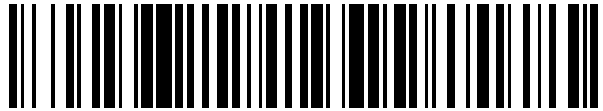


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 510**

21 Número de solicitud: 201731384

51 Int. Cl.:

**G01M 11/02** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**04.12.2017**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**04.06.2019**

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (100.0%)  
Avda. Blasco Ibáñez, 13  
46010 València (Valencia) ES**

72 Inventor/es:

**MICÓ SERRANO, Vicente**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

54 Título: **MÉTODO, SISTEMA Y PROGRAMA DE ORDENADOR PARA MEDIR LA POTENCIA DIÓPTRICA DE VÉRTICE POSTERIOR DE UNALENTE ASTIGMÁTICA**

57 Resumen:

Método, sistema y programa de ordenador para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática.

El método comprende:

- a) disponer una lente astigmática en un frontofocómetro que incorpora una lente de Stokes;
- b) enfocar sobre el retículo la imagen del test simultáneamente para los dos meridianos perpendiculares, mediante un único desplazamiento del test y actuando sobre la lente de Stokes;
- y
- c) obtener la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior a partir de la magnitud del único desplazamiento del test, del ángulo relativo  $\theta$  que se ha girado cada una de las lentes de la lente de Stokes, y de la posición angular global de la lente de Stokes.

La invención también concierne a un sistema que implementa el método de la invención, y a un programa de ordenador adaptado para calcular automáticamente la medida del método de la invención.

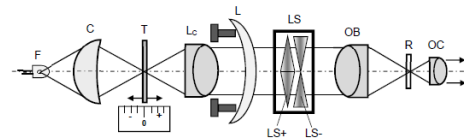


Figura 3

**DESCRIPCIÓN**

**Método, sistema y programa de ordenador para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática**

Sector de la técnica

5 La presente invención concierne en general, en un primer aspecto, a un método para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática, que comprende el uso de un frontofocómetro, y en particular a un método que comprende el uso de un frontofocómetro modificado que incorpora una lente de Stokes, y que permite realizar la medida de manera más rápida, simple y libre de ambigüedades.

10 Un segundo aspecto de la presente invención concierne a un sistema adaptado para implementar el método del primer aspecto de la invención.

En un tercer aspecto, la presente invención concierne a un programa de ordenador adaptado para calcular automáticamente la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática del método del primer aspecto de la invención.

15 Estado de la técnica anterior

El frontofocómetro es un instrumento que resulta imprescindible en óptica oftálmica porque permite efectuar la medición de la potencia dióptrica de las lentes, y de esa forma controlar las prescripciones. Su funcionamiento básico tiene por objeto determinar la potencia de vértice posterior de una lente para conocer la cantidad de dioptrías equivalente. Existen numerosos  
20 libros y manuales que describen tanto los componentes que lo integran como su esquema y el funcionamiento.

A modo ilustrativo, en la Figura 1 se muestra el esquema de un frontofocómetro manual, el cual consta esencialmente de una bombilla B que emite luz que es condensada por una o varias lentes  $F_v$ ,  $F_o$  que finalmente acaba siendo focalizada sobre un test T del  
25 frontofocómetro, que en general es en forma de cruz está compuesto por, normalmente, dos pares de 3 líneas en direcciones perpendiculares y una sucesión de puntos con geometría circular. Tras el test T, un sistema de lentes colimadoras C manda a infinito la imagen del test o, dicho de otro modo, proporciona un haz de iluminación paralela o colimada. Dicho haz colimado sale del frontofocómetro a un pequeño espacio abierto donde se colocará la lente a  
30 medir y, posteriormente, incide de nuevo sobre un objetivo OB que focaliza la luz sobre un retículo R. Dicho retículo sirve, esencialmente, para referenciarse y orientar las direcciones del test y para medir efectos prismáticos por descentramiento. Finalmente, un sistema de lentes a modo de ocular OC vuelve a enviar la imagen a infinito, saliendo dicho haz colimado

5 por el ocular del aparato. Cuando el observador (emétrope o amétrope compensado) mira a través de dicho ocular OC, observa un haz de luz que procede del infinito por lo que la imagen de dicho haz se forma sobre su retina. Dicho haz lleva información del test en cruz T y del retículo R, por lo que ambos objetos aparecen nítidamente enfocados en la retina del observador. Adicionalmente, existe un sistema paralelo E, Eg, D, P que permite introducir en el plano del retículo R un pequeño campo circular con la escala de medida que, en las condiciones anteriores, marcará 0 dioptrías puesto que no hay lente de medida.

10 La(s) lente(s) L a medir se posiciona(n)/fija(n) en el espacio abierto que hay entre el sistema colimador C y el objetivo OB: se apoyan en la concha de apoyo que hay justo a la derecha del colimador C y se fijan con la ayuda de un sistema de presión (especie de brazo articulado entre C y OB). Cuando la lente introducida L es esférica (no hay astigmatismo), todo el test T se desenfoca por igual en todas direcciones (Figura 2a) y puede volverse a reenfocar actuando sobre la rueda de potencia del frontofocómetro. Dicha rueda de potencia (no ilustrada) desplaza la posición del test T de manera que el haz ya no está colimado a la salida del sistema C pero se colima tras pasar por la lente L. De este modo, todo el sistema ocular  
15 OB + R + OC sigue actuando igual y proporcionan un haz colimado a infinito que el observador ve nítidamente enfocado en su retina. Pero esto se debe a que se ha cambiado la posición axial del test T. Y ese cambio en posición está calibrado a dioptrías de manera que se puede leer la potencia esférica de la lente L en el dial circular al mirar por el ocular del  
20 frontofocómetro.

Sin embargo, cuando la lente L a medir es astigmática (tiene astigmatismo), la imagen del test T se desenfoca de manera diferente en función de la potencia de cada meridiano. Una lente astigmática se caracteriza por tener dos potencias maximales en dos direcciones o meridianos perpendiculares. La medida de la potencia de la lente L se realiza enfocando a cada meridiano  
25 por separado y anotando las potencias con las que se realizan dichos enfoques consecutivos (Figura 2b-c). Posteriormente, se manejan las potencias anotadas para obtener la notación esfero-cilíndrica de la potencia dióptrica ( $S, C \times \beta$ ) con una serie de problemas asociados que se describirán a continuación.

Es, por tanto, conocido un método para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una  
30 lente astigmática, que comprende las características del preámbulo de la reivindicación 1 de la presente invención, es decir:

- a) disponer una lente astigmática sobre una concha de apoyo de un frontofocómetro, entre un colimador y un objetivo del mismo;
- b) iluminar y desplazar un test del frontofocómetro para colimar un haz de luz, que contiene  
35 una imagen de dicho test, sobre dicho objetivo, tras pasar por dicho colimador y dicha lente

astigmática, y enfocar sobre un retículo del frontofocómetro al menos una porción de dicha imagen correspondiente a al menos un meridiano de dos meridianos perpendiculares en los cuales la lente astigmática tiene dos respectivas potencias maximales; y

5 c) medir la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática a partir al menos de la magnitud de dicho desplazamiento del test.

Como se ha indicado anteriormente, en tal método conocido o procedimiento estándar, la etapa b) comprende realizar dos desplazamientos del test, uno para cada uno de los dos mencionados meridianos, y la etapa c) comprende realizar dos medidas de la potencia dióptrica, una por desplazamiento del test. El hecho de tener que realizar los citados dos  
10 desplazamientos y dos medidas hace que el tiempo necesario para realizar la medida total de la lente, es decir para los dos meridianos, sea considerablemente elevado.

A continuación se describe con mayor detalle el citado procedimiento estándar.

Tal y como se ha explicado anteriormente, esencialmente y para el caso de lentes astigmáticas, el frontofocómetro proporciona la medida de las potencias frontales correspondientes a los dos meridianos principales de la lente. De esta forma, el enfoque del  
15 test se consigue en dos direcciones principales entre sí donde la imagen del test aparece nítida pero deformada (en realidad lo que se observa corresponde a las dos focales del haz astigmático refractado por la lente).

Una vez colocada la lente sobre la cocha de apoyo del frontofocómetro y para obtener ambas  
20 potencias principales, hay que realizar un doble proceso en el que se desplaza (variación de la vergencia de la luz incidente) y se varía su orientación (giro transversal al eje óptico). Esto se consigue, respectivamente, girando la rueda de enfoque esférico del frontofocómetro y girando el mando que se encarga de girar el test hasta conseguir alcanzar una de las dos posiciones de máxima nitidez, es decir, hasta lograr enfocar una de las dos focales principales.  
25 Nótese que nunca se pueden tener ambas focales enfocadas a la vez, nunca si la lente es astigmática.

Si consideramos, por ejemplo, el test más generalizado que consiste en una cruz con tres líneas por segmento y un círculo formado por puntos, cuando su orientación y posición sean las correctas, la imagen de cada uno de estos puntos será una recta cuyo tamaño variará en  
30 función el astigmatismo de la lente. En tal caso, estaremos enfocando una de las dos focales, la cual debe estar perfectamente centrada en el retículo para que la lectura sea correcta (lectura sin efecto prismático inducido). En ese momento, la escala dióptrica marcará la potencia frontal de vértice posterior de uno de los meridianos principales.

Después de obtener una de las lecturas, para enfocar la otra focal basta girar la rueda de enfoque de potencia esférica para modificar la posición/vergencia del test sin cambiar su orientación. De esta forma, se observan nítidamente las líneas perpendiculares a las anteriores, anotando nuevamente el valor de potencia indicado en la escala dióptrica.

5 A partir de ambas lecturas anotadas, el astigmatismo viene dado por la diferencia entre las dos potencias frontales medidas. Ahora bien, para obtener la fórmula óptica de la potencia de la lente problema, es necesario considerar que cuando se observa nítidamente una línea vertical, ésta constituye la focal imagen del meridiano horizontal. Por tanto, puede decirse que la observación de una focal enfocada permite conocer la potencia del meridiano perpendicular  
10 a la orientación de dicha focal. En un ejemplo aplicado a una lente astigmática de potencia (-0,25, -1,00x0°) los meridianos principales están orientados en las direcciones 0°-180° y 90°-270°. Sin embargo, cuando se está viendo la línea horizontal del test nítidamente, se está midiendo la potencia frontal del meridiano vertical (-1.25D) de la lente astigmática, y viceversa (-0.25D).

15 A partir de ambas lecturas, la fórmula óptica de la lente, en su notación esfero-cilíndrica regular directa, se obtiene de la siguiente forma: i) se toma como esfera (S) la lectura más positiva de ambas, ii) el valor del cilindro (C) se obtiene como la diferencia en módulo entre ambas potencias con signo negativo, y iii) el eje del cilindro ( $\beta$ ) es el meridiano donde se ha anotado el valor de la potencia que se ha tomado como esfera. En el ejemplo anterior, las potencias  
20 principales son -0,25D@0° y -1,25D@90°, donde @ significa "en el meridiano de", por lo que el valor de la esfera resulta ser  $S = -0,25D$ . Según se ha definido, el valor del cilindro resulta ser  $C = |-0,25-1,25| = -1D$  y el eje del cilindro es  $\beta = 0^\circ$ . Finalmente, la notación esfero-cilíndrica total se anota en la forma  $(S, Cx\beta) = (-0,25, -1,00x0^\circ)$ . Esta notación se conoce con el nombre de fórmula esfero-cilíndrica directa puesto que el valor del cilindro se define como un valor de  
25 lente negativo. Además, se puede definir la notación esfero-cilíndrica traspuesta a partir de los siguientes valores:  $(S+C, -Cx(\beta+90^\circ))$  resultando en el ejemplo anterior en  $(-1,25D, +1x90^\circ)$ .

Otra forma de anotar los resultados es a partir de la notación bicilíndrica en la que las potencias principales se especifican como lentes cilíndricas puras. Teniendo en cuenta que  
30 cuando se enfocan nítidamente unas líneas del test, la potencia está a 90° de las mismas, se puede especificar la lente anterior como la suma de dos cilindros de potencias principales iguales as  $(C_1x\beta_1) = (-0,25x90^\circ)$  y  $(C_2x\beta_2) = (-1,25x0^\circ)$ . De este modo, el procedimiento sigue los siguientes pasos: i) se toma como S la lectura más positiva de ambas, ii) el valor C se obtiene como la diferencia en módulo entre ambas potencias con signo negativo, y iii) el eje  
35 del cilindro ( $\beta$ ) es el contraeje del valor del eje que se ha anotado como valor de S (o valor del

eje en el que se ha anotado como valor de S más 90°). De esta forma, se vuelve a obtener la medida de  $(S, C \times \beta) = (-0,25, -1,00 \times 0^\circ)$ . Estas dos lentes cilíndricas puras pueden entonces combinarse fácilmente para obtener la notación esfero-cilíndrica anteriormente expuesta.

Este procedimiento es el usado a diario en la mayoría de ópticas para aspectos tan importantes como, por ejemplo: i) medida de la potencia que un cliente lleva en su gafa, ii) comprobación de que la lentes astigmática que se ha pedido a fábrica se corresponde con la refracción para la que ha sido solicitada y no hay ningún error, y iii) posicionar y marcar apropiadamente dicha lente en el frontofocómetro como paso previo a montarla en gafa para entregar a un cliente.

Además de la desventaja mencionada anteriormente relativa al tiempo elevado asociado al procedimiento estándar de medida, éste adolece también de otros inconvenientes. En particular, existen ambigüedades en el proceso de anotación de la potencia dióptrica. Puesto que existen diferentes maneras de especificar la potencia medida (notación esfero-cilíndrica directa, bicilíndrica, potencia por meridiano, etc.), existen diferentes formas de anotar los resultados para obtener la notación final de la potencia de la lente que se ha medido. Además, el propio proceso de medida resulta confuso si no se tienen en cuenta todas las variables que entran en juego (potencias en meridianos perpendiculares a las líneas nítidas del test, ejes y contraejos de lentes cilíndricas, etc.). Esto conlleva a incrementar la probabilidad de error en la anotación de los resultados y, por tanto, al fallo en la medida de la lente. Este error resulta crucial en un proceso de refracción puesto que la gafa entregada al cliente no se corresponde con la refracción obtenida en gabinete. Desgraciadamente, esto suele pasar con relativa frecuencia en el día a día de las ópticas donde suelen existir errores en la anotación del eje más que en las lecturas de potencias. Como ejemplo, en el ejemplo anterior sería típico que la potencia medida de la lente fuese  $(-0,25, -1,00 \times 90^\circ)$  en lugar de  $(-0,25, -1,00 \times 0^\circ)$ . Y la única manera de solucionarlo es volviendo a pedir a fábrica otra lente para esta vez sí medirla y posicionarla/marcarla bien para poder montarla bien en gafa.

Aparece, por tanto, necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que cubra las lagunas halladas en el mismo, mediante la provisión de un método para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática que en particular no adolezca de las desventajas del descrito arriba como procedimiento estándar de medida, y que mejore considerablemente sus prestaciones, tanto en términos de rapidez como de simplicidad como de probabilidad de errores en la medida.

#### Explicación de la invención

Con tal fin, la presente invención concierne, en un primer aspecto, a un método para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática, que comprende:

a) disponer una lente astigmática sobre una concha de apoyo de un frontofocómetro, entre un colimador y un objetivo del mismo;

5 b) iluminar y desplazar un test del frontofocómetro para colimar un haz de luz, que contiene una imagen de dicho test, sobre dicho objetivo, tras pasar por dicho colimador y dicha lente astigmática, y enfocar sobre un retículo del frontofocómetro al menos una porción de dicha imagen correspondiente a al menos un meridiano de dos meridianos perpendiculares en los cuales la lente astigmática tiene dos respectivas potencias maximales; y

c) medir la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática a partir al menos de la magnitud de dicho desplazamiento del test.

10 A diferencia de los métodos del estado de la técnica, el método propuesto por el primer aspecto de la presente invención comprende, de manera característica, proporcionar, como frontofocómetro, un frontofocómetro modificado que incorpora una lente de Stokes con un eje de giro que está alineado con el eje óptico del frontofocómetro y que es común tanto para un giro relativo, contrario en signo, de cada una de las lentes que conforman la lente de Stokes  
15 como para un giro global de toda la lente de Stokes.

Asimismo, según el método propuesto por el primer aspecto de la invención:

la etapa b) comprende enfocar sobre el retículo la imagen del test simultáneamente para ambos de dichos dos meridianos perpendiculares, mediante un único desplazamiento del test y actuando sobre la lente de Stokes para realizar el citado giro global y/o giro relativo, para  
20 que adopte una posición angular global determinada y unas posiciones angulares relativas determinadas, para cada lente de la lente de Stokes; y

la etapa c) comprende obtener la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática simultáneamente para ambos de los dos meridianos perpendiculares a partir de la magnitud del citado único desplazamiento del test, del ángulo relativo  $\theta$  que se ha girado  
25 cada una de las lentes que conforman la lente de Stokes, y de la posición angular global de la lente de Stokes.

El método propuesto por el primer aspecto de la invención cumple los tres objetivos indicados arriba, es decir en el de simplicidad y rapidez en la obtención de la medida y, sobre todo, el de eliminar los errores en la medida que se pueden producir con el método estándar. Ello se  
30 consigue gracias a poder enfocar simultáneamente sobre el retículo ambas direcciones del test, viéndose nítidas las líneas del test de ambos meridianos principales de la lente astigmática bajo medida.

La inclusión en el frontofocómetro de un elemento con capacidad para medir el astigmatismo sin alterar la potencia esférica resulta clave para el método de la presente invención. Dicho elemento se conoce con el nombre de lentes de Stokes y, en general (para la primera implementación, explicada más abajo), se basa en dos lentes cilíndricas ordinarias, de igual potencia pero signo contrario, y que pueden ser giradas en contradirección. De este modo, cuando ambos ejes de las lentes están alineados, la lente de Stokes no introduce potencia refractiva porque el cilindro negativo se compensa con el positivo. Sin embargo, a medida que se van girando en direcciones opuestas las lentes cilíndricas, se va generando astigmatismo resultante en una dirección determinada e igual a  $45^\circ$  de la posición inicial de partida de los ejes de las lentes. El astigmatismo generado alcanza su valor máximo cuando ambas lentes se han girado  $45^\circ$  una con respecto a la otra, caso que equivale a tener ejes de los cilindros positivo y negativo a  $90^\circ$  o cruzados uno con respecto al otro. Por eso, muchas veces, a este tipo de lente también se le conoce con el nombre de lente cilindro cruzado de Jackson, si bien este nombre se reserva para lentes de potencia fija mientras que en una lente de Stokes la potencia es variable.

Además, otra de las ventajas que tiene una lente de Stokes (y por inclusión una lente de tipo cilindro cruzado de Jackson) es que tienen una componente esférica nula y, por tanto, no afecta a la medida de potencia esférica dada por la rueda de vergencia que posee el frontofocómetro.

A modo explicativo, debe indicarse que, esencialmente, la componente esférica (M) de una lente astigmática se define como  $M = S+C/2$  y una lente de Stokes tiene una componente M nula porque los valores de S y C se auto adaptan para proporcionar  $M = 0D$  (no así una lente cilíndrica pura donde M siempre será distinto de 0 ya que, aunque un cilindro puro no tenga valor de S, sí posee valor de C). Este hecho es importantísimo porque permite medir de forma independiente el astigmatismo y la componente esférica: una mediante la lente de Stokes y la otra mediante la rueda de potencia esférica del propio frontofocómetro. Por tanto, se pueden enfocar nítidamente ambos meridianos principales del test reduciendo el tiempo de medida, ahora solo hay que medir una vez y no dos como antes (una para cada meridiano), y además se elimina la posibilidad de cometer los errores asociados al método de medida estándar porque el proceso de anotación de valores es inequívoco.

