

AUTOLENSÓMETRO BINOCULAR

PRIORIDAD

[0001] La presente solicitud reivindica prioridad sobre la Solicitud de patente provisional estadounidense núm. 63/302,356 presentada el 24 de enero de 2022, cuya divulgación se
5 incorpora a la presente en su totalidad mediante referencia.

ANTECEDENTES

[0002] La invención se refiere generalmente a los lensómetros y se relaciona con los lensómetros automatizados para determinar propiedades ópticas de las lentes oftálmicas.

[0003] Los ópticos y los profesionales de la visión llevan mucho tiempo utilizando lensómetros
10 para medir los ajustes refractivos de las lentes oftálmicas (la graduación exacta, Rx: esfera, cilindro y eje). Las dos configuraciones comunes son el lensómetro manual ilustrado en 10 en la figura 1A (por ejemplo, véase la patente estadounidense núm. 4,730,924 y la figura 1 de la patente estadounidense núm. 10,533,925) y el autolensómetro ilustrado en 20 en la figura 1B (por ejemplo, véase la patente estadounidense núm. 5,349,433, la patente estadounidense
15 núm. 7,609,371 y EP 0363281). Ambos tipos de configuración de lensómetros requieren una formación considerable para el uso y medición correctos. Incluso para el usuario formado, el error de medición debido a una colocación incorrecta de las lentes oftálmicas o a una fijación inadecuada de estas es un hecho habitual que obliga a volver a medir para confirmar el resultado. Asimismo, estas dos técnicas pueden tardar más de 1 minuto en leer correctamente
20 los resultados de ambas lentes de unas gafas, ya que estas técnicas sólo miden un cristal a la vez. La medición con una sola lente también hace que calcular la distancia pupilar (PD), la distancia entre los centros axiales del par de lentes, sea una tarea engorrosa y propensa a errores adicionales del usuario o de medición, incluso para usuarios formados. Históricamente, ambos sistemas se diseñaron para uso de profesionales de la visión, no para usuarios sin
25 formación.

[0004] Aunque se han propuesto lensómetros para el uso de personas que no son profesionales en el área (por ejemplo, la publicación de la patente estadounidense n.º 2016/0202141, que se divulga para su uso en combinación con un dispositivo de comunicación móvil), no se ha encontrado que dicho sistema sea lo suficientemente preciso en todas las
30 aplicaciones, y generalmente requieren que un usuario mueva el dispositivo de comunicación

móvil y/o las gafas para generar una colección de datos a partir de los cuales se puedan determinar las distancias.

5 **[0005]** Por lo tanto, sigue habiendo necesidad de un sistema de medición de lentes mejorado que pueda utilizarse rápida y fácilmente para obtener información óptica precisa sobre las gafas de un usuario.

COMPENDIO DE LA INVENCION

10 **[0006]** De acuerdo con un aspecto, la invención proporciona un sistema para determinar la información de corrección óptica de un equipo óptico. El sistema incluye un sistema de cámara para capturar al menos una imagen de cámara, un objetivo hacia el que se dirige el sistema de cámara, un área de detección entre el sistema de cámara y el objetivo para recibir el equipo óptico que incluye al menos una lente, y un sistema de procesamiento con una rutina de búsqueda para determinar al menos un centro de la al menos una lente basándose en la al menos una imagen de cámara del objetivo a través del equipo óptico.

15 **[0007]** De acuerdo con otro aspecto, la invención proporciona un método para determinar la información de corrección óptica de un equipo óptico que incluye al menos una lente. El método incluye posicionar el equipo óptico en un área de detección, capturar al menos una imagen de cámara con un sistema de cámara, dicha al menos una imagen de cámara incluye una imagen de un objetivo a través del equipo óptico en el área de detección, y determinar al menos un centro de la lente mediante una rutina de búsqueda basada en la al menos una
20 imagen del objetivo a través del equipo óptico.

[0008] De acuerdo con otro aspecto, la invención proporciona un sistema para determinar la información de corrección óptica de un equipo óptico. El sistema incluye un sistema de cámara para capturar al menos una imagen de cámara para capturar imágenes consecutivas, un objetivo hacia el que se dirige el sistema de cámara, un área de detección entre el sistema de
25 cámara y el objetivo para recibir el equipo óptico que incluye al menos una lente, y un sistema de procesamiento con una rutina de búsqueda para determinar al menos un centro de la al menos una lente basándose en las imágenes consecutivas del objetivo a través del equipo óptico.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0009] La siguiente descripción puede entenderse mejor con referencia a las figuras adjuntas en las que:

5 **[0010]** Las figuras 1A y 1B muestran vistas diagramáticas ilustrativas de los lensómetros de la técnica previa, muestran un lensómetro manual (figura 1A) y un autolensómetro (figura 1B);

[0011] La Figura 2 muestra una vista esquemática ilustrativa de un sistema de medición de lentes de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

[0012] La Figura 3 muestra una vista ilustrativa de la función diagramática de un sistema de fijación para operar el sistema de la Figura 2, que incluye una plataforma transparente;

10 **[0013]** La Figura 4 muestra una vista funcional esquemática ilustrativa de un sistema de fijación para operar el sistema de la Figura 2, que incluye un sistema sensor de posición;

[0014] La Figura 5 muestra una vista funcional diagramática ilustrativa de un sistema de fijación para operar el sistema de la Figura 2, que incluye una fuente de luz para generar múltiples rayos de luz en forma simultánea;

15 **[0015]** Las Figuras 6A - 6C muestran vistas diagramáticas ilustrativas de un sistema de detección de posición para su uso en el lensómetro de la Figura 2, la Figura 6A muestra un sistema de fijación para operar el sistema de la Figura 2, que incluye un sistema de detección de posición, un primer patrón en un interior de una lente oftálmica (Figura 6B), y un segundo patrón en el interior de la lente oftálmica (Figura 6C) a una distancia mayor;

20 **[0016]** La Figura 7 muestra una vista funcional esquemática ilustrativa de un sistema de fijación para operar el sistema de la Figura 2, que incluye una fuente láser de exploración para generar un patrón de imágenes de la fuente;

[0017] La Figura 8 muestra una vista esquemática ilustrativa de los pasos de procesamiento en un sistema de medición de lentes de acuerdo con un aspecto de la invención;

25 **[0018]** Las Figuras 9A - 9D muestran vistas diagramáticas ilustrativas del sistema de detección del centro(s) de la lente utilizado en un sistema de medición de lentes de acuerdo con un aspecto de la presente invención que implica el procesamiento iterativo de patrones, se

muestran pasos de procesamiento (Figura 9A), se muestra una primera iteración de procesamiento de puntos (Figura 9B), se muestra una iteración adicional de procesamiento de puntos (Figura 9C), y se muestra una distancia determinada entre los centros de dos lentes (Figura 9D);

- 5 **[0019]** Las Figuras 10A - 10E muestran vistas diagramáticas ilustrativas de un sistema de detección del centro(s) de la lente utilizado en un sistema de medición de lentes de acuerdo con un aspecto de la presente invención que implica imágenes de puntos repetidos, mostrar pasos de procesamiento (Figura 10A), mostrar un primer conjunto de puntos formados por imágenes (Figura 10B), mostrar un segundo conjunto de puntos formados por imágenes
10 (Figura 10C), mostrar un tercer conjunto de puntos formados por imágenes (Figura 10D), mostrar un cuarto conjunto de puntos formados por imágenes (Figura 10D), y mostrar una distancia determinada entre los centros de dos lentes (Figura 10E);

- [0020]** La Figura 11 muestra una vista esquemática ilustrativa de las ubicaciones de los puntos de procesamiento para una lente que incluye más de un centro de lente, como en el caso de
15 las lentes bifocales o procesivas.

[0021] Las figuras se muestran con fines meramente ilustrativos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- [0022]** En el presente documento se describen configuraciones de lensómetros y algoritmos asociados que simplifican significativamente la medición de ambas lentes en las gafas hasta
20 el punto de permitir que usuarios sin formación ni experiencia realicen mediciones completas de lentes oftálmicas con gran precisión, repetibilidad y a velocidades de lectura que son 1 o 2 órdenes de magnitud más rápidas que los métodos tradicionales descritos anteriormente con referencia a las Figuras 1A y 1B. Las técnicas de autolensómetro binocular divulgadas y los algoritmos asociados pueden ser un componente de un quiosco de autoservicio o un
25 componente de un aparato autónomo para lugares públicos como ópticas, supermercados, farmacias y centros comerciales que permite a usuarios sin formación o al personal de tiendas sin formación medir los valores de graduación (Rx) y la distancia pupilar (PD) de las gafas. El medidor automático de lentes binoculares y los algoritmos asociados pueden medir los ajustes de lentes monofocales, bifocales, progresivas estándar y progresivas sin línea. La Rx consta
30 de la corrección esférica (SP), la corrección cilíndrica (CY), el eje del cilindro (AX), la adición

de corrección de lectura (ADD), el desplazamiento del prisma (PR), así como la altura del segmento en las lentes progresivas.

Configuraciones:

5 [0023] El sistema de acuerdo con un aspecto de la invención consta generalmente de cuatro componentes cuando está en uso: un dispositivo 100 que sostiene un sistema de cámara 101 y un objetivo 104 debajo de una plataforma transparente 102; y un par de gafas 103 situado entre el sistema de cámara 101 y el objetivo 104 en la plataforma transparente 102, como se muestra en la Figura 2. Los lentes 103 están situadas en una plataforma transparente (como también se muestra en la Figura 3) de tal manera que la cámara se dirige a través de las lentes a través de la plataforma transparente y hacia el objetivo 104.

[0024] El principio de funcionamiento de esta configuración es que el sistema de cámara 101 graba imágenes del objetivo 104. En cuanto las gafas se colocan entre el sistema de cámara 101 y el objetivo 104, la imagen del objetivo que grabó el sistema de cámara se distorsiona. La distorsión de la imagen objetivo puede utilizarse para deducir los parámetros Rx y PD de las gafas. El resto de la presente sección proporciona más detalles sobre cada componente de esta configuración y cómo pueden utilizarse en el cálculo de Rx y PD.

[0025] En las implementaciones ilustrativas de esta invención de la Figura 3, el sistema de cámara 101 consta de una cámara digital 200 y una lente 201 para enfocar la imagen desde el plano objetivo 204 al plano del sensor de la cámara digital 200. El sensor de la cámara digital 200 puede consistir en un chip basado en CCD o CMOS.

[0026] Como se señaló anteriormente, en algunas modalidades puede haber una plataforma transparente 202 entre el sistema de cámara 101 y el objetivo 104 para colocar las lentes, que proporciona una superficie estable con una posición y distancia conocidas 205 entre las lentes oftálmicas y el objetivo 104. La plataforma transparente 202 puede estar hecha de vidrio o plástico (por ejemplo, acrílico) y puede ser transparente en todo el espectro visible de longitudes de onda o puede ser transparente sólo en un intervalo específico de longitudes de onda (por ejemplo, 700nm - 900nm). La distancia conocida 205 puede utilizarse como distancia de referencia invariable en el cálculo de Rx y PD. La lente de la cámara 201 se selecciona de forma que se genere un campo de visión de la cámara 206 que abarque ambas lentes oftálmicas cuando las gafas 203 se colocan sobre la plataforma transparente 202. El

sistema graba imágenes de cámara de patrones con y sin la plataforma transparente de tal manera que cualquier difracción causada por la plataforma transparente puede eliminarse de los cálculos de los parámetros ópticos que incluyen uno o más centros de cada lente.

5 **[0027]** En algunas modalidades, la plataforma transparente 202 puede estar dividida en dos secciones, una sección para cada lente de las gafas 203. Entre las dos secciones puede haber una ligera depresión para que el puente de la nariz de las gafas 203 pueda conformarse de forma más óptima para la colocación estable de las gafas 203 en las secciones transparentes divididas. Las imágenes y patrones rastreados desde la cámara 214 pueden ser utilizados de la misma manera que con las imágenes y patrones rastreados desde la cámara 200.

10 **[0028]** En algunas implementaciones, el objetivo 104 puede ser una imagen estática, un patrón o un gráfico. El gráfico objetivo puede consistir en un adhesivo, puede estar grabado en una placa, o puede ser proyectado desde una fuente de luz por debajo o por encima del plano objetivo 104.

15 **[0029]** En otras implementaciones, como la ilustrada en la Figura 3, el objetivo 104 puede consistir en una pantalla electrónica 204 como una pantalla LCD u OLED que puede proporcionar imágenes, patrones o gráficos dinámicos en movimiento antes, durante y después de la sesión de medición. La pantalla 204 y el sistema de cámara 101 están conectados a un dispositivo informático y de control 207 que gestiona la interacción entre los dos componentes. El sistema puede determinar un centro óptico de cada lente mediante
20 cualquiera de las rutinas de búsqueda que se comentan a continuación.

25 **[0030]** En algunas implementaciones de esta invención, no hay una plataforma transparente 202 entre el sistema de cámara 101 y el objetivo 104. En los casos en que la posición de las lentes oftálmicas 203 entre la cámara 101 y el objetivo 104 sea necesaria para el cálculo de los resultados de Rx y PD, puede incluirse un sensor de posición 208 en el dispositivo 100, como se muestra en la figura 4. El sensor de posición puede incluir sensores de proximidad a lo largo de la elevación vertical del sensor de posición 208.

30 **[0031]** En particular, el sensor de posición 208 puede ser una barra sensora basada en inducción que puede localizar la posición del armazón 205 de las gafas 203 con respecto a la trayectoria entre la cámara 101 y el objetivo 104, tal como se ilustra en la Figura 4. El sensor de posición 208 también puede ser una palanca mecánica sobre un muelle que se empuja

hacia abajo con las gafas 203 de tal manera que la posición de las gafas 205 puede medirse durante la sesión de medición del medidor de lentes. Una vez más, el sistema puede determinar un centro óptico de cada lente mediante cualquiera de las rutinas de búsqueda que se comentan a continuación,

5 **[0032]** En algunas implementaciones, un láser 215 y una rejilla de difracción 216 pueden colocarse de forma que se produzcan múltiples rayos de luz de manera simultánea que atraviesen las lentes oftálmicas 203, tal como se describe en la Figura 5. Una de dos cámaras 213 se colocan cerca del láser para observar los puntos de lente difusos 220 producidos en las lentes por los rayos láser. Una segunda cámara 214 está situada debajo de una superficie
10 difusora 217. La superficie difusora 217 produce puntos de luz difusa 218 de los rayos láser y puede observarse y rastrearse a través de la segunda cámara 214. La superficie difusora 217 puede estar formada por una fina lámina de plástico opaco. La superficie difusora se utiliza en lugar de una pantalla 204 para seguir la distorsión del patrón producida por las lentes oftálmicas 203. El sistema puede determinar un centro óptico de cada lente mediante
15 cualquiera de las rutinas de búsqueda que se comentan a continuación.

[0033] En algunas implementaciones, la cámara 213 puede rastrear los reflejos difusos 220 en las lentes causados por los rayos de luz de la rejilla de difracción 216, como se ilustra en la Figura 6A. La distancia entre los puntos de las lentes difusas 220 puede utilizarse para determinar la posición de las lentes con respecto al resto del dispositivo. Si las gafas 203
20 están cerca de la rejilla de difracción 216, los puntos difusos de la lente estarán más juntos (como se muestra en la Figura 6B) que cuando las gafas 203 están lejos de la rejilla de difracción 216 (como se muestra en la Figura 6C). La distancia entre las lentes oftálmicas y la cámara puede determinarse en función de la dispersión de los puntos. El sistema puede determinar un centro óptico de cada lente mediante cualquiera de las rutinas de búsqueda que
25 se comentan a continuación.

[0034] En algunas implementaciones, en lugar de una rejilla de difracción, se puede utilizar un espejo galvanométrico 219 para dirigir la luz láser 215 a diferentes posiciones en las lentes oftálmicas 203. El sistema de cálculo y control 207 puede encender/apagar el láser 215 y mover el espejo galvanométrico para crear puntos en diferentes posiciones de las lentes
30 oftálmicas 203. El rayo láser atraviesa las lentes oftálmicas y alcanza la superficie difusora 217. La posición de cada punto difuso 218 puede rastrearse a través de la segunda cámara

214 para determinar los parámetros de las lentes como se describe a continuación.

[0035] En otras implementaciones, la segunda cámara 214 observa los puntos difusos 218 en la superficie difusora 217 como se muestra en la Figura 7. Dependiendo de la posición de estos puntos difusos cuando las gafas están presentes, o no presentes (calibración), los parámetros de las lentes pueden determinarse como se describe a continuación haciendo que el sistema capture una pluralidad de imágenes asociadas con cada posición de los galvanómetros y, por lo tanto, el punto de imagen a medida que se mueve el punto de imagen. El sistema puede determinar un centro óptico de cada lente mediante cualquiera de las rutinas de búsqueda que se comentan a continuación.

[0036] El objetivo 104 puede consistir en un patrón repetitivo, como un patrón de tablero de ajedrez, un patrón Charuco, un patrón de cuadrícula de puntos, un patrón de cuadrícula de círculos o un patrón de cuadrícula con características multicolores. Estas configuraciones del objetivo permiten que la cámara localice distintos puntos de referencia en el plano del objetivo y siga el movimiento de los puntos de referencia a medida que las gafas se insertan en el dispositivo de medición de lentes. Utilizando una pantalla de objetivo dinámico 204, las posiciones, colores y patrones de cada referencia se pueden cambiar antes, durante y después de una sesión de medición. Por ejemplo, un patrón de puntos puede mostrarse primero en una disposición de baja densidad y posteriormente en una configuración de mayor densidad a medida que se realiza la medición, con el fin de afinar la precisión de la medición o de encontrar los centros ópticos de las lentes (descritos a continuación).

Rutinas de búsqueda:

[0037] Con referencia a la figura 8, en el Paso 1 (300), el sistema de cámara 101 toma primero una imagen del patrón del objetivo 104 sin que las gafas se hayan colocado en el dispositivo 100: es la imagen de calibración. Este cálculo toma en cuenta la difracción neta de la luz cuando viaja a través de la plataforma transparente 102. De acuerdo con otros aspectos, la calibración puede realizarse, además con y sin la plataforma transparente para identificar la cantidad de difracción neta causada por la plataforma transparente. Las posiciones de referencia de la imagen de calibración se almacenan en la memoria para uso posterior. En el Paso 2 (301), las gafas se insertan o colocan en el dispositivo 100 entre el sistema de cámara 101 y el objetivo 104, de nuevo opcionalmente sobre la plataforma transparente 102. Se puede alimentar un flujo continuo de la cámara al dispositivo de cálculo y control 207 de forma que

se pueda detectar un cambio en la imagen que indique la presencia de las gafas y que se ha iniciado este paso. De forma alternativa, las gafas pueden pulsar un interruptor mecánico o un nivel que indique su presencia al dispositivo de cálculo y control 207. En el Paso 3 (302), el dispositivo de cálculo y control toma una imagen (imagen de medición) de la cámara 101, encuentra las posiciones de referencia y compara su posición con la de las posiciones de las referencias en la imagen de calibración. Cada referencia tiene así una posición de calibración y una posición de medición a lo largo del plano objetivo 104 formando un par de posiciones de referencia del antes-después. Con los dispositivos descritos en las Figuras 3, 4, 5 y 7, la posición de las gafas 103, la cámara 101 y el patrón objetivo 104 se conocen entre sí. Si se conocen todas las posiciones, el algoritmo general puede realizarse en tan sólo dos imágenes de la cámara de seguimiento de características, siendo la primera imagen la imagen de calibración sin la presencia de lentes y la segunda imagen la imagen con presencia de lentes de las gafas 103.

[0038] Durante la medición de las lentes oftálmicas, el dispositivo de cálculo y control 207 puede realizar un seguimiento del desplazamiento posicional a lo largo del plano objetivo 104 de cada par de referencias. Esto permite detectar los centros axiales de cada lente oftálmica y se describe con más detalle a continuación. Finalmente, en el Paso 5 (304), se determina la Rx utilizando los centros axiales de cada lente. Los detalles específicos relativos a los Pasos 3, 4 y 5 se describen más a continuación.

20 **Hallar centros axiales (Paso 302):**

[0039] Se describen dos técnicas para hallar el centro axial de una lente oftálmica y se esbozan en las Figuras 9A - 9D y las Figuras 10A - 10E.

[0040] Con referencia a la Figura 9A, la primera técnica para hallar el centro axial comienza (Paso 500) al proporcionar un patrón en la pantalla. Como se muestra en la Figura 9B, el patrón 510 incluye un conjunto de patrones para cada lente. A continuación, se hallan las posiciones de referencia en ese patrón (Paso 501) y se comparan con las posiciones originales de la imagen de calibración. Para cada lente, se selecciona la referencia con el menor desplazamiento posicional en comparación con la referencia de la imagen de calibración respectiva (Paso 502). El sistema prevé que se puedan emplear iteraciones plurales de este proceso a resoluciones más finas. La posición de referencia determinada puede utilizarse como centro axial de una lente (Paso 505), o si se desea un mayor refinamiento, la posición

de referencia seleccionada se utiliza como centro axial provisional para una iteración de refinamiento posterior (Pasos 503 - 504). En el último caso, la pantalla 514 dibuja una cuadrícula más fina 516 sobre el centro provisional 512, como se muestra en la Figura 9C, y de nuevo se selecciona para cada lente la referencia con el menor desplazamiento en comparación con una imagen de calibración. Este proceso puede repetirse hasta que el movimiento de referencia sobre el centro axial candidato sea inferior a una cierta distancia de corte preseleccionada, tras lo cual se seleccionan las posiciones finales del centro axial como se muestra en 518 en la Figura 9D, que muestra los centros de las lentes 520 a una distancia determinada 313.

10 **[0041]** Con referencia a la Figura 10A, una segunda técnica para hallar el centro axial consiste en dibujar primero un punto de referencia en la pantalla (paso 600) y luego registrar esta posición de referencia en el plano objetivo antes de insertar las gafas 203 en el dispositivo 100. De este modo se crea una posición de calibración de referencia. Después de insertar las gafas 203 en el dispositivo 100, se registra el desplazamiento posicional de la referencia en la imagen de medición (ilustrada en 612 en la Figura 10B) y se compara con la posición de la referencia de calibración. Se determina cualquier desplazamiento de posición (Paso 602). Y si la distancia de desplazamiento es inferior a una longitud de corte predeterminada, la posición de medición de referencia se utiliza como centro axial de la lente. Si la distancia es mayor, la posición de calibración de referencia que la pantalla ha de dibujar se establece como la posición de medición de referencia hallada previamente (Paso 603) como se muestra en 614 en la Figura 10C. Este proceso se repite (como se muestra en 616 en la Figura 10D), haciendo que la calibración de referencia «siga» a la medición de referencia hasta que la distancia entre ambas esté por debajo de la distancia de corte predeterminada, tras lo cual se selecciona la posición de medición final como centro axial de la lente (Paso 605), proporcionando centros de lente 620 a una distancia determinada 323, como se muestra en la Figura 10E.

[0042] Estas técnicas pueden repetirse para cada lente y también pueden realizarse simultáneamente en diferentes partes del plano objetivo para cada lente respectiva de las gafas 203. Estas técnicas pueden utilizarse con lentes bifocales o progresivas. Puede haber dos posiciones de referencia con desplazamiento mínimo, indicando dos centros axiales 702 y 707 y la posición de altura del segmento 706, como se muestra en la Figura 11. En el caso de dos o más centros axiales prospectivos, puede utilizarse la técnica de «seguimiento» para

afinar aún más la colocación de la posición de referencia.

Hallar la distancia a la pupila (Paso 303):

[0043] Una vez hallados los centros axiales de cada lente, se puede calcular la distancia pupilar (PD) a partir de la geometría del sistema. El centro axial de una lente no causa ninguna curvatura refractiva de los rayos de luz, por lo que se puede trazar una línea recta desde el sistema de cámara 101 al plano objetivo a través de cada centro axial de la lente creando dos líneas de trazado. Las líneas intersectan el plano de la lente de las gafas. El plano de la lente de las gafas se encuentra a una distancia conocida $D2$ (205) del plano objetivo, y a una distancia conocida $D1$ del sistema de cámara 101. Una vez completado el algoritmo de búsqueda del centro para cada lente, se conoce la posición de referencia final del centro de la lente para cada lente en el plano objetivo dando una distancia $P1$. La distancia pupilar (PD) se obtiene a partir de la relación geométrica: $PD = P1 \times D1 / (D1+D2)$.

Conversión a dioptrías (Paso 304):

[0044] Para cada centro axial hallado durante una sesión de medición, la pantalla objetivo 204 puede mostrar un patrón o forma subsiguiente alrededor del centro axial. En algunos casos puede dibujarse un círculo de radio r alrededor del centro axial. La distorsión del círculo por la lente puede formar una elipse, con una longitud de eje mayor a , una longitud de eje menor b y un ángulo de distorsión c . Durante una sesión de medición se pueden calcular dos valores: el valor de distorsión del eje mayor $R1 = a / r$ y el valor de distorsión del eje menor $R2 = b / r$.

[0045] Antes de la sesión de medición, se determina una curva de calibración y se coloca en la memoria del dispositivo de cálculo y control 207 que asigna la relación de distorsión a las dioptrías. Se puede generar una curva de calibración, donde los puntos representan puntos de calibración y la línea una regresión con el polinomio que mejor se ajusta. El polinomio que mejor se ajusta puede describirse como una función de conversión $D(R)$ que toma el valor R como entrada y da la dioptría D como salida. La curva de calibración sólo puede ser válida para una determinada distancia cámara-lente y distancia lente-objetivo 205, por lo que puede necesitarse una curva de calibración única para combinaciones específicas de configuraciones de distancia del sistema.

[0046] La graduación de una lente determinada puede calcularse así: $SP = D(R2)$; $CY = D(R1 - R2)$; $AX = \text{mod}(c, 180)$, donde la función $\text{mod}()$ es el módulo 180 del ángulo de distorsión. La

Figura 11 muestra una vista esquemática ilustrativa de las ubicaciones de los puntos de procesamiento para una lente que incluye más de un centro de lente, como en el caso de las lentes bifocales o progresivas.

Definiciones:

- 5 **[0047]** Los términos "un" y "una", al modificar un sustantivo, no implican que solo exista uno del sustantivo. Por ejemplo, la afirmación "una manzana cuelga de una rama": (i) no implica que solo haya una manzana colgando de la rama; (ii) es cierta si hay una manzana colgando de la rama; y (iii) es cierta si hay varias manzanas colgando de la rama.
- 10 **[0048]** Decir que un cálculo es "de acuerdo con" una primera ecuación significa que el cálculo incluye (a) resolver la primera ecuación; o (b) resolver una segunda ecuación, donde la segunda ecuación se deriva de la primera ecuación. Ejemplos no limitativos de "resolver" una ecuación incluyen resolver la ecuación en forma cerrada o por aproximación numérica o por optimización.
- 15 **[0049]** Para calcular "basado en" datos especificados significa realizar un cálculo que toma los datos especificados como una entrada.
- 20 **[0050]** Ejemplos no limitativos de una "cámara" incluyen: (a) una cámara digital; (b) una cámara digital en escala de grises; (c) una cámara digital en color; (d) una cámara de video; (e) un sensor de luz, sensor de imágenes o fotodetector; (f) un conjunto de sensores de luz, sensores de imágenes o fotodetectores; (h) una cámara de campo de luz o cámara plenóptica; (i) una cámara de tiempo de vuelo; y (j) una cámara de profundidad. En algunos casos, una cámara incluye computadoras o circuitos que procesan datos capturados por la cámara.
- 25 **[0051]** El término "comprende" (y sus variaciones gramaticales) se interpretará como seguido de "sin limitación". Si A comprende B, entonces A incluye B y puede incluir otras cosas.
- 30 **[0052]** Cada uno de los siguientes es un ejemplo no limitativo de una "computadora", como se usa ese término en este documento: (a) una computadora digital; (b) una computadora analógica; (c) una computadora que realiza cálculos analógicos y digitales; (d) un microcontrolador; (e) un microprocesador; (f) un controlador; (g) una tableta; (h) una computadora portátil; (i) una computadora portátil ultradelgada, (j) una computadora personal; (k) una computadora central; y (l) una computadora cuántica. Sin embargo, un humano no es

una "computadora", ya que ese término se usa en el presente documento.

[0053] "Término definido" significa un término o frase que se establece entre comillas en esta sección de definiciones.

5 **[0054]** Para que un evento ocurra "durante" un período de tiempo, no es necesario que el evento ocurra durante todo el período de tiempo. Por ejemplo, un evento que ocurre solo durante una parte de un período de tiempo determinado ocurre "durante" el período de tiempo dado.

[0055] El término "p. ej." significa por ejemplo.

10 **[0056]** El hecho de que se dé un "ejemplo" o múltiples ejemplos de algo no implica que sean los únicos casos de esa cosa. Un ejemplo (o un grupo de ejemplos) es meramente una ilustración no exhaustiva ni limitativa.

[0057] "A modo de ejemplo" significa por ejemplo.

15 **[0058]** Decir una X "dada" es simplemente una forma de identificar la X, de modo que la X puede ser referida más adelante con especificidad. Decir una X "dada" no crea ninguna implicación con respecto a X. Por ejemplo, decir una X "dada" no crea ninguna implicación de que X es un regalo, suposición o hecho conocido.

[0059] "En el presente" significa en este documento, incluyendo texto, memoria descriptiva, reivindicaciones, resumen y dibujos.

20 **[0060]** Como se usa en la presente: (1) "implementación" significa una implementación de esta invención; (2) "modalidad" significa una modalidad de esta invención; (3) "caso" significa una implementación de esta invención; y (4) "escenario de uso" significa un escenario de uso de esta invención.

[0061] El término "incluye" (y sus variaciones gramaticales) se interpretará como seguido de "sin limitación".

25 **[0062]** A menos que el contexto indique claramente lo contrario, "o" significa y/o. Por ejemplo, A o B es verdadero si A es verdadero, o B es verdadero, o tanto A como B son verdaderos. Además, por ejemplo, un cálculo de A o B significa un cálculo de A, o un cálculo de B, o un

cálculo de A y B.

[0063] El término "tal como" significa, por ejemplo.

[0064] Excepto en la medida en que el contexto requiera claramente lo contrario, si los pasos de un método se describen en el presente documento, entonces el método incluye variaciones en las cuales: (1) los pasos del método ocurren en cualquier orden o secuencia, incluido cualquier orden o secuencia diferente a ese descrito en el presente; (2) cualquier paso o pasos del método ocurren más de una vez; (3) dos pasos cualesquiera ocurren el mismo número de veces o un número diferente de veces durante el método; (4) uno o más pasos del método se realizan en paralelo o en serie; (5) cualquier paso del método se realiza de forma iterativa; (6) un paso dado en el método se aplica a la misma cosa cada vez que ocurre el paso dado o se aplica a una cosa diferente cada vez que ocurre el paso dado; (7) uno o más pasos ocurren simultáneamente; o (8) el método incluye otros pasos, además de los pasos descritos en el presente documento.

[0065] Los encabezados se incluyen aquí simplemente para facilitar la navegación del lector por este documento. Un título para una sección no afecta el significado o alcance de esa sección.

[0066] Esta sección de Definiciones prevalecerá, en todos los casos, y anulará cualquier otra definición de los Términos Definidos. El Solicitante o los Solicitantes actúan como su propio lexicógrafo con respecto a los Términos definidos. Por ejemplo, las definiciones de Términos definidos establecidas en esta sección de Definiciones anulan el uso común y cualquier diccionario externo. Si un término determinado se define explícita o implícitamente en este documento, entonces esa definición prevalecerá y anulará cualquier definición del término dado que surja de cualquier fuente (por ejemplo, un diccionario o uso común) que sea externa a este documento. Si este documento proporciona aclaraciones sobre el significado de un término en particular, entonces esa aclaración, en la medida aplicable, anulará cualquier definición del término dado que surja de cualquier fuente (por ejemplo, un diccionario o uso común) que sea externa a este documento. A menos que el contexto indique claramente lo contrario, cualquier definición o aclaración aquí contenida de un término o frase se aplica a cualquier variación gramatical del término o frase, tomando en cuenta la diferencia en la forma gramatical. Por ejemplo, las variaciones gramaticales incluyen sustantivo, verbo, participio, adjetivo y formas posesivas, y diferentes declinaciones y diferentes tiempos.

Variaciones:

[0067] Esta invención se puede implementar de muchas maneras diferentes.

5 [0068] En el presente documento, cada descripción de cualquier método, aparato o sistema de esta invención describe un ejemplo no limitante de esta invención. Esta invención no se limita a esos ejemplos y puede implementarse de otras maneras.

[0069] En el presente documento, cada descripción de cualquier prototipo de esta invención describe un ejemplo no limitante de esta invención. Esta invención no se limita a esos ejemplos y puede implementarse de otras maneras.

10 [0070] En el presente documento, cada descripción de cualquier implementación, modalidad o caso de esta invención (o cualquier escenario de uso de esta invención) describe un ejemplo no limitante de esta invención. Esta invención no se limita a esos ejemplos y puede implementarse de otras maneras.

15 [0071] Cada Figura, diagrama, esquema o dibujo en el presente documento (o en el Provisional) que ilustra cualquier característica de esta invención muestra un ejemplo no limitante de esta invención. Esta invención no se limita a esos ejemplos y puede implementarse de otras maneras.

20 [0072] La descripción anterior (incluidos, entre otros, los dibujos y figuras adjuntos) describe implementaciones ilustrativas de la invención. Sin embargo, la invención se puede implementar de otras maneras. Los métodos y aparatos que se describen en el presente documento son aplicaciones meramente ilustrativas de los principios de la invención. Otras disposiciones, métodos, modificaciones y sustituciones realizadas por un experto en la técnica también están dentro del alcance de la presente invención. Los expertos en la técnica pueden realizar numerosas modificaciones sin apartarse del alcance de la invención. Además, esta invención incluye, sin limitación, cada combinación y permutación de uno o más de los

25 elementos (incluido cualquier hardware, componentes de hardware, métodos, procesos, pasos, software, algoritmos, características y tecnología) que se describen en el presente documento.

[0073] Se reivindica lo siguiente: