



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 300 355**

51 Int. Cl.:
G01M 11/02 (2006.01)
G01B 11/255 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01965331 .0**
86 Fecha de presentación : **17.08.2001**
87 Número de publicación de la solicitud: **1224448**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **24.07.2002**

54 Título: **Procedimiento y aparato de medición por transmisión de la estructura geométrica de un componente óptico.**

30 Prioridad: **22.08.2000 FR 00 10794**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.06.2008

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

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

72 Inventor/es: **Devie, Pierre;
Bell, Francis y
Le Saux, Gilles**

74 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 300 355 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).

ES 2 300 355 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de medición por transmisión de la estructura geométrica de un componente óptico.

5 El objeto de la presente invención es un procedimiento y un aparato de medición de la estructura geométrica u óptica de un componente óptico.

10 El procedimiento según la invención permite medir de forma absoluta una o varias superficies pulidas o el reparto de índice de un componente óptico. Se entiende por medición absoluta una medida que no necesita ningún conocimiento previo del componente. La medición de superficies pulidas y/o de repartos de índice es susceptible de numerosas aplicaciones industriales, y es útil sobre todo en el ámbito oftálmico para el control o la medida de lentillas oftálmicas; en este caso, la realización de superficies complejas necesita la determinación de cientos de coeficientes.

15 Los documentos FR-A-2710162 o EP-A-0644411 a nombre del solicitante describen un aparato de deflectometría por reflexión o por transmisión. Dicho aparato permite la medición por reflexión o transmisión de la estructura geométrica de un componente óptico. El principio de un aparato de medición de ese tipo es iluminar el componente óptico a medir mediante una radiación de superficie de onda conocida - en el caso más simple una onda plana - y medir el frente de onda tras la reflexión o transmisión sobre el componente óptico objeto de medición. La medición de la superficie de onda tras la reflexión o transmisión permite remontarse a las propiedades geométricas del componente
20 objeto de medición.

El documento WO-A-9705467 describe un aparato del mismo tipo. Dicho documento propone calibrar el aparato midiendo la aberración transversal de un rayo de referencia tras la reflexión o la transmisión por el componente objeto de medición.

25 Los aparatos descritos en dichos documentos en realidad sólo funcionan para una sola superficie de un componente óptico. Para un funcionamiento por reflexión, los aparatos permiten determinar la estructura geométrica de la superficie sobre la que se refleja la luz de superficie de onda conocida. Para un funcionamiento por transmisión, los aparatos permiten determinar la estructura geométrica de una de las superficies del componente óptico, si se conocen la otra superficie y el índice del componente. De forma alternativa, por transmisión, se puede determinar el reparto de índice del componente, si se conocen las dos superficies del componente. Por otra parte, desde un punto de vista práctico, es poco frecuente poder medir todas las propiedades de un componente óptico sin modificar el banco de medición.

30 Es posible, con ayuda de dichos aparatos, medir sucesivamente en reflexión las dos superficies de un componente óptico, para deducir de ello el componente óptico; dicho procedimiento presenta los inconvenientes siguientes. Por una parte, si una superficie está provista de un revestimiento antirreflectante, dicho revestimiento entorpece la medición; ese tipo de revestimientos a menudo están previstos en las lentillas oftálmicas. Por otra parte, la medición por reflexión puede requerir que se deslustre la cara trasera del componente para evitar las imágenes parásitas; por último, incluso aunque se lleguen a medir por separado las dos superficies, es necesario conocer la posición relativa de las superficies para averiguar el componente o, dicho de otro modo, conocer el espesor del componente o el prisma en al menos un punto: dicha colocación relativa añade una fuente de errores.

35 El documento US-A-5825476 propone un aparato de cartografía de un componente óptico. Dicho documento propone iluminar un componente óptico mediante una luz que presenta un frente de onda conocido, y después recoger mediante una red de microlentillas la luz transmitida a través del componente o reflejada por éste. Las microlentillas proyectan la luz transmitida o reflejada sobre una pantalla deslustrada; la imagen de la pantalla deslustrada es registrada por una cámara y se analiza para determinar la estructura del componente óptico, por comparación con una imagen de referencia. El resultado obtenido por transmisión es un mapa de potencia del componente y en reflexión, un mapa de altitud del componente.

40 En una de las formas de realización, dicho documento propone realizar dos mediciones, en dos posiciones de la pantalla deslustrada, pero sin otra modificación del sistema salvo la posición de la pantalla deslustrada. Dichas dos mediciones permiten, para cada microlentilla, determinar el rayo tras la transmisión, mediante el conocimiento de dos puntos en dos posiciones de la pantalla deslustrada. El punto de entrada se conoce antes de la medición, ya que corresponde a una microlentilla de la matriz situada a la entrada. Conociendo una de las superficies del componente, es posible determinar la segunda superficie del componente.

45 Dicho documento, como los tres documentos anteriores, sólo permite por tanto determinar la geometría de una superficie del componente. La geometría de la otra superficie del componente se supone conocida mediante los cálculos.

50 Existe por lo tanto necesidad de un aparato de medición de cristales, que permita determinar las distintas propiedades de un componente óptico y, sobre todo, de las dos superficies de dicho componente óptico. Un aparato de ese tipo permite sobre todo medir eficazmente cristales progresivos, determinando de manera exacta la forma de cada una de sus dos superficies, sin tener que formular ninguna hipótesis sobre una de dichas superficies.

ES 2 300 355 T3

La invención propone en consecuencia un procedimiento de medición por transmisión de la estructura geométrica de un componente óptico, que comprende las etapas:

- de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,
- de medición del frente de onda de dicha primera luz tras la transmisión por dicho componente óptico,
- de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,
- de medición del frente de onda de dicha segunda luz tras la transmisión por dicho componente óptico, y
- de cálculo de la estructura geométrica de dicho componente óptico a partir de los frentes de ondas medidos en dichas etapas de medición.

En una forma de realización de la invención, en las distintas etapas de medición, los frentes de onda del lado de la misma superficie del componente son distintos.

Ventajosamente se puede utilizar para la etapa de medición una deflectometría de Hartmann o Shack-Hartmann, o una deflectometría de franjas o también una medición por interferometría.

Preferentemente, las etapas de iluminación comprenden la iluminación del componente por una de sus superficies, y la iluminación del componente por la otra superficie. En ese caso, las primera y segunda luces pueden presentar unos frentes de onda idénticos. Se puede principalmente prever que las etapas de iluminación comprenden la iluminación del componente óptico mediante una misma luz incidente, comprendiendo el procedimiento en ese caso una etapa de giro del componente óptico.

En otra forma de realización, las etapas de iluminación comprenden la iluminación del componente por una sola de sus superficies. En ese caso, las luces primera y segunda pueden presentar frentes de onda diferentes.

Es posible que la etapa de cálculo se efectúe por optimización de una función de mérito calculada a partir de al menos dos etapas de medición. También se puede prever una etapa de medición del espesor del componente en al menos un punto.

En una forma de realización, el procedimiento comprende también etapas:

- de iluminación del componente óptico con una tercera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido, y
- de medición del frente de onda de dicha tercera luz tras la transmisión por dicho componente óptico.

La invención propone también un aparato de medición por transmisión de la estructura geométrica de un componente óptico, que comprende:

- medios de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,
- medios de medición del frente de onda de dicha primera luz tras la transmisión por dicho componente óptico,
- medios de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente, cuyo frente de onda es conocido y diferente;
- medios de medición del frente de onda de dicha segunda luz tras la transmisión por parte de dicho componente óptico,
- medios de cálculo de la estructura geométrica de dicho componente óptico a partir de los frentes de ondas medidos en dichas etapas de medición.

En una forma de realización, los medios de medición comprenden una matriz de microlentillas, y pueden comprender también una red.

Ventajosamente, los medios de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente y los medios de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente iluminan respectivamente el componente por cada una de sus superficies. En ese caso, las primera y segunda luz pueden presentar frentes de onda idénticos.

En otro modo de realización, los medios de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente y los medios de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente iluminan la misma superficie del componente. En ese caso, las primera y segunda luces pueden presentar frentes de onda diferentes.

ES 2 300 355 T3

El aparato también puede comprender medios de medición del espesor del componente.

En una forma de realización, el aparato comprende:

- 5 - medios de iluminación del componente óptico con una tercera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,
- medios de medición del frente de onda de dicha tercera luz tras la transmisión por dicho componente óptico.

10 También se pueden prever medios de visualización de micrograbados en el componente.

Otras propiedades y ventajas de la invención se deducirán de la lectura de la descripción detallada siguiente de los modos de realización de la invención, ofrecidos únicamente a modo de ejemplo y en referencia a los dibujos que muestran:

15 fig. 1 a 5, representaciones esquemáticas de distintos modos de realización de un aparato para la puesta en práctica de la invención;

fig. 6, una representación esquemática del cálculo de una función de mérito;

20 fig. 7, una representación similar a la de la figura 6, en el caso de un frente de onda incidente plano;

fig. 8 a 13, propiedades de una lentilla obtenidas por medición mecánica de la lentilla;

25 fig. 14 a 16, las propiedades de la lentilla de las figuras 8 a 13, obtenidas por reconstrucción según la técnica anterior;

fig. 17 a 22, las propiedades de la lentilla de las figuras 8 a 13, obtenidas por el procedimiento de la invención.

30 La invención se basa, como en los aparatos del solicitante que se describen en los documentos FR-A-2710162 o WO-A-9705467, en el análisis de los frentes de onda - o de los rayos que les son perpendiculares - después y antes de la transmisión por el componente objeto de medición. Para medir el frente de onda de la luz tras la transmisión por el componente, se puede utilizar un método de deflectometría de franjas como en dichos documentos, o también un método de deflectometría llamado de Hartmann o Shack-Hartmann. También se puede medir el frente de onda
35 de la luz transmitida por procedimientos interferométricos y, por ejemplo, por interferometría de Mach-Zender, o por interferometría según el procedimiento denominado interferometría por desplazamiento lateral (lateral shearing interferometry).

40 La invención propone realizar dos mediciones por transmisión en dos configuraciones ópticas diferentes, y deducir de ellas sin hipótesis previas las dos superficies del componente, así como su posición relativa. Una solución posible consiste en minimizar o maximizar una función de mérito tomando como variables el conjunto de coeficientes representativos de la geometría del cristal de forma que, cuando la función de mérito es mínima - o máxima -, los valores tomados por las variables corresponden a los valores de cada uno de los coeficientes que definen las propiedades geométricas del componente. Las configuraciones ópticas son diferentes, en la medida en que el paso a través del
45 componente se efectúa por caminos ópticos distintos.

La invención puede aplicarse sobre todo a la medición de lentillas acabadas. Con respecto a la técnica anterior, evita la suposición del conocimiento de una de las superficies de las lentillas, y es más precisa y más simple de poner en práctica que dos mediciones por reflexión en las dos caras del componente:

- 50 - la invención puede ponerse en práctica aunque las superficies del componente estén revestidas de un tratamiento antirreflectante;
- la invención se pone en práctica sin deslustrar la superficie trasera del componente objeto de medición para
55 evitar las imágenes parásitas;
- la invención evita los problemas de colocación relativa de las dos superficies medidas por separado por reflexión.

60 A continuación se describe una forma de realización de la invención, en el que las superficies de ondas se determinan por deflectometría denominada de Hartmann o de Shack Hartmann; el principio de dicha deflectometría se describe en el documento US-A-5825476. Como se explica en dicho documento, el componente óptico objeto de medición es iluminado por una luz que presenta un frente de onda conocido. La luz transmitida por el componente óptico se aplica a una red de microlentillas, que forman imágenes en un plano materializado por una pantalla deslustrada o por una matriz de dispositivos de acoplamiento de carga (CCD). La posición del punto imagen de cada microlentilla
65 depende del frente de onda aplicado a la microlentilla. La inserción de un componente óptico en el sistema induce una variación del frente de onda incidente en las microlentillas, y por lo tanto una variación de la posición del punto

ES 2 300 355 T3

imagen de cada microlentilla; el análisis del desplazamiento del punto imagen de cada microlentilla permite medir la variación del frente de onda provocado por la inserción del componente óptico en el sistema.

5 La figura 1 muestra una representación esquemática de un primer modo de realización de un aparato para la puesta en práctica de la invención; en el modo de realización de la figura 1, se utilizan dos luces incidentes distintas para las dos mediciones por transmisión según dos configuraciones diferentes y más concretamente una luz que tiene un frente de onda plano y una luz que tiene un frente de onda esférico.

10 El aparato de la figura 1 presenta por tanto un soporte (no representado) para alojar un componente óptico 2, que presenta una superficie trasera 4 y una superficie delantera 6; los términos “delantera” y “trasera” se utilizan aquí solamente para identificar las superficies, y no corresponden necesariamente a la utilización ulterior del componente; dicho de otro modo, se puede colocar el componente “al revés” en el aparato.

15 El aparato presenta por otra parte una fuente de luz que tiene un frente de onda plano. Se puede utilizar como en el documento WO-A-9705467 una fuente puntual 8 y una lentilla 10, que generan una luz incidente sobre la superficie trasera 4 del componente objeto de medición con un frente de onda plano. El aparato presenta asimismo una fuente de luz que presenta un frente de onda esférico. Se puede utilizar una segunda fuente puntual 12, que genera una luz incidente sobre la superficie trasera del componente con un frente de onda esférico. Se utiliza una lámina semirreflectante 14 para iluminar la superficie trasera 4 del componente con las luces que provienen de las fuentes 8 y 12: la luz que proviene de la fuente 8 y de la lentilla 10 atraviesa la lámina semirreflectante 14, mientras que la luz que proviene de la fuente 12 es reflejada por la lámina 14. También se podría utilizar una fuente común para las dos luces, por ejemplo previendo que la lentilla 10 de colimación sea replegable. Por lo tanto, es posible en el aparato de la invención iluminar la superficie trasera 4 del componente sucesivamente con dos luces que presenten cada una un frente de onda conocido.

25 El aparato también puede tener medios para medir en un punto el espesor del componente. Es posible prever por ejemplo una medición en reflexión del componente sobre el eje del dispositivo, en ambas partes del componente. Ese tipo de medición permite determinar la normal de las superficies del componente en la intersección con el eje del aparato, así como el espesor del componente sobre dicho eje. Para dichas mediciones, se pueden utilizar tanto en el lado de la superficie trasera, como en el lado de la superficie delantera, los medios descritos en los documentos FR-A-2710162 o WO-A-9705467, que no se describen de nuevo aquí.

30 Ese tipo de medición del espesor no es indispensable para la puesta en práctica de la invención; la medición del espesor permite acelerar la determinación de las características del componente. Sigue siendo posible no medir el espesor del componente y determinarlo en el momento de la búsqueda por optimización que se describe más adelante.

35 El aparato tiene seguidamente medios de determinación del frente de onda de la luz transmitida por el componente. En el modo de realización de la figura, como se ha indicado antes, se puede utilizar una deflectometría de Hartmann o una deflectometría de Shack-Hartmann cuando se utilizan microlentillas; el aparato tiene por tanto una red de microlentillas 16 y un plano de análisis 18, sobre el que las microlentillas forman una imagen. Dicho plano de análisis podrá estar constituido por un cristal mate o bien directamente por un CCD. Como se ha explicado antes, el análisis de la imagen formada sobre el plano de análisis permite determinar el frente de onda de la luz transmitida a través del componente.

45 Las dimensiones típicas del aparato de la figura 1 son las siguientes: la lentilla 10 está situada en el eje principal que pasa por el componente 2 objeto de medición y la matriz 16 de microlentillas, y tiene un diámetro de 100 mm y una focal comprendida entre 110 y 250 mm. La lámina 14 de separación tiene un diámetro de 150 mm. La distancia entre la segunda fuente 12 (situada en un eje perpendicular al eje principal) y el punto de intersección entre la 14 y el eje principal es del orden de 70 mm. La distancia entre ese mismo punto y la superficie del componente óptico 2 también es del orden de 70 mm. La distancia entre el componente 2 y el Shack-Hartmann también puede estar comprendida entre 0 y 30 mm. Las fuentes 8 y 12 pueden ser diodos láser o LED.

50 El aparato de la figura 1 permite por tanto una medición del frente de onda de dos luces transmitidas por el componente. En otros términos, el aparato permite medir en dos configuraciones diferentes la transmisión de una luz incidente de frente de onda conocido a través del componente objeto de medición. El aparato puede, si fuera necesario, permitir también una medición del espesor del componente en un punto. En la figura 1, el componente está centrado en el eje óptico del aparato; como se explica más adelante, no es necesario en el procedimiento de la invención que el componente esté exactamente centrado en el eje óptico del aparato, y es suficiente una colocación aproximada.

60 La figura 2 muestra una representación esquemática de un segundo modo de realización de un aparato para la puesta en práctica de la invención. En el modo de realización de la figura 2, se utiliza una sola fuente luminosa para las dos mediciones por transmisión según dos configuraciones diferentes, pero el componente se gira para iluminarlo por sus dos superficies. El aparato presenta por tanto una fuente luminosa 20 que genera una luz de frente de onda conocido; en el ejemplo de la figura, una luz de frente de onda esférica. La luz llega a un componente 22 montado sobre un soporte no representado; el componente presenta una superficie trasera 24 y una superficie delantera 26. El aparato tiene seguidamente medios de determinación del frente de onda de la luz transmitida por el componente; como en el modo de realización de la figura 1, se utiliza una red de microlentillas 28 y un plano de análisis 30.

ES 2 300 355 T3

El aparato de la figura 2 permite mediciones del frente de onda de la luz transmitida por el componente según configuraciones distintas, como se explica a continuación. Se empieza por montar el componente óptico en el soporte, como se representa en la figura; la luz que proviene de la fuente 20 ilumina el componente por la superficie trasera 24 y el frente de onda de la luz transmitida es determinada por la red 28 y el plano 30. Seguidamente se gira el componente óptico 22, por rotación del soporte, como queda simbolizado en la figura 2 mediante la flecha 32. La luz que proviene de la fuente 20 ilumina entonces el componente en la superficie delantera 26 y el frente de onda de la luz transmitida es determinado por la red 28 y el plano 30.

Dicho de otra forma, la primera configuración corresponde a una iluminación del componente por su superficie trasera 24 por la luz conocida emitida por la fuente 20. La segunda configuración corresponde a una iluminación del componente por su superficie delantera 26 por la luz conocida emitida por la fuente 20. Lo importante en el aparato de la figura 2 es poder reunir ambas configuraciones en un mismo punto de referencia ligado al componente; una solución a tal efecto consiste en conocer de forma precisa la naturaleza del giro; para ello se puede utilizar simplemente un soporte que asegure un giro conocido del componente óptico.

La figura 3 muestra una representación esquemática de un tercer modo de realización de un aparato para la puesta en práctica de la invención. En el modo de realización de la figura 3, se utilizan fuentes luminosas diferentes que iluminan el componente en sus dos superficies para las dos mediciones por transmisión según dos configuraciones diferentes.

El aparato de la figura 3 presenta por tanto un soporte (no representado) para alojar un componente óptico 34, que presenta una superficie trasera 36 y una superficie delantera 38. El aparato tiene por otra parte una fuente de luz que tiene un frente de onda plano; esta fuente de luz está constituida por una fuente puntual 40 y por una lentilla 42, que generan a través de una lámina semirreflectante 44 una luz con frente de onda plano incidente sobre la superficie trasera 36 del componente objeto de medición. La luz transmitida por el componente es reflejada por una segunda lámina semirreflectante 46 hacia una red de microlentillas 48 y un plano de CCD 50.

El aparato tiene asimismo una fuente de luz que presenta un frente de onda esférico, que ilumina el componente por la superficie delantera. Se utiliza una segunda fuente puntual 52, que genera a través de la lámina semirreflectante 46 una luz con frente de onda esférico incidente sobre la superficie delantera 38 del componente 34. La luz que proviene de la fuente 52 y transmitida por el componente óptico es reflejada por la lámina semirreflectante 44 hacia una segunda red de microlentillas 54 y un segundo plano de CCD 56.

El aparato permite manifiestamente una medición de la luz transmitida por el componente según dos configuraciones. En la primera configuración el componente es iluminado por su superficie 36 calificada como trasera por una luz que presenta un frente de onda plano; en la segunda configuración, el componente es iluminado por su superficie 38 calificada como delantera por una luz que presenta un frente de onda esférico. Por supuesto, se podría modificar el dispositivo para utilizar un solo juego de medios de medición del frente de onda transmitido, por ejemplo con ayuda de espejos y de láminas semirreflectantes suplementarias.

La figura 4 muestra una representación esquemática de un cuarto modo de realización de un aparato para la puesta en práctica de la invención. El aparato de la figura 4 difiere del de la figura 3 solamente en que en la segunda configuración se utiliza una luz que presenta un frente de onda plano; la fuente puntual 52 de la figura 3 es reemplazada por tanto en la figura 4 por una fuente puntual 58 y una lentilla 60, que iluminan la superficie delantera 38 del componente con una luz que presenta un frente de onda plano.

La figura 5 muestra una representación esquemática de un quinto modo de realización de un aparato para la puesta en práctica de la invención. El aparato de la figura 5 tiene la ventaja de permitir que se registren no sólo datos relativos a la estructura del componente óptico objeto de medición, sino también los grabados que hay sobre dicho componente. En el caso de una lentilla oftálmica, dichos grabados son importantes para el óptico: de hecho, se toman como referencia en el momento de la operación de encuadre, que permite adaptar la lentilla a la forma de montura escogida por el portador. El aparato de la figura 5 tiene por tanto medios de iluminación y de medición según dos configuraciones distintas. Una cámara CCD cuyo enfoque se realiza sobre la superficie de la lentilla permite visualizar los grabados.

El aparato presenta por tanto un soporte (no representado) para alojar un componente óptico 62, que tiene una superficie trasera 64 y una superficie delantera 66. Una cámara CCD 68 se enfoca con ayuda de una lentilla 70 sobre la superficie del componente. El eje 72 de la cámara y de la lentilla se confunde sensiblemente con el eje óptico del componente.

El aparato presenta por otra parte una fuente de luz que tiene un frente de onda plano; dicha fuente de luz está constituida por una fuente puntual 74 y una lentilla 76, que generan una luz con frente de onda plano incidente sobre la superficie delantera 66 del componente objeto de medición. La luz de frente de onda plano es transmitida por el componente a una red de microlentillas 78 y un plano de CCD 80. La luz de frente de onda plano tiene una incidencia oblicua sobre el componente objeto de medición para permitir visualizar los grabados del componente; más concretamente, el ángulo α entre el eje 82 de la línea de medición y el eje 72 de la línea de visualización de los micrograbados es superior a 10° .

ES 2 300 355 T3

El aparato presenta también una fuente de luz que tiene un frente de onda esférico, que ilumina el componente por la superficie trasera. Se utiliza una segunda fuente puntual 84, que genera una luz con frente de onda esférico incidente sobre la superficie trasera 64 del componente. La luz que proviene de la fuente 84 es transmitida por el componente óptico a una segunda red de microlentillas 86 y un segundo plano de CCD 88. La luz de frente de onda esférico también tiene una incidencia oblicua sobre el componente objeto de medición, para permitir la visualización de los grabados del componente; más concretamente, el ángulo β entre el eje 90 de la línea de medición y el eje 72 de la línea de visualización de los micrograbados es superior a 10° .

El aparato de la figura 5 permite una medición de la luz transmitida por el componente según dos configuraciones similares a las de la figura 3, con un ángulo de incidencia aproximado. Por otra parte, permite visualizar los micrograbados de las lentillas, y por lo tanto proporcionar una medición del componente con una referencia vinculada a los micrograbados.

Se entiende además que se podrían haber utilizado en el aparato de la figura 5 fuentes que aseguren una iluminación con luces de frente de onda idénticos, o también unas fuentes que aseguren una iluminación de una misma superficie del componente óptico. En todos los casos se pueden prever tal y como se describe en referencia a la figura 1 medios para medir en un punto el espesor del componente.

Para todos los aparatos descritos, se puede, gracias a la optimización descrita a continuación, encontrar las superficies y el espesor independientemente de la posición del componente óptico en el sistema de coordenadas del montaje. Para poder asociar seguidamente las superficies al componente óptico, puede ser interesante, como se explica en la figura 5, determinar la posición de un punto del componente óptico en el sistema de coordenadas. Además de la solución propuesta en la figura 5, se pueden prever en el aparato, por lo tanto, medios de medición de la posición de un punto en una de las superficies del componente óptico. Por ejemplo, se puede utilizar la autocolimación de un láser o de otros medios sobradamente conocidos para medir la posición de un punto del componente óptico en el sistema de coordenadas del aparato; también se podría medir el ángulo que forma la superficie del componente óptico con el eje óptico del aparato. Esta solución permite de una forma u otra asociar la superficie del componente determinada gracias a la invención y el propio componente óptico.

A partir de esas mediciones de frentes de onda en transmisión en dos configuraciones, la invención propone determinar la estructura del componente. A tal efecto, propone utilizar una búsqueda por optimización de las dos superficies del componente, con ayuda de una función de mérito que representa dos frentes de ondas transmitidos en las dos configuraciones distintas. La definición de la función de mérito es independiente de las dos superficies y permite en cualquier caso reconocer esas dos superficies. Al contrario que las soluciones de la técnica anterior, la invención se basa en la constatación de que la explotación simultánea de las dos mediciones permite determinar las dos superficies del componente.

Si el espesor del componente no se mide, también puede determinarse en el momento de la búsqueda por optimización. En ese caso, resulta que la función de mérito puede tener mínimos locales para determinados valores del espesor, pero tiene siempre un mínimo absoluto para el espesor real del componente. Si se conoce el espesor, puede bastar con buscar el mínimo para dicho valor del espesor. En algunos casos, una optimización local no permite averiguar el espesor del componente; en ese momento, una optimización global permite averiguar el extremo y, por lo tanto, el espesor del componente.

El principio de una búsqueda por optimización es sobradamente conocido. Se definen unos valores de salida para las superficies delantera y trasera del componente óptico. Se define una función de mérito, susceptible de ser calculada para valores corrientes de las superficies delantera y trasera del componente; dicha función de mérito se concibe que presente un valor mínimo o máximo cuando los valores corrientes de las superficies delantera y trasera son iguales a los valores objeto de medición. La optimización consiste en hacer variar por iteraciones sucesivas los valores corrientes de las superficies delantera y trasera, partiendo de los valores de salida, hasta encontrar un extremo de la función de mérito.

La figura 6 muestra un ejemplo de definición de función de mérito para el cálculo de las superficies; la explicación en el caso de la figura 6 es una explicación en términos de frentes de ondas, para la iluminación del componente por su superficie trasera.

Se ha representado en la figura el aspecto del componente óptico en reconstrucción o, dicho de otro modo, los valores corrientes de la superficie trasera 92 y de la superficie delantera 94. Se ha llevado en la figura el frente de onda conocido 96 de la luz incidente sobre la superficie trasera 92, así como el frente de onda medido 98 de la luz transmitida por el componente. La figura muestra también un rayo 100 registrado tras la transmisión por el componente, en una de las configuraciones de medición. Es posible, conociendo los valores corrientes de la superficie trasera 92 y de la superficie delantera 94, calcular en el espacio del frente de onda incidente el rayo incidente 102 por propagación inversa a través del componente óptico. De esta forma se puede determinar la intersección del rayo incidente 102 con el frente de onda incidente 96, que es conocido. En el punto de intersección determinado de ese modo, se calculan las diferencias de los cosenos directores (x , y , z) del rayo 102 y de los cosenos directores (\hat{x} , \hat{y} , \hat{z}) de la normal 104 al frente de onda. Se denomina en este caso coseno director a las coordenadas de referencia de un vector unitario colineal al rayo o a la normal.

ES 2 300 355 T3

La función de mérito puede en ese caso expresarse como la suma de las diferencias al cuadrado de los cosenos directores, para distintos rayos, y para las dos configuraciones de medición, es decir:

$$\sum_{\text{configuraciones}} \left\{ \sum_{\text{rayos}} \left[\left(x - \hat{x} \right)^2 + \left(y - \hat{y} \right)^2 + \left(z - \hat{z} \right)^2 \right] \right\}$$

Es evidente que dicha definición corresponde a una función de mérito:

- asocia un número real a unos valores corrientes de las superficies;
- la función es positiva o nula;
- se anula si en las dos configuraciones de medición los rayos calculados por propagación inversa son idénticos a los rayos de la luz incidente o, dicho de otro modo, si los valores corrientes para las superficies delantera y trasera son idénticos a las superficies delantera y trasera reales.

Dicho de otro modo, la función presenta un extremo cuando los valores de las superficies son iguales a las superficies reales del componente. La función de mérito podrá estar constituida por cualquier función que cuantifique las diferencias entre el frente de onda corriente y el frente de onda de referencia.

La figura 7 es similar a la figura 6 pero muestra el caso de un frente de onda incidente de referencia que es plano. En este caso, la normal al frente de onda incidente es constante para toda la superficie del componente óptico; por lo tanto, es idéntica para cualquier rayo 102, lo que simplifica los cálculos; de hecho, sólo es necesario calcular los cosenos directores de la normal al frente de onda una sola vez. En ese tipo de configuración es suficiente conocer los cosenos directores del rayo 102, en la superficie del componente iluminada por la luz de frente de onda plano, sin tener que seguir la propagación inversa del rayo 102. Se ha trazado en la figura un segundo rayo 106 y el rayo construido por propagación inversa 108.

Pueden utilizarse otras funciones de mérito. En todos los casos, la función de mérito se calcula a partir de la transmisión de la luz en las dos configuraciones ópticas diferentes antes citadas. El hecho de utilizar una función de mérito calculada a partir de las dos configuraciones diferentes permite determinar simultáneamente las dos superficies del componente óptico.

La invención permite determinar con precisión las dos superficies de un componente óptico, después de dos mediciones por transmisión. A continuación se ofrece un ejemplo de puesta en práctica de la invención, para la medición de un cristal progresivo. El cristal progresivo medido era un cristal comercializado por la solicitante con la marca Varilux Comfort; la cara trasera es esférica; la cara delantera es progresiva. La lentilla presenta una base de 7,25 dioptrías, una potencia de 5,00 dioptrías, un cilindro de prescripción nulo y una adición de 2,00 dioptrías. En el ejemplo se han utilizado dos mediciones por transmisión con dos luces de frente de onda incidente al plano que atraviesa el componente en sentidos opuestos. La matriz de microlentillas presentaba un paso de 2 mm, y la luz incidente iluminaba la lentilla sobre un diámetro de 50 mm; la distancia entre la cara trasera del cristal y la matriz de dispositivo era en cada dirección de la luz incidente de 12 mm.

Para la optimización, se ha utilizado una función de mérito del tipo antes descrito, con 845 rayos. Los valores de salida utilizados para las superficies delantera y trasera y el espesor son los siguientes:

- superficie trasera: superficie esférica de 160 mm de radio;
- superficie delantera: superficie parabólica arbitraria en $1x^2$ de 56 mm de diámetro;
- espesor del componente: 2 mm.

La optimización se efectúa por el procedimiento de los mínimos cuadrados para 461 variables, es decir, una modelización con el polinomio de Zernike de 230 variables para cada superficie, y una variable para el espesor. En 10 iteraciones, la función de mérito alcanza un valor de $0,1 \cdot 10^{-14}$.

Los resultados obtenidos se comparan con los resultados de una medición mecánica de cada superficie del componente, con ayuda de una máquina de medición tridimensional, con una precisión mayor que $1 \mu\text{m}$ y un paso de medición de 2 mm. En cada punto de medición, y para cada superficie, la diferencia entre la altitud calculada según la invención y la altitud medida es inferior a $1 \mu\text{m}$.

ES 2 300 355 T3

Las figuras 8 a 22 muestran las propiedades de la lentilla en este ejemplo de puesta en práctica de la invención. Las figuras 8 a 13 muestran las propiedades de la lentilla, obtenidas a partir de una medición mecánica de la invención, y más concretamente:

- 5 - la figura 8, la esfera media y las curvas máxima y mínima de la meridiana de la cara delantera del cristal;
- la figura 9, el plano de esfera media de la cara delantera;
- la figura 10, el plano de cilindro de la cara delantera;
- 10 - la figura 11, la esfera media y las curvas máxima y mínima del meridiano de la cara trasera del cristal;
- la figura 12, el plano de esfera media de la cara trasera;
- 15 - la figura 13, el plano de cilindro de la cara trasera.

En el caso de las figuras 8 y 11, la meridiana está definida por tres segmentos, como se explica en las patentes FRA-2683642 y FR-A-2683643 del solicitante.

- 20 Las figuras 14 a 16 muestran los resultados de una reconstrucción según el estado de la técnica, lo que correspondería en la práctica a los resultados obtenidos con el procedimiento descrito en las solicitudes FR-A-2710162 o EP-A-0644411 del solicitante, suponiendo que la cara trasera es perfectamente esférica y presenta un rayo de 164,38 mm. Las figuras muestran:

- 25 - la figura 14, la esfera media y las curvas máxima y mínima de la meridiana de la cara delantera del cristal;
- la figura 15, el mapa de esfera media de la cara delantera;
- la figura 16, el mapa de cilindro de la cara delantera;

- 30 Las figuras 17 a 22 son similares a las figuras 8 a 13, pero muestran los resultados obtenidos por el procedimiento de la invención. Se constata una enorme similitud entre las figuras respectivas. Principalmente, se ven gracias a la invención los defectos de la cara trasera del componente, que, en su valor de consigna, es perfectamente esférica.

- 35 Por comparación, las figuras 10 y 19 son bastante distintas de la figura 16, sobre todo en lo que concierne a la parte superior de la lentilla, que corresponde a la zona de visión de lejos. En otras palabras, se obtienen sensiblemente los mismos resultados gracias a la invención que en una medición mecánica; pero dichos resultados son distintos de los obtenidos suponiendo que la cara trasera de la lentilla es perfectamente esférica. La invención, en relación con la solución de la técnica anterior, permite evitar que se trasladen a la cara delantera de la lentilla los defectos de la cara trasera, cuando ésta no es exactamente idéntica en su valor de consigna.
- 40

De igual modo, la meridiana representada en la figura 20 corresponde en gran medida a la meridiana medida representada en la figura 11. En este caso, las diferencias con respecto a la superficie trasera, que se supone esférica, son pocas.

- 45 Por supuesto, la presente invención no se limita a los modos de realización descritos a modo de ejemplo; así, se pueden utilizar para determinar el frente de onda de la luz transmitida otros procedimientos distintos de la deflectometría de Hartmann, por ejemplo un procedimiento de deflectometría por franjas como los descritos en los documentos FR-A-2710162 o WO-A-9705467, que utilizan una red de Ronchi. También se pueden utilizar procedimientos interferométricos. El procedimiento de la invención no se limita a poner en evidencia pequeñas diferencias; la invención permite determinar las correcciones aportadas por cada una de las dos superficies sin hipótesis previas sobre dichas dos superficies.
- 50

- 55 En el montaje de la figura 1, como en el de la figura 2, se puede utilizar otros medios para generar luces con frentes de onda diferentes; en el modo de realización de la figura 1, se podría cambiar la lentilla de colimación 10, o añadir una lentilla suplementaria. En el modo de realización de la figura 2 se podría utilizar una fuente única, y hacer girar el componente. También se podría mezclar los modos de realización y utilizar una fuente de luz con un frente de onda plano y una fuente de luz con un frente de onda esférico en el modo de realización de la figura 2. Lo mismo ocurre con las figuras 3 a 5.
- 60

Si el espesor del componente en el centro o en un punto es conocido, se puede prescindir de los medios de medición de dicho espesor; de forma alternativa, pueden utilizarse todos los medios conocidos de determinación del prisma o del espesor del componente.

- 65 En los ejemplos dados anteriormente, se ha propuesto utilizar dos series de mediciones para determinar las propiedades de las dos superficies de las dos lentillas. También es posible proceder a más de dos series de mediciones, siempre en configuraciones en transmisión. Como se ha explicado antes, se utilizan configuraciones diferentes, es decir, frentes de ondas incidentes y transmitidos distintos.

ES 2 300 355 T3

Proceder a más de dos mediciones puede ser útil sobre todo para determinar por optimización otras propiedades del componente óptico. Por ejemplo, para un componente óptico de índice variable, se podría, con ayuda de tres series de mediciones, determinar las superficies del componente óptico y el reparto de índice. También se conoce la posibilidad de constituir componentes ópticos a partir de dos obleas que presentan una cara plana y una cara no plana, que están ensambladas por su cara plana. Para ese tipo de componente, la invención permite determinar no sólo las superficies y el espesor del componente, sino también la posición de la interfase entre las dos obleas.

En cada uno de los casos es ventajoso que la luz incidente ilumine el conjunto de la superficie útil del componente óptico, es decir, la parte del componente cuyas propiedades se desea averiguar.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 300 355 T3

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de medición por transmisión de la estructura geométrica de un componente óptico (2), que comprende las etapas:
- de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente (8, 10), cuyo frente de onda es conocido,
 - 10 - de medición (16, 18) del frente de onda de dicha primera luz tras la transmisión por dicho componente óptico,
 - de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente (12, 14), cuyo frente de onda es conocido,
 - 15 - de medición (16, 18) del frente de onda de dicha segunda luz tras la transmisión por dicho componente óptico,
 - de cálculo de la estructura geométrica de dicho componente óptico a partir de los frentes de ondas medidos en dichas etapas de medición.
 - 20
2. El procedimiento de la reivindicación 1, **caracterizado** porque en las distintas etapas de medición, los frentes de onda del lado de la misma superficie del componente son distintos.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la etapa de medición se efectúa por deflectometría de Hartmann o Shack-Hartmann.
4. El procedimiento de la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la etapa de medición se efectúa por deflectometría de franjas.
- 30 5. El procedimiento de la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la etapa de medición es una etapa de medición por interferometría.
- 35 6. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque las etapas de iluminación comprenden la iluminación del componente por una de sus superficies, y la iluminación del componente por la otra superficie.
7. El procedimiento de la reivindicación 6, **caracterizado** porque las primera y segunda luces presentan frentes de onda idénticos.
- 40 8. El procedimiento de la reivindicación 7, **caracterizado** porque las etapas de iluminación comprenden la iluminación del componente óptico con una misma luz incidente, y porque el procedimiento comprende una etapa de giro del componente óptico.
- 45 9. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque las etapas de iluminación comprenden la iluminación del componente por sólo una de sus superficies.
10. El procedimiento de la reivindicación 9, **caracterizado** porque las primera y segunda luces presentan frentes de onda diferentes.
- 50 11. El procedimiento de una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la etapa de cálculo se efectúa por optimización de una función de mérito calculada a partir de al menos dos etapas de medición.
- 55 12. El procedimiento de una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por una etapa de medición del espesor del componente en al menos un punto.
13. El procedimiento de una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por unas etapas:
- de iluminación del componente óptico con una tercera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,
 - 60 - de medición del frente de onda de dicha tercera luz tras la transmisión por dicho componente óptico.
14. Un aparato de medición de la estructura geométrica de un componente óptico (2) por transmisión, que comprende:
- 65 - unos medios (8, 10) de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,

ES 2 300 355 T3

- unos medios de medición (16, 18) del frente de onda de dicha primera luz tras la transmisión por dicho componente óptico,
- 5 - unos medios de iluminación (12, 14) del componente óptico con una segunda luz incidente, cuyo frente de onda es conocido, y diferente
- unos medios de medición (16, 18) del frente de onda de dicha segunda luz tras la transmisión por dicho componente óptico,
- 10 - unos medios de cálculo de la estructura geométrica de dicho componente óptico a partir de los frentes de onda medidos en dichas etapas de medición.

15. El aparato de la reivindicación 14, **caracterizado** porque los medios de medición comprenden una matriz de microlentillas (16).

16. El aparato de la reivindicación 14, **caracterizado** porque los medios de medición comprenden una red.

17. El aparato de la reivindicación 14, 15 ó 16, **caracterizado** porque los medios de iluminación del componente óptico con una primera luz incidente y los medios de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente iluminan respectivamente el componente por cada una de sus superficies.

18. El aparato de la reivindicación 17, **caracterizado** porque las primera y segunda luces presentan frentes de onda idénticos.

19. El aparato de la reivindicación 14, 15 ó 16, **caracterizado** porque los medios de iluminación del componente óptico una primera luz incidente y los medios de iluminación del componente óptico con una segunda luz incidente iluminan la misma superficie del componente.

20. El aparato de la reivindicación 19, **caracterizado** porque las primera y segunda luces presentan frentes de onda diferentes.

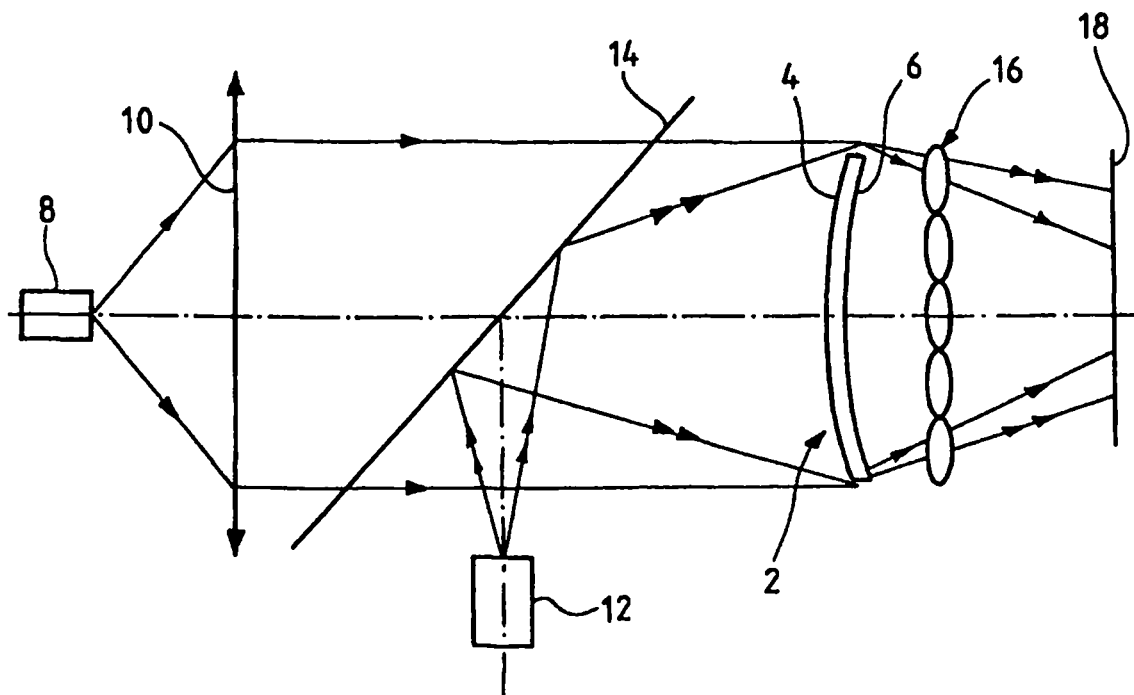
21. El aparato de una de las reivindicaciones 14 a 20, **caracterizado** por medios de medición del espesor del componente.

22. El aparato de una de las reivindicaciones 14 a 21, **caracterizado** por

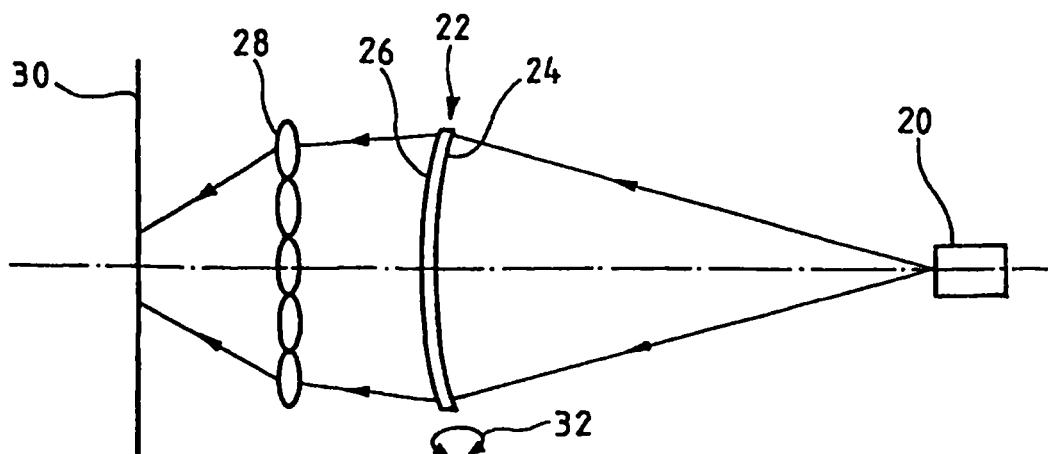
- medios de iluminación del componente óptico con una tercera luz incidente, cuyo frente de onda es conocido,
- 40 - medios de medición del frente de onda de dicha tercera luz tras la transmisión por dicho componente óptico.

23. El aparato de una de las reivindicaciones 14 a 22, **caracterizado** por medios (68, 70) de visualización de micrograbados sobre el componente.

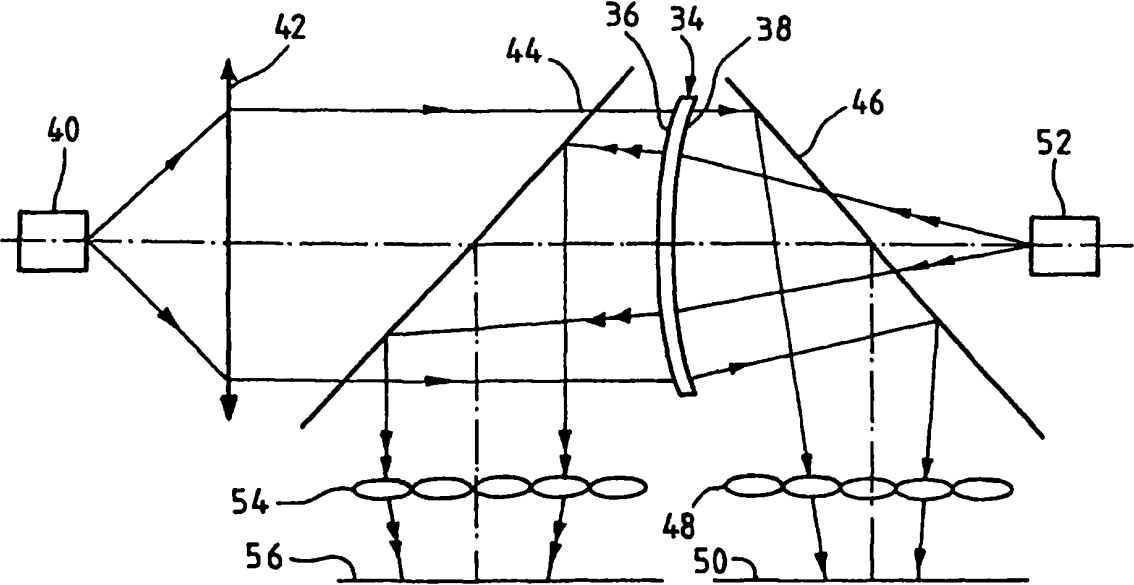
FIG_1



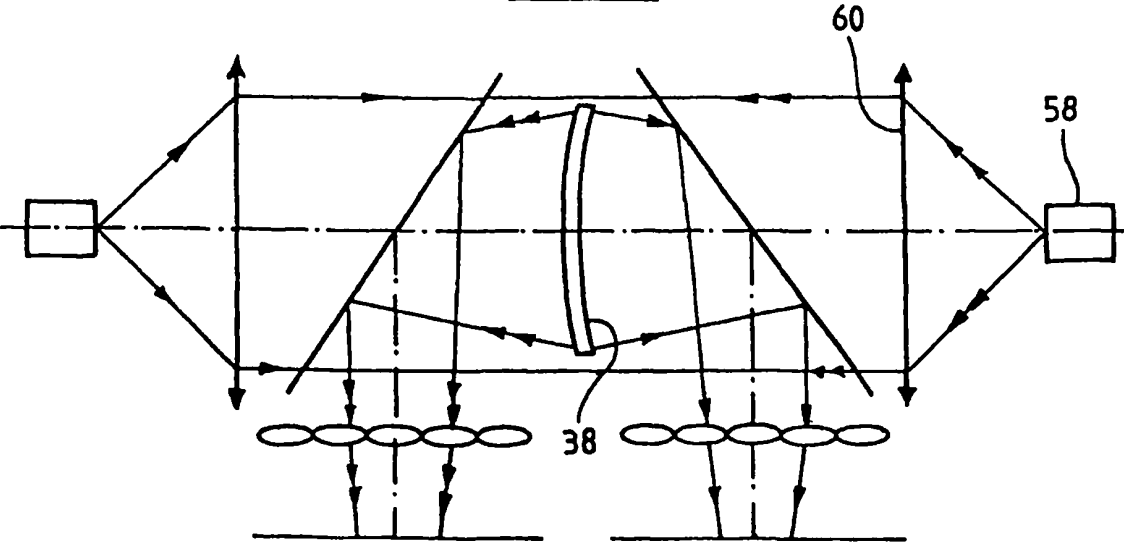
FIG_2



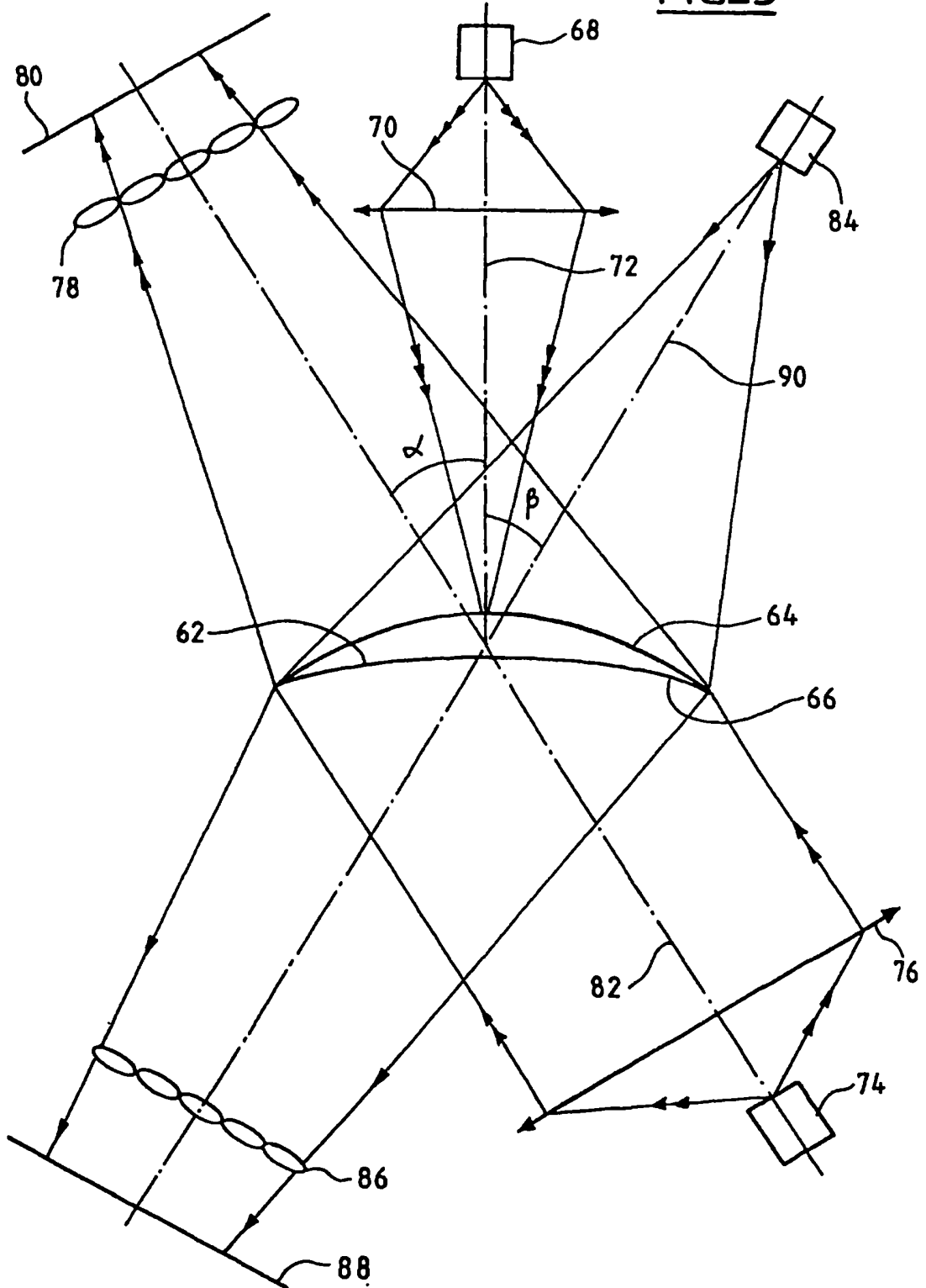
FIG_3



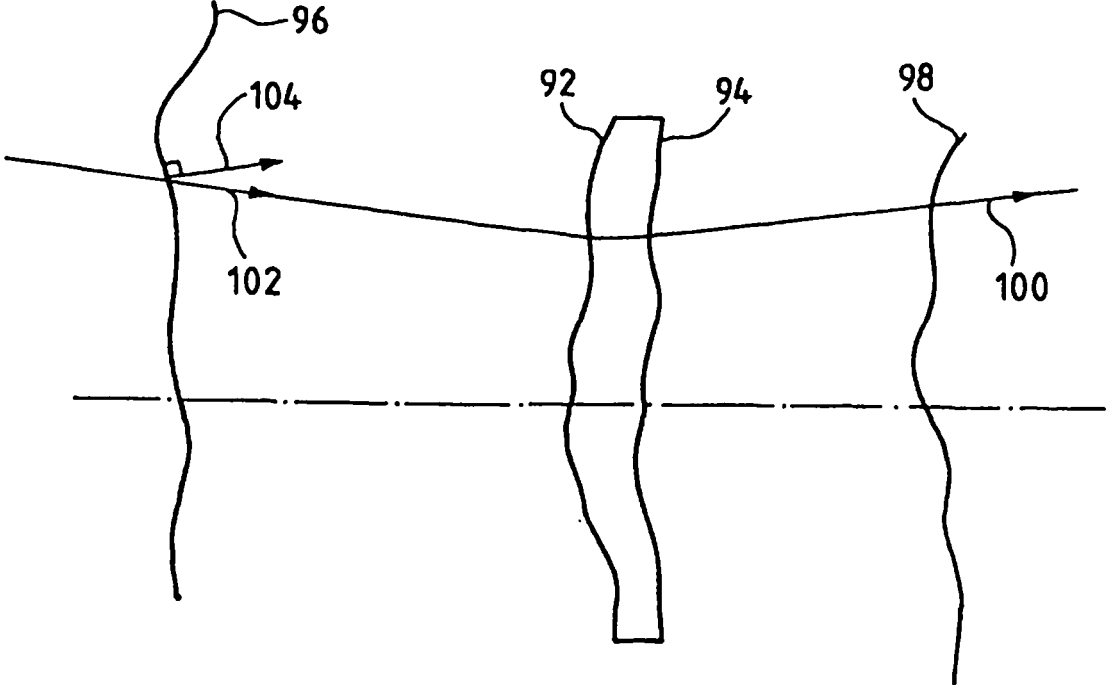
FIG_4



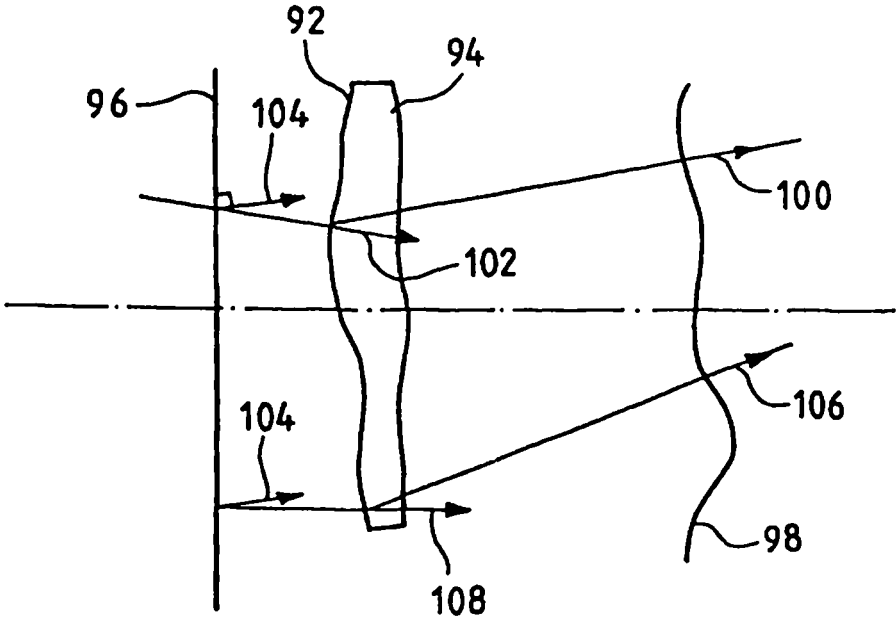
FIG_5



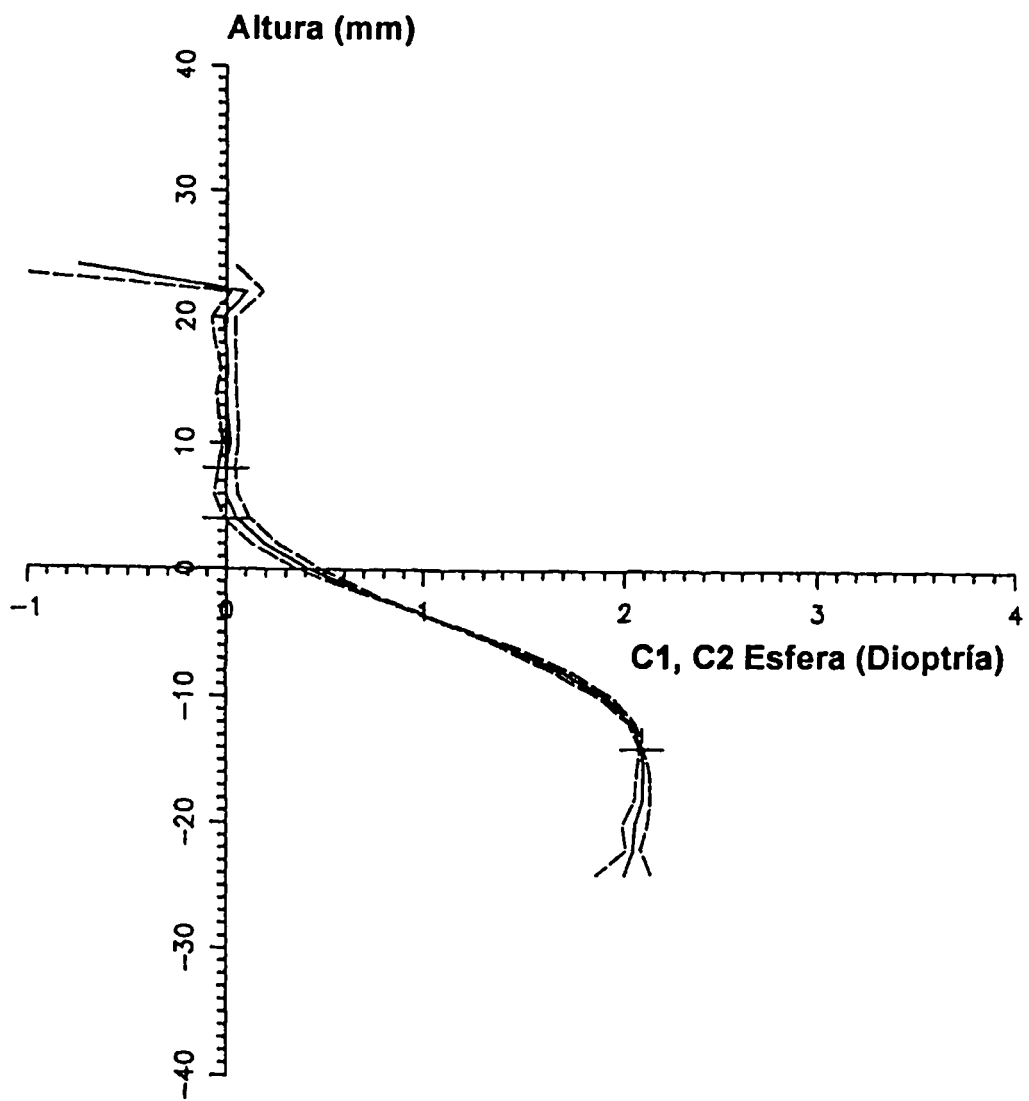
FIG_6



FIG_7

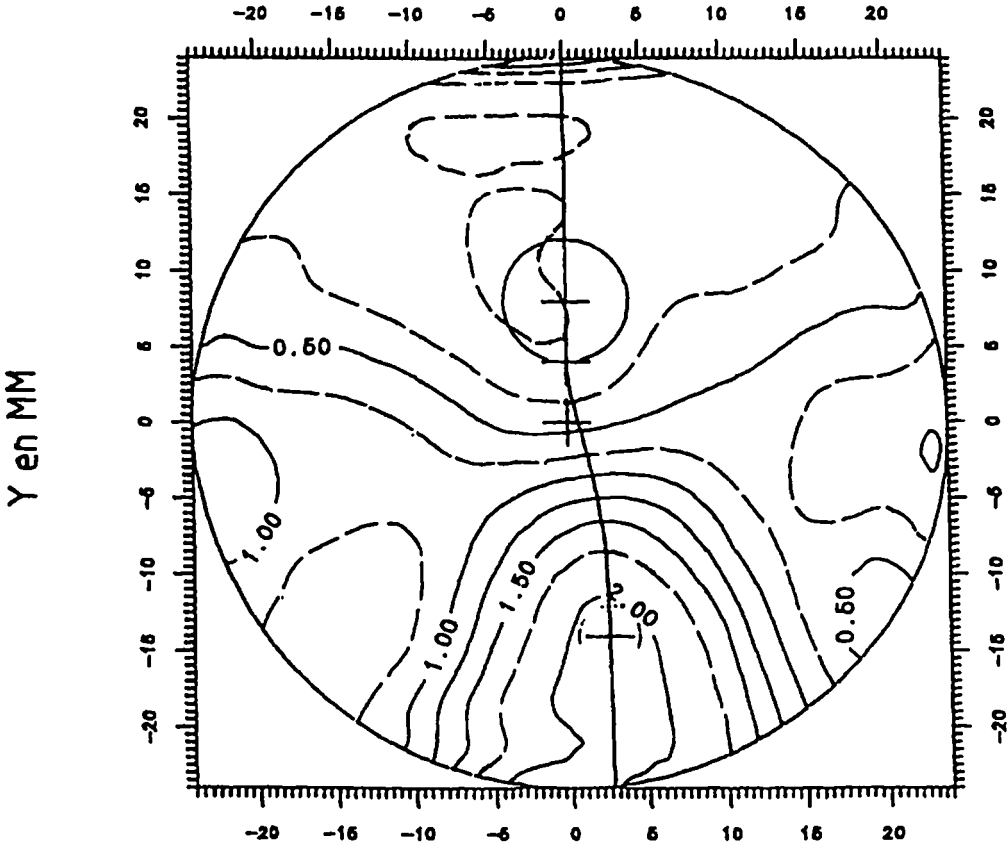


FIG_8

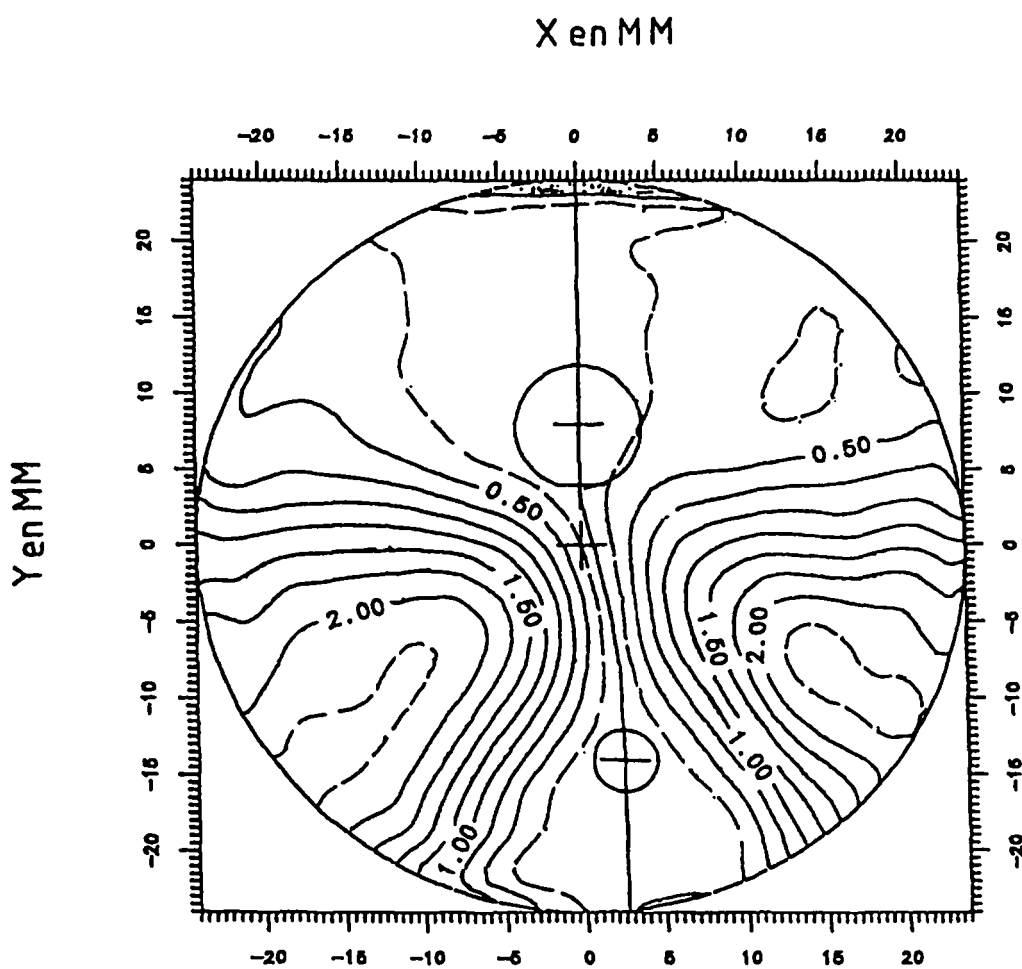


FIG_9

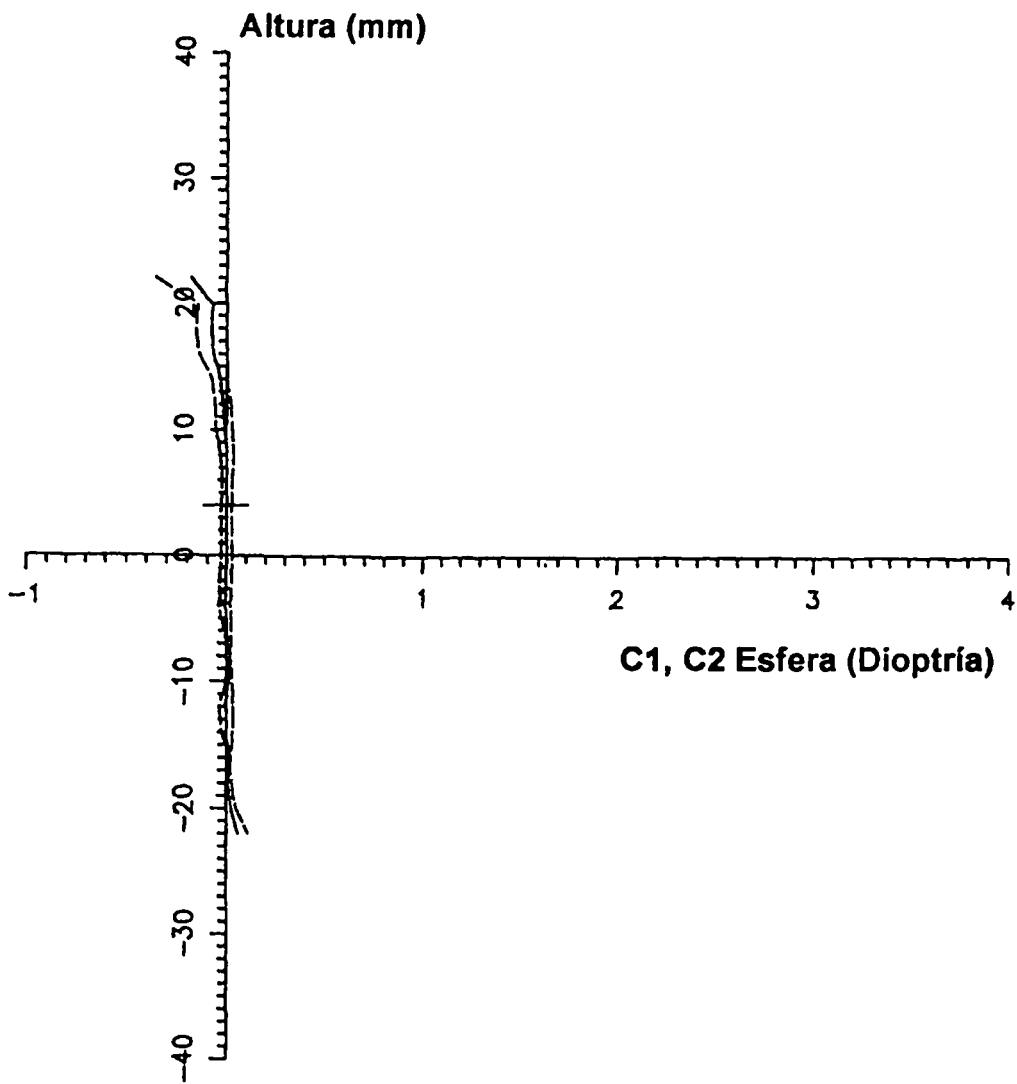
X en MM



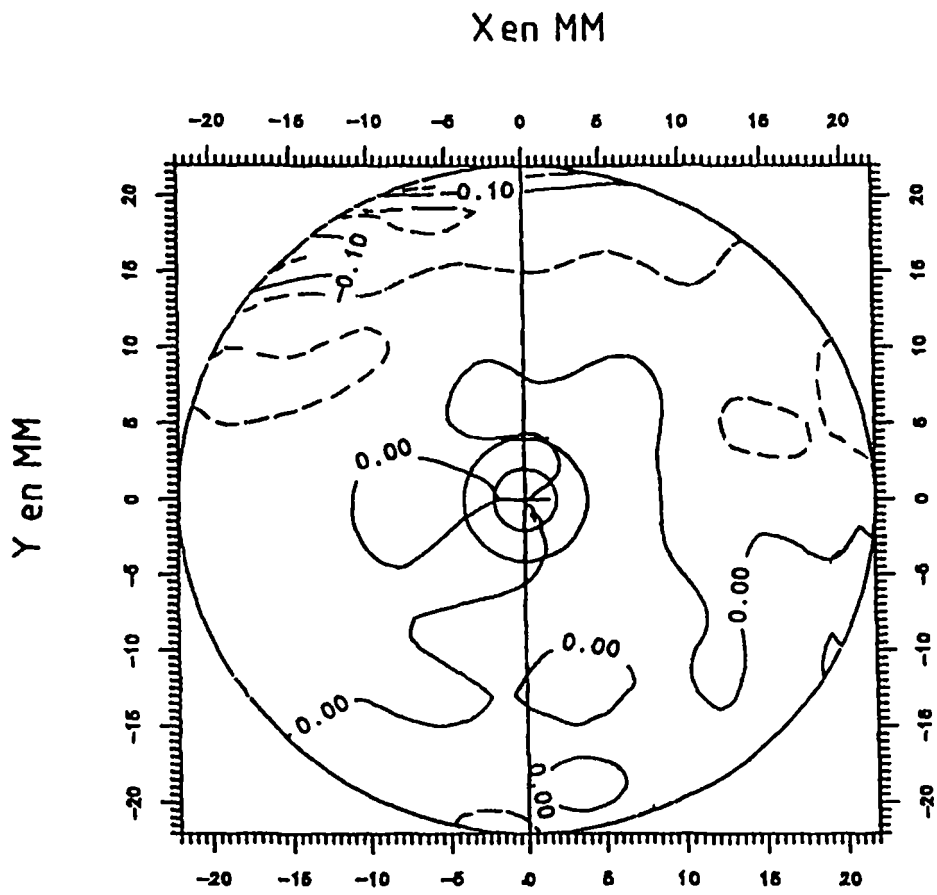
FIG_10



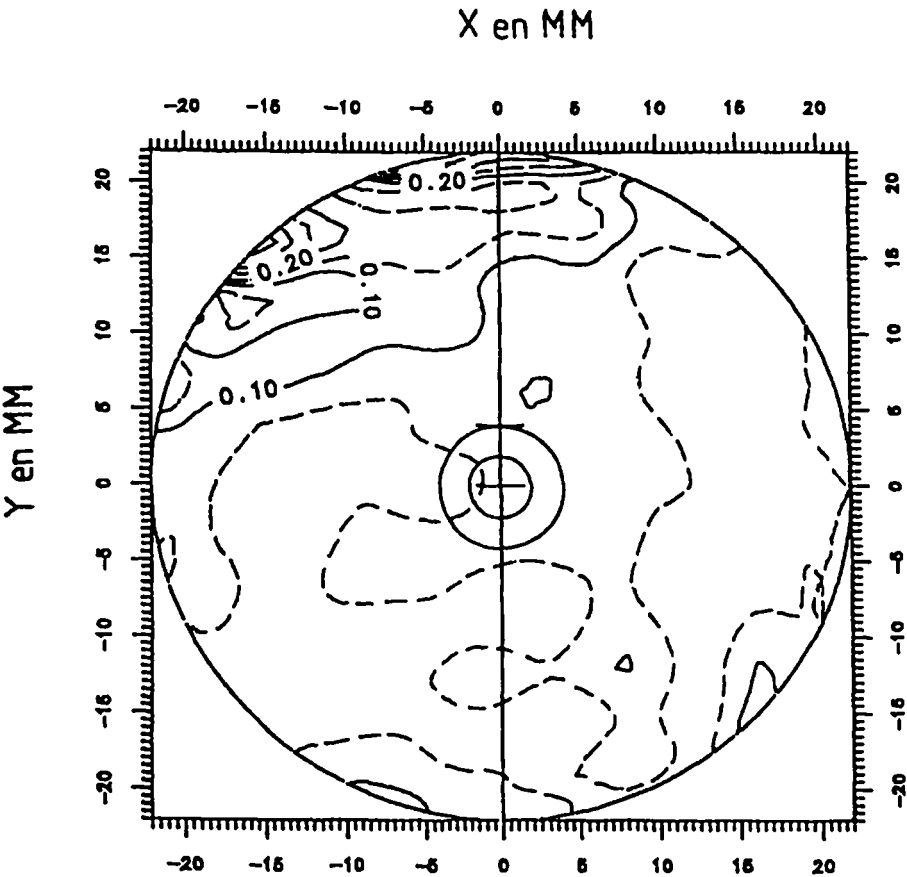
FIG_11



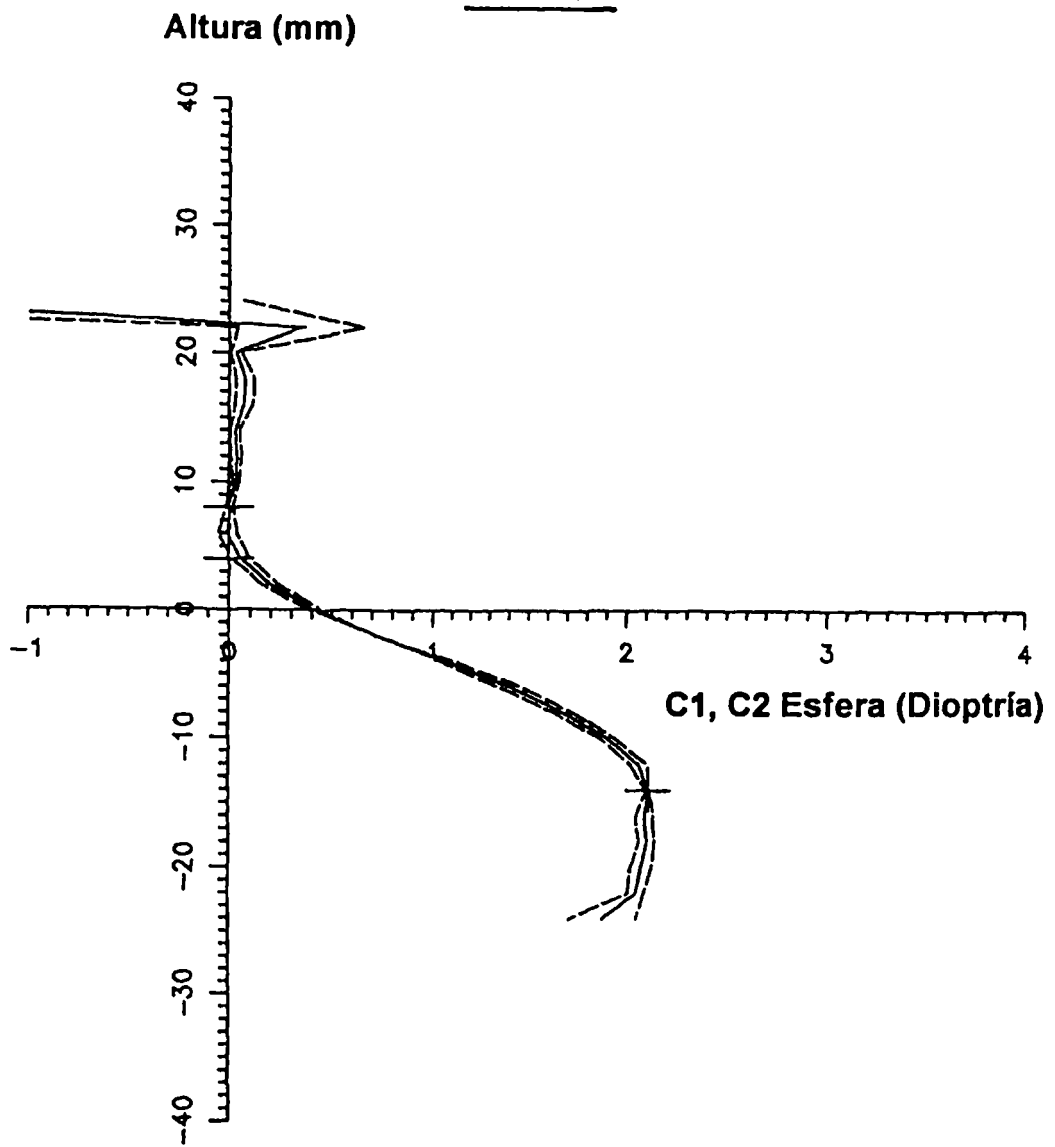
FIG_12



FIG_13



FIG_14



FIG_15

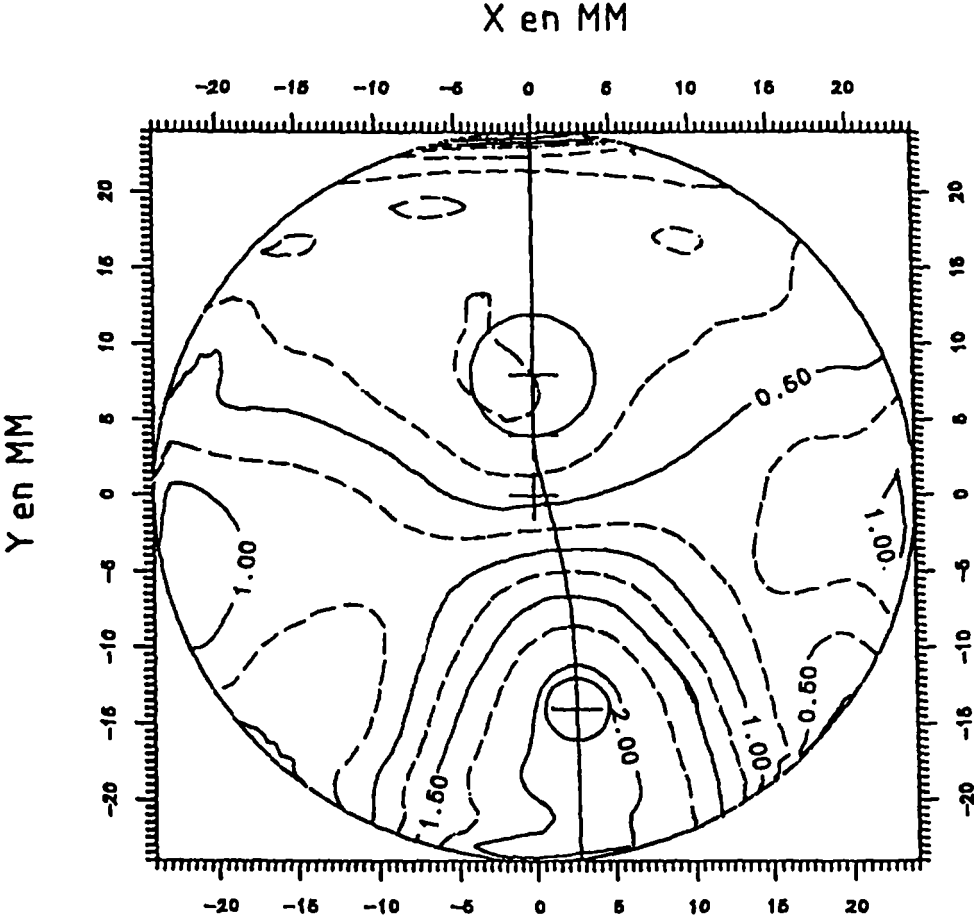
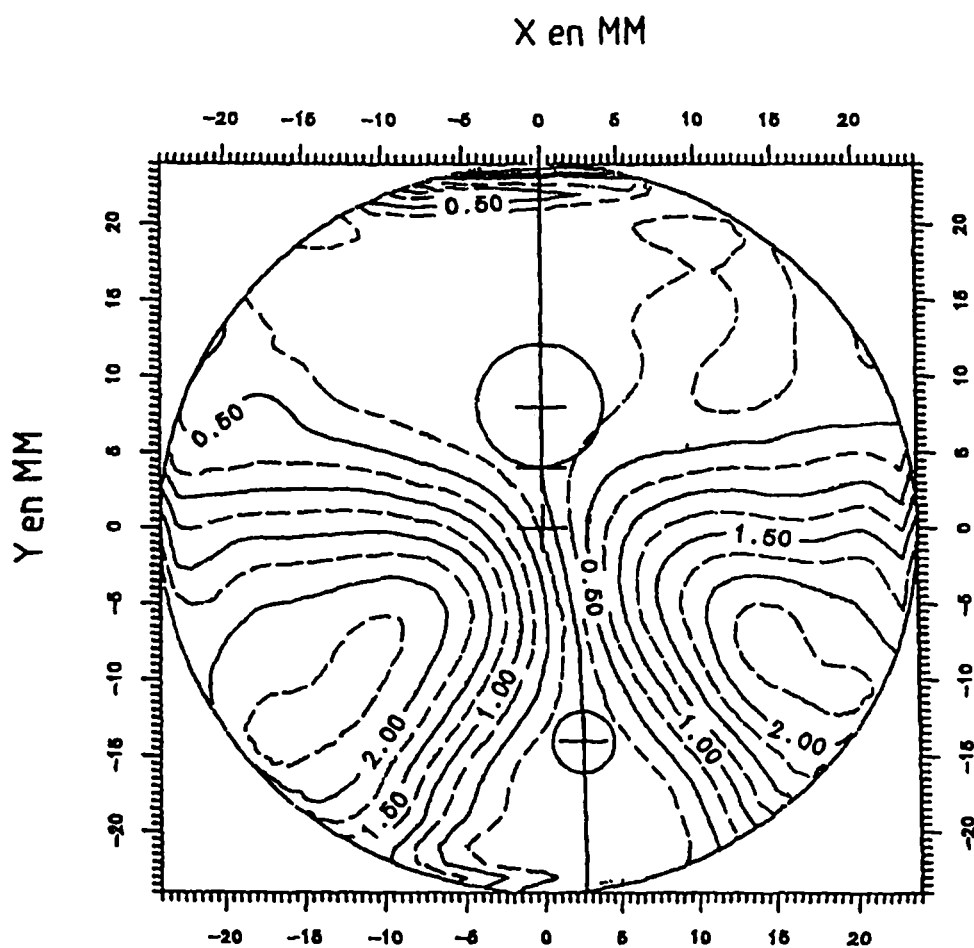
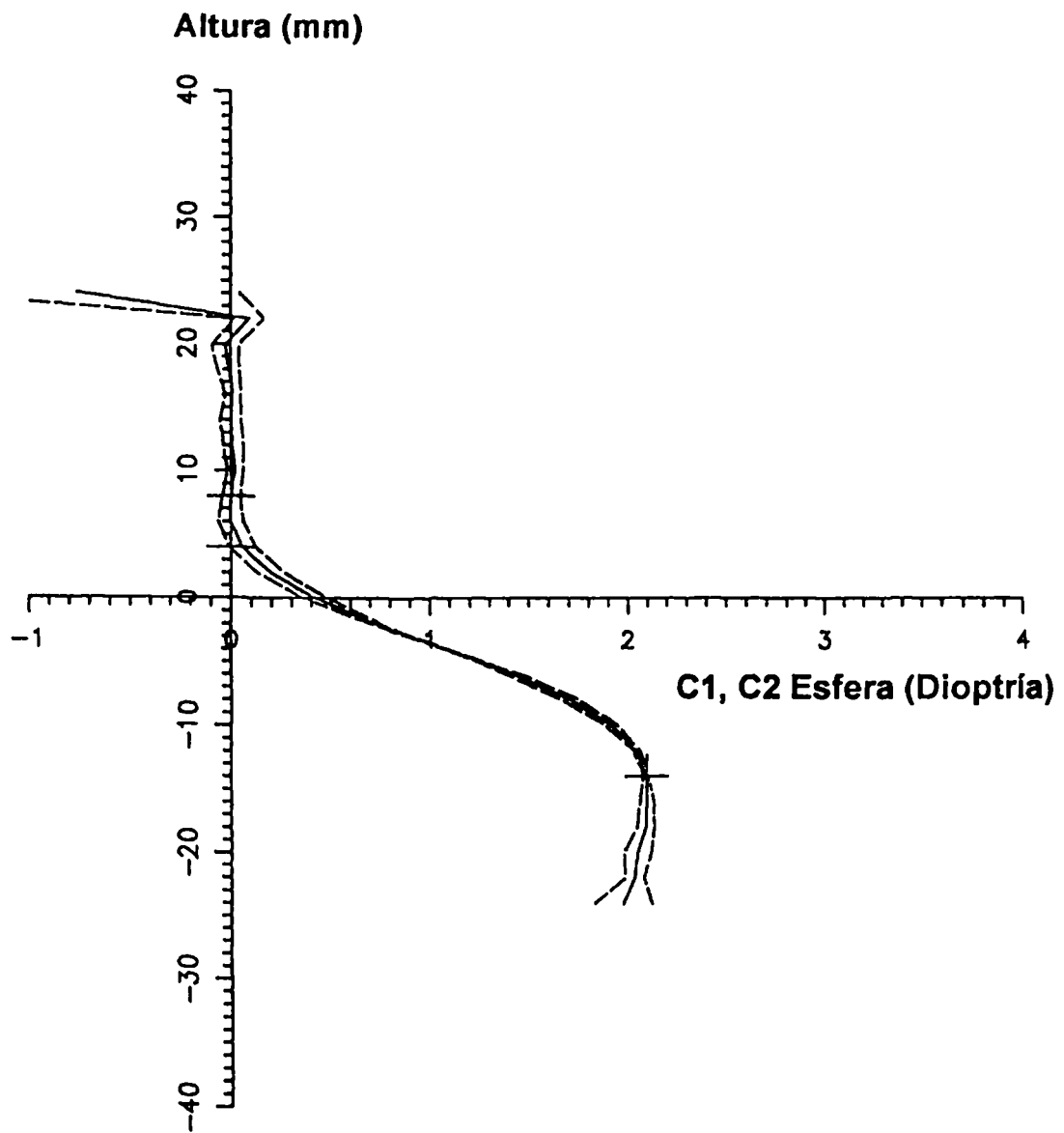


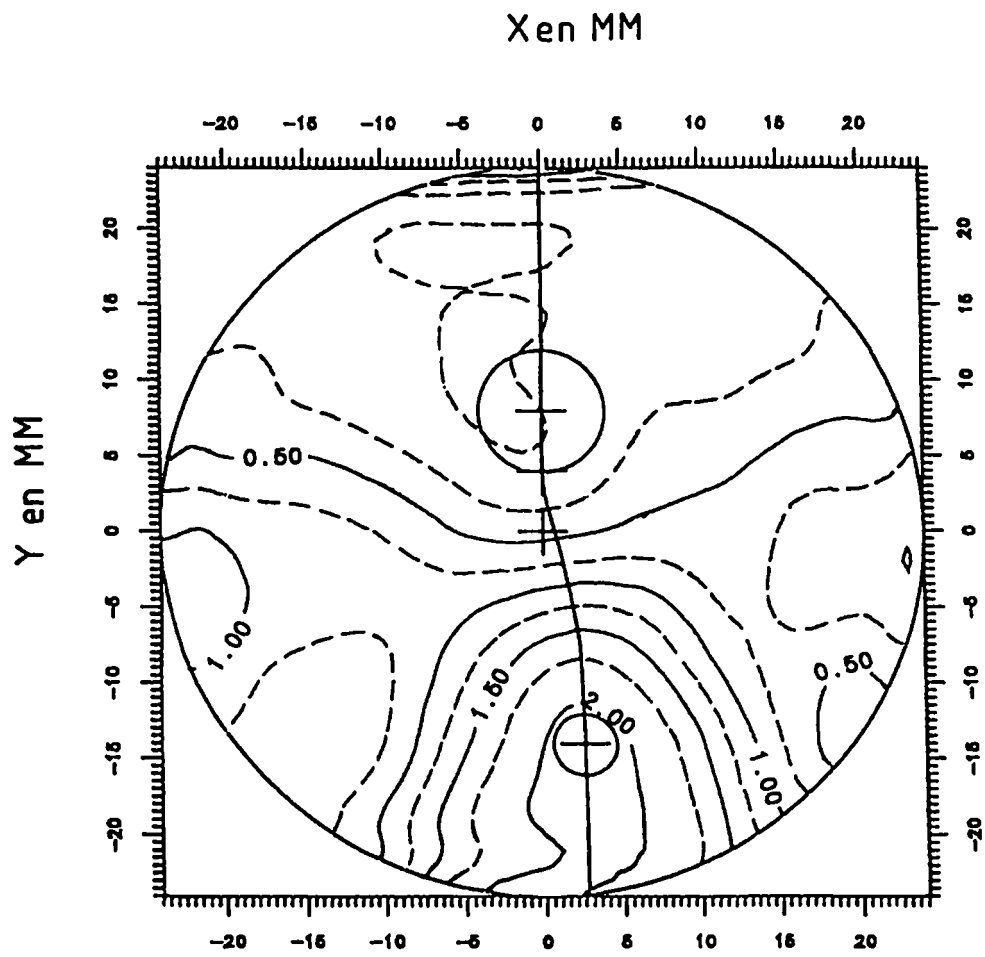
FIG.16



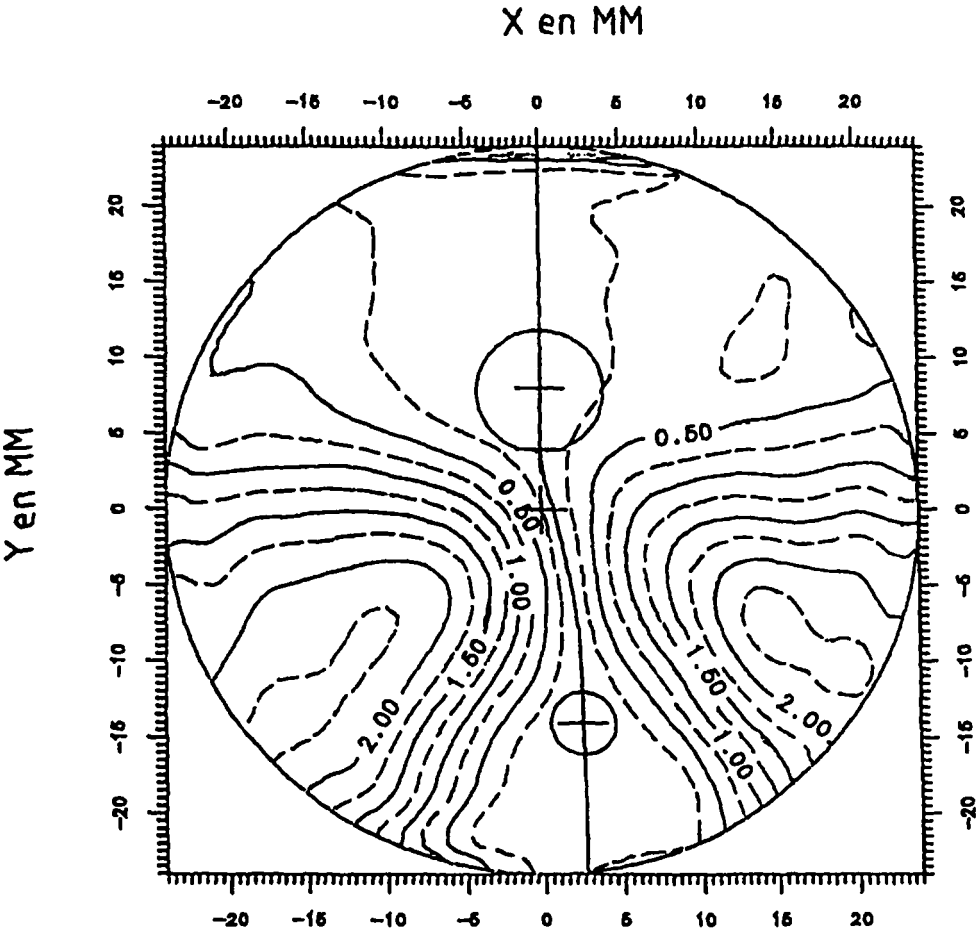
FIG_17



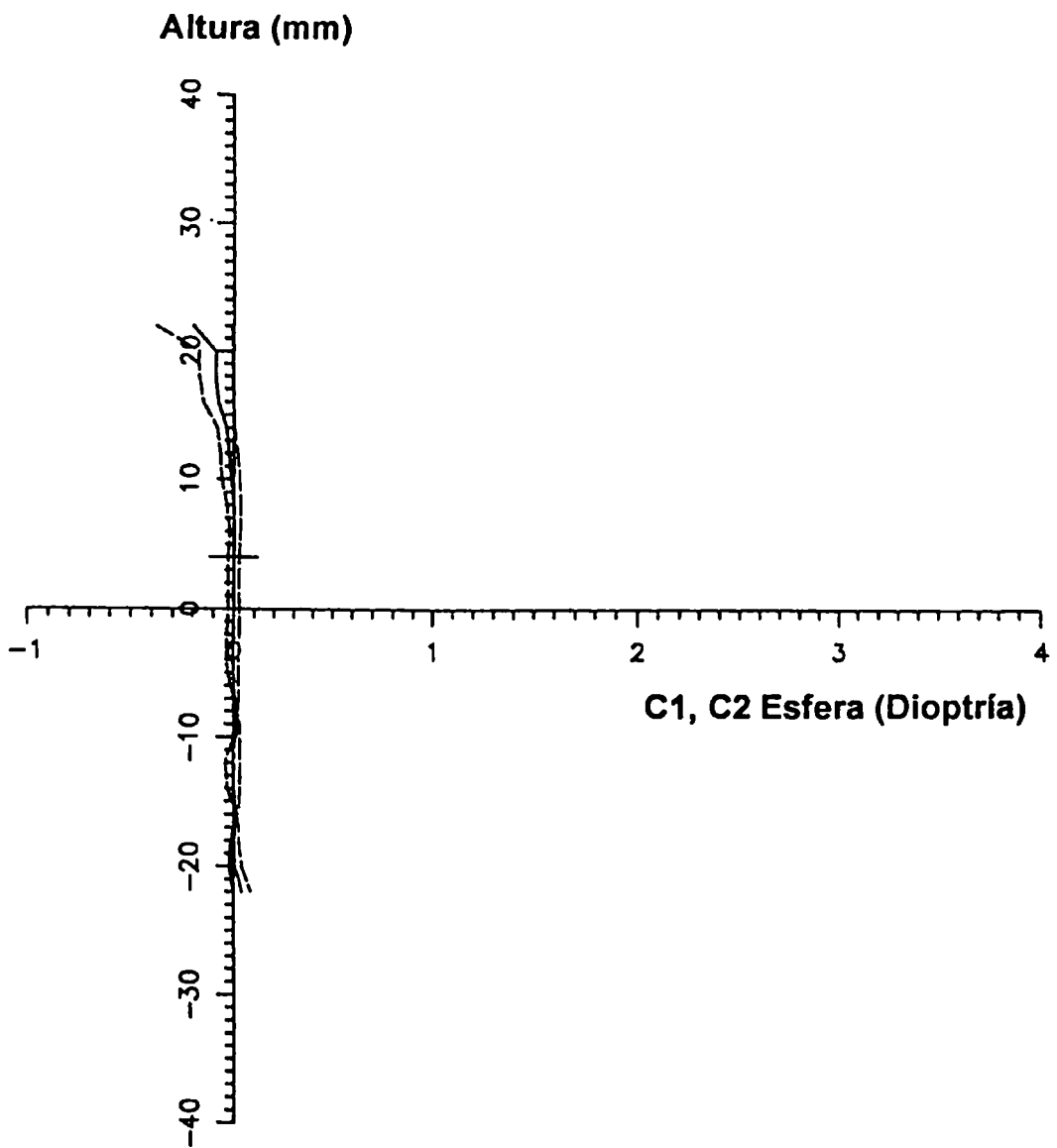
FIG_18



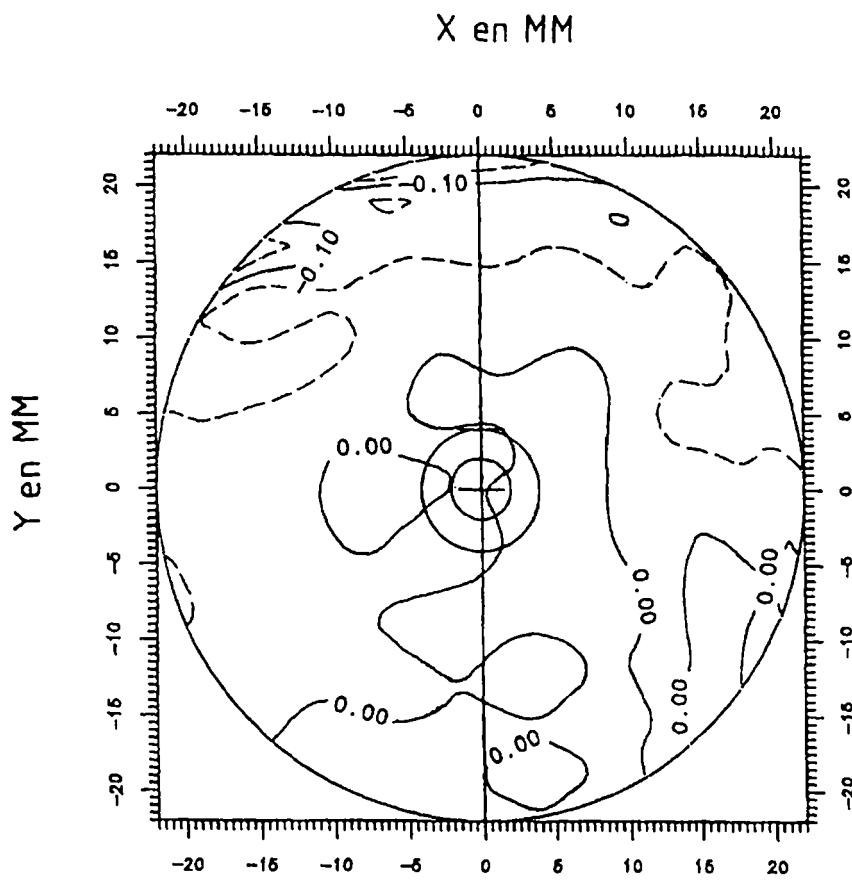
FIG_19



FIG_20



FIG_21



FIG_22