Debe indicarse que la presente invención es aplicable tanto al test más generalizado que consiste en una cruz con tres líneas por segmento y un círculo formado por puntos, como a cualquier otro válido para la medida de astigmatismo y que incluya, por tanto, elementos de imagen distinguibles para ambos meridianos principales de la lente astigmática.



De acuerdo a un ejemplo de realización, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende proporcionar el citado frontofocómetro modificado con la lente de Stokes dispuesta entre la lente astigmática y el objetivo.

5 Alternativamente, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende disponer la lente de Stokes en otra ubicación, siempre que se cumplan las condiciones que se exponen a continuación.

10 La lente de Stokes se puede colocar en cualquier parte en el esquema de frontofocómetro porque no introduce potencia esférica que desajuste la medida con la rueda de potencia del frontofocómetro. Ahora bien, hay que tener en cuenta dos cosas. Por un lado, la facilidad de inserción de la lente de Stokes. En este sentido, lo más fácil es introducirla en el camino abierto libre que el frontofocómetro proporciona. Y por otro lado, hay que respetar la distancia entre la lente colimadora y la concha de apoyo de la lente a medir. Es decir, la lente a medir debe estar apoyada en la concha de apoyo porque es ahí donde se mide la focal de vértice posterior (si se mueve axialmente la lente a medir, la lectura cambia y ya no se está midiendo potencia de vértice posterior).

15 De cara a un diseño de frontofocómetro desde cero, se puede colocar la lente de Stokes donde se desee, bien detrás de la lente colimadora (en las proximidades del test del frontofocómetro), bien entre la lente colimadora y la lente a medir (es cuestión de calibrarlo debidamente), bien entre la lente a medir y el objetivo, o bien entre el objetivo y el ocular. Cada posición tiene sus peculiaridades y habría que realizar una calibración adecuada. Eso sí, donde resulta más fácil ubicar la lente de Stokes es en la zona abierta porque allí los haces están colimados.

20 Y pensando en un sistema de acople de la lente de Stokes a frontofocómetro convencional manual, hay que respetar la distancia existente entre la lente colimadora y la concha de apoyo. Por lo demás, podría ponerse en cualquiera de los sitios mencionados anteriormente salvo entre la lente colimadora y la concha de apoyo. No obstante, el sitio más apropiado sigue siendo en el espacio abierto donde el haz está colimado.

25 De acuerdo a un ejemplo de realización preferido del método propuesto por el primer aspecto de la invención, la etapa c) comprende obtener la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática en notación polar de Fourier, en la forma de  $[M, Jx\beta]$ , donde:

M (tal y como se ha definida arriba, como  $M = S + C/2$ ) corresponde al valor de una escala de potencia del frontofocómetro que es función de la magnitud del único desplazamiento del test y corresponde al equivalente esférico de la lente astigmática,  $J = C \sin(2\theta)$  es el valor del cilindro cruzado de Jackson que se obtiene a partir de los valores de potencia cilíndrica C de

la lente de Stokes y del ángulo relativo  $\theta$  que se gira cada uno, y  $\beta+45^\circ$  es la posición angular global, u orientación global, de la lente de Stokes que permite generar componente astigmática pura en forma de cilindro cruzado de Jackson variable con los meridianos principales de la lente astigmática en  $\beta$  y  $\beta+90$ .

- 5 De acuerdo a un ejemplo de realización, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende realizar una conversión, preferentemente automática, de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática obtenida, desde la citada notación polar de Fourier a una notación esfero-cilíndrica, directa o traspuesta.

10 El método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende realizar la citada conversión para una notación esfero-cilíndrica directa expresada en la forma de  $(S, Cx\beta)$ , donde  $S = M + J$ ,  $C = -2J$ , y  $\beta = \beta$ .

15 El citado método de conversión entre los valores de la medida realizada (magnitud del único desplazamiento del test, ángulo  $\theta$  y posición angular global de la lente de Stokes) en notación polar de Fourier a la notación esfero-cilíndrica estándar, también resulta relevante a la hora de cumplir los tres objetivos indicados arriba, es decir en el de simplicidad y rapidez en la obtención de la medida y, sobre todo, el de eliminar los errores en la medida que se pueden producir con el método estándar.

20 De acuerdo a un ejemplo de realización, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende también detectar automáticamente, mediante unos sensores de posición, la magnitud del único desplazamiento del test (por ejemplo, indirectamente a través de la detección de la posición de la rueda de enfoque esférico del frontofocómetro), las posiciones angulares relativas de las lentes de la lente de Stokes y la posición angular global de la lente de Stokes.

25 Ventajosamente, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende obtener la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática calculándola automáticamente procesando los valores obtenidos mediante la detección automática indicada en el párrafo anterior o procesando unos valores suministrados por parte de un usuario a un dispositivo de computación encargado de llevar a cabo el mencionado calculo automático.

30 La expresiones o ecuaciones indicadas arriba, que definen  $S$ ,  $C$  y  $\beta$  para una notación esfero-cilíndrica directa, se implementan, para el caso de que la conversión de notaciones sea automática, mediante un algoritmo incluido en una aplicación de software instalada en un dispositivo de computación externo o incluido en el propio frontofocómetro modificado, que se ejecuta tomando como entrada los valores de  $[M, Jx\beta]$  ya sea introducidos a mano por un

usuario (a través de unos correspondientes medios de entrada asociados al dispositivo de computación), u obtenidos directamente por el propio dispositivo de computación, al haberlos calculado automáticamente éste u otro dispositivo de computación en comunicación con el mismo.

5 Si bien para un ejemplo de realización del método propuesto por el primer aspecto de la invención es un usuario el que a través de un ocular del frontofocómetro determina cuándo la imagen de test está enfocada sobre el retículo, alternativamente, para otro ejemplo de realización, el método del primer aspecto de la invención comprende determinar automáticamente cuándo la imagen de test está enfocada sobre el retículo, captando  
10 imágenes superpuestas del retículo y del test mediante unos medios de adquisición de imágenes (que incluya uno o más sensores de imagen, elementos ópticos asociados, y componentes y circuitería eléctrica y electrónica asociada) y procesándolas mediante un software de reconocimiento de imágenes.

De acuerdo a un ejemplo de realización, el método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende realizar automáticamente y de manera controlada el desplazamiento del  
15 test y los giros relativo y global de la lente de Stokes, hasta alcanzar unas posiciones para las que se obtenga la citada determinación de que la imagen de test está enfocada sobre el retículo, ya sea tal determinación realizada, preferentemente, de manera automática (mediante el mencionado reconocimiento de imágenes) o llevada a cabo por parte de un  
20 usuario mirando a través del ocular del frontofocómetro.

Para una primera implementación, la lente de Stokes está formada por dos lentes cilíndricas de igual potencia en módulo pero de signo contrario, mientras que para una segunda implementación la lente de Stokes está formada por dos lentes esfero-cilíndricas iguales con equivalente esférico nulo (no introduce componente esférica) de valores contrarios de esfera  
25 y cilindro. En ambo casos, el equivalente esférico de la combinación de ambas lentes (ya sean cilíndricas o esfero-cilíndricas) en la lente de Stokes es nulo.

Para un ejemplo de realización del método propuesto por el primer aspecto de la invención, éste comprende posicionar y marcar apropiadamente, previo paso al biselado y montaje en gafa, una lente astigmática fabricada con la potencia dióptrica medida en la etapa c),  
30 alineándola previamente al marcado con la orientación global de la lente de Stokes determinada al realizar la medida.

El citado posicionamiento/marcaje de una lente astigmática en la orientación apropiada para compensar un determinado error refractivo de un paciente en gafa, sigue un proceso inverso al de medida de la potencia dióptrica frontal. Conocida la refracción esfero-cilíndrica, se realiza  
35 una conversión de notaciones inversa a la explicada anteriormente, es decir a notación polar

de Fourier y se obtienen los valores pertinentes (magnitud del único desplazamiento del test, ángulo  $\theta$  y posición angular global de la lente de Stokes), los cuales se introducen en el frontofocómetro modificado, es decir se aplican al desplazamiento del test y a la lente de Stokes.

5 Posteriormente, se inserta la lente astigmática a posicionar en su lugar habilitado del frontofocómetro (concha de apoyo) y se gira la lente astigmática, sin tocar ningún control del frontofocómetro, hasta ver nítida la imagen del test. El giro es alrededor del eje óptico y lo que se está haciendo es posicionar los meridianos principales de la lente astigmática según la orientación deseada. De este modo, cuando todo el test aparezca nítidamente en la retina del  
10 observador (o en una imagen adquirida por unos medios de adquisición de imágenes), es decir cuando se hayan enfocado sobre el retículo la imagen del test simultáneamente para ambos de los dos meridianos perpendiculares, se habrá posicionado la lente astigmática correctamente, es decir se habrá determinado que se encuentra en una posición adecuada para el marcaje. Entonces se marca la lente astigmática con el sistema habitual del  
15 frontofocómetro y se lleva a biselado y montaje en gafa.

El proceso de posicionamiento proporciona las mismas ventajas que el proceso de medida, es decir: i) ahorra tiempo puesto que no hay que comprobar ambos meridianos (todo aparece nítido a la vez) y, más importante, ii) reduce a cero el error del posicionamiento asociado a los  
20 métodos convencionales, puesto que no hay posibilidad de equivocarse con lecturas inversas en los meridianos principales.

Aunque en el presente documento, el mencionado proceso de posicionado y marcaje se ha descrito como dependiente del método de medida del primer aspecto de la presente invención, alternativamente podría ser objeto de protección independiente.

Un segundo aspecto de la presente invención concierne a un sistema para medir la potencia  
25 dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática, que comprende un frontofocómetro modificado que incorpora una lente de Stokes con un eje de giro que está alineado con el eje óptico del frontofocómetro y que es común tanto para un giro relativo, contrario en signo, de cada una de las lentes que conforman la lente de Stokes como para un giro global de toda la lente de Stokes, y que está configurado para implementar el método del primer aspecto de la  
30 presente invención.

Para un ejemplo de realización, el sistema del segundo aspecto de la presente invención comprende al menos un procesador configurado para procesar unos valores de magnitud del  
único desplazamiento del test, de las posiciones angulares relativas de las lentes de la lente de Stokes y de la posición angular global de la lente de Stokes, para calcular automáticamente  
35 la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática para implementar

la etapa c) del método del primer aspecto de la presente invención para implementar los ejemplos de realización descritos arriba y referidos a dicho cálculo automático.

5 Según otro ejemplo de realización, el sistema del segundo aspecto de la presente invención comprende al menos un procesador configurado para procesar, según un algoritmo de conversión, los valores obtenidos en notación polar de Fourier para la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática, para convertirlos automáticamente en valores de una notación esfero-cilíndrica, implementando así los ejemplos de realización del método del primer aspecto de la presente invención descritos arriba y referidos a dicha conversión automática de notaciones.

10 De acuerdo con otro ejemplo de realización, el sistema del segundo aspecto de la presente invención está configurado para implementar los ejemplos de realización del método del primer aspecto de la presente invención descritos arriba y referidos a las detecciones posicionales automáticas y cálculo automático de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática a partir de dichas detecciones posicionales. Con tal fin, el sistema comprende:

- 15 - unos sensores de posición configurados y dispuestos para detectar la posición de dicho test, y por ende la magnitud de su desplazamiento, las posiciones angulares relativas de las lentes de la lente de Stokes y la posición angular global de la lente de Stokes; y
- 20 - un sistema electrónico de control conectado operativamente con dichos sensores de posición para recibir unas señales de salida de los mismos que son indicativas de las detecciones de posición realizadas, y que incluye al menos un procesador configurado para procesar unos datos contenidos en dichas señales de salida para calcular automáticamente la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática.

25 Para otro ejemplo de realización más del sistema propuesto por el segundo aspecto de la presente invención, éste está configurado para implementar los ejemplos de realización del método del primer aspecto de la presente invención descritos arriba y referidos a la determinación automática de cuándo la imagen de test está enfocada sobre el retículo, para lo cual el sistema comprende un sistema de adquisición y reconocimiento de imágenes que a su vez comprende unos medios de adquisición de imágenes (que incluye uno o más sensores de imagen, elementos ópticos asociados, y componentes y circuitería eléctrica y electrónica asociada) que están configurados y dispuestos para adquirir imágenes superpuestas del retículo y del test, y un software de reconocimiento de imágenes para procesar las imágenes adquiridas para determinar automáticamente cuándo la imagen de test está enfocada sobre el retículo.

Adicionalmente, para otro ejemplo de realización, el sistema del segundo aspecto de la presente invención está configurado para implementar los ejemplos de realización del método del primer aspecto de la presente invención descritos arriba y referidos a la realización automática y controlada del desplazamiento del test y de los giros relativo y global de la lente de Stokes, para lo cual el sistema comprende unos medios de accionamiento conectados cinemáticamente (directa o indirectamente a través de soportes o monturas de los mismos) al test, a las lentes de la lente de Stokes y a la lente de Stokes, y que están conectados operativamente al citado sistema electrónico de control para recibir unas correspondientes ordenes de control generadas por el mismo, y en respuesta a las mismas llevar a cabo, de manera automática y controlada, el desplazamiento del test y los giros relativo y global de la lente de Stokes.

En cuanto al frontofocómetro modificado, la presente invención contempla que éste sea fabricado con la modificación descrita arriba, es decir con la incorporación de la lente de Stokes, ya sea manual, semi-automático o automático, o proporcionar un accesorio que incorpore la lente de Stokes y que sea directamente acoplable a los frontofocómetros existentes.

Un kit que incluya tal accesorio y los elementos necesarios para implementar el método del primer aspecto de la presente invención, se encuentra propuesto por un aspecto adicional de la presente invención.

La presente invención también concierne, en un tercer aspecto, a un programa de ordenador que incluye instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un procesador implementan la etapa c) del método del primer aspecto de la invención calculando automáticamente la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el programa de ordenador de acuerdo con el tercer aspecto de la presente invención incluye instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un procesador llevan a cabo la conversión automática de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática obtenida, desde la notación polar de Fourier a una notación esfero-cilíndrica, implementando aquellos ejemplos de realización del método del primer aspecto de la invención explicados arriba y referidos a tal conversión automática de notaciones.

Para otro ejemplo de realización, el programa de ordenador de acuerdo con el tercer aspecto de la presente invención incluye instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un procesador llevan a cabo de manera automática la conversión inversa de notaciones, desde la notación esfero-cilíndrica a la notación polar de Fourier, de la medida de la potencia

dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática a posicionar y marcar, del ejemplo de realización del método del primer aspecto de la invención explicado arriba y referidos al posicionamiento y marcaje de una lente astigmática.

Breve descripción de los dibujos

5 Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

La Figura 1 el esquema de un frontofocómetro manual, utilizado para la aplicación del procedimiento estándar de medida, según se ha descrito anteriormente con referencia a dicha  
10 figura en el apartado de estado de la técnica;

La Figura 2 muestra el desenfoque del test T para: (a) lente esférica, y (b)-(c) lentes astigmáticas aplicando el procedimiento estándar de medida;

La Figura 3 muestra un esquema simplificado de un frontofocómetro manual modificado a utilizar por el método del primer aspecto de la invención y que forma parte del sistema  
15 propuesto por el segundo aspecto de la invención, para un ejemplo de realización;

La Figura 4 muestra una serie de vistas esquemáticas de la lente de Stokes del frontofocómetro de la Figura 3, para diferentes posiciones angulares relativas de las dos lentes LS+ y LS- que la conforman, y diferentes posiciones angulares globales de la lente de Stokes. En particular se ilustra un doble ejemplo de utilización de la lente de Stokes LS. Por filas: (a)-  
20 (b)-(c) y (d)-(e)-(f) son para el caso particular de generación de potencia astigmática pura a  $0^\circ/90^\circ$  y para el caso genérico de  $\beta/(\beta+90^\circ)$ , respectivamente. Por columnas: (a) y (d) representan el paso inicial con los ejes de los cilindros puros alineados, (b) y (e) para un giro arbitrario de  $\theta^\circ$ , y (c) y (f) para el giro máximo de  $45^\circ$ .

La figura 5 muestra una gráfica relativa a una calibración realizada con una lente de Stokes  
25 construida por el presente inventor a partir de dos cilindros puros, e incorporada a un frontofocómetro manual, obteniendo así el frontofocómetro modificado según la presente invención, utilizado para llevar cabo una validación experimental del método y sistema de la presente invención.

La Figura 6 muestra una serie de ilustraciones correspondientes a imágenes obtenidas  
30 mediante el método estándar de medida (columnas izquierda y central) y el método propuesto por el primer aspecto de la invención (columna derecha), para la medida de diferentes lentes astigmáticas.

Descripción detallada de unos ejemplos de realización

En la Figura 3 se ilustra un posible esquema de frontofocómetro modificado según la presente invención, donde se han reducido los elementos del mismo a los indispensables. De izquierda a derecha se ilustra: la fuente de luz F (en forma de bombilla o LED), una lente condensadora C, el test en cruz T, un sistema de lentes colimadoras  $L_C$ , la lente astigmática a medir L apoyada en la concha de apoyo del frontofocómetro, la lente de Stokes LS, el objetivo OB del ocular, el retículo R y el ocular OC.

Para el ejemplo de realización ilustrado, la lente de Stokes LS está compuesta por dos lentes cilíndricas de igual valor y signo contrario. Dichas lentes se han identificado en la Figura 3 como LS+ y LS- para designar, respectivamente, las lentes cilíndricas positiva y negativa.

Es decir que para el ejemplo de realización ilustrado en la Figura 3, se ha escogido la primera implementación indicada en un apartado anterior, para la cual la lente de Stokes está formada por dos lentes cilíndricas de igual potencia en módulo pero de signo contrario.

Dicha primera implementación significa que se está acoplando un cilindro puro positivo con eje arbitrario en  $45^\circ$  (nótese que el eje es irrelevante pero para entender el ejemplo es mejor fijar un valor) con un cilindro puro negativo de la misma potencia en módulo con eje en  $45^\circ$ , es decir:  $(C_x45^\circ) + (-C_x45^\circ)$ . En esa situación, la potencia resultante es nula (tanto de cilindro como de esfera) y por tanto no se actúa sobre la lente astigmática a medir. Pero la lente de Stokes permite girar por igual pero en sentido contrario ambas lentes cilíndricas puras hasta llegar a la situación de ortogonalidad tras haber girado  $\pm 45^\circ$  ambas lentes, situación que viene descrita por  $(C_x90^\circ) + (-C_x0^\circ)$ . En ese momento, la lente resultante de la suma de ambos cilindros puede escribirse como un cilindro cruzado de Jackson de potencia  $J = C$  y eje a  $0^\circ$  que en notación polar de Fourier se escribe como  $[C_x0^\circ]$  mientras que en notación esfero-cilíndrica se formula como  $(C, -2C_x0^\circ)$ . Nótese que si el giro hubiese sido de  $\mp 45^\circ$ , se hubiese llegado a las notaciones  $[-C_x0^\circ]$  o  $(C, -2C_x90^\circ)$ . Esto quiere decir, que la lente de Stokes generada al variar desde  $0^\circ$  a  $45^\circ$  las orientaciones de los cilindros puros genera un astigmatismo variable en potencia hasta un valor máximo de  $|2C|$  en módulo con unos meridianos principales de  $0-90^\circ$ . Esta lente de Stokes sería perfecta para poder compensar el astigmatismo de una lente L que genere el desenfoque representado en la Figura 2.

Para cualquier otra orientación de los meridianos principales de la lente astigmática L a medir, la lente de Stokes LS puede girarse globalmente desde  $0$  hasta  $180^\circ$  (no hace falta más) para generar la potencia astigmática alineada con dichos meridianos y poder obtener la imagen del test T enfocada simultáneamente en todas direcciones.

Asimismo, si la lente astigmática L además de astigmatismo posee una componente esférica, dicha componente se compensa con la propia rueda de potencia esférica del frontofocómetro para poder tener todo el test enfocado simultáneamente. La potencia esférica leída del dial



circular del frontofocómetro no es propiamente una potencia esférica sino un equivalente esférico de la lente L. Esto se debe a que, de acuerdo a la presente invención, se está realizando la medida en la notación polar de Fourier de la potencia dióptrica.

5 Por tanto, las lecturas totales obtenidas para una lente L, que en notación esfero-cilíndrica se representa como  $(S, C \times \beta)$ , son, tal y como se ha indicado en un apartado anterior:  $[M, J \times \beta]$  donde M se lee directamente de la escala de potencia del frontofocómetro y resulta valer  $M = S + C/2$ , J que es el valor del cilindro cruzado de Jackson que se obtiene a partir de los valores de potencia cilíndrica C de la lente de Stokes y del ángulo relativo  $\theta$  que se han girado ambas lentes, y  $\beta$  que es la orientación global de la lente de Stokes.

10 Siguiendo con la descripción del esquema ilustrado en la Figura 3, en éste ambas lentes LS+, LS- van sujetas por una montura (no ilustrada) que permite girar las lentes el mismo ángulo pero en sentido contrario. Además, la montura puede girar globalmente toda la lente de Stokes LS para cubrir todo el intervalo angular de orientaciones de astigmatismo. De este modo, se parte de una posición en la que los ejes de las lentes LS+, LS- están alineados y, por tanto,  
 15 no existe componente astigmática resultante. Esta situación se ha representado en la Figura 4a en la que se ha elegido por simplicidad que el ángulo global de la lente de Stokes LS sea de  $45^\circ$ . Nótese que esta situación (ejes de las lentes LS+ y LS- coincidentes) sería la elegida para la medida de la potencia dióptrica en lentes esféricas ya que la medida correspondería a la lectura originada por la rueda de potencias del frontofocómetro al no inducirse  
 20 componente astigmática (caso de la Figura 2a).

Sin embargo, para el caso en el que la lente L sea una lente astigmática con meridianos principales a  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , con la posición de la Figura 4a de las lentes cilíndricas LS+, LS- de la lente de Stokes LS no se compensa la componente astigmática, por lo que el test T se verá desenfocado en uno de sus meridianos principales (casos de las Figs. 2b-c) pudiendo alternar  
 25 entre ellos actuando sobre la rueda de potencia esférica. Ahora bien, si se varía el ángulo  $\theta$  entre los ejes de las lentes cilíndricas LS+, LS- de la lente de Stokes LS ( $\theta$  perteneciente al intervalo angular de  $\pm 45^\circ$  del ángulo global de  $45^\circ$ ), se genera una potencia astigmática pura en la forma de un cilindro cruzado de Jackson de potencia " $C \sin(2\theta)$ " y " $-C \sin(2\theta)$ " en los meridianos horizontal ( $0^\circ$ ) y vertical ( $90^\circ$ ). Esta situación se corresponde con la Figura 4b en  
 30 la que, como ejemplo, se han girado  $\pm 20^\circ$  las lentes cilíndricas puras. Esa potencia astigmática pura (en la forma de un cilindro cruzado de Jackson) será máxima cuando el ángulo de giro  $\theta$  sea igual a  $+45^\circ$  (o  $-45^\circ$ ), en cuyo caso las potencias horizontal y vertical son de  $+C$  (o  $-C$ ) y  $-C$  (o  $+C$ ), respectivamente. Esta situación se corresponde con el diagrama de la Figura 4c. Nótese que, independientemente del ángulo  $\theta$ , los meridianos principales de la potencia  
 35 astigmática pura siempre salen a  $\pm 45^\circ$  de la orientación global de la lente de Stokes LS (en

este caso particular, meridianos horizontal y vertical). En este caso particular, estas potencias generan una componente astigmática pura en la forma de un cilindro cruzado de Jackson de potencia  $[Cx0^{\circ}]$  (o  $[-Cx0^{\circ}]$ ) que forma parte de la notación polar de Fourier de la potencia dióptrica.

- 5 Para cualquier otra orientación global (Figs. 4d-e-f), las potencias máximas de  $\pm C$  se obtienen en otros meridianos principales situados a  $\pm 45^{\circ}$  de la orientación o ángulo global " $\beta+45^{\circ}$ ". Por lo tanto, cuando se quiere medir la potencia de una lente astigmática cuyos meridianos principales están en un valor arbitrario de " $\beta$ " y " $\beta+90^{\circ}$ ", respectivamente, hay que partir de una posición global de la lente de Stokes de " $\beta+45^{\circ}$ " o " $\beta-45^{\circ}$ " para que la potencia astigmática se genere precisamente en " $\beta$ " y " $\beta+90^{\circ}$ ".

Los valores siguientes son los que hay que ajustar experimentalmente para determinar la potencia de la lente L que se pretende medir:

1. El valor de la posición angular global de la lente de Stokes LS (o ángulo llamado " $\beta+45^{\circ}$ ") que permite generar componente astigmática pura en forma de cilindro cruzado de Jackson variable con los meridianos principales en " $\beta$ " y " $\beta+90^{\circ}$ ".
2. El valor del ángulo que hay que girar las lentes cilíndricas puras en sentido contrario (o ángulo  $\theta$ ) para generar la componente astigmática de potencia  $J = C \text{ sen}(2\theta)$  que es igual pero cambiada de signo al del cilindro de la lente astigmática L.
3. El valor de la componente de equivalente esférico (M) proporcionado por la rueda de potencia dióptrica esférica del frontofocómetro.

Con estos tres valores ajustados experimentalmente se tiene toda la información necesaria para determinar la potencia astigmática según la notación polar de Fourier  $[M, Jx\beta]$  de la lente L propuesta por la presente invención, sin margen de equivocación en el manejo y anotación de los resultados porque se produce una imagen del test T del frontofocómetro completamente nítida en todas sus orientaciones.

Alternativamente, para la segunda implementación de la lente de Stokes descrita en un apartado anterior, ésta se realiza con dos lentes esfero-cilíndricas iguales pero con valores contrarios de esfera y cilindro. Esto significa que si una lente posee una notación  $(C, -2Cx\alpha^{\circ})$ , la otra lente debe tener  $(-C, 2Cx\alpha^{\circ})$  siendo  $\alpha$  arbitrario e igual la posición global de (" $\beta+45^{\circ}$ " o " $\beta-45^{\circ}$ "). Todo lo anteriormente dicho para el caso de las lentes cilíndricas puras, sirve también para el caso de estas lentes esfero-cilíndricas con equivalente esférico nulo.

Para validar experimentalmente a modo de demostrador de laboratorio el método propuesto por la presente invención, el presente inventor ha construido una lente de Stokes tomando un

soporte de prismas de Risley existente en un foróptero antiguo y reemplazando los prismas por dos lentes cilíndricas de  $\pm 1.50D$  de potencia, y han introducido la lente de Stokes así construida en un frontofocómetro manual para modificarlo de acuerdo con la presente invención. La Figura 5 muestra una gráfica relativa a una calibración, realizada con el propio frontofocómetro manual en el que se ha implementado la técnica propuesta por el método del primer aspecto de la presente invención, de potencias generadas (eje de ordenadas) a medida que las lentes cilíndricas se van girando (eje de abscisas). Antes que nada, decir que el ángulo de giro no está en grados sino en dioptrías prismáticas ( $\Delta$ ) dado que el dial del soporte de prismas de Risley está en dichas unidades; por tanto, se he tenido que realizar un paso de  $\Delta$  a ángulo ( $^\circ$ ) con el fin de saber qué ángulo se corresponde con las lecturas dadas por la escala de  $\Delta$ . Nótese que en la invención propuesta, en general el dial de lectura se encuentra en grados facilitando el procedimiento de medida. Se puede ver en la Figura 5 cómo se va generando componente cilíndrica desde una posición 0 equivalente a ambos cilindros con los ejes alineados (posición en torno a  $10\Delta$ ) para alcanzar su valor máximo de  $-3D$  a  $45^\circ$  de giro de cada lente (posición en torno a  $0\Delta$ ). Además del cilindro generado, la lente también genera valor de S por lo que el M total resulta siempre nulo ( $M = 0D$ ).

En la calibración de la Figura 5 puede verse cómo las componentes C y S se ajustan perfectamente a los valores esperados (valores teóricos) y ambas componentes se generan en la proporción  $S = -C/2$  haciendo que el valor total de M siempre sea nulo.

Adicionalmente al giro opuesto de ambas lentes cilíndricas, el soporte de prismas de Risley permite girar globalmente ambas lentes la misma cantidad. Este hecho es vital bien para poder alinear la lente de Stokes con los meridianos principales de la lente a medir (proceso de medida de la lente) o bien para fijar una orientación dada y alinear la lente con dicha orientación (proceso de marcaje y montaje de la lente en gafa).

De este modo, sea cual sea la componente astigmática de la lente (valor y orientación) se puede compensar con la lente de Stokes mientras que la componente esférica de dicha lente se ajusta con la rueda de potencia esférica del propio frontofocómetro. Esto se basa en un procedimiento de medida, propuesto por la presente invención, que incluye un doble proceso en el que se gira la rueda de potencia esférica del frontofocómetro a la vez que se va variando la orientación de la lente de Stokes para posicionarse sobre los meridianos principales de la lente. Posteriormente, solo hay que retocar el ángulo entre los cilindros para conseguir una imagen nítida del test donde todas sus líneas se ven enfocadas a la vez.

Con el frontofocómetro modificado con la lente de Stokes construida por los presentes inventores, se ha realizado la medida de una lente astigmática como la descrita anteriormente en un ejemplo, es decir una lente de  $(-0.25, -1.00 \times 0^\circ)$  en notación esfero-cilíndrica, y se ha

validado el resultado de medición obtenido, que ha ofrecido unos valores de  $M = -0.75D$ ,  $J = +0.50D$  Y  $\beta = 0^\circ$ , que se expresan en notación polar de Fourier como  $[-0.75, +0.50 \times 0^\circ]$ , los cuales se han convertido a notación esfero-cilíndrica a través de las expresiones indicadas anteriormente en el presente documento.

5 Además del experimento arriba explicado, el presente inventor ha realizado pruebas con diferentes lentes astigmáticas, positivas y negativas, medidas con el método estándar y con el método propuesto por el primer aspecto de la presente invención. Las pruebas se han realizado hasta una potencia de  $|3|D$  de astigmatismo (en módulo) que se corresponde con la máxima potencia de la lente de Stokes generada; no obstante, se puede extender este rango  
 10 hasta potencias mucho más altas sin más que tener en cuentas otros cilindros y un paso más fino del dial en la lente de Stokes. Además, se han hecho pruebas en diferentes orientaciones y con diferentes fuentes de iluminación (los frontofocómetros manuales llevan dos tipos de iluminaciones: luz blanca y con filtro verde).

En la Figura 6 y a modo de mosaico se incluyen ilustraciones de algunas (no todas, las más representativas) de las medidas realizadas. Se trata de esquemas representativos de algunas  
 15 medidas hechas. En las dos primeras columnas se han incluido ilustraciones correspondiente a las imágenes procedentes del método estándar donde se pueden ver, por separado, nítidas ambas direcciones o meridianos del test del frontofocómetro junto con las lecturas de potencia (dial circular en cada imagen) de ambas medidas. Estas potencias son anotadas por separado  
 20 (texto blanco en la parte superior de las ilustraciones) para obtener la notación esfero-cilíndrica de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente medida (texto en negrita en la parte inferior de ambas ilustraciones).

Por otro lado, la columna de la derecha incluye una ilustración correspondiente a la imagen obtenida a partir del método propuesto por la presente invención, en la que puede verse cómo  
 25 el test del frontofocómetro aparece nítido en todas sus direcciones simultáneamente. Anotando los valores de potencia esférica  $M$  dados por la rueda de ajuste de esfera del frontofocómetro (dial circular de las ilustraciones) y los valores dados por la lente de Stokes en potencia y orientación, se obtiene la notación polar de Fourier  $[M, J \times \beta]$  (incluida en blanco en la parte superior de las ilustraciones) a partir de la cual se deriva la notación esfero-cilíndrica y que coincide exactamente con la obtenida por el método clásico.  
 30

Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1.- Método para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática, que comprende:

5 a) disponer una lente astigmática sobre una concha de apoyo de un frontofocómetro, entre un colimador y un objetivo del mismo;

10 b) iluminar y desplazar un test del frontofocómetro para colimar un haz de luz, que contiene una imagen de dicho test, sobre dicho objetivo, tras pasar por dicho colimador y dicha lente astigmática, y enfocar sobre un retículo del frontofocómetro al menos una porción de dicha imagen correspondiente a al menos un meridiano de dos meridianos perpendiculares en los

c) medir la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática a partir al menos de la magnitud de dicho desplazamiento del test;

15 **caracterizado** porque comprende proporcionar, como dicho frontofocómetro, un frontofocómetro modificado que incorpora una lente de Stokes con un eje de giro que está alineado con el eje óptico del frontofocómetro y que es común tanto para un giro relativo, contrario en signo, de cada una de las lentes que conforman la lente de Stokes como para un giro global de toda la lente de Stokes, y porque:

20 dicha etapa b) comprende enfocar sobre dicho retículo la imagen del test simultáneamente para ambos de dichos dos meridianos perpendiculares, mediante un único desplazamiento del test y actuando sobre dicha lente de Stokes para realizar dicho giro global y/o dicho giro relativo, para que adopte una posición angular global determinada y unas posiciones angulares relativas determinadas, para cada lente de la lente de Stokes, y

25 dicha etapa c) comprende obtener la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática simultáneamente para ambos de dichos dos meridianos perpendiculares a partir de la magnitud de dicho único desplazamiento del test, del ángulo relativo  $\theta$  que se ha girado cada una de las lentes que conforman la lente de Stokes, y de la posición angular global de la lente de Stokes.

30 2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende proporcionar dicho frontofocómetro modificado con la lente de Stokes dispuesta entre dicha lente astigmática y dicho objetivo.

3.- Método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la etapa c) comprende obtener la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática en notación polar de Fourier, en la forma de  $[M, Jx\beta]$ , donde:

M corresponde al valor de una escala de potencia del frontofocómetro que es función de la magnitud del único desplazamiento del test y corresponde al equivalente esférico de la lente astigmática,

5 J = C sen(2θ), es el valor del cilindro cruzado de Jackson que se obtiene a partir de los valores de potencia cilíndrica C de la lente de Stokes y del ángulo relativo θ, y

β+45° es la posición angular global, u orientación global, de la lente de Stokes que permite generar componente astigmática pura en forma de cilindro cruzado de Jackson variable con los meridianos principales de la lente astigmática en β y β+90.

10 4.- Método de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque comprende realizar una conversión de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática obtenida, desde dicha notación polar de Fourier a una notación esfero-cilíndrica, directa o traspuesta.

15 5.- Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque comprende realizar dicha conversión para una notación esfero-cilíndrica directa expresada en la forma de (S, Cxβ), donde S = M + J, C = -2J, y β = β.

6.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende detectar automáticamente, mediante unos sensores de posición, dicha magnitud del único desplazamiento del test, dichas posiciones angulares relativas de las lentes de la lente de Stokes y dicha posición angular global de la lente de Stokes.

20 7.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende realizar la etapa c) de obtención de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática calculándola automáticamente.

25 8.- Método de acuerdo con la reivindicación 7 cuando depende de la 6, caracterizado porque comprende llevar a cabo dicho cálculo automático procesando los valores obtenidos mediante dicha detección automática.

9.- Método de acuerdo con la reivindicación 6, 7 u 8, caracterizado porque comprende determinar automáticamente cuándo la imagen de test está enfocada sobre el retículo, captando imágenes superpuestas del retículo y del test mediante unos medios de adquisición de imágenes y procesándolas mediante un software de reconocimiento de imágenes.

30 10.- Método de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado porque comprende realizar automáticamente y de manera controlada dicho desplazamiento del test y dichos giros relativo y global de la lente de Stokes, hasta alcanzar unas posiciones para las que se obtenga dicha determinación automática de que la imagen de test está enfocada sobre el retículo.

11.- Método de acuerdo con la reivindicación 4 ó 5, o cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10 cuando dependen de la 4 ó la 5, caracterizado porque comprende llevar cabo dicha conversión de manera automática.

5 12.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende realizar, mediante dicho frontofocómetro modificado, un proceso de posicionamiento y marcaje de una lente astigmática fabricada a partir de la medida obtenida en la etapa c).

13.- Método de acuerdo con la reivindicación 12 cuando depende de la 4 ó la 5, caracterizado porque dicho proceso de posicionamiento y marcaje comprende:

10 - realizar una conversión inversa de notaciones, desde la notación esfero-cilíndrica a la notación polar de Fourier;

- obtener, a partir de la notación polar de Fourier, los valores de la magnitud del único desplazamiento del test, del ángulo relativo  $\theta$  y de la posición angular global de la lente de Stokes, y aplicar los desplazamientos asociados a los valores obtenidos, tanto al  
15 desplazamiento del test como a los giros, relativos y global, de la lente de Stokes;

- insertar la lente astigmática en la concha de apoyo del frontofocómetro modificado, girarla hasta enfocar sobre el retículo la imagen del test simultáneamente para ambos de los dos meridianos perpendiculares, y determinar entonces que se encuentra en una posición adecuada para el marcaje; y

20 - marcar la lente astigmática cuando se encuentra en dicha posición adecuada para el marcaje.

14.- Sistema para medir la potencia dióptrica de vértice posterior de una lente astigmática, **caracterizado** porque comprende un frontofocómetro modificado que incorpora una lente de Stokes con un eje de giro que está alineado con el eje óptico del frontofocómetro y que es  
25 común tanto para un giro relativo, contrario en signo, de cada una de las lentes que conforman la lente de Stokes como para un giro global de toda la lente de Stokes, y que está configurado para implementar el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

15.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado porque comprende al menos un procesador configurado para procesar unos valores de magnitud del único desplazamiento  
30 del test, de las posiciones angulares relativas de las lentes de la lente de Stokes y de la posición angular global de la lente de Stokes, para calcular automáticamente la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática para implementar la etapa c) del método según la reivindicación 7 u 8.

16.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 14 ó 15, caracterizado porque está configurado para implementar el método según la reivindicación 11, para lo cual comprende al menos un procesador configurado para procesar, según un algoritmo de conversión, los valores obtenidos en notación polar de Fourier para la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática, para convertirlos automáticamente en valores de una notación esfero-cilíndrica.

17.- Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizado porque está configurado para implementar el método según la reivindicación 8, para lo cual comprende:

10 - unos sensores de posición configurados y dispuestos para detectar la posición de dicho test, y por ende la magnitud de su desplazamiento, las posiciones angulares relativas de las lentes de la lente de Stokes y la posición angular global de la lente de Stokes; y

15 - un sistema electrónico de control conectado operativamente con dichos sensores de posición para recibir unas señales de salida de los mismos que son indicativas de las detecciones de posición realizadas, y que incluye al menos un procesador configurado para procesar unos datos contenidos en dichas señales de salida para calcular automáticamente la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática.

18.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 17, caracterizado porque está configurado para implementar el método según la reivindicación 10, para lo cual también comprende un sistema de adquisición y reconocimiento de imágenes que comprende unos medios de adquisición de imágenes configurados y dispuestos para adquirir imágenes superpuestas del retículo y del test, y un software de reconocimiento de imágenes para procesar las imágenes adquiridas para determinar automáticamente cuándo la imagen de test está enfocada sobre el retículo.

19.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado porque está configurado para implementar el método según la reivindicación 10, para lo cual comprende unos medios de accionamiento conectados cinemáticamente al test, a las lentes de la lente de Stokes y a la lente de Stokes, y que están conectados operativamente a dicho sistema electrónico de control para recibir unas correspondientes ordenes de control generadas por el mismo, y en respuesta a las mismas llevar a cabo, de manera automática y controlada, dicho desplazamiento del test y dichos giros relativo y global de la lente de Stokes.

20.- Programa de ordenador, que incluye instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un procesador implementan la etapa c) del método según la reivindicación 7 u 8, calculando automáticamente la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática.



21.- Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 20, que incluye instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un procesador llevan a cabo la conversión automática de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática obtenida, desde la notación polar de Fourier a una notación esfero-cilíndrica, implementando el método de la reivindicación 11.

5

22.- Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 20 ó 21, que incluye instrucciones de código de programa que cuando se ejecutan en un procesador llevan a cabo de manera automática la conversión inversa de notaciones, desde la notación esfero-cilíndrica a la notación polar de Fourier, de la medida de la potencia dióptrica de vértice posterior de la lente astigmática a posicionar y marcar, del método de la reivindicación 13.

10

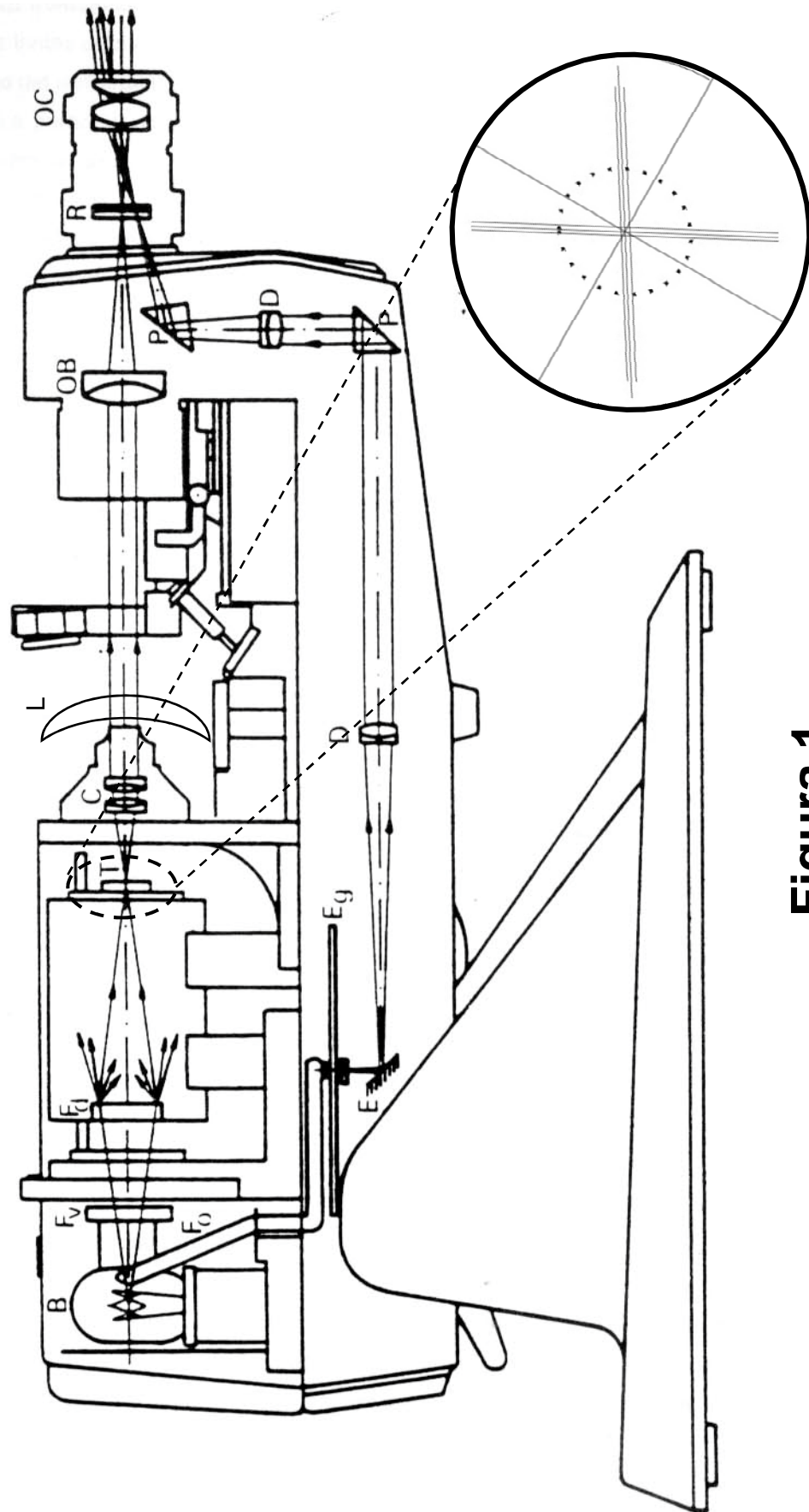
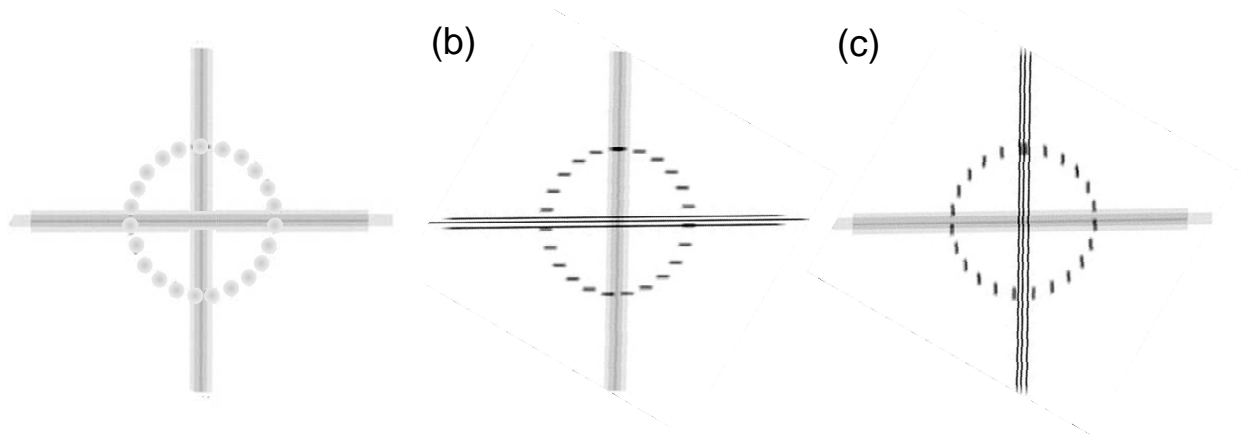
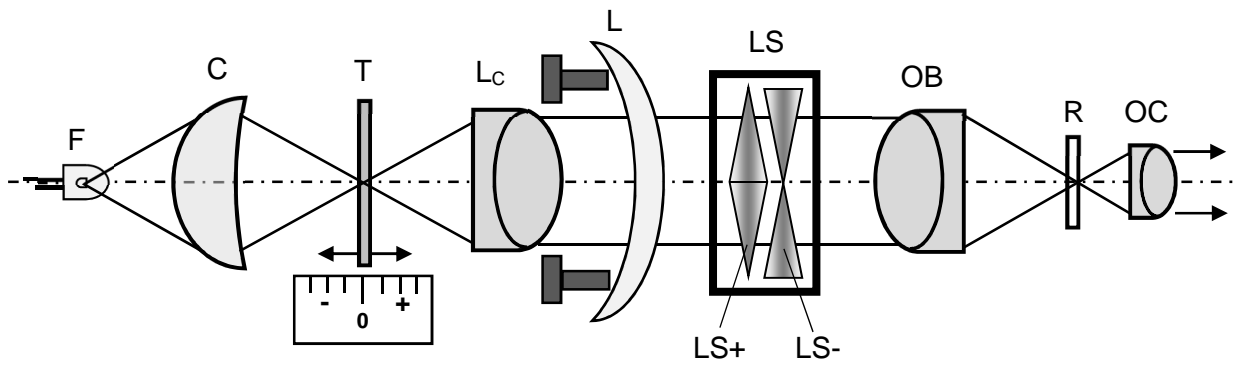


Figura 1



**Figura 2**



**Figura 3**

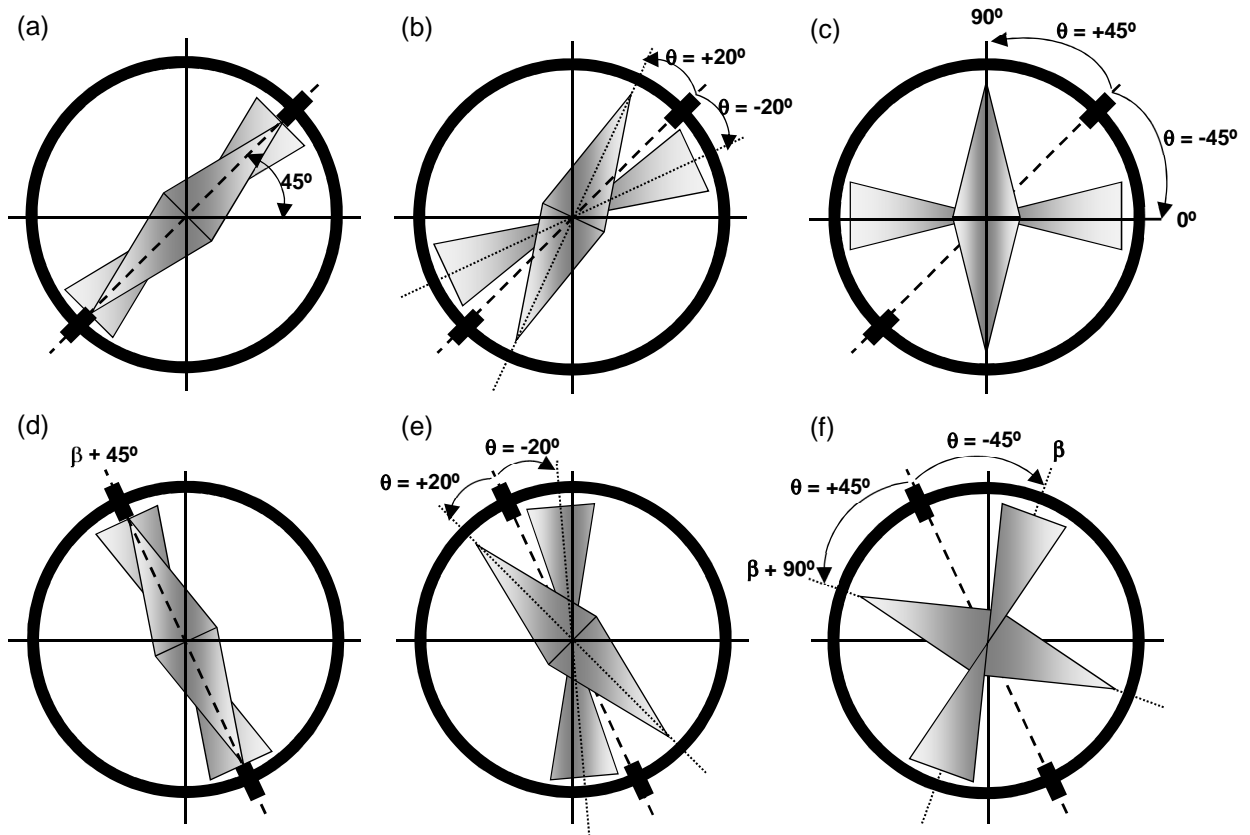


Figura 4

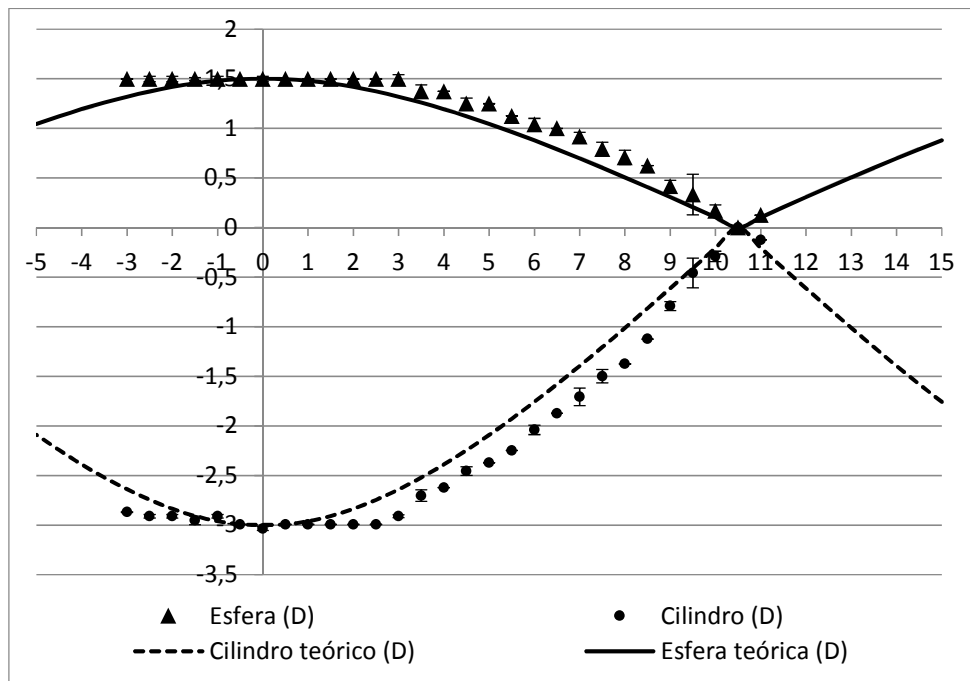
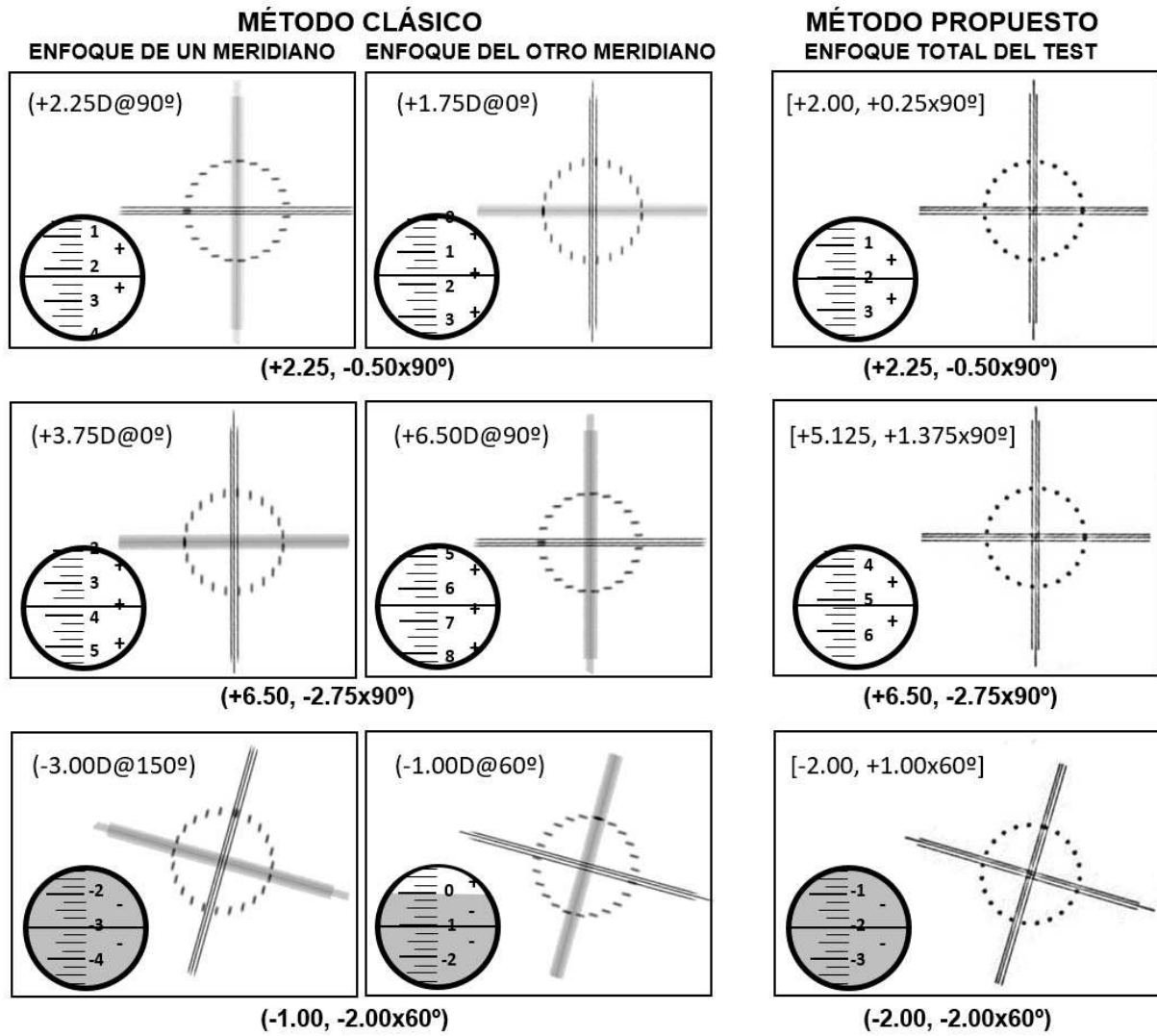


Figura 5



**Figura 6**



②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201731384

②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 04.12.2017

③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: **G01M11/02** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ <sup>1</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 3841760 A (GUYTON, D.) 15/10/1974, resumen; columna 1, líneas 18-21; columna 1, línea 39 - columna 2, línea 7; columna 2, línea 30 - columna 3, línea 43;	1-11, 14-22
Y	columna 4, líneas 57-65; columna 5, líneas 18-42; columna 10, línea 25 - Columna 12, línea 9; columna 12, línea 34 - columna 13, línea 22; figuras 4(A) - 7.	12, 13
A	JP H04301535 A (NIDEX KK) 26/10/1992, Resumen; párrafos [0006]-[0016]; figuras.	1-11, 14-22
Y		12, 13
A	US 4943162 A (SIMS, C.) 24/07/1990.	-

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
22.11.2018

Examinador  
Ó. González Peñalba

Página  
1/2

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

G01M, G02C

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

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC