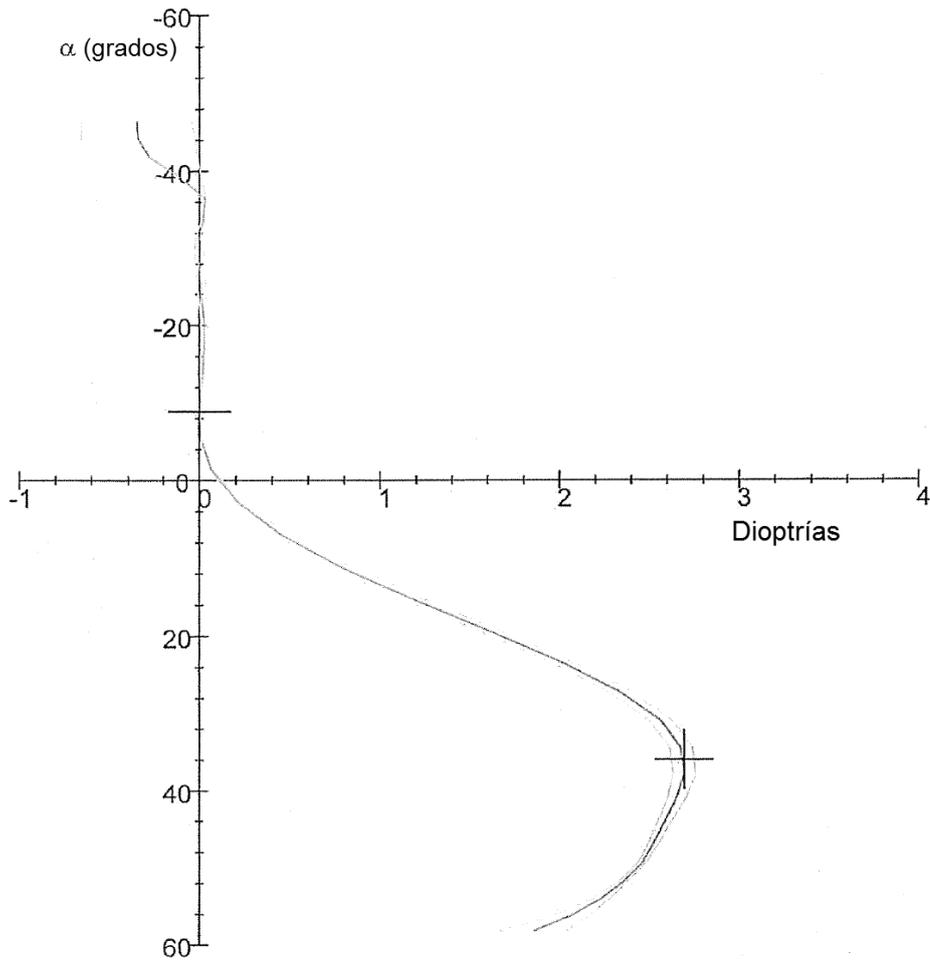


Figura 27	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 1
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

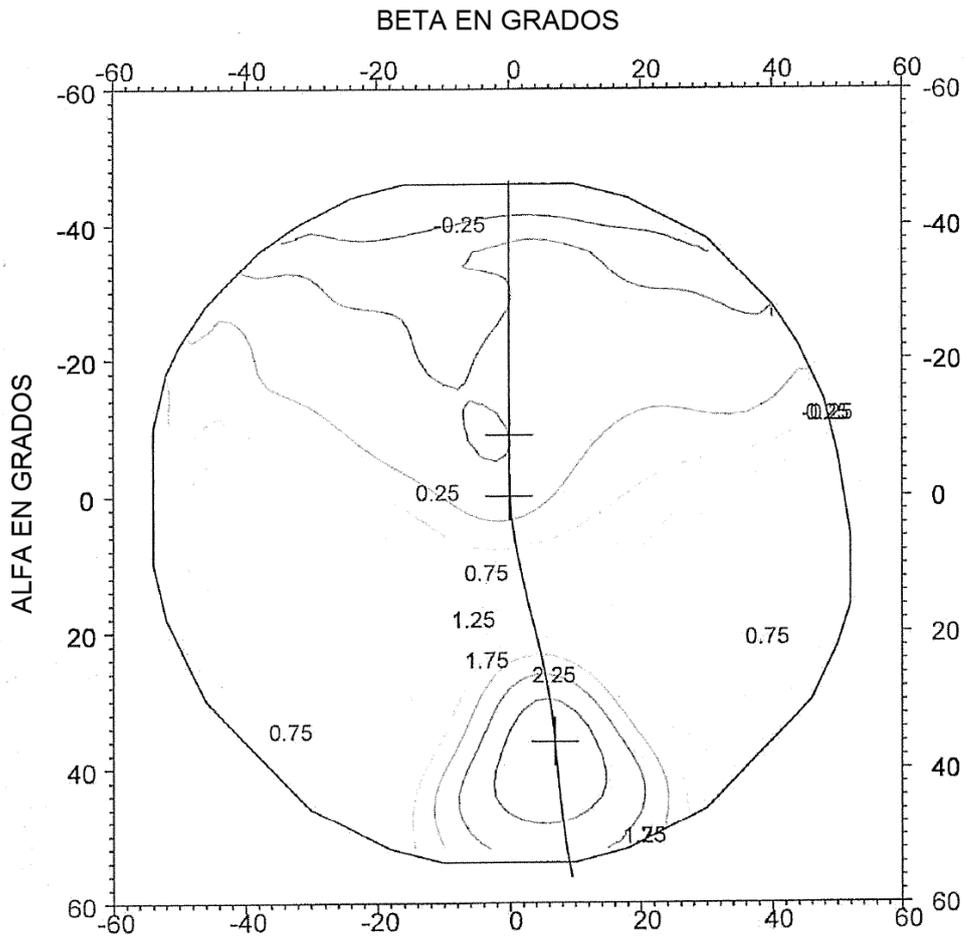


Figura 28	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 1
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

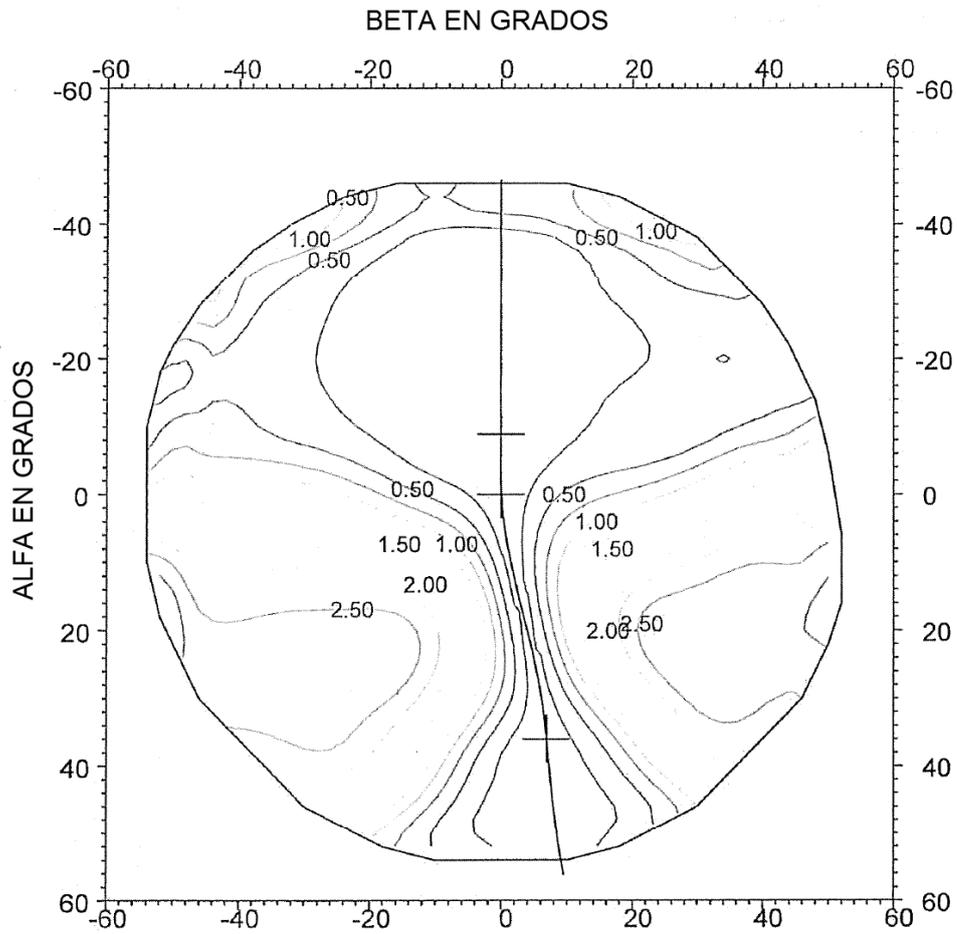


Figura 29	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 2
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

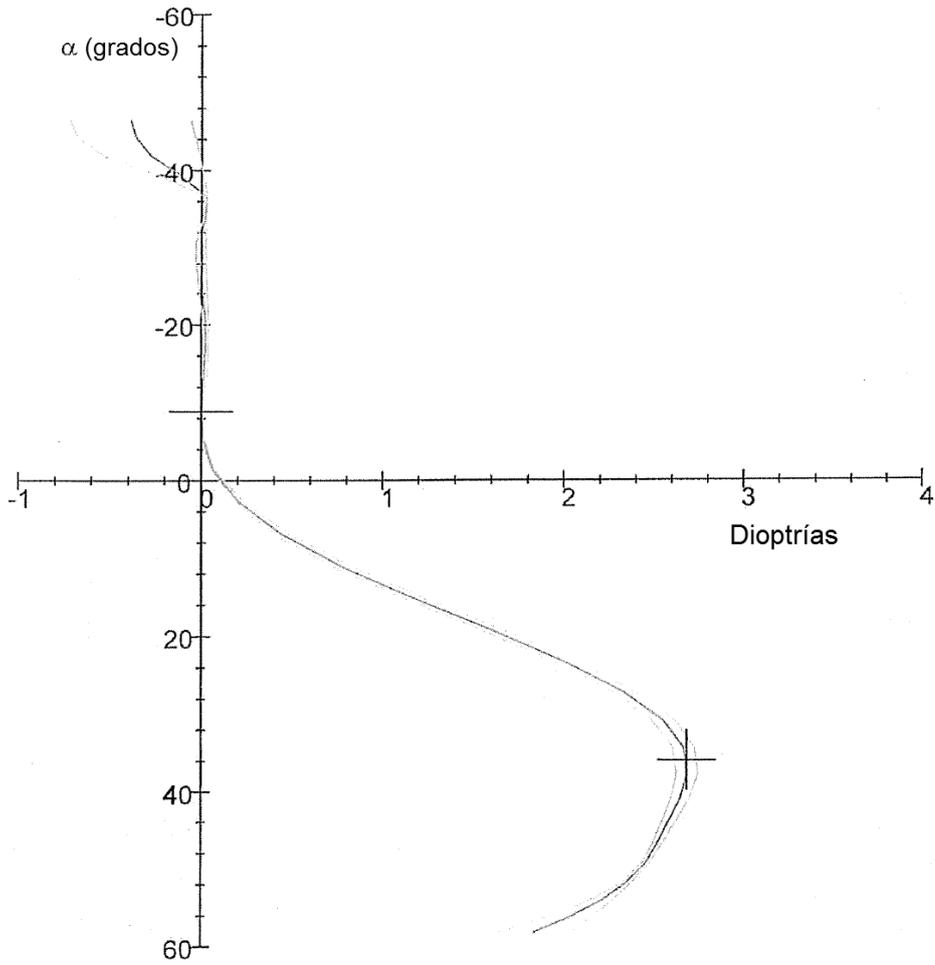


Figura 30	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 2
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

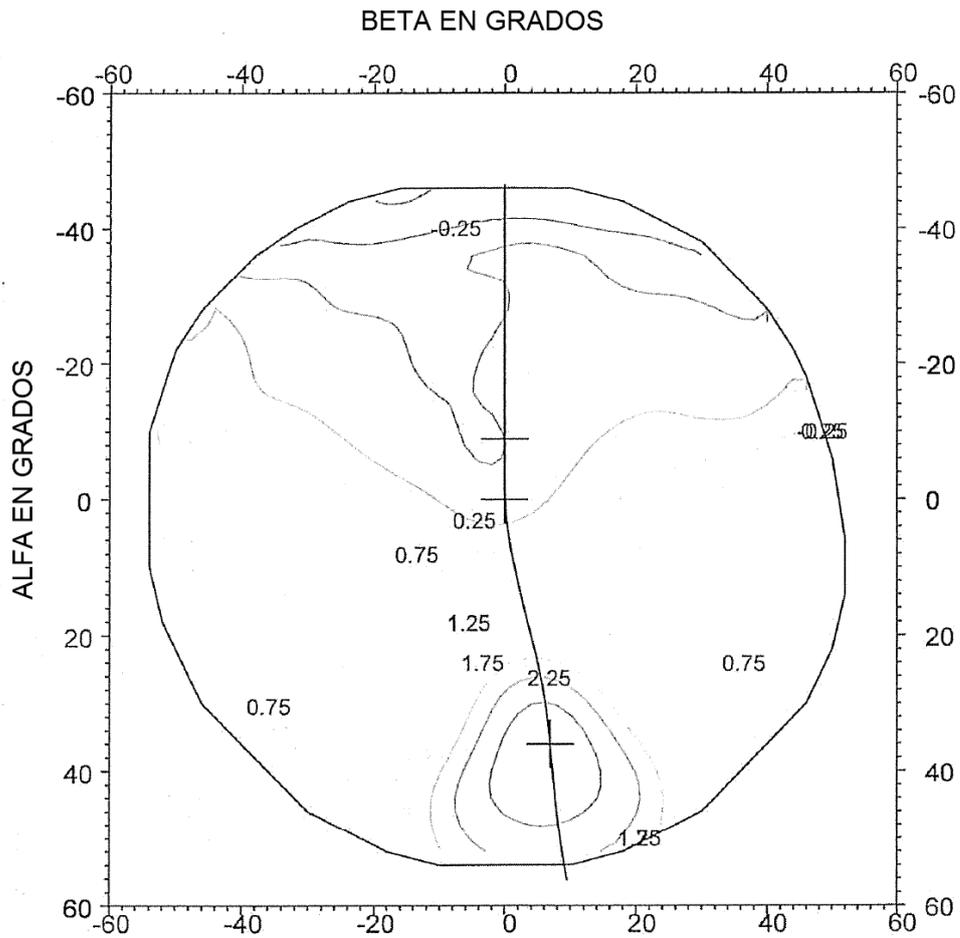


Figura 31	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 2
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

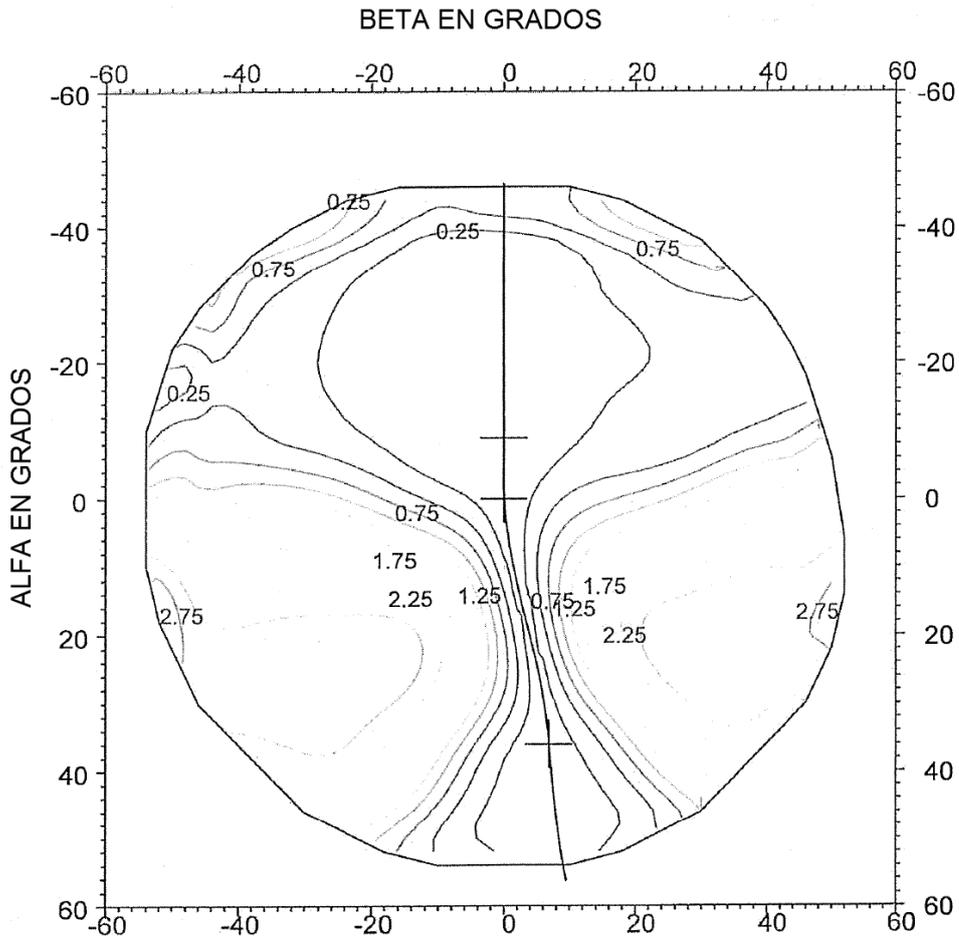


Figura 32	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 3
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

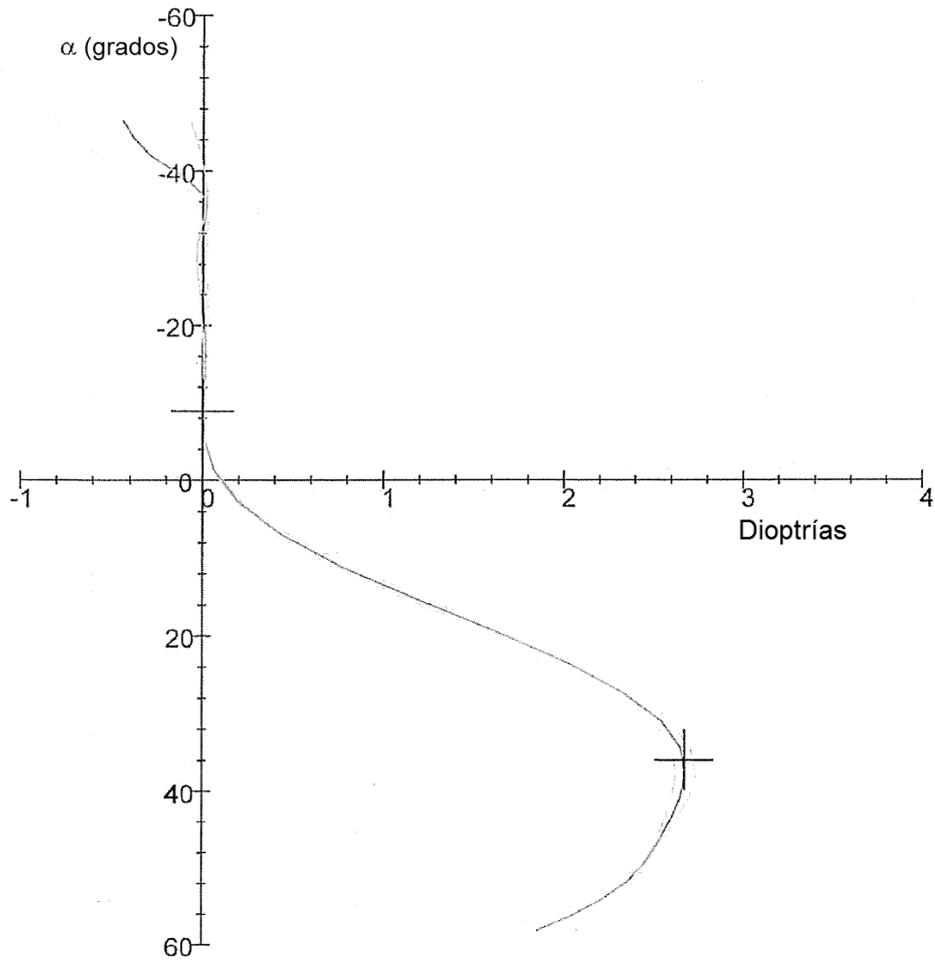


Figura 33	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 3
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

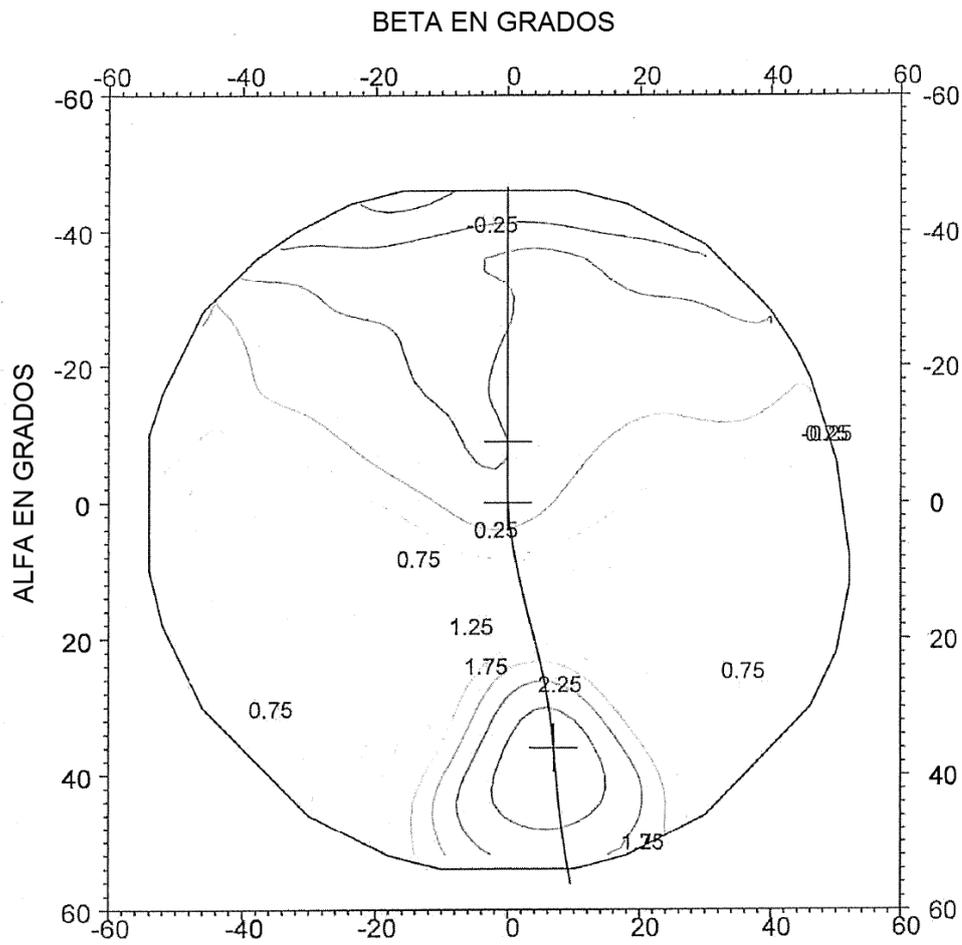


Figura 34	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 3
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

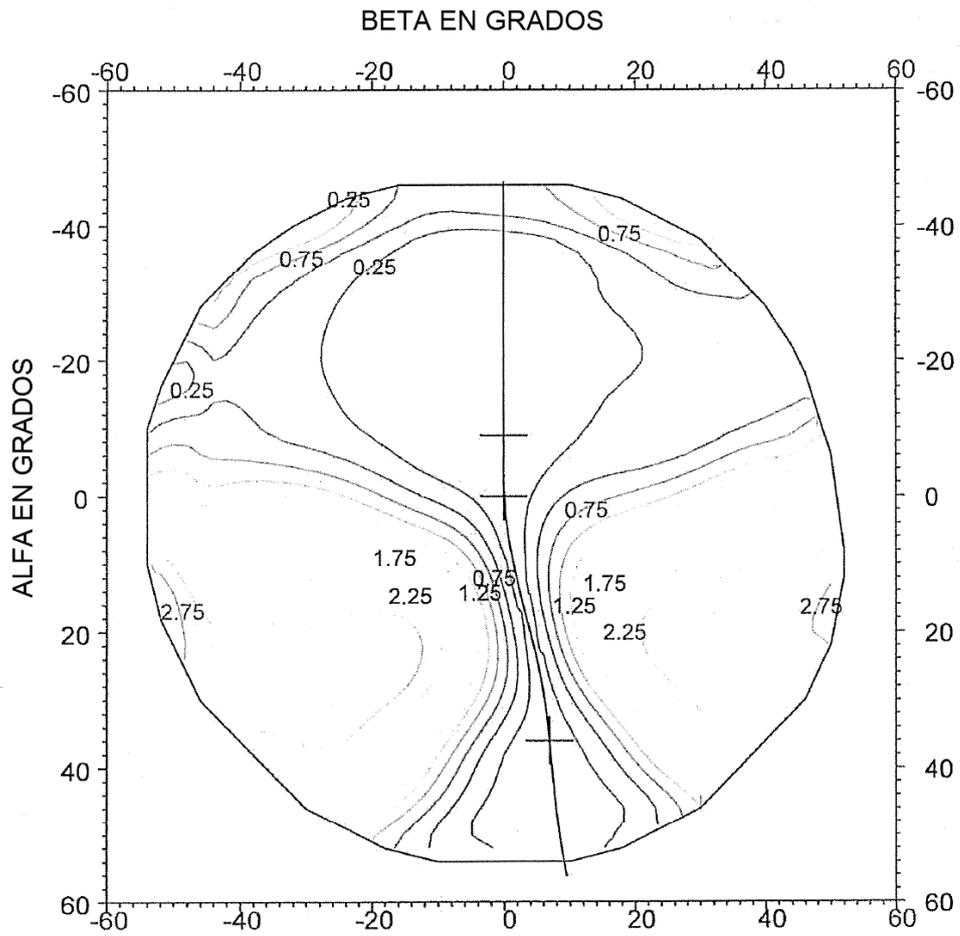


Figura 35	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 4
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

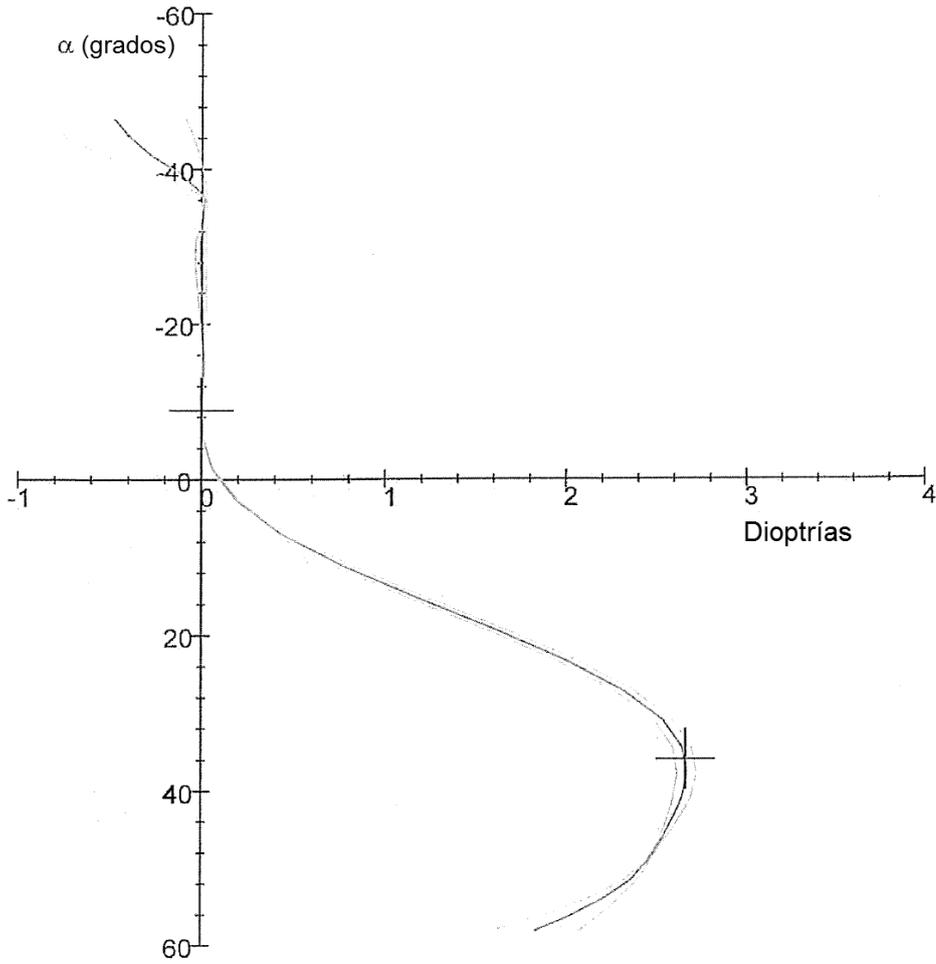


Figura 36	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 4
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

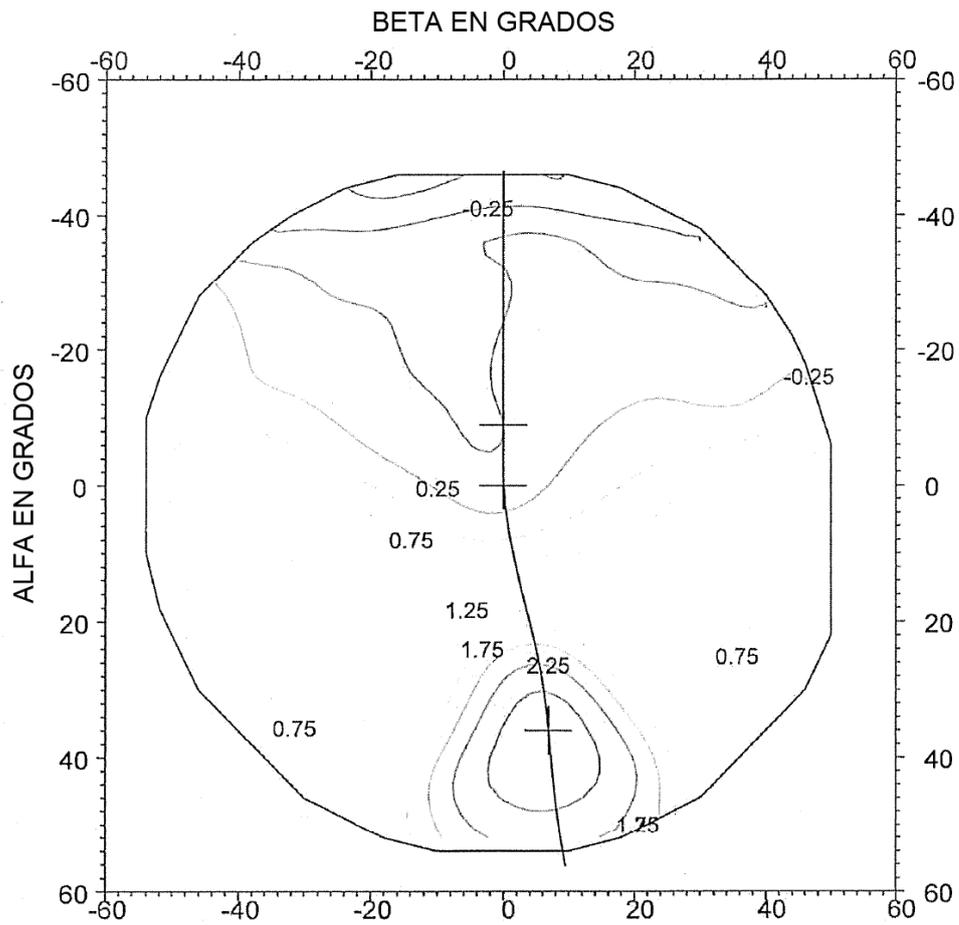


Figura 37	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 4
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

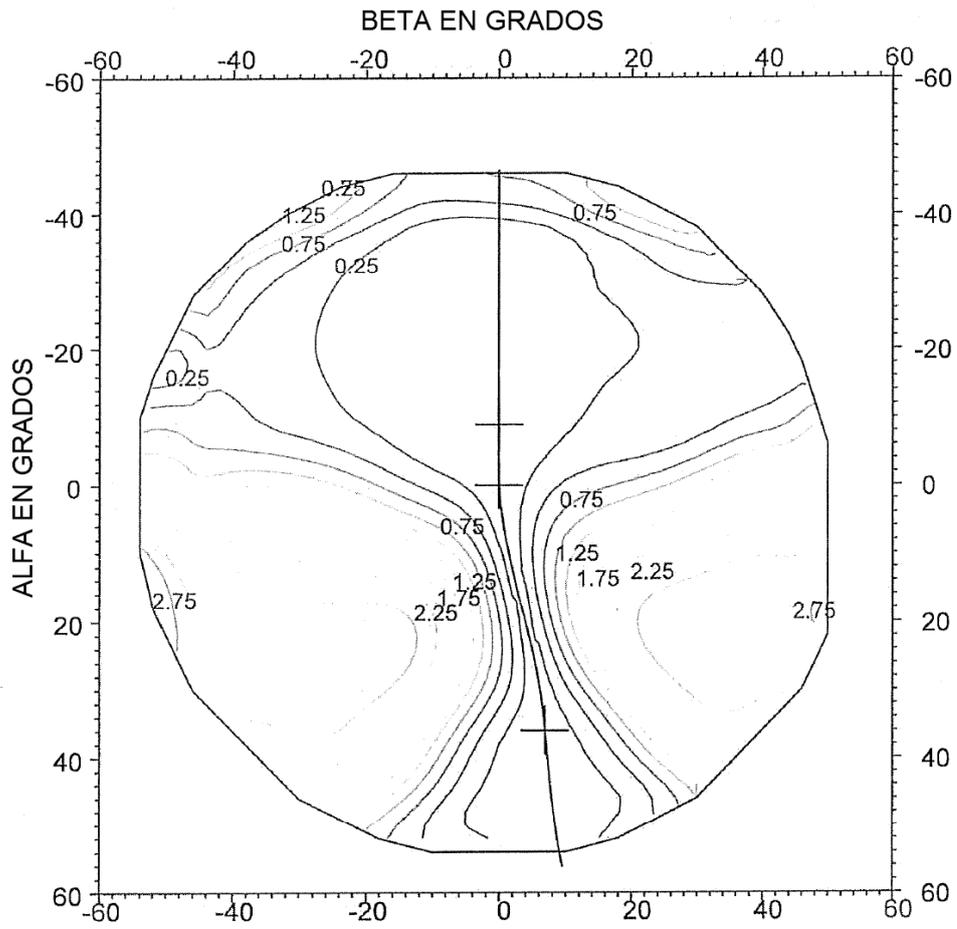


Figura 38	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 5
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

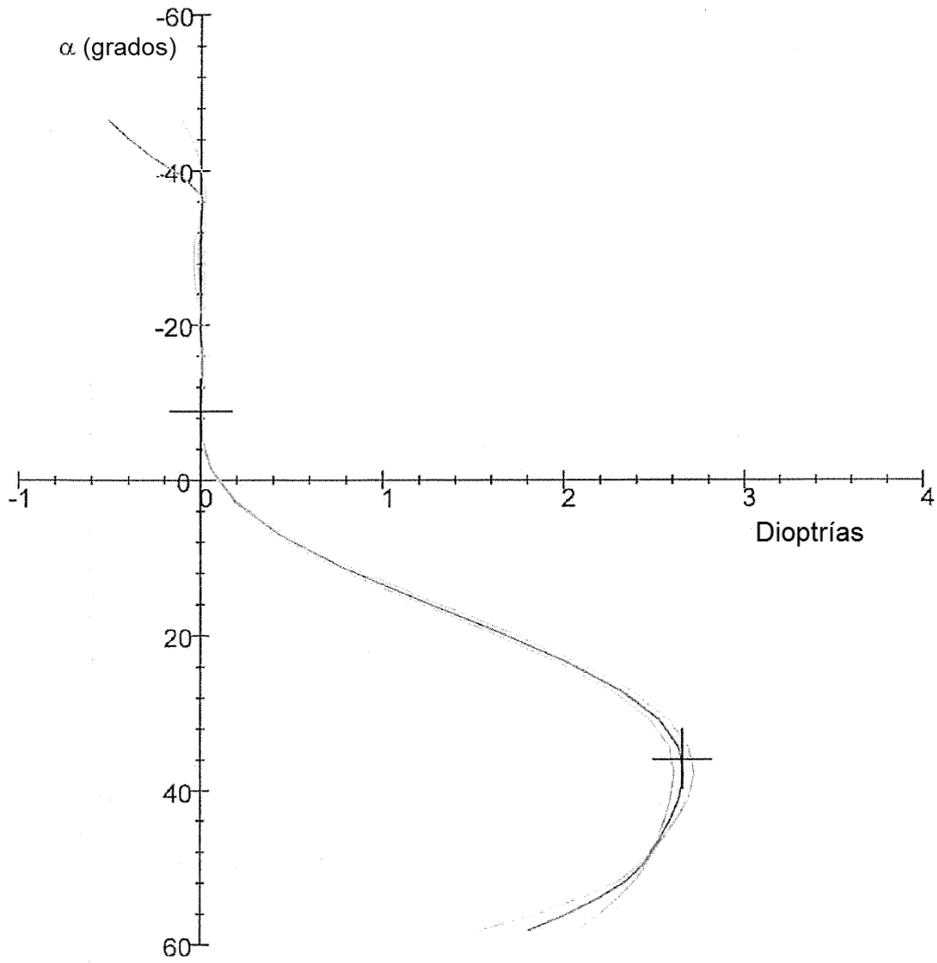


Figura 39	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 5
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

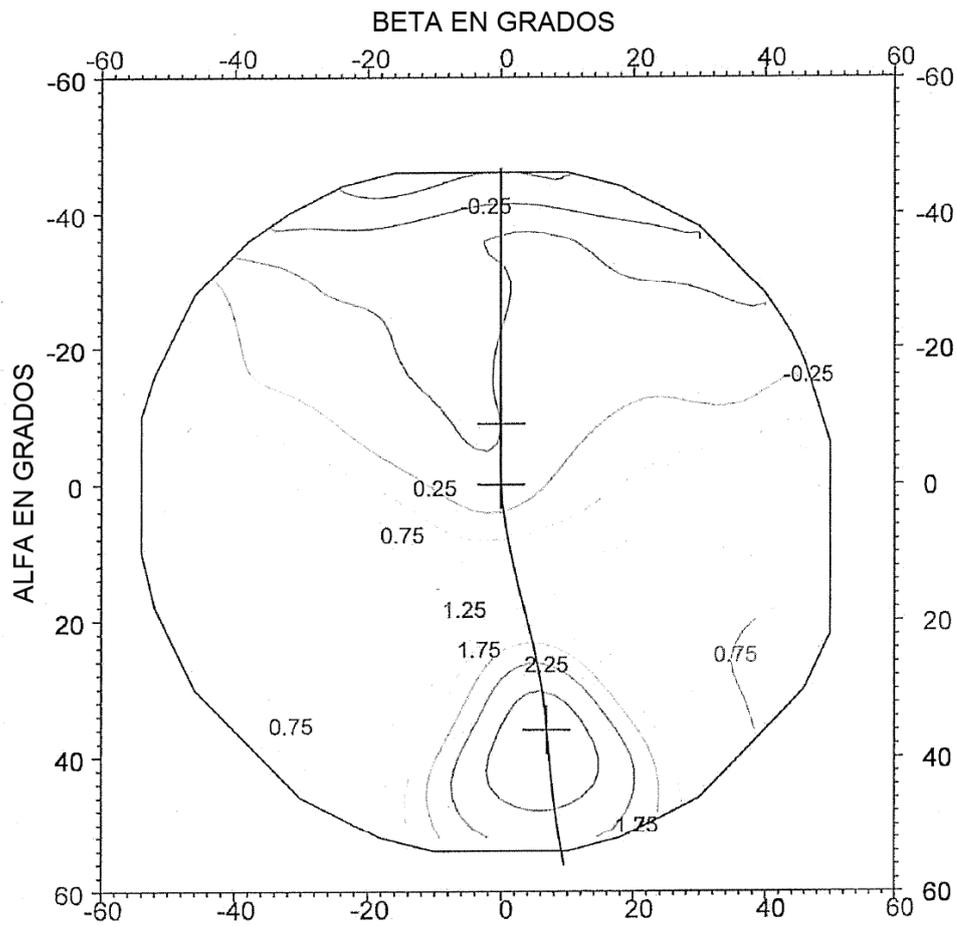


Figura 40	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 5
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

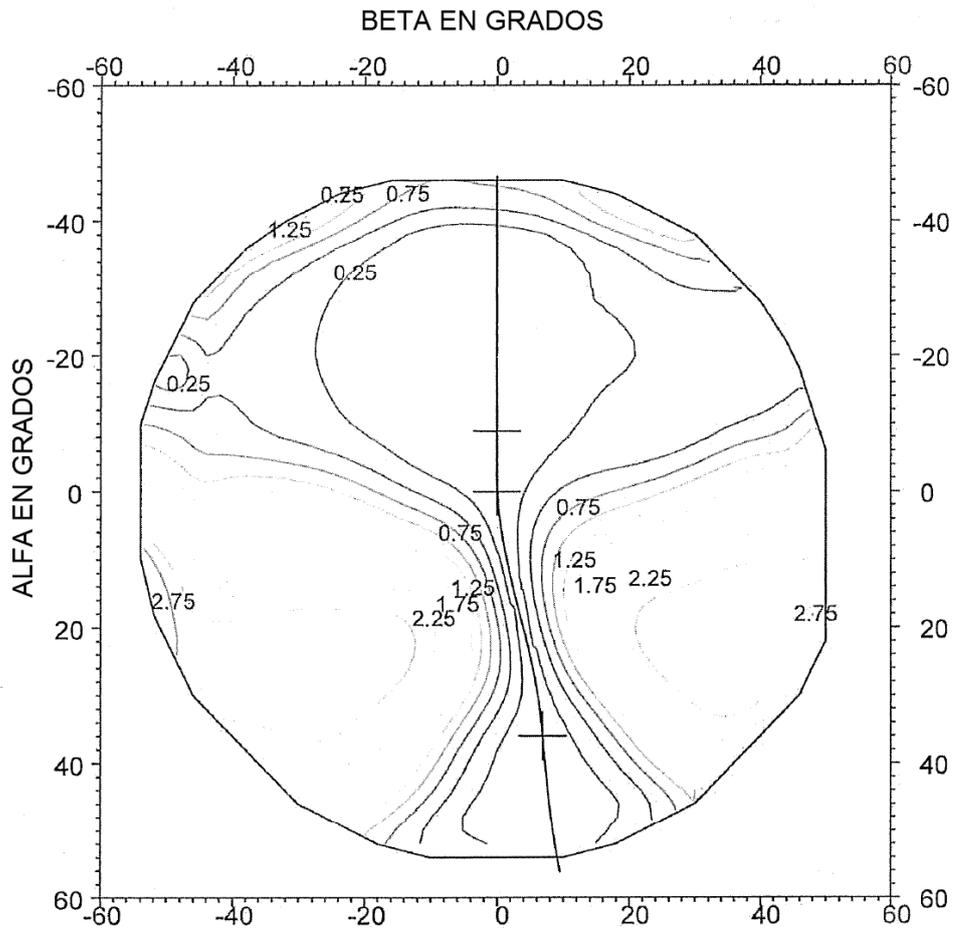


Figura 41	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

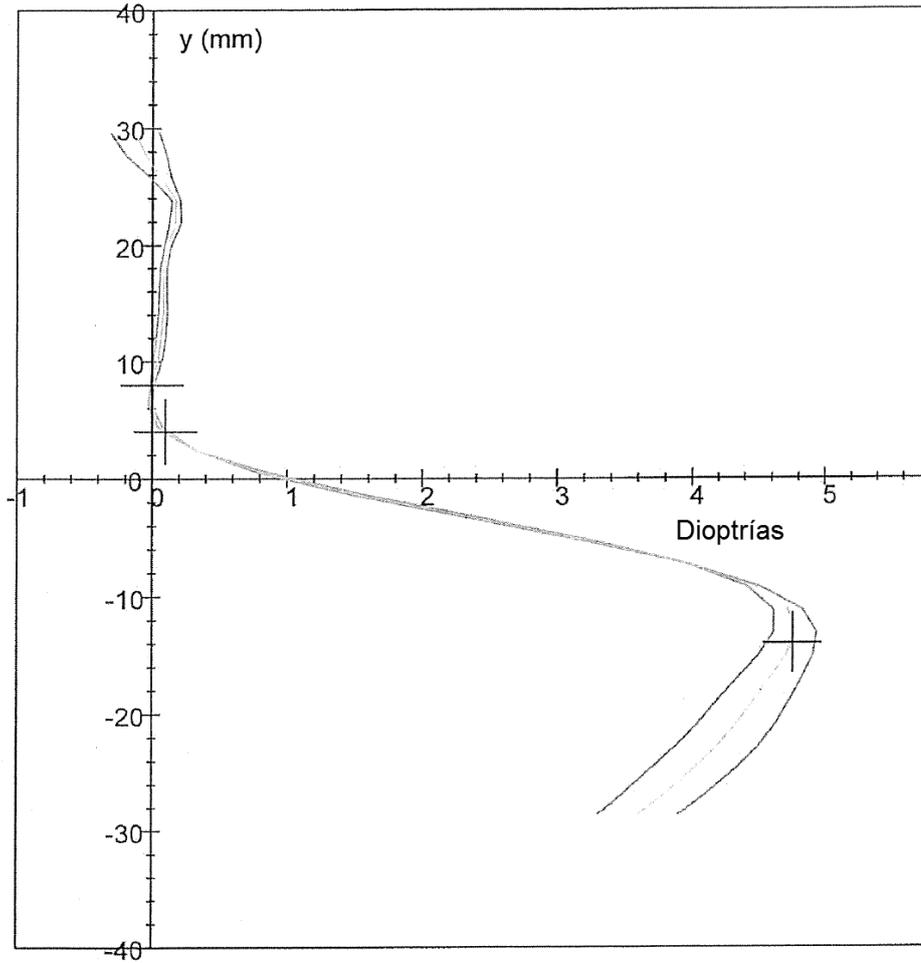


Figura 42	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

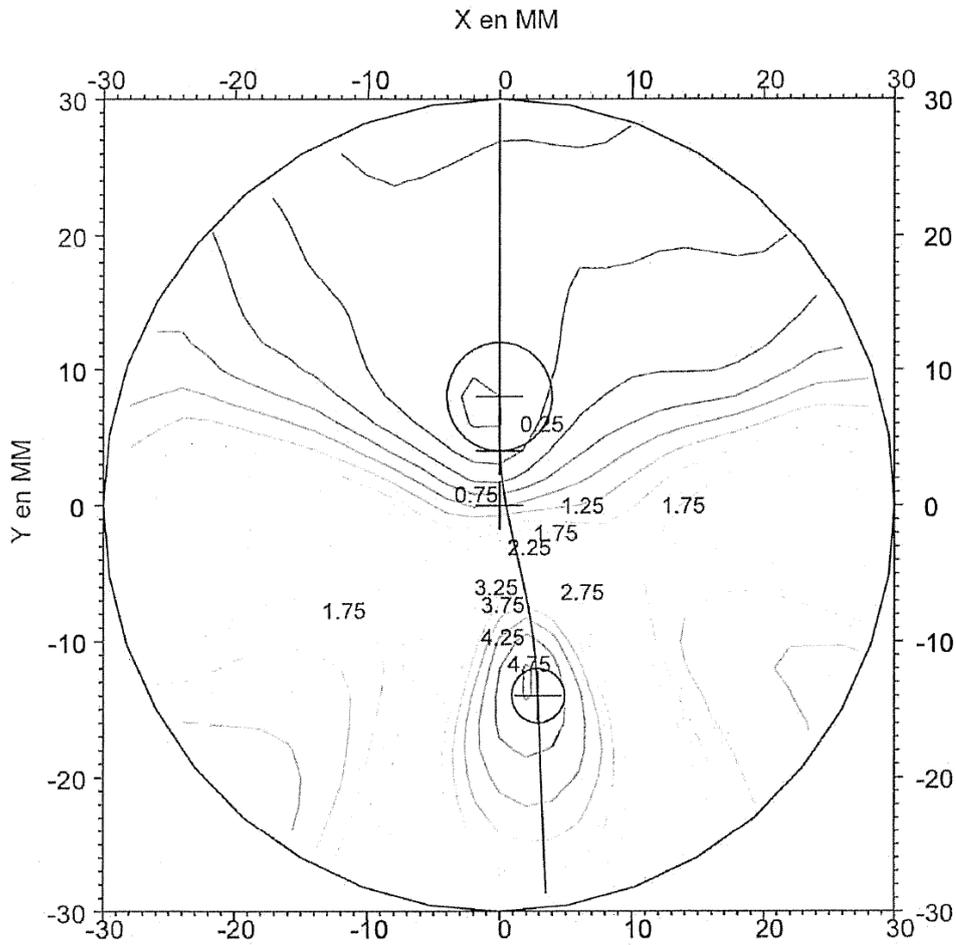


Figura 43	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

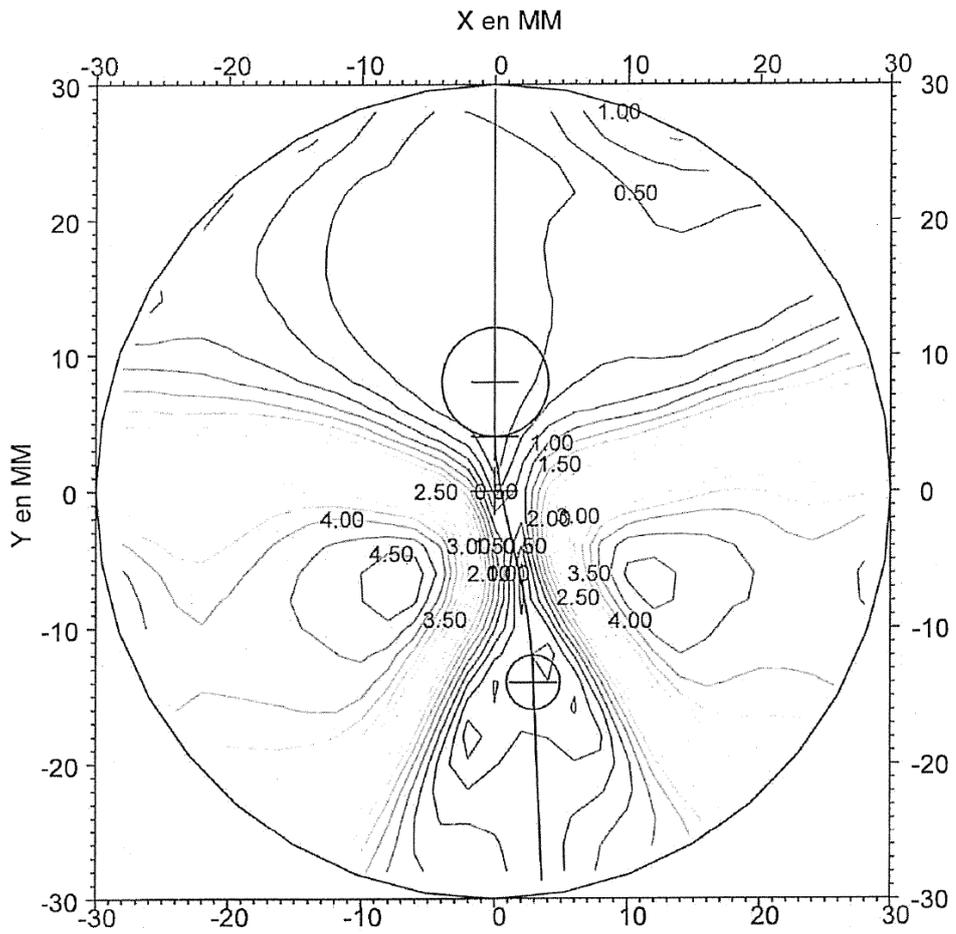


Figura 44	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

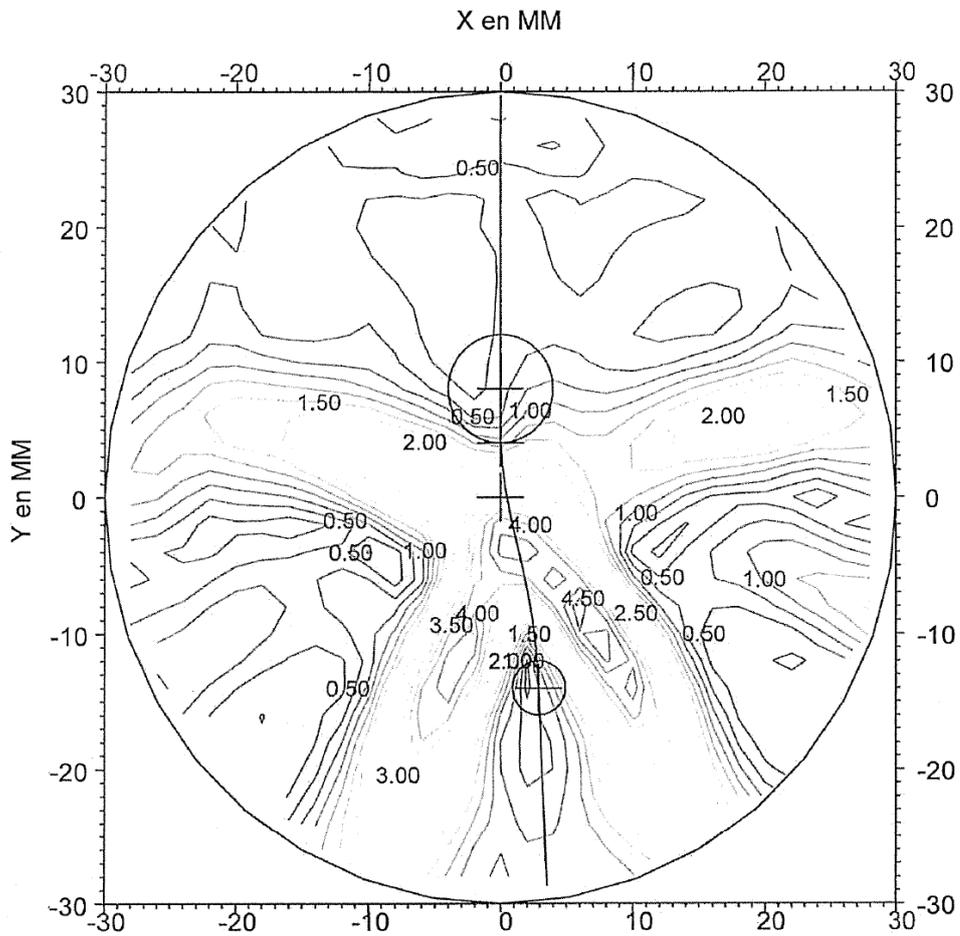


Figura 45	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

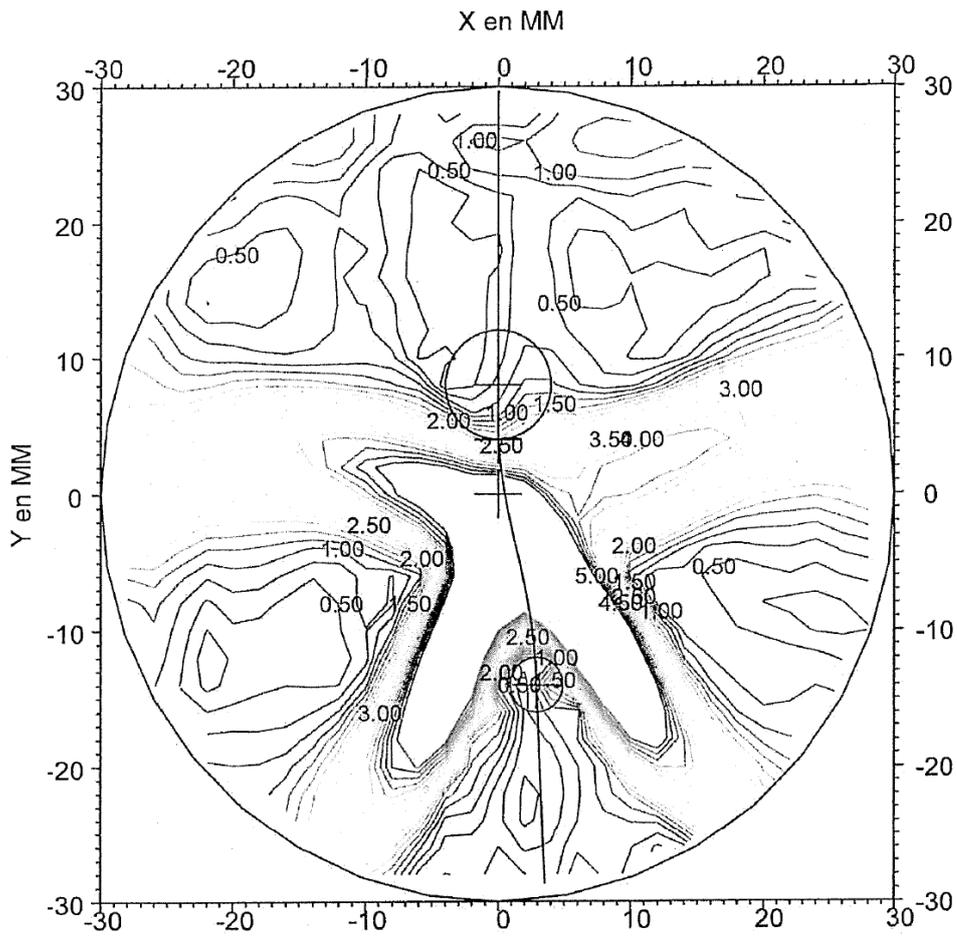


Figura 46	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

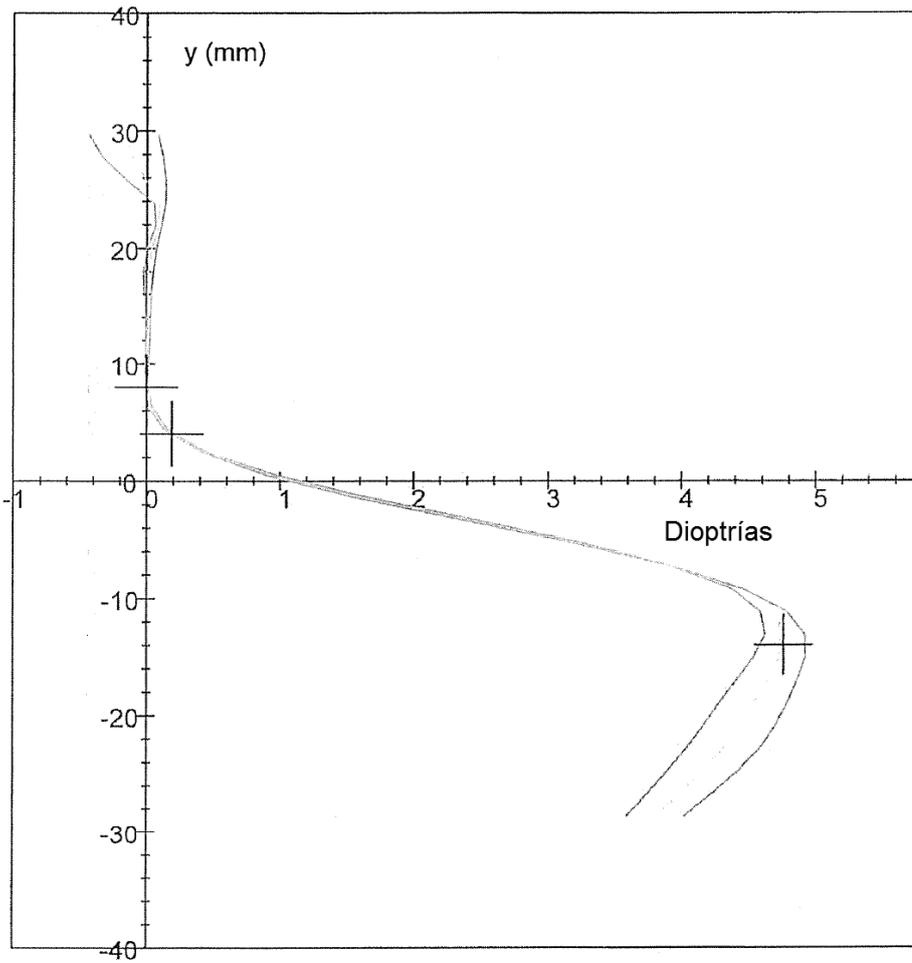


Figura 47	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

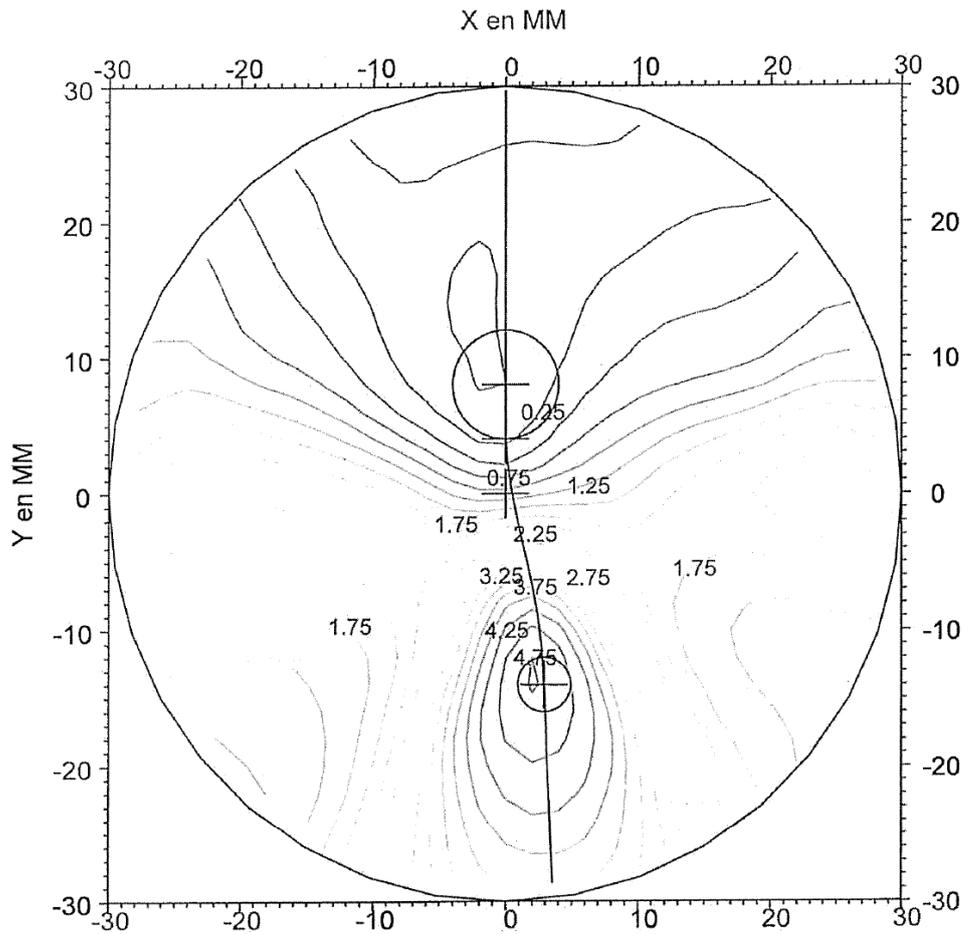


Figura 48	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

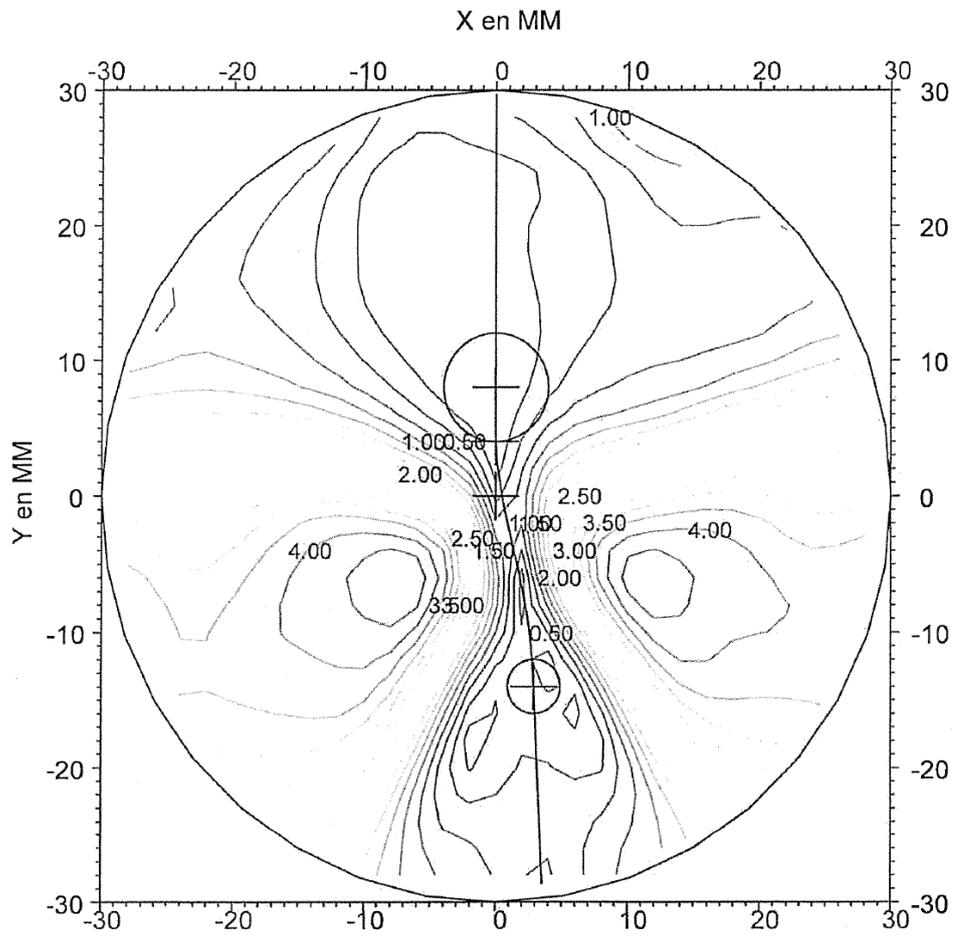


Figura 49	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

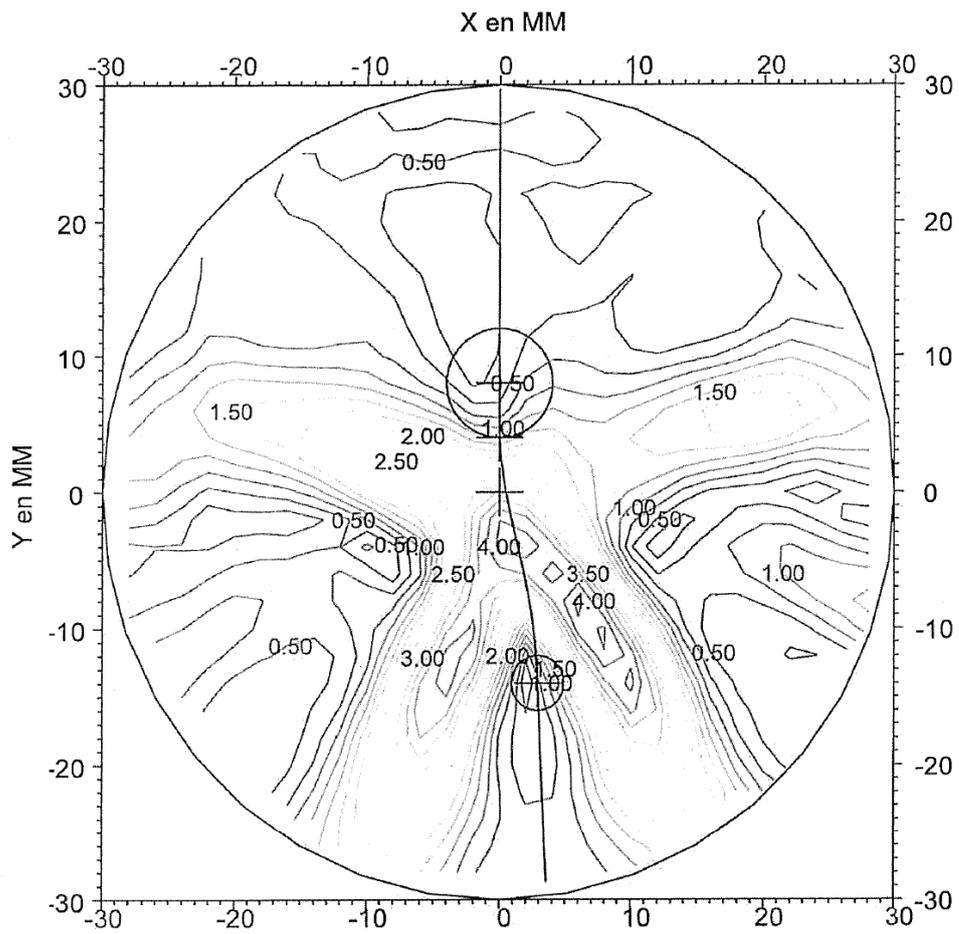


Figura 50	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 2</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

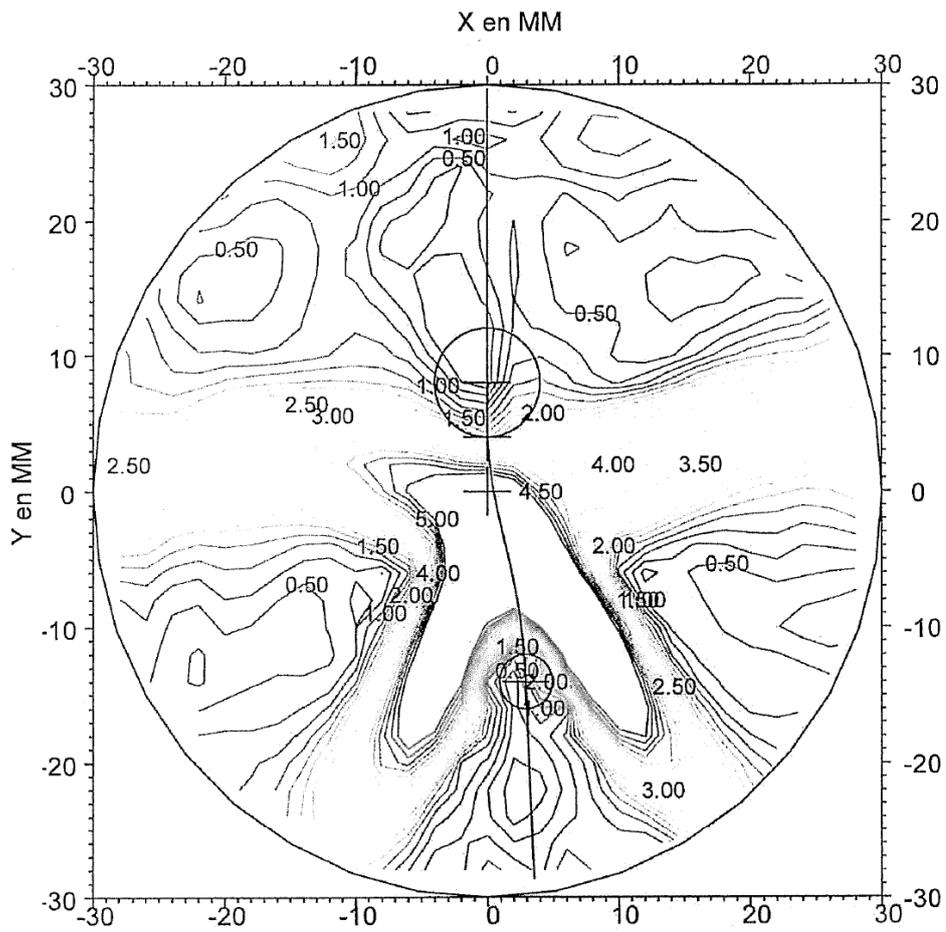


Figura 51	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

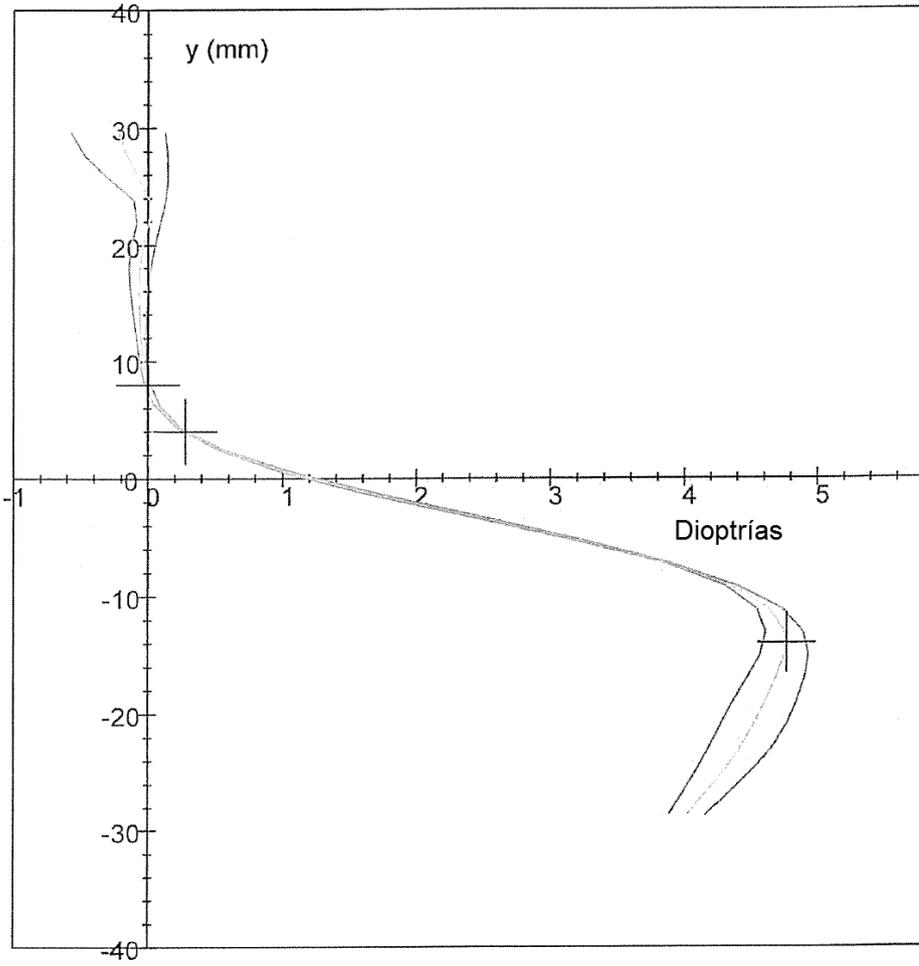


Figura 52	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

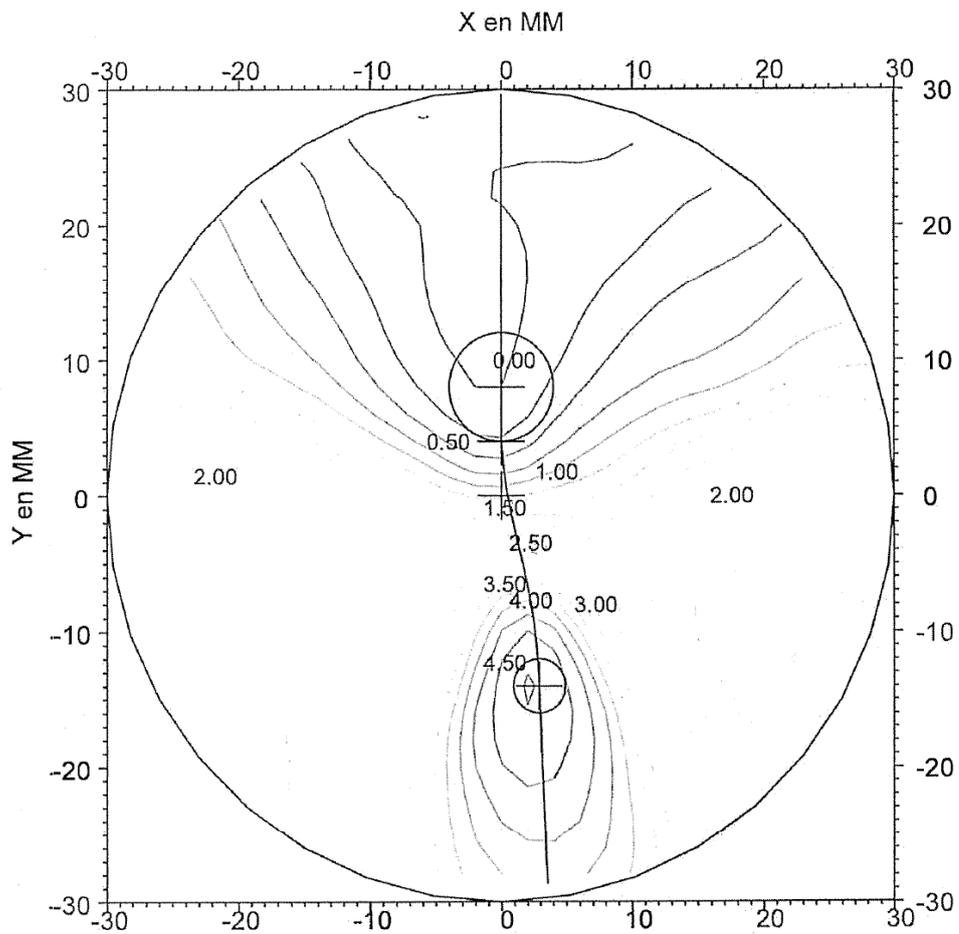


Figura 53	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

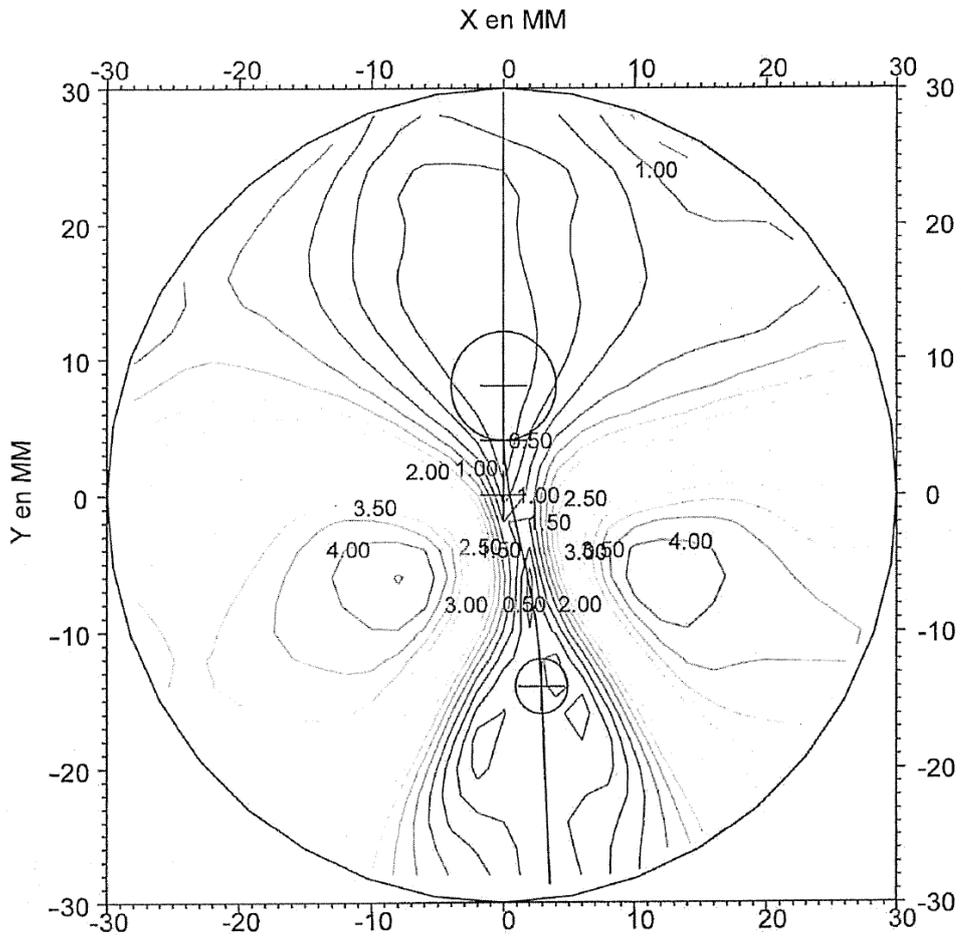


Figura 54	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

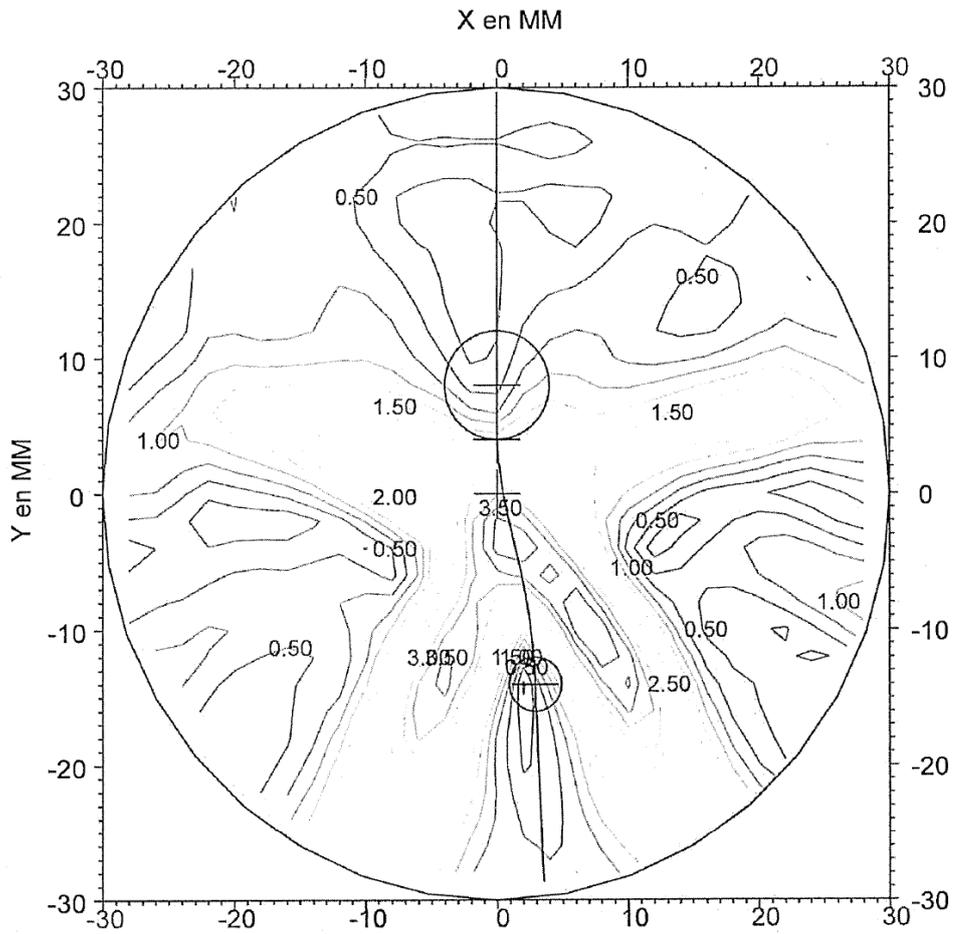


Figura 55	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 3</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

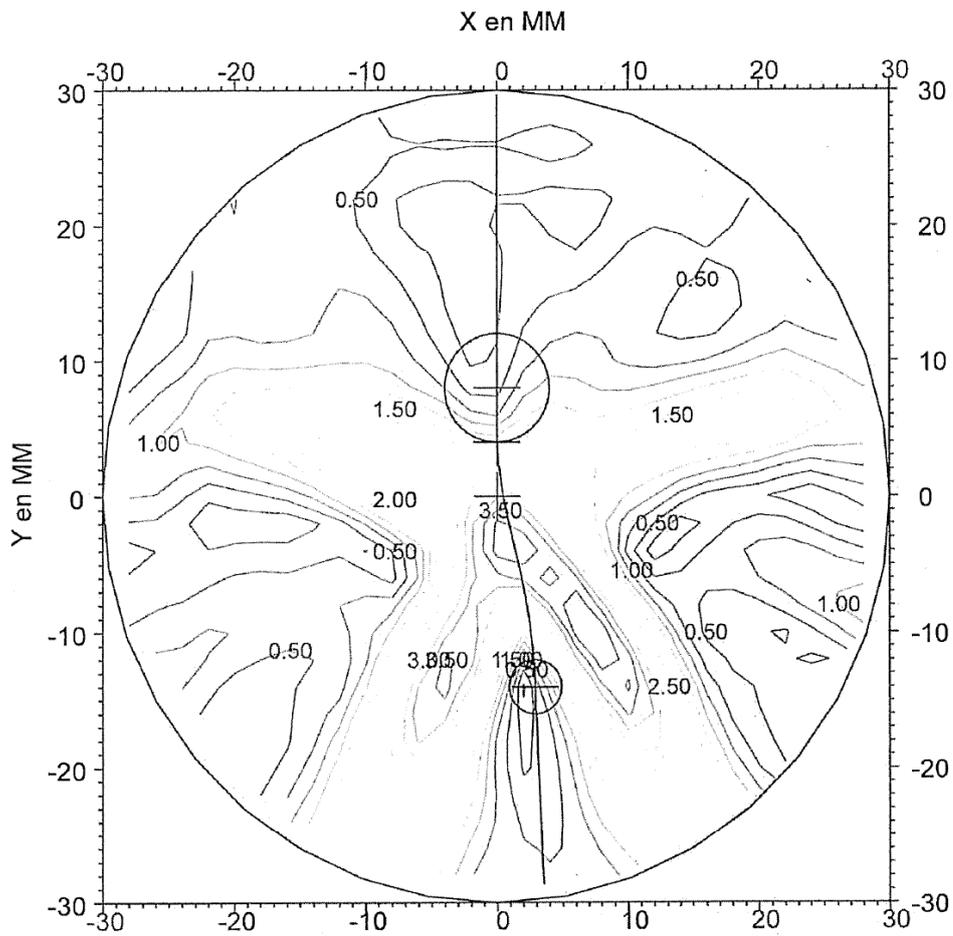


Figura 56	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

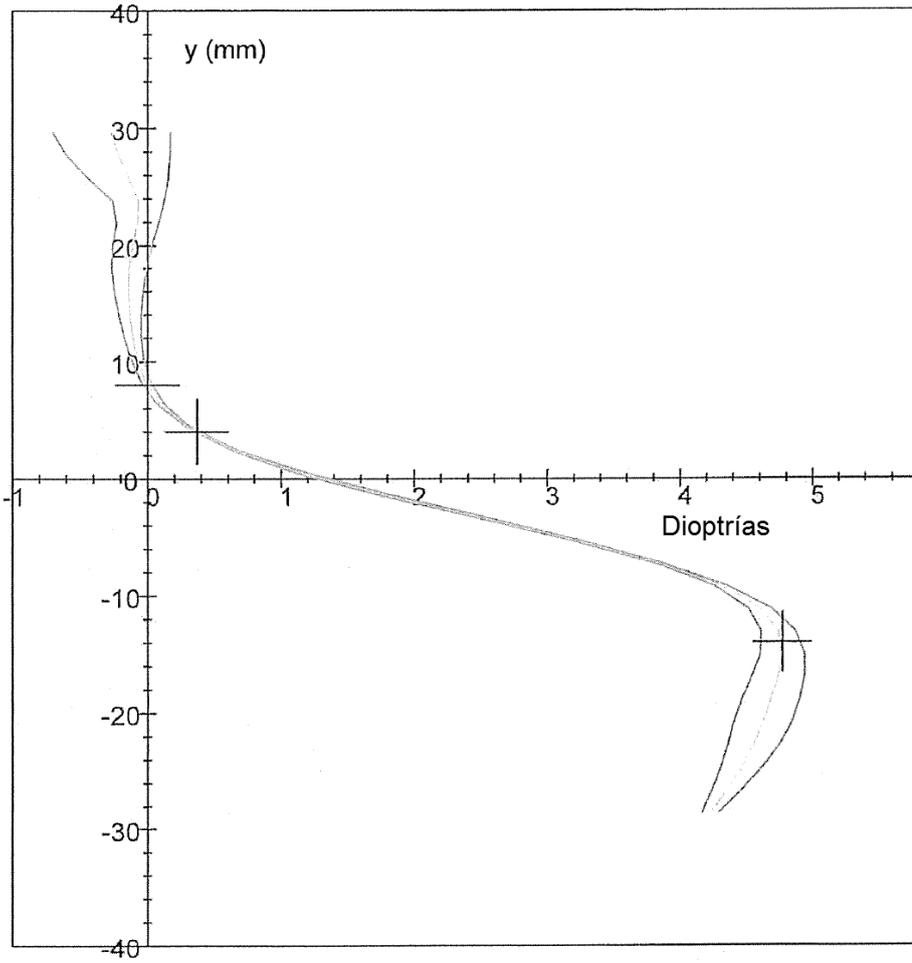


Figura 57	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

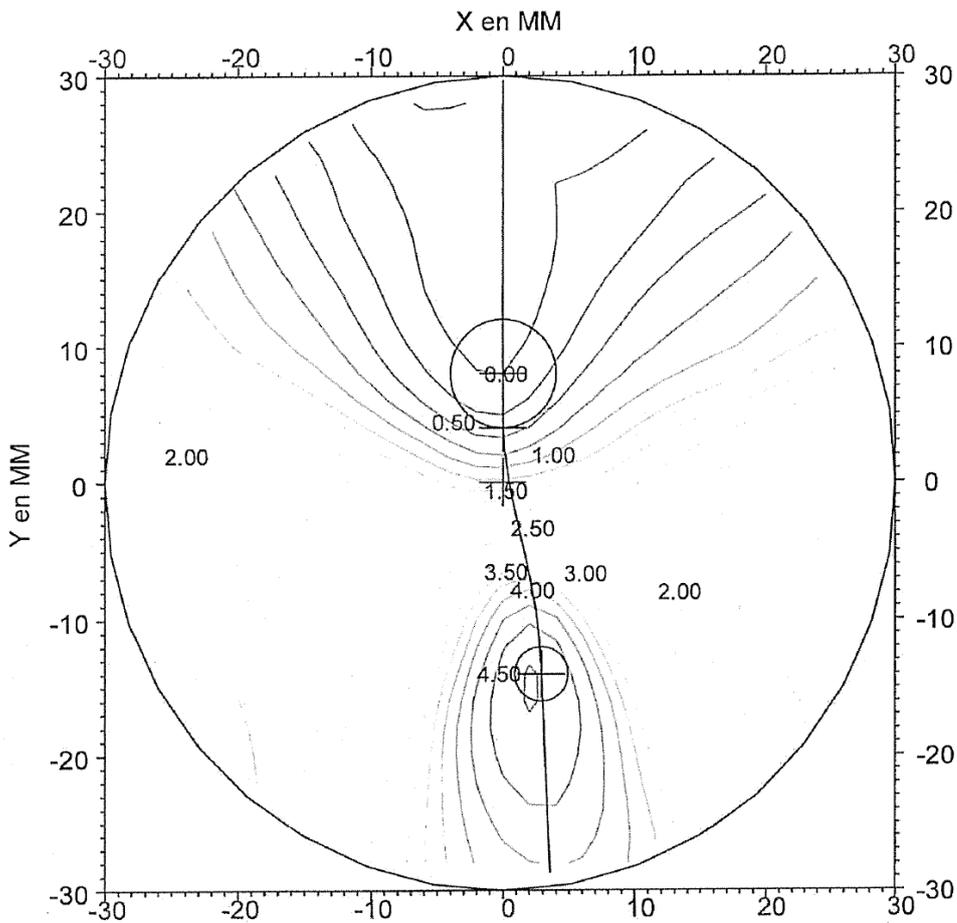


Figura 58	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

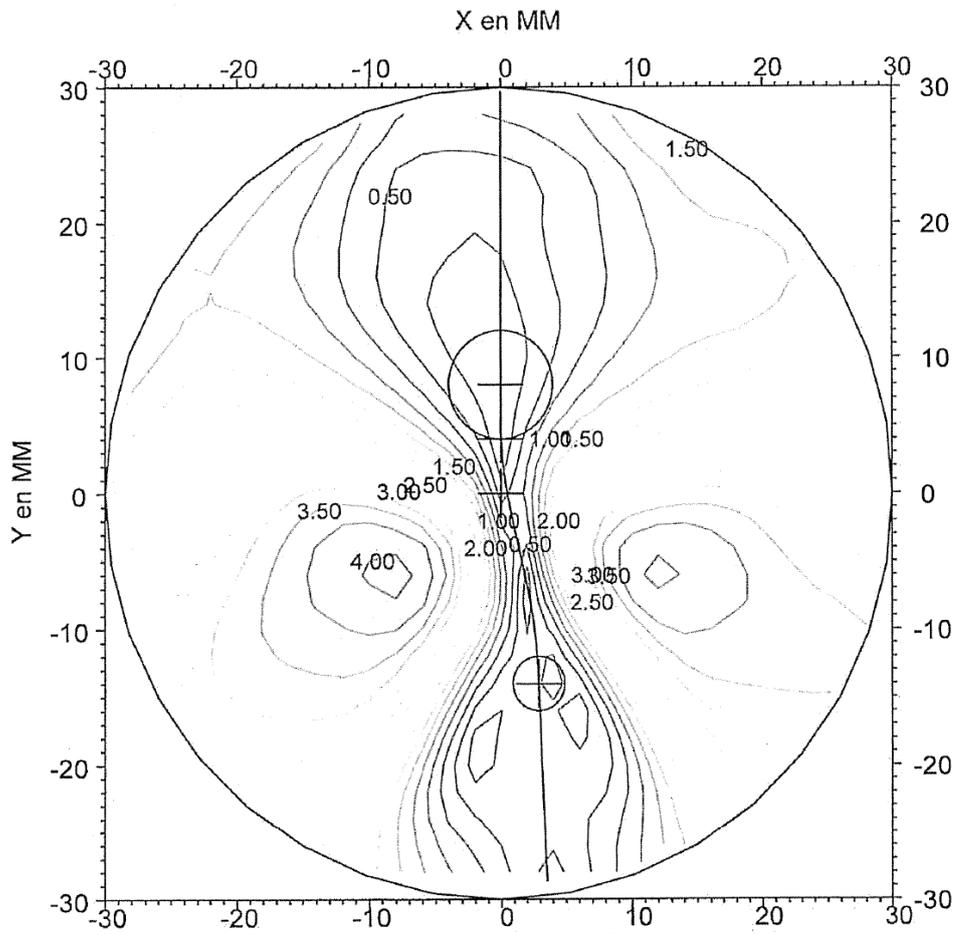


Figura 59	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

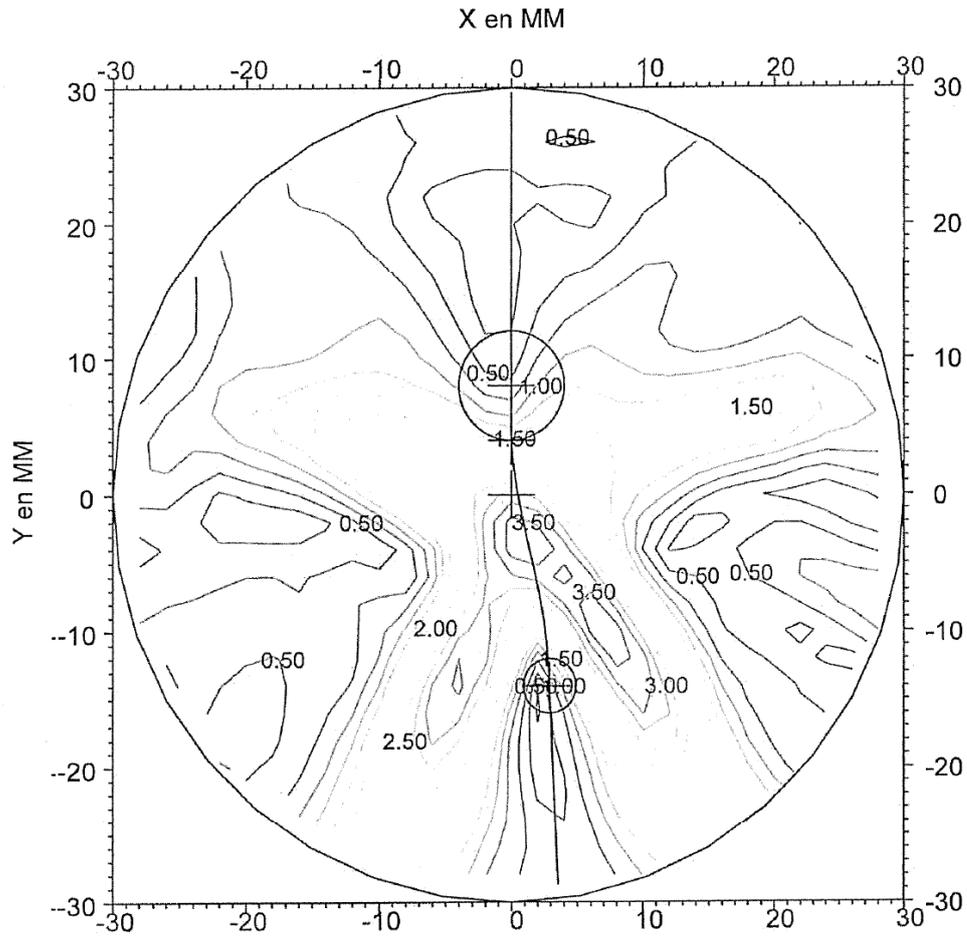


Figura 60	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 4</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

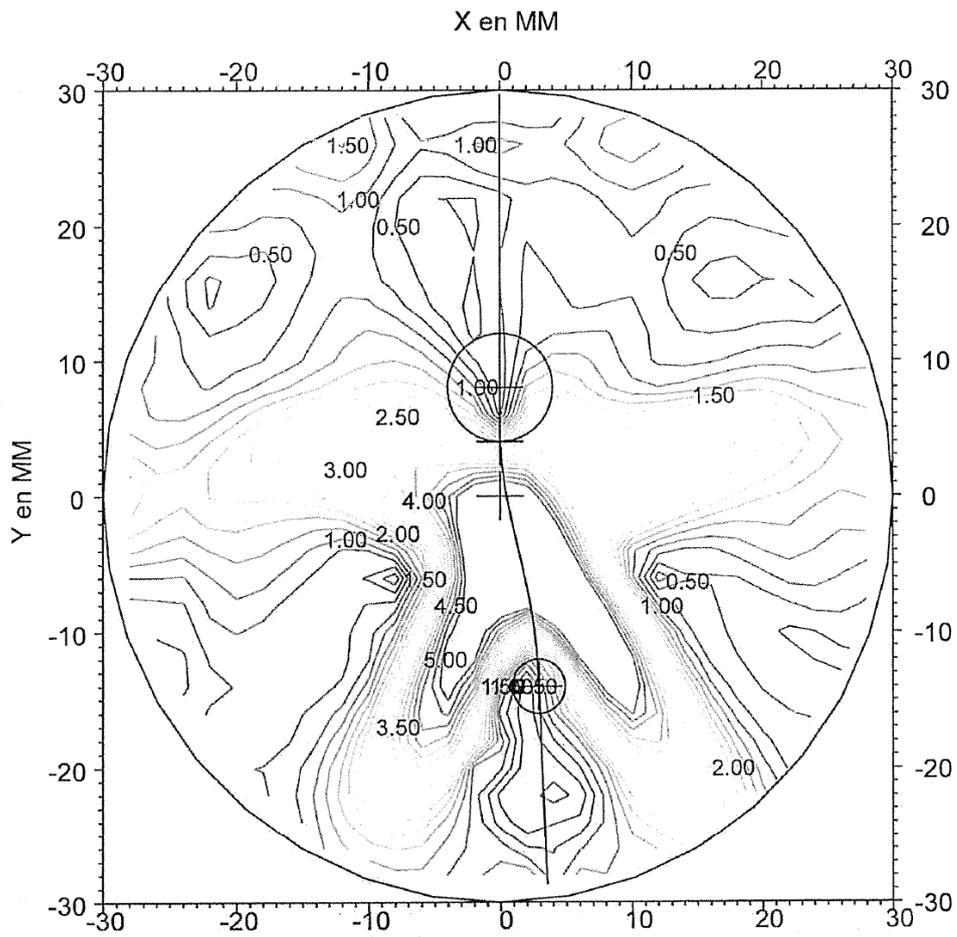


Figura 61	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>ESFERA MEDIA A LO LARGO DE MERIDIANO</b>

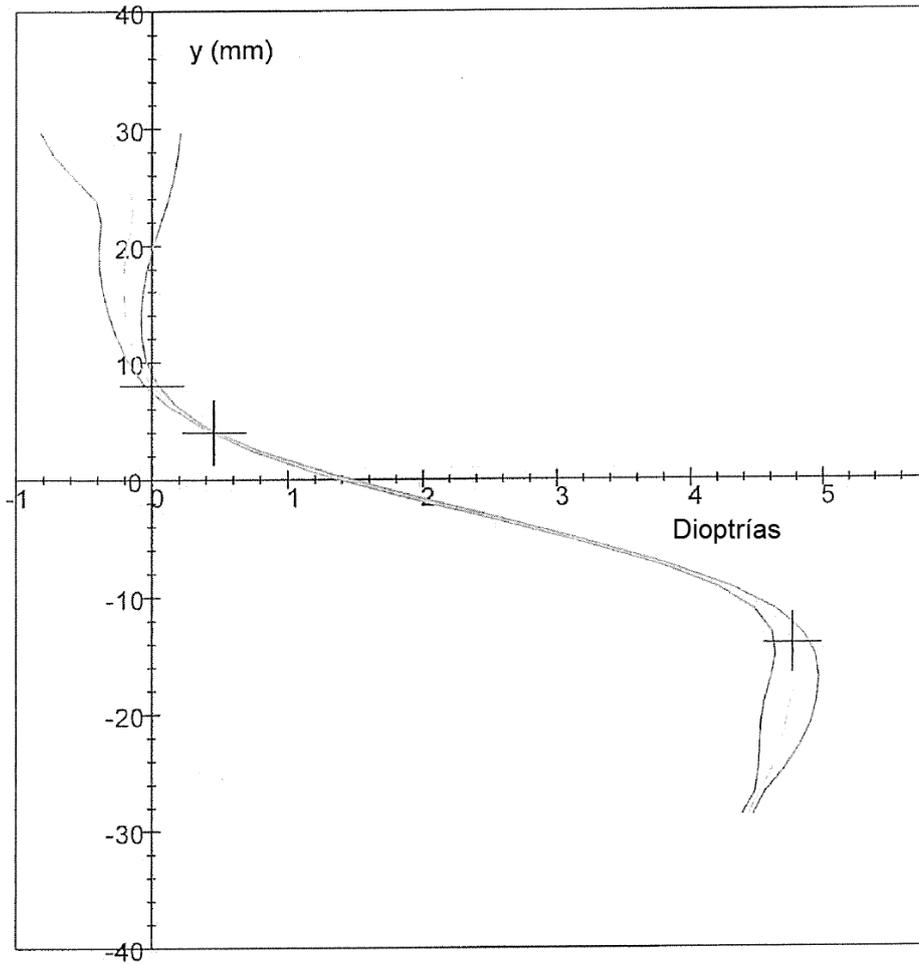


Figura 62	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE ESFERA MEDIA</b>

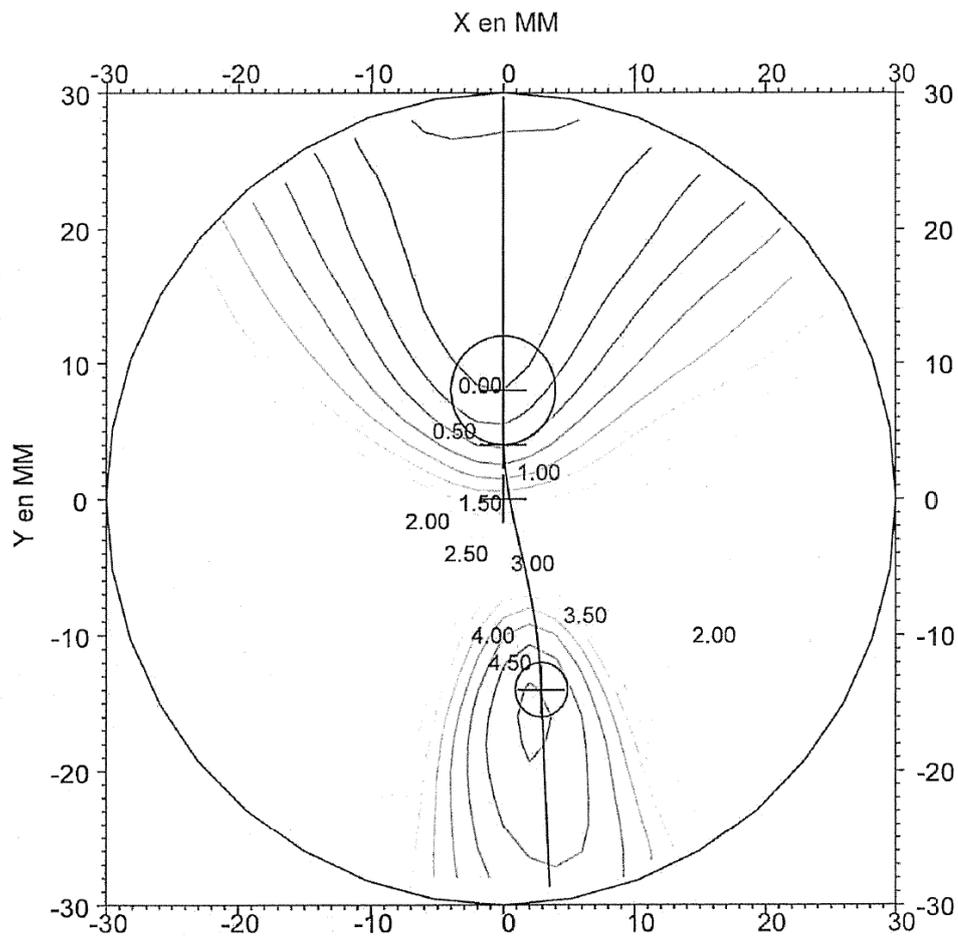


Figura 63	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE CILINDRO</b>

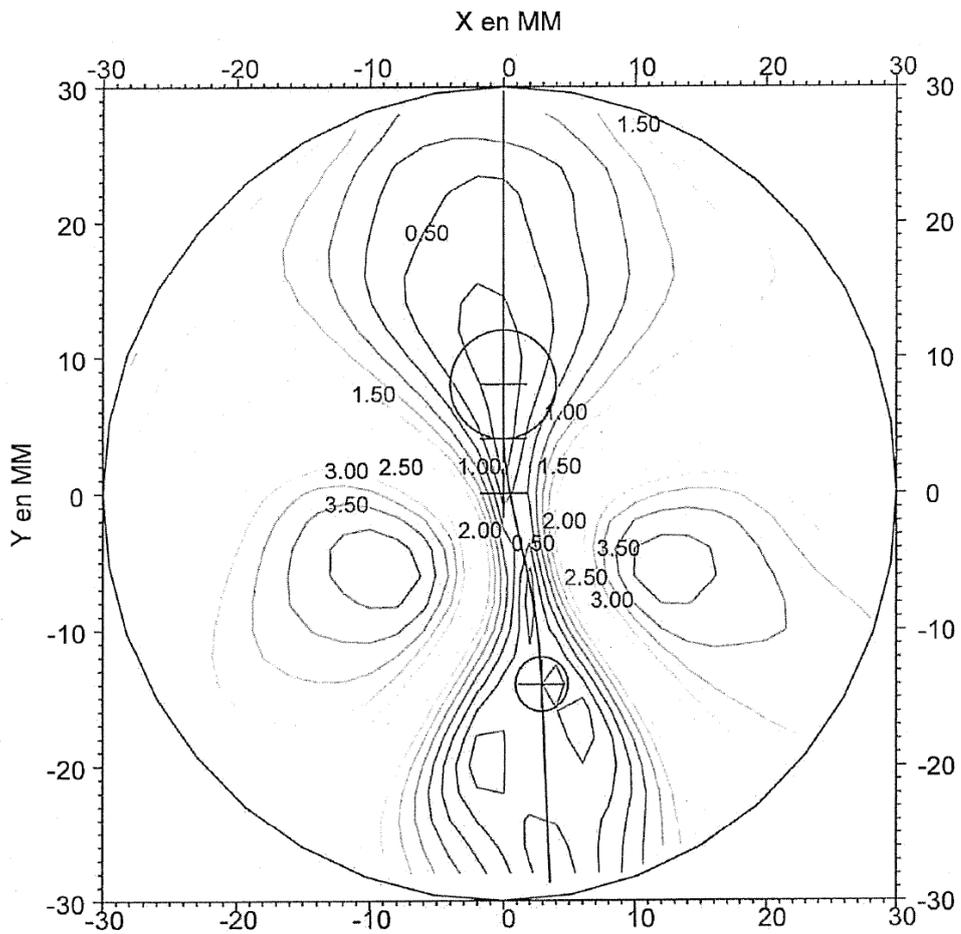


Figura 64	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE ESFERA</b>

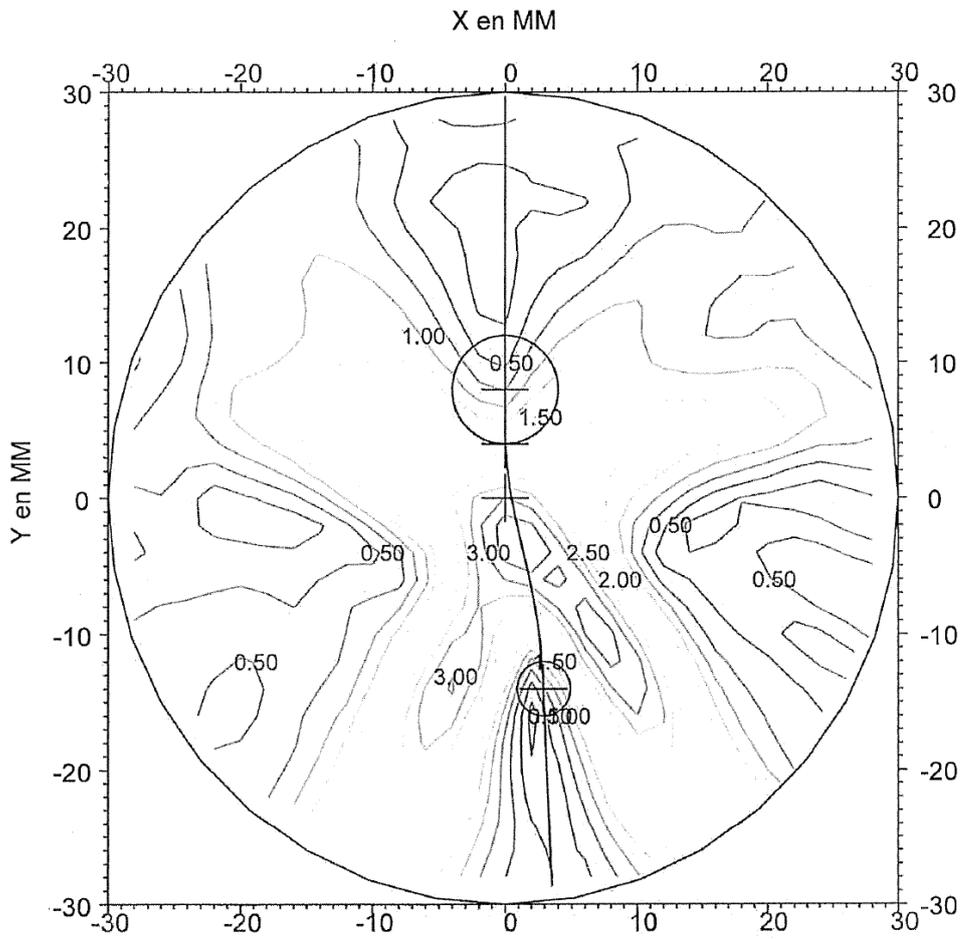


Figura 65	<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>
	<b>LENTE 5</b>
	<b>MAPA DE GRADIENTES DE CILINDRO</b>

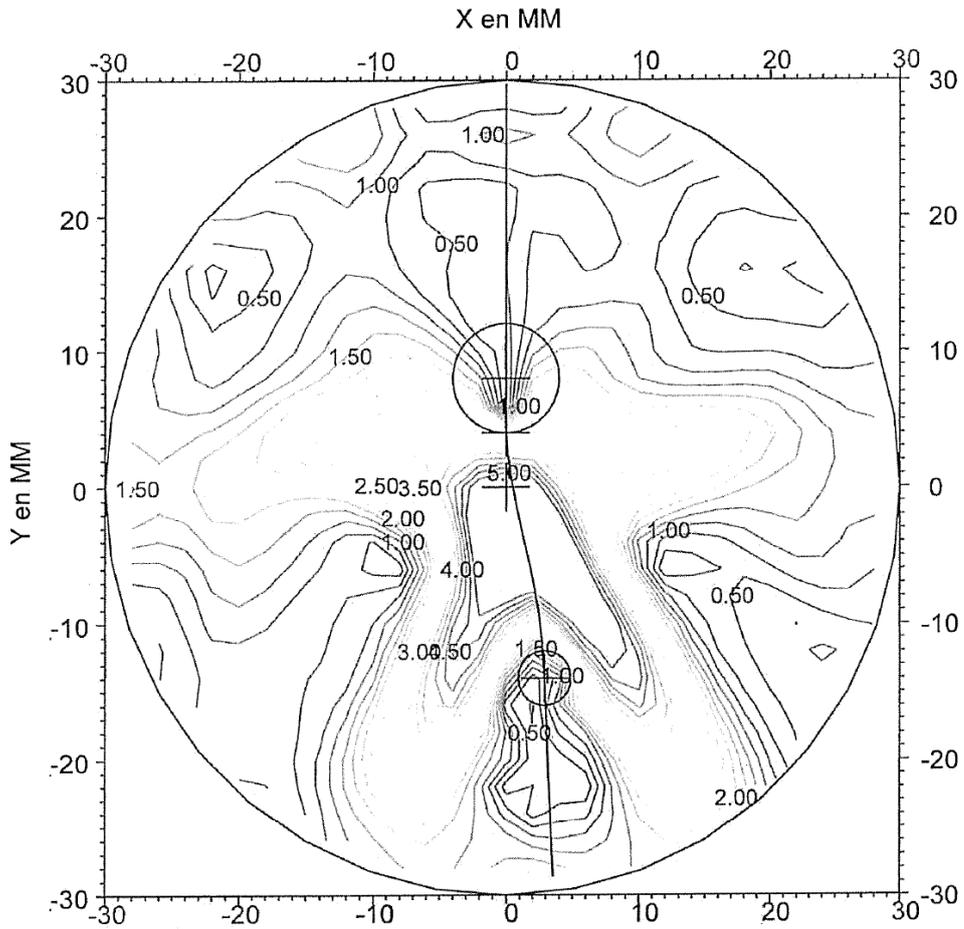


Figura 66	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA</b>

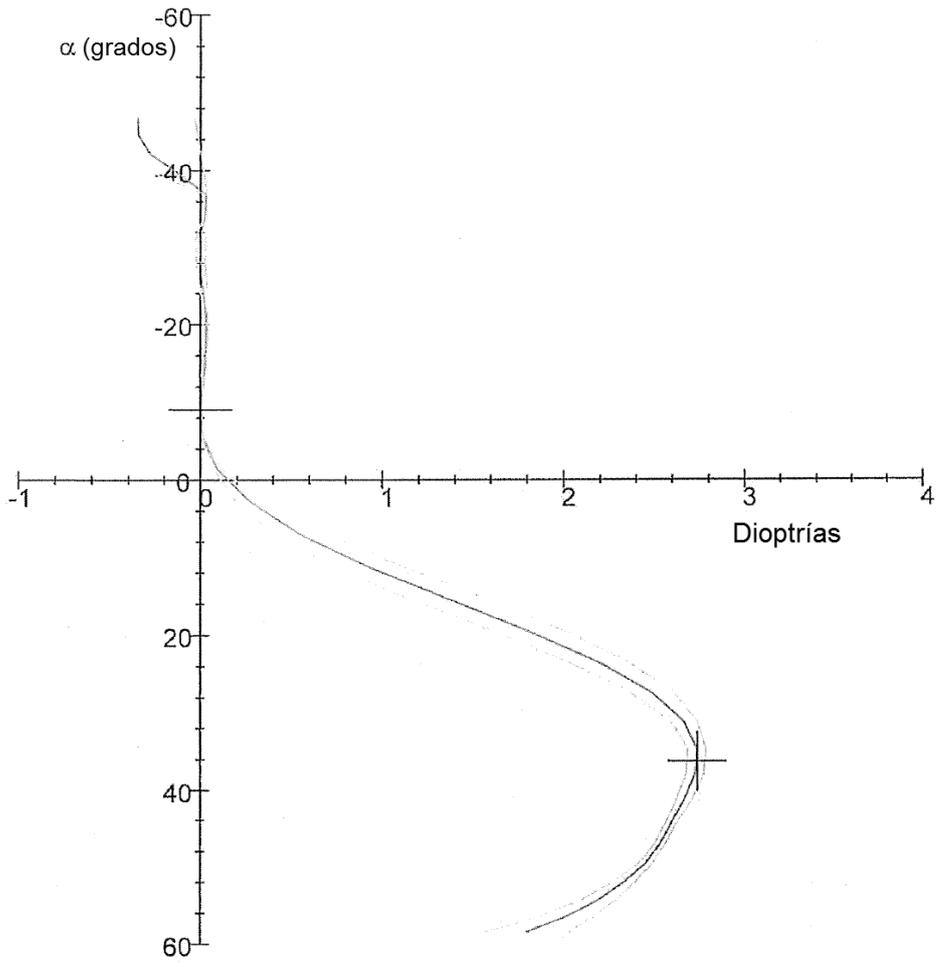


Figura 67	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 1
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

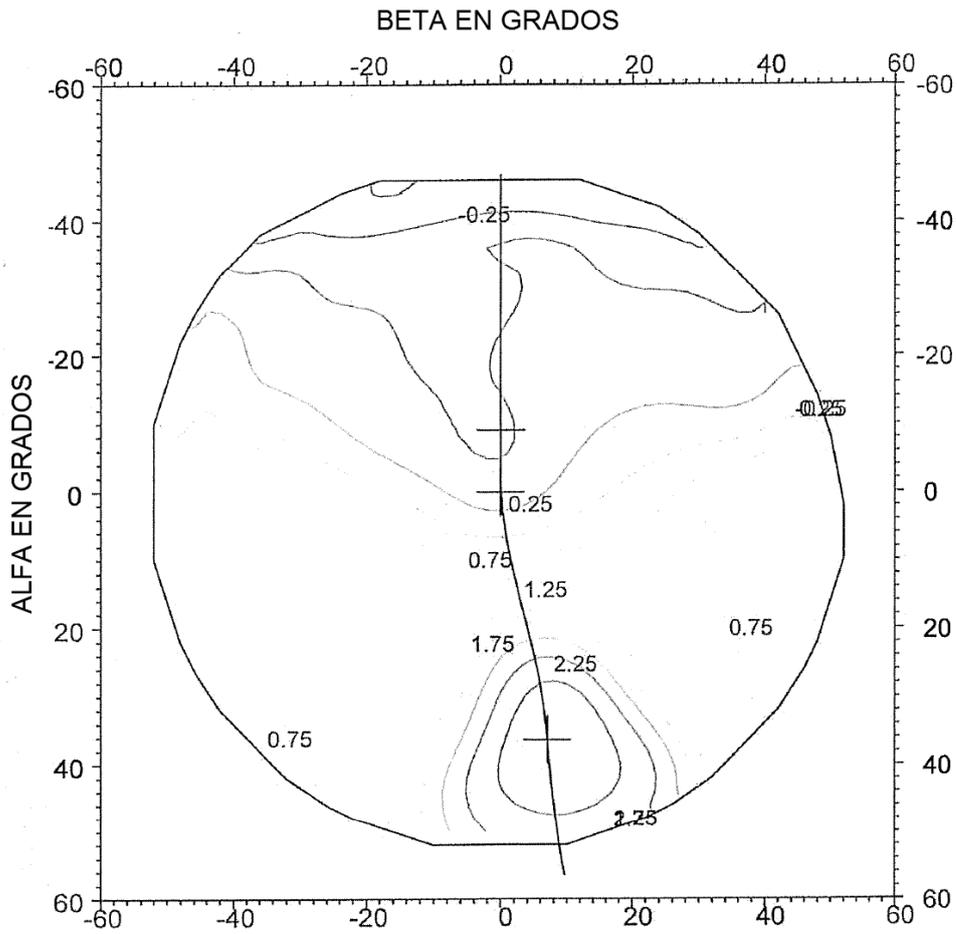


Figura 68	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 1
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

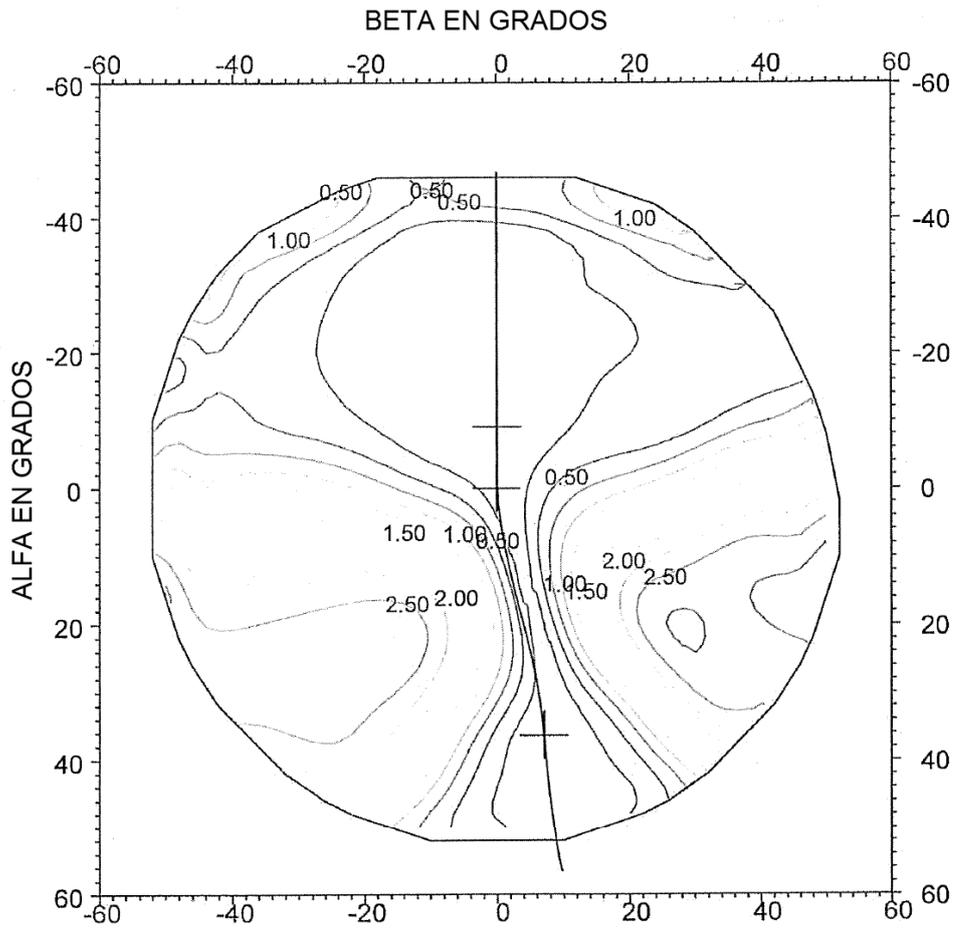


Figura 69	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 5
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

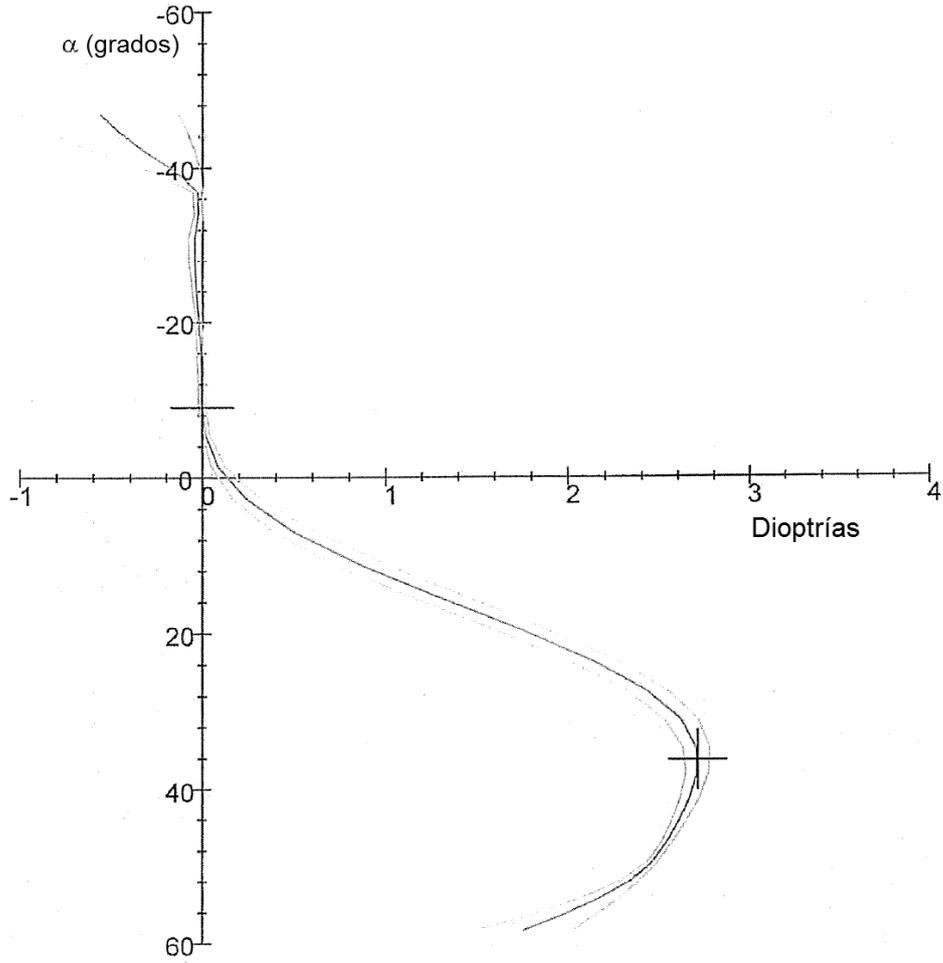


Figura 70	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 5
	<b>MAPA DE POTENCIA ÓPTICA</b>

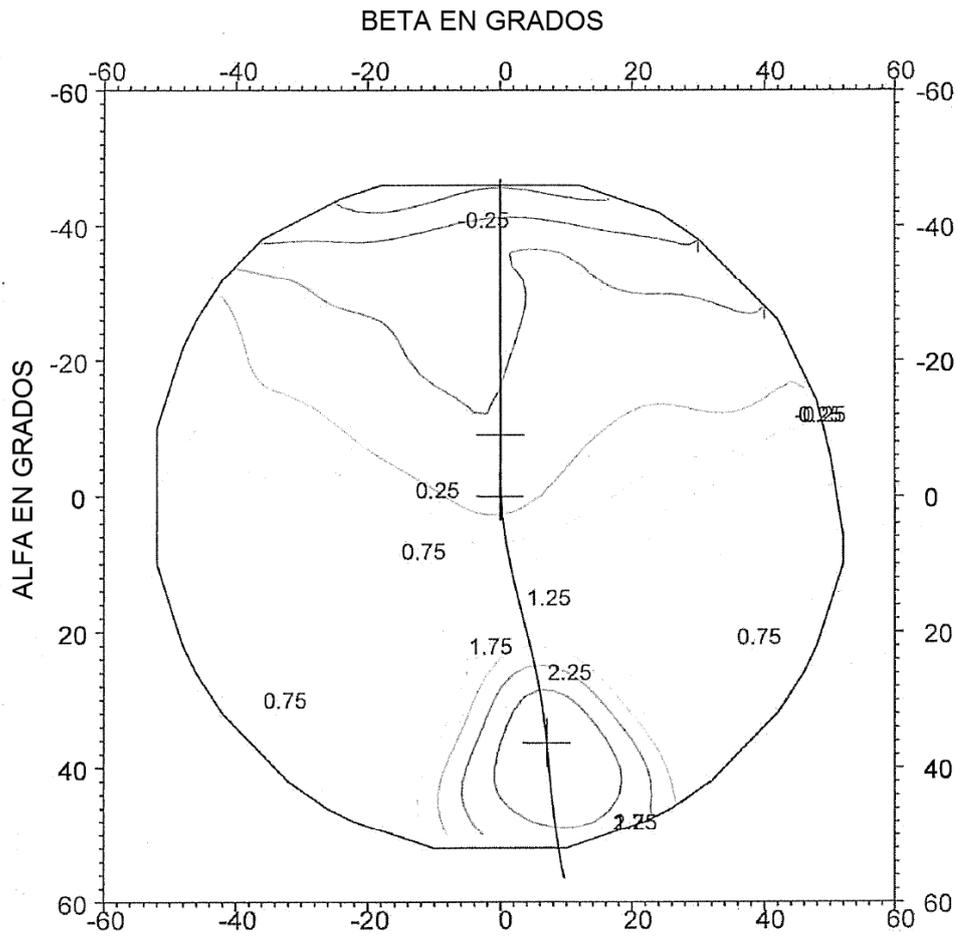


Figura 71	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 5
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

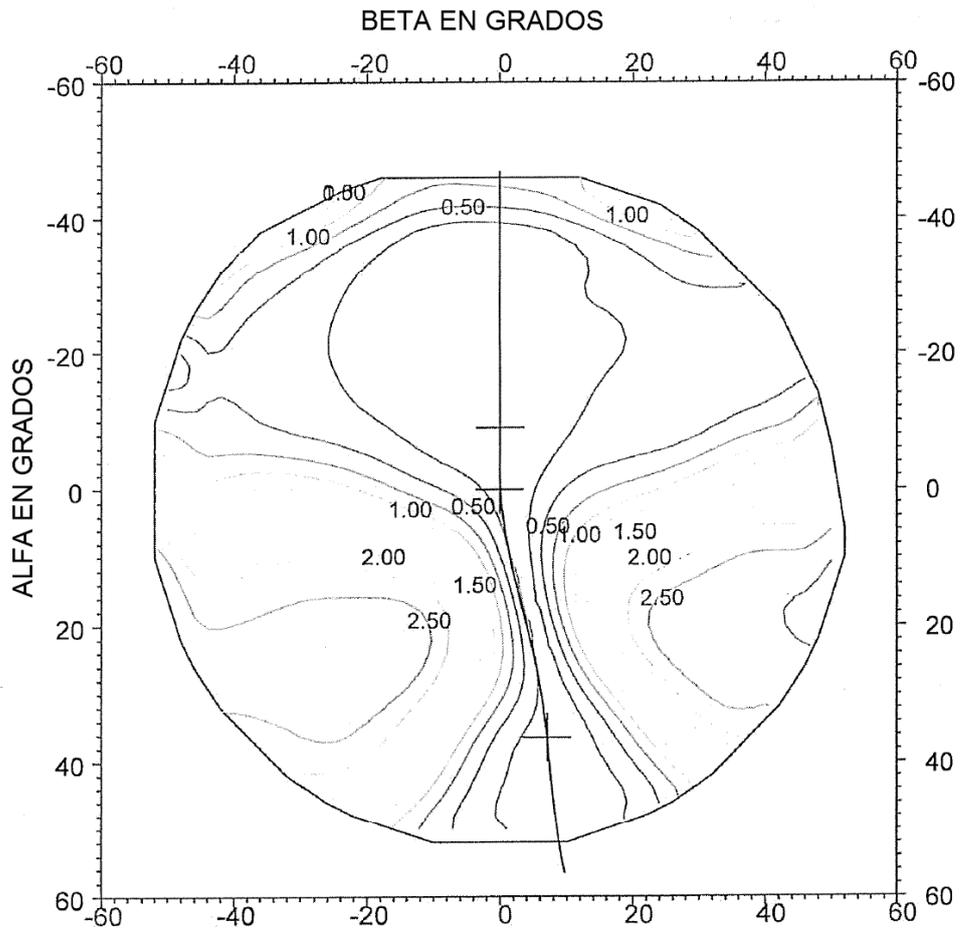


Figura 72	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	<b>LENTE 1</b>
	<b>VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA</b>

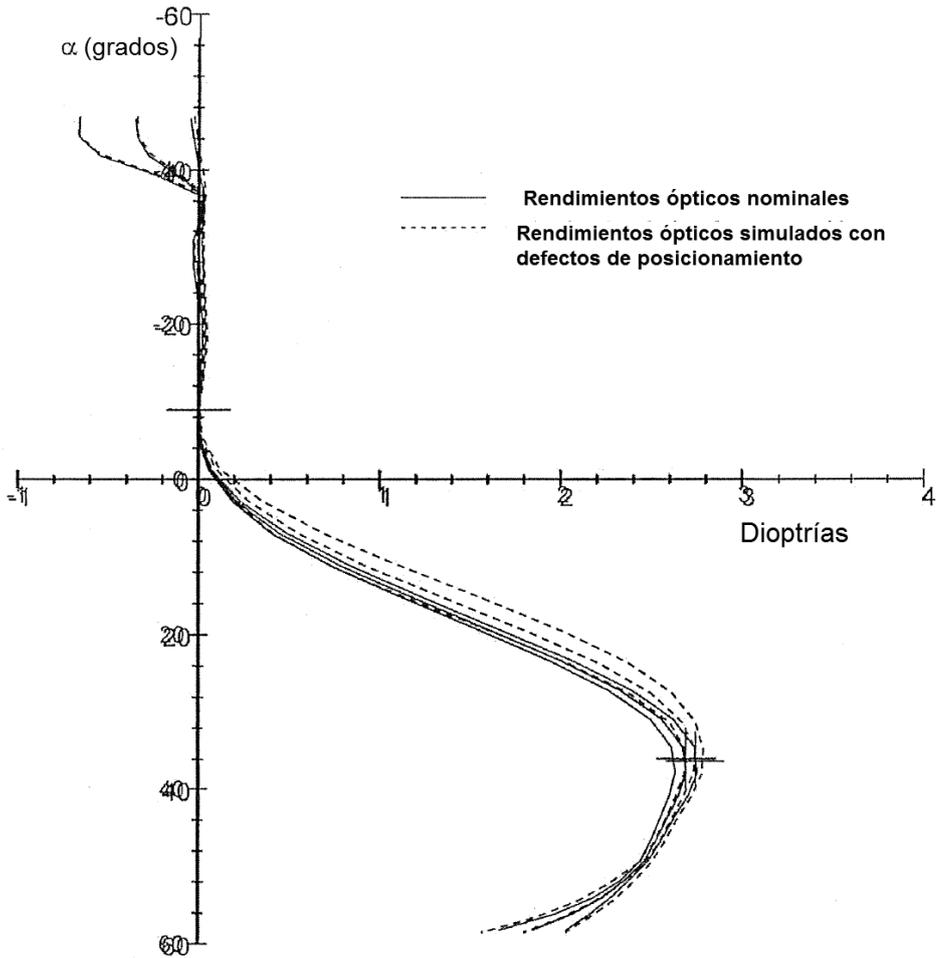




Figura 74	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 1
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

BETA EN GRADOS

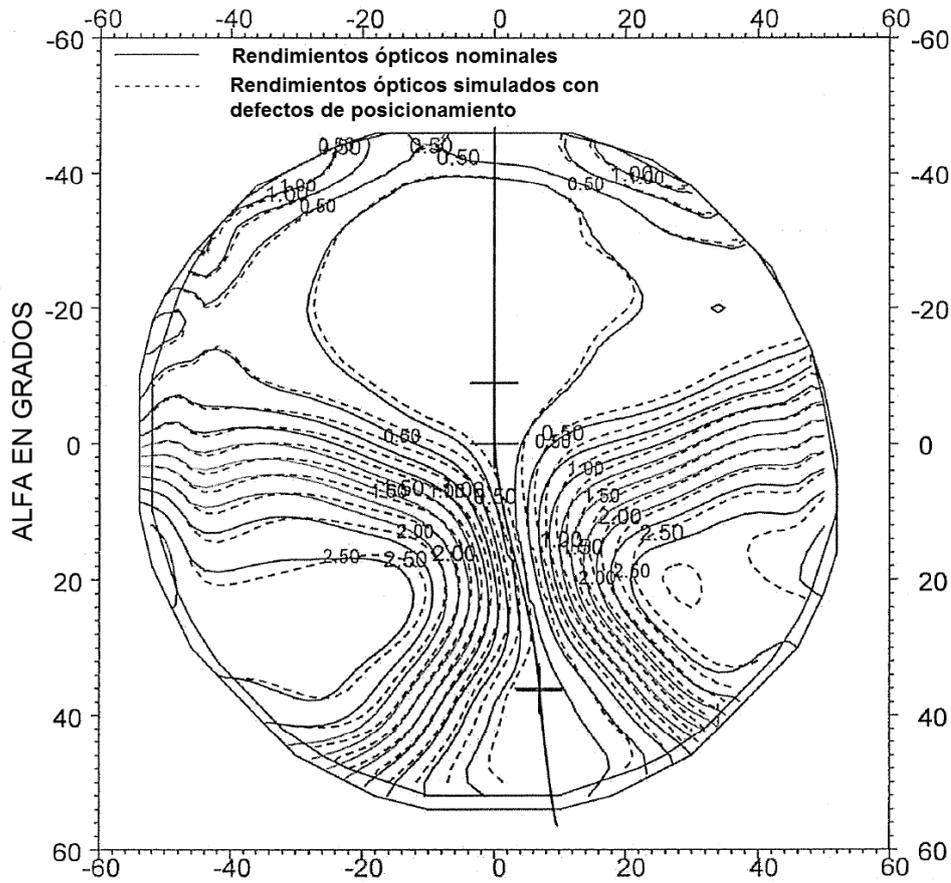


Figura 75	<b>ANÁLISIS ÓPTICO</b>
	LENTE 5
	VARIACIÓN DE POTENCIA ÓPTICA A LO LARGO DE LA LÍNEA MERIDIANA

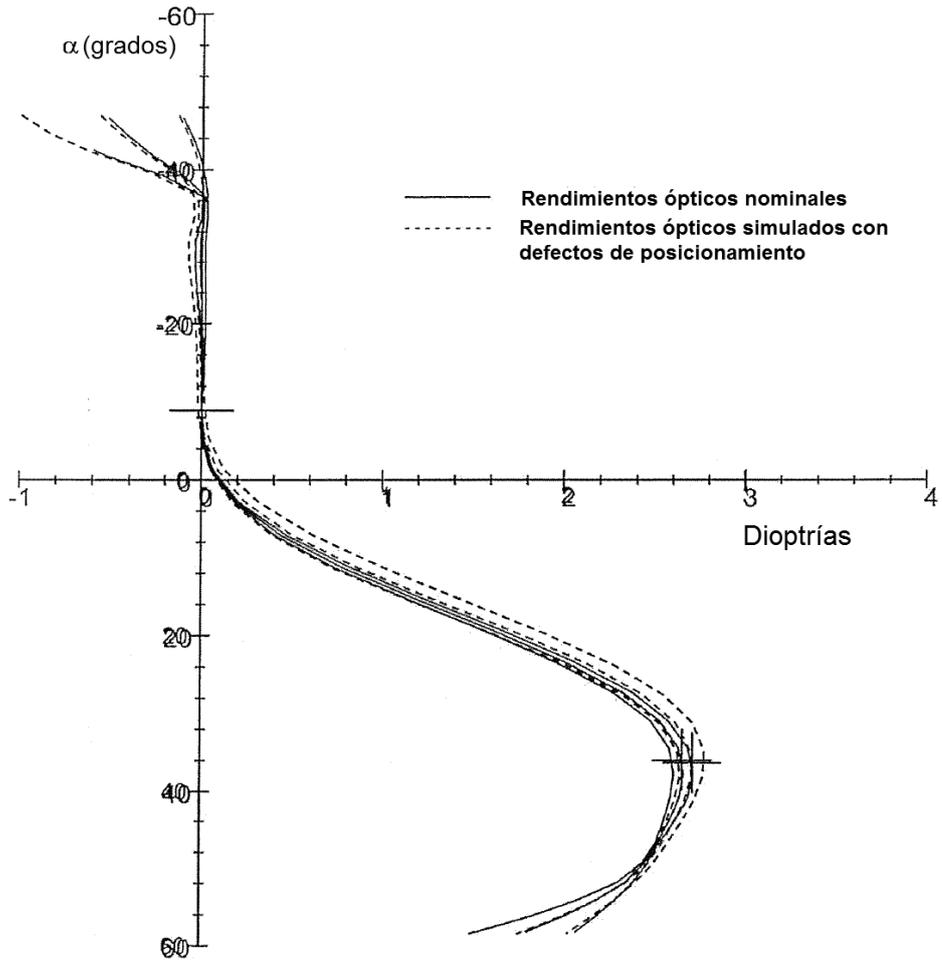




Figura 77	ANÁLISIS ÓPTICO
	LENTE 5
	<b>MAPA DE ASTIGMATISMO RESULTANTE</b>

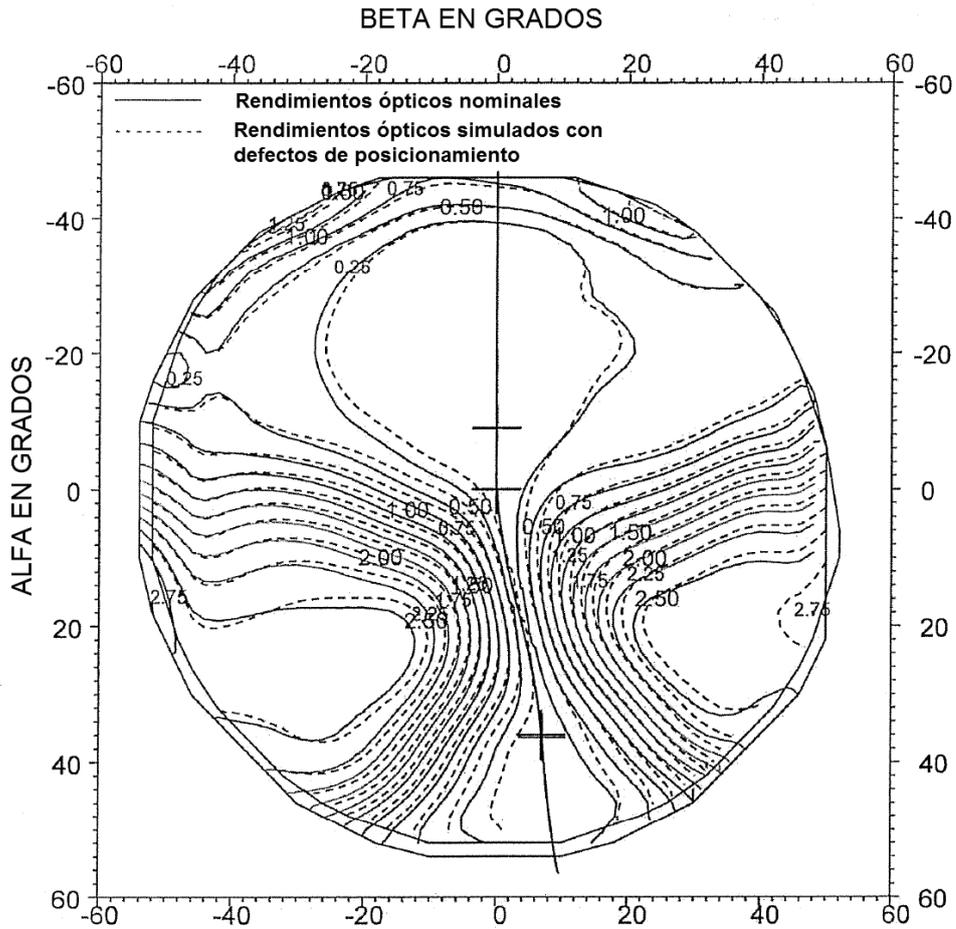


Figura 78

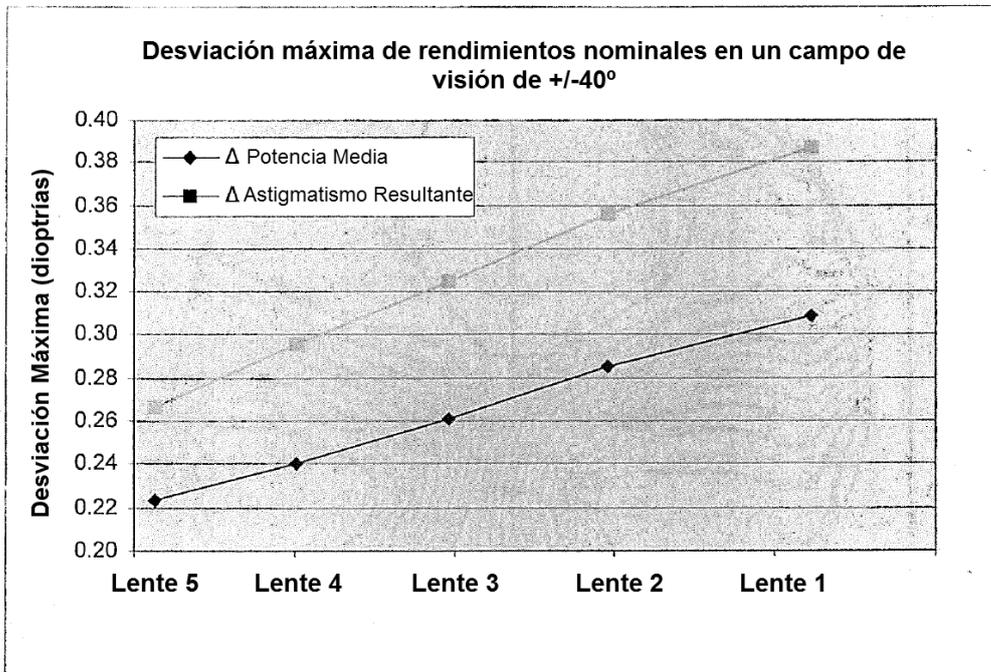


Figura 79

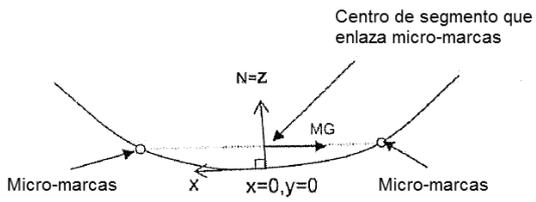


Figura 80

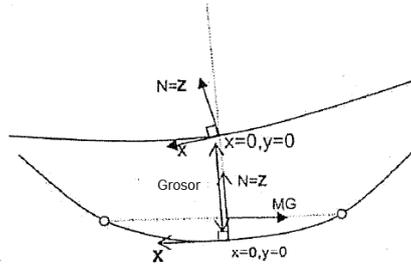


Figura 82

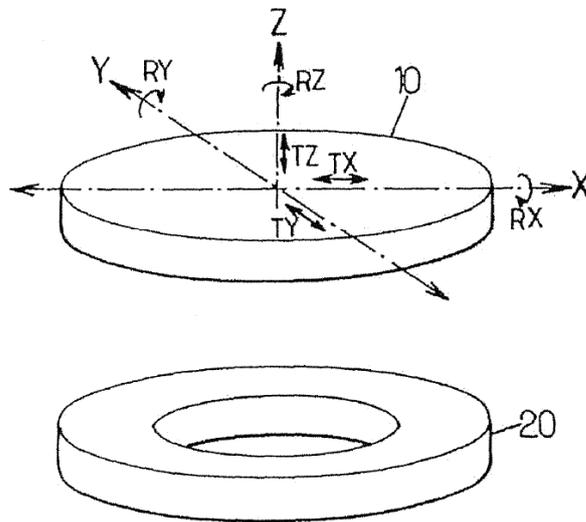


Figura 81

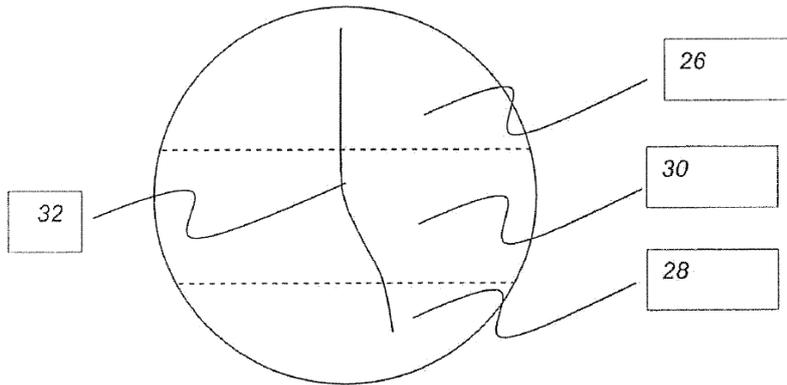


Figura 83

