

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 377**

51 Int. Cl.:

A61B 3/10 (2006.01)

A61B 3/107 (2006.01)

A61B 3/135 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07871719 .6**

96 Fecha de presentación: **20.12.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2111149**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.10.2009**

54 Título: **Aparato de medición corneal que tiene una abertura segmentada y un método de uso del mismo**

30 Prioridad:
26.12.2006 US 871855 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.12.2012

73 Titular/es:
**BAUSCH & LOMB INCORPORATED (100.0%)
ONE BAUSCH & LOMB PLACE
ROCHESTER, NY 14604-2701, US**

72 Inventor/es:
MCBETH, JEFFREY, B.

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 393 377 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato de medición corneal que tiene una abertura segmentada y un método de uso del mismo

5 Referencia cruzada

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional N° 60/871.855 presentada el 26 de diciembre de 2006.

10 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato de medición corneal y unos métodos de medición corneal, y más en particular a un aparato y unos métodos para proyectar una pluralidad de rendijas segmentadas de luz para realizar mediciones corneales.

15 Antecedentes de la invención

A los oftalmólogos y optometristas les gustaría tener una representación precisa del ojo de un sujeto. Tales representaciones incluyen, por ejemplo, una o más de una representación de la superficie anterior de la córnea de un sujeto, la superficie posterior, y el espesor y densidad corneal, así como los perfiles de la cámara anterior. Esta información puede usarse para prescribir lentes de contacto y gafas, y para remodelar la córnea mediante procedimientos quirúrgicos o realizar otros procedimientos quirúrgicos. Puesto que no es cómodo medir estos datos con contacto físico, se usan, preferentemente, técnicas de detección remota para realizar las mediciones. Un dispositivo que solo mide la superficie frontal de la córnea se denomina, habitualmente, topógrafo corneal, un dispositivo que mide las superficies frontal y posterior, y el estroma del ojo, se denomina perfilador corneal, y un dispositivo que mide los perfiles de la cámara anterior se denomina analizador de la cámara anterior.

Una técnica habitual para obtener información de medición corneal incluye proyectar bandas estrechas de luz (habitualmente denominadas rendijas o haces de rendijas) sobre la córnea de un paciente en múltiples ubicaciones a través de una córnea. Para cada una de las rendijas, después de que la luz en la rendija se ha dispersado por la córnea, se obtiene una imagen de la luz.

Para proyectar una rendija de luz, se colocan una abertura de forma y tamaño apropiado y una lente en la trayectoria de la luz desde una fuente de luz, de tal manera que la luz que pasa a través de la abertura forma una rendija de luz en la córnea de un sujeto. Habitualmente, para proyectar las rendijas en cada una de las múltiples ubicaciones a través de la córnea, se traslada una sola abertura, de tal manera que la luz que pasa a través de la abertura en momentos seleccionados forma las múltiples rendijas. Un ejemplo de un aparato de medición corneal de este tipo se presenta en la patente de Estados Unidos N° 5.512.966 de Snook.

Un inconveniente de estos aparatos es que es difícil colocar con precisión una abertura para formar cada una de las rendijas, y a lo largo del tiempo (después de muchos pacientes) es difícil conocer con precisión la posición de las rendijas de manera que pueda obtenerse una recreación precisa de una córnea. Otro inconveniente de los aparatos convencionales es que es difícil caracterizar la superficie posterior de una córnea, debido al hecho de que una rendija de luz debe pasar a través de la parte anterior de una córnea, dos veces, antes de que se forme una imagen y se analice.

El documento WO-A-2004/045400 se refiere a un topógrafo corneal que incluye un subsistema de proyección de iluminación para proyectar una serie de patrones estacionarios diferentes preseleccionados de una o más rendijas de luz en una sucesión ordenada.

50 Sumario

De acuerdo con los aspectos de la presente invención, una rendija de luz que está dividida en segmentos se proyecta sobre una córnea para facilitar la caracterización de la superficie posterior de una córnea.

Un aspecto de la presente invención se dirige a un aparato para medir la córnea de un sujeto, que comprende (A.) un subsistema de proyección de iluminación que comprende una fuente de luz, (B.) un subsistema de máscara dispuesto en una trayectoria de la luz desde la fuente de luz, configurado el subsistema de máscara para producir una rendija segmentada de la luz, (C.) un elemento de formación de imágenes configurado y dispuesto para formar una imagen de la rendija segmentada de luz sobre la córnea, y (D.) un subsistema de captura de imágenes dispuesto para capturar imágenes de la rendija segmentada de luz después de que la rendija segmentada de luz incide en la córnea.

Otro aspecto de la invención se dirige a un método para facilitar la medición de la córnea de un sujeto, que comprende (A.) proyectar una rendija segmentada de luz sobre la córnea, (B.) formar una imagen de la rendija segmentada de luz después de que ésta incide en la córnea para formar una imagen, y (C.) usar al menos dos

esquinas en la imagen para calcular una trayectoria de la luz hacia la superficie posterior de la córnea.

Breve descripción de los dibujos

5 Se describirán realizaciones ilustrativas y no restrictivas de la presente invención, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se usa el mismo número de referencia para indicar los mismos o similares componentes en las diferentes figuras, y en los que:

- 10 La figura 1 es una vista en planta esquemática de un ejemplo de un aparato de medición corneal de acuerdo con los aspectos de la presente invención;
- La figura 2 es una vista en planta ampliada que muestra detalles adicionales de un brazo del aparato de medición corneal de la figura 1;
- La figura 3 es una ilustración de un ejemplo de una realización de una primera máscara de rendija que define una pluralidad de aberturas segmentadas vista a lo largo de la línea 3-3 de la figura 2;
- 15 La figura 4 es una ilustración de un ejemplo de una realización de una segunda máscara de rendija que define una abertura de selección vista a lo largo de la línea 4-4 de la figura 2;
- La figura 5 es una vista en planta ampliada que muestra una realización alternativa de un brazo del aparato de medición corneal de la figura 1;
- 20 La figura 6 es una ilustración de una realización alternativa de una primera máscara de rendija que define una única abertura segmentada vista a lo largo de la línea 6-6 de la figura 5;
- La figura 7A es una vista en planta de un ojo que ilustra la trayectoria de entrada y la trayectoria de salida para una única rendija segmentada de luz proyectada en su interior;
- La figura 7B es una vista en planta ampliada del ojo de la figura 7A, que ilustra la trayectoria de entrada de una rendija segmentada de luz en la superficie de la córnea;
- 25 La figura 7C es una vista en planta ampliada del ojo de la figura 7A, que ilustra la trayectoria de salida de una rendija segmentada de luz en la superficie de la córnea;
- La figura 8 es una vista en sección transversal del ojo tomada a lo largo de la línea 8-8 de la figura 7 que muestra la trayectoria de entrada y la trayectoria de salida de la rendija de luz; y
- 30 Las figuras 9A y 9B son vistas en sección transversal del ojo, como se muestra en la figura 8, que incluyen características relevantes para medir la superficie posterior del ojo.

Descripción detallada

35 Los aspectos de la presente invención se dirigen a un aparato para medir la córnea de un sujeto, que comprende un subsistema de proyección de iluminación que comprende una fuente de luz, y un subsistema de máscara dispuesto en una trayectoria de la luz desde la fuente de luz, configurado el subsistema de máscara para producir una rendija segmentada de la luz. También se incluye un elemento de formación de imágenes configurado y dispuesto para formar una imagen de la rendija segmentada de luz sobre la córnea. Un subsistema de captura de imágenes se dispone para capturar imágenes de la rendija segmentada de luz después de que la rendija segmentada de luz
40 incide en la córnea.

La figura 1 es una vista en planta esquemática de una realización de un aparato 10 de medición corneal de acuerdo con los aspectos de la presente invención. El aparato de medición corneal está adaptado para medir la córnea C de un sujeto. El aparato de medición corneal comprende dos sistemas 13a, 13b de proyección de iluminación (que
45 incluyen las fuentes 12a y 12b de luz, respectivamente), dos subsistemas 100a, 100b de máscara configurados para producir una o más rendijas segmentadas de luz, y un subsistema 50 de captura de imágenes. Los subsistemas 100a y 100b de máscara se disponen en las trayectorias de la luz de los sistemas 13a y 13b de proyección de iluminación, respectivamente.

50 El sistema 13a de proyección de iluminación y el subsistema 100a de máscara están en un primer brazo 75a del aparato de medición corneal, y el sistema 13b de proyección de iluminación y el subsistema 100b de máscara están en un segundo brazo 75b del aparato de medición corneal. En la realización ilustrada, el primer brazo proyecta rendijas de luz sobre una mitad de la córnea, y el segundo brazo proyecta rendijas de luz sobre la otra mitad de la córnea. Por ejemplo, la trayectoria de las rendijas de luz puede estar en un ángulo de cuarenta y cinco grados con el
55 eje visual del ojo del sujeto. Aunque la realización ilustrada de un aparato de medición tiene dos brazos, en otras realizaciones, un aparato de medición puede tener, solamente, un único brazo.

Haciendo referencia a la figura 2, se muestran detalles adicionales de un brazo del aparato 10 de medición corneal. El brazo comprende una primera máscara 130 de rendija que define una pluralidad de aberturas 132_i segmentadas, y una segunda máscara 120 de rendija que define una abertura 122 de selección. El brazo comprende también un
60 aparato 110 de traslación adaptado para trasladar la segunda máscara. La segunda máscara 120 de rendija está configurada y dispuesta de tal manera que, colocando apropiadamente la segunda máscara de rendija usando el aparato de traslación, la abertura 122 de selección transmite selectivamente partes de la luz desde la fuente 12a, de tal manera que la luz que viaja a través de una seleccionada de la pluralidad de aberturas 132_i segmentadas incide
65 en la córnea C. Ray R demuestra que la abertura 122 de selección transmite luz a la córnea C desde una 132₁ seleccionada de la pluralidad de aberturas segmentadas, cuando la abertura 122 de selección se alinea

apropiadamente con la una 132_1 seleccionada de la pluralidad de aberturas segmentadas. Posteriormente, trasladando la segunda máscara 120 de rendija, la abertura de selección puede colocarse de tal manera que la luz de otra de la pluralidad de aberturas 132_n segmentadas puede transmitirse a la córnea C. Tal colocación de la abertura de selección puede repetirse, de tal manera que la luz desde cada una de la pluralidad de aberturas segmentadas o la luz desde una cualquiera adecuada de la pluralidad de aberturas 132 segmentadas puede transmitirse a la córnea C. Se observará que, en las partes de la primera máscara de rendija y la segunda máscara de rendija que están en el exterior de las aberturas dispuestas en las mismas, las máscaras de rendija son opacas o sustancialmente opacas a la luz de la fuente 12a.

Debe observarse que, aunque en la realización ilustrada, la segunda máscara 120 de rendija (es decir, la máscara que incluye la abertura de selección) está dispuesta aguas arriba (es decir, más cerca de la fuente 12a a lo largo de la trayectoria óptica) de la primera máscara 130 de rendija, en otras realizaciones, la primera máscara de rendija (es decir, la máscara que incluye la pluralidad de aberturas segmentadas) puede disponerse aguas arriba de la segunda máscara de rendija.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, las fuentes 12a y 12b de luz generan la luz en la que se dispone un subsistema de máscara correspondiente. En algunas realizaciones, el sistema de proyección de iluminación proyecta luz desde las fuentes de luz en un cono de luz CN para permitir que la luz se proyecte a través de cada una de las aberturas 132 segmentadas definidas en la primera máscara 130 de rendija sin mover la fuente o cualquier otro componente en el sistema de proyección de iluminación. Es decir, en algunas realizaciones, solo se mueve la segunda máscara 120 de rendija. El movimiento se produce para exponer una determinada de la pluralidad de aberturas segmentadas en la segunda máscara a la luz de una fuente luminosa. Se observará que, en tales realizaciones, la pluralidad de aberturas 132 segmentadas que proporcionan las rendijas de luz pueden permanecer fijas en una ubicación determinada durante la adquisición de la pluralidad de imágenes de rendija usadas para producir una representación del ojo de un sujeto.

En algunas realizaciones, es ventajoso si la fuente es monocromática y adecuadamente brillante. Por ejemplo, puede usarse un LED o una pluralidad de LED para generar la luz. En algunas realizaciones, se ha encontrado útil un LED de alta potencia. En algunas realizaciones, se usa un LED superluminiscente. Un aspecto de la invención se dirige a un único LED de alta potencia configurado y dispuesto para ser capaz de iluminar la pluralidad de aberturas 132 segmentadas, a medida que se mueve la abertura de selección.

En algunas realizaciones, es ventajoso que el subsistema de proyección incluya un sistema de condensador-proyector convencional. En la figura 1, las lentes 14a, 14b del condensador recogen la luz de las fuentes 12a y 12b, respectivamente, y las lentes 18a, 18b del proyector están configuradas y dispuestas de tal manera que las lentes del condensador forman una imagen de las fuentes 12a y 12b sobre las lentes 18a, 18b del proyector, respectivamente. Las lentes del proyector también están configuradas y dispuestas para formar una imagen de las aberturas 132 sobre la córnea C. Habitualmente, es preferible que las rendijas de luz no sean convergentes o divergentes entre la primera máscara de rendija y la córnea. Sin embargo, puede presentarse cierto grado de convergencia o divergencia. Aunque en la realización ilustrada, los proyectores 18a, 18b son lentes, puede usarse cualquier elemento de formación de imágenes adecuado (por ejemplo, un elemento especular y holográfico).

Aunque en la realización ilustrada, las lentes 14a, 14b del condensador se ilustran como lentes, puede usarse cualquier elemento de formación de imágenes adecuado (por ejemplo, un elemento especular y holográfico). En algunas realizaciones pueden omitirse las lentes del condensador. Los componentes del sistema de proyección y la primera máscara 130 de rendija pueden disponerse en una disposición Scheimflug para obtener un plano de imágenes de rendija segmentadas en la córnea C. Además, pueden incluirse uno o más espejos 16a y 16b plegables para dirigir la luz sobre la córnea, y para conseguir una forma de envase apropiada para un alojamiento (no mostrado) del aparato.

A continuación se dan detalles adicionales de la primera máscara 130 de rendija con referencia a la figura 3. La primera máscara 130 de rendija incluye una pluralidad de aberturas 132_1 - 132_n segmentadas. Habitualmente, las rendijas son de una misma anchura W y longitud L y están espaciadas uniformemente; sin embargo, los aspectos de la invención no están tan limitados. Cada una de las aberturas se divide en una pluralidad de segmentos 133_1 a 133_n . Por ejemplo, para construir una abertura que tiene una pluralidad de segmentos, se proporciona una o más divisiones 134_1 a 134_{n-1} en cada una de las aberturas 132. Sin embargo, la salida deseada es una rendija segmentada de luz. Por consiguiente, puede construirse un subsistema 100a, 100b de máscara de cualquier manera adecuada para proporcionar una rendija segmentada de luz. En algunas realizaciones, puede proporcionarse una tercera máscara en un subsistema de máscara que se dispone en una rendija de luz producida por una rendija rectangular (sin divisiones) configurada y dispuesta para producir rendijas segmentadas de luz a lo largo de una longitud correspondiente a la dirección de longitud L. En algunas realizaciones, la abertura 122 de selección puede segmentarse de tal manera que la luz proyectada a través de la misma se segmente antes o después de que pase a través de una de la pluralidad de aberturas 132. Además, debe observarse que para que una abertura se segmente o para que un sistema de proyección se configure para producir una rendija segmentada de luz, las divisiones 134 pueden ser menos que completamente opacas siempre que éstas bloqueen la luz suficiente para producir unas esquinas identificables como se describe a continuación con referencia a la figura 7B. Además, aunque el sistema

de proyección descrito anteriormente está configurado para producir segmentos rectangulares de rendija de luz, los sistemas de proyección pueden configurarse para producir segmentos de rendija de luz que sean diferentes de rectangulares. Por ejemplo, las aberturas 132 pueden dividirse en segmentos cuadrados o segmentos trapezoidales.

5 Por ejemplo, se pueden proporcionar veinte aberturas en la máscara de rendija en el primer brazo 75a (mostrado en la figura 1) de manera que veinte rendijas segmentadas de luz se proyectan sobre la córnea de un sujeto y se obtienen veinte imágenes usando la luz del primer brazo 75a del aparato 10 de medición (mostrado en la figura 1). Por consiguiente, cuando se combinan con veinte imágenes del segundo brazo 75b (mostrado en la figura 1) se obtienen un total de 40 imágenes de rendija del ojo de un sujeto. Se observará que puede proporcionarse cualquier número adecuado de aberturas 132 en la primera máscara de rendija en cada uno de los subsistemas 100a, 100b de máscara (mostrados en la figura 1). Cada abertura 132 puede dividirse a lo largo de su longitud L para facilitar la medición de la superficie posterior de la córnea como se describe a continuación.

15 Por ejemplo, la primera máscara 130 de rendija puede formarse en un sustrato 135 de vidrio de cal sodada o vidrio BK7. Una capa opaca puede depositarse sobre una superficie del sustrato. Por ejemplo, una capa de metal opaca puede depositarse sobre el sustrato, y las aberturas 132 segmentadas pueden formarse posteriormente por ataque químico de las partes de la capa de metal para exponer el sustrato. Cada una de las aberturas tiene una longitud L y una anchura W, de tal manera que en un aparato de medición determinado una rendija segmentada de luz que tiene una longitud L y una anchura W se proyecta sobre una córnea. Habitualmente, las aberturas son de forma rectangular. Sin embargo, puede emplearse cualquier forma adecuada. En algunas realizaciones, puede ser deseable aplicar un revestimiento antirreflectante a una o ambas de las superficies de un sustrato. Aunque la pluralidad de aberturas 132 segmentadas se muestran como formadas sobre un único sustrato (y en un único plano) puede usarse cualquier construcción adecuada en la que las aberturas se formen en ubicaciones fijas en relación unas con otras.

25 A continuación se dan detalles adicionales de la segunda máscara 120 con referencia a la figura 4. La segunda máscara 120 de rendija incluye una única abertura de selección formada en un sustrato 125. La abertura de selección está dimensionada para permitir que la luz pase desde una de la pluralidad de aberturas segmentadas hacia la córnea C (mostrada en la figura 1). Habitualmente, el tamaño de la abertura de selección es mayor en anchura y longitud que una cualquiera de la pluralidad de aberturas segmentadas. La abertura de selección también es, habitualmente, lo suficientemente pequeña, de tal manera que solo se permite pasar la luz a través de una sola de la pluralidad de aberturas segmentadas y sobre la córnea C. Habitualmente, una abertura de selección no está segmentada; sin embargo, puede segmentarse tal como se ha descrito anteriormente.

35 En la realización ilustrada de la segunda máscara de rendija, también se proporciona una parte 124 de abertura (habitualmente la mitad de la longitud de la abertura de selección). La parte de abertura se usa para la alineación del aparato de medición en relación con la córnea de un sujeto en la que debe hacerse la medición corneal. La parte de abertura se alinea con una de la pluralidad de aberturas segmentadas en la primera máscara de rendija, de tal manera que la luz se proyecta a través de solo una parte de la una de la pluralidad de aberturas segmentadas y una parte de una rendija de luz se proyecta sobre la mitad del ojo de un sujeto mediante el primer brazo 75a (mostrado en la figura 1) (por ejemplo, una mitad superior de una rendija se forma en la mitad del ojo del sujeto mediante el primer brazo).

45 Otra, la segunda máscara 120 de rendija que también tiene un parte de abertura, se dispone en el otro brazo 75b (mostrado en la figura 1). Al igual que la parte de abertura en el primer brazo, la parte de abertura en el segundo brazo se alinea con una de la pluralidad de aberturas segmentadas en la primera máscara de rendija del segundo brazo. Una vez más, la abertura se dispone para proyectar la luz sobre la mitad de la córnea del sujeto (por ejemplo, una mitad inferior de una abertura se forma en la mitad del ojo del sujeto). De una manera convencional, la córnea del sujeto se alinea con el aparato de medición, colocando o al sujeto o a la máquina de tal manera que las dos partes de las rendijas de luz se alinean para formar una rendija de luz única y de longitud (L) completa (por ejemplo, la mitad superior de la rendija de luz del primer brazo se alinea con la mitad inferior de la rendija de luz del segundo brazo para formar una rendija de luz única y completa). Las segundas máscaras 120 de rendija (en el primer y segundo brazo) pueden formarse de una manera similar a la descrita anteriormente para la primera máscara 130 de rendija. Las partes de abertura no están, habitualmente, segmentadas.

55 Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, el subsistema 50 de captura de imágenes se dispone para ser capaz de capturar una imagen de la luz proyectada para cada una de la pluralidad de aberturas segmentadas después de que la luz incide en la córnea. Se observará que, para capturar las imágenes para obtener una representación de una córnea, cada una de la pluralidad de aberturas segmentadas se selecciona de forma secuencial alineando apropiadamente cada abertura segmentada con la abertura de selección como se ha descrito anteriormente. La luz se proyecta a través de los segmentos de una abertura 132 determinada al mismo tiempo. El subsistema 50 de captura de imágenes puede ser cualquier dispositivo de formación de imágenes convencional adecuado, tal como una cámara CCD.

65 El aparato 110 de traslación puede comprender cualquier mecanismo adecuado para trasladar la segunda máscara 120 de rendija para proyectar rendijas de luz desde la pluralidad de aberturas 132 en la primera máscara 130 de

rendija a la córnea C. Por ejemplo, el aparato de traslación puede comprender un motor de traslación lineal capaz de mover la segunda máscara de rendija en una dirección perpendicular a la longitud L de la pluralidad de aberturas 132.

5 El aparato 10 de medición corneal también incluye un subsistema de procesamiento de imágenes para convertir las imágenes en una única representación de la córnea. Las técnicas para reconstruir una representación de la córnea de un sujeto una vez que se obtienen las imágenes de rendija son bien conocidas y no se describen adicionalmente en el presente documento. Sin embargo, se dan a continuación detalles adicionales para el uso de una abertura segmentada para caracterizar la superficie posterior de una córnea. Los sistemas de proyección que se describen en el presente documento pueden usarse con topógrafos de córnea, aparatos perfiladores de córnea y analizadores de la cámara anterior.

10 El aparato 10 de medición corneal incluye un aparato 60 de colocación del sujeto adaptado para mantener la córnea de un sujeto en una ubicación. Por ejemplo, el aparato puede estar provisto de una mentonera y/o un reposa frentes, que fijarán la ubicación de la cabeza del sujeto

15 La figura 5 es una vista en planta ampliada que muestra una realización alternativa de un brazo 500 del aparato de medición corneal de la figura 1. El brazo 500 es igual que el brazo de la figura 2, excepto como se describe en este caso. El brazo 500 comprende un subsistema de máscara que comprende una primera máscara 510 de rendija que tiene una única abertura 520 configurada para producir rendijas segmentadas de luz. La primera máscara 510 de rendija está acoplada a un aparato 110 de traslación que traslada la máscara para producir una pluralidad de rendijas en una ubicación diferente en la córnea C. No hay una máscara de selección en el brazo 500.

20 La figura 6 es una vista en planta de la primera máscara 510 de rendija de la figura 5 vista a lo largo de la línea 6-6 de la figura 5. La primera máscara 510 de rendija incluye una única abertura 520 segmentada que tiene una pluralidad de divisiones 134₁-134_n.

25 Aunque las realizaciones ilustradas en las figuras 2 y 5 se construyen para trasladar una máscara de rendija que tiene una abertura segmentada, se observará que los aspectos de la presente invención pueden usarse con aparatos que se construyen para mover tales máscaras de rendija de otras maneras. Por ejemplo, tales máscaras de rendija, pueden usarse en un aparato construido para girar la máscara de rendija sobre un eje. Ejemplos de tales aparatos se dan en la patente de Estados Unidos N° 4.171.877 de Karasawa y la patente de Estados Unidos N° 6.286.958 de Koest.

30 Las figuras 7A-9B son ilustraciones esquemáticas de la luz proyectada desde una abertura segmentada de acuerdo con los aspectos de la invención. La luz puede ser de una abertura de una primera máscara de rendija que tiene una pluralidad de aberturas, tal como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 3, o puede ser de una primera máscara de rendija que solo tiene una única abertura como se ha descrito con referencia a la figura 6.

35 La figura 7A es una vista en planta de un ojo que ilustra una trayectoria 710 de entrada y una trayectoria 720 de salida de una única rendija segmentada de luz proyectada en su interior. La rendija de luz tiene una pluralidad de segmentos de luz 730₁-730_n en su trayectoria de entrada y una pluralidad de segmentos de luz 732₁-732_n en su trayectoria de salida. La rendija de luz entra en el ojo a lo largo de una línea que se interseca con la córnea curva y por lo tanto forma una línea curva de iluminación en la ubicación de entrada.

40 La figura 7B es una vista en planta ampliada de un ojo de la figura 7A, que ilustra la trayectoria 710 de entrada de una rendija segmentada de luz que tiene unos segmentos 730₁-730_n en la superficie de la córnea. Los segmentos tienen un borde 734_L delantero (el lado derecho) y un borde 734_T trasero (el lado izquierdo), y una esquina 734_{LC} delantera y una esquina 734_{TC} trasera.

45 La figura 7C es una vista en planta ampliada del ojo de la figura 7A, que ilustra la trayectoria de salida de una rendija segmentada de luz que tiene unos segmentos 738₁-738_n en la superficie de la córnea. Los segmentos tienen un borde 736_T trasero (el lado derecho) y un borde 736_L delantero (el lado izquierdo), y una esquina 736_{TC} trasera y una esquina 736_{LC} delantera.

50 La figura 8 es una vista en sección transversal del ojo tomada a lo largo de la línea 8-8 de la figura 7A que muestra la trayectoria de entrada y la trayectoria de salida de la rendija de luz. La vista ilustra una sección transversal de un segmento de la rendija segmentada de luz. La vista ilustra la luz que entra en la córnea C, se refleja desde la superficie posterior de la córnea, y sale de la córnea.

55 Las figuras 9A y 9B son vistas en sección transversal del ojo tal como se muestra en la figura 8, que incluyen características relevantes para medir la superficie posterior del ojo. Por motivos de simplicidad, solo un rayo de entrada del borde delantero para un punto 734_{LC} de esquina delantero, un rayo de entrada del borde trasero para un punto 734_{TC} de esquina y el punto 736_{TC} de esquina de salida del borde trasero se ilustran en las figuras 9A y 9B. Debe observarse que los puntos anteriores se muestran como en la superficie de la córnea en una única sección transversal por motivos de simplicidad. Debe observarse además que cualquiera de los puntos anteriores puede

tener cualquier ubicación en el espacio tridimensional (3-D) como se ha determinado por la córnea de un sujeto. Aunque a continuación se discuten los cálculos solo para las esquinas inferiores de un segmento determinado, también pueden usarse las esquinas superiores de un segmento.

5 La siguiente discusión presenta un ejemplo de una técnica de cálculo que usa la luz proyectada desde una abertura segmentada. Cualquier técnica de cálculo adecuada puede usarse con aberturas segmentadas de acuerdo con los aspectos de la presente invención.

10 Antes de la medición de un ojo se conoce la siguiente información en relación con el plano del sensor de la cámara en el subsistema 50 de captura de imágenes (mostrado en la figura 1):

- 1.) la distancia al plano de imagen de la cámara.
- 2.) la ubicación del punto focal F (también habitualmente denominado el punto de fuga) de la cámara. Cualquier técnica conocida puede usarse para determinar la ubicación del punto focal F.
- 15 3.) las trayectorias de los rayos de entrada (incluyendo los rayos correspondientes a las esquinas (por ejemplo, la esquina 734_{LC})) se conocen antes de la medición del ojo. Puede usarse cualquier técnica adecuada de determinación de la trayectoria de un rayo de luz. Por ejemplo, pueden usarse las superficies difusamente reflectantes, como se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos N° 11/610.059, titulada Optical Calibration System and Method, presentada el 13 de diciembre de 2006, por Lai y col.

20 Los cálculos y las mediciones se realizan de la siguiente manera.

A. Determinar la topografía de la superficie anterior de la córnea.

25 Haciendo referencia a la figura 9A, se determina la ubicación en el espacio 3-D del punto de entrada correspondiente a las esquinas de los bordes delanteros de los segmentos de luz.

- I. Se determina un primer punto en la CCD correspondiente a la esquina 734_{LC} de entrada del borde delantero usando técnicas convencionales de detección de bordes.
- 30 II. Se determina una primera línea que se extiende a través del punto focal F y el primer punto.
- III. Se calcula una intersección de la primera línea con la trayectoria del rayo de entrada del rayo de entrada del borde delantero para el punto 734_{LC} de esquina (conocido a priori). El rayo y la primera línea no pueden intersectarse debido a las aberraciones de la naturaleza discreta (o pixelada) de la imagen digital, o debido a las estimaciones de calibración, etc. En ausencia de una intersección entre la primera línea y el rayo de
- 35 entrada del borde delantero, la ubicación del paso más cercano de las líneas se selecciona como punto de entrada (x_1, y_1, z_1) del borde delantero.
- IV. Cuando se identifican todos los puntos de entrada en la superficie anterior (correspondientes a todas las ubicaciones de rendija), se fija una superficie a la pluralidad de puntos de entrada. Por ejemplo, una superficie puede fijarse usando una superficie base racional no uniforme (NURB), una ranura cúbica, o simplemente fijando una superficie esférica. A continuación puede calcularse una normal en cualquier ubicación de la
- 40 superficie anterior.

B. Trazar un rayo de entrada correspondiente al rayo de entrada del borde trasero.

- 45 I. Dado que se conoce la forma de la abertura y también se conoce un rayo correspondiente al rayo de entrada del borde delantero para el punto 734_{LC} de esquina, se calcula un rayo correspondiente al rayo de entrada del borde trasero para el punto 734_{TC} de esquina (mostrado en la figura 9B).
- II. La ley de Snell se aplica usando el conocimiento de la normal a la superficie (calculada anteriormente) y la trayectoria del rayo de entrada del borde trasero para el punto 734_{TC} de esquina para determinar la dirección del borde trasero después de que el rayo pasa a través de la superficie anterior de la córnea.
- 50

C. Determinar la ubicación en el espacio 3D del punto de salida del borde trasero.

- I. Se determina un segundo punto en la CCD correspondiente al punto 736_{TC} de esquina de salida del borde trasero usando las técnicas convencionales de detección de bordes.
- 55 II. Se establece una segunda línea que se extiende a través del punto focal F y el segundo punto.
- III. La ley de Snell se aplica usando el conocimiento de la normal a una superficie de la superficie anterior de la córnea (calculada como anteriormente) y la segunda línea para determinar la dirección del rayo de salida del borde trasero correspondiente al punto 736_{TC} dentro de la superficie anterior de la córnea.
- 60

D. Determinar la forma de la córnea.

- I. Se usan una intersección del rayo de entrada del borde trasero correspondiente al punto 734_{TC} de esquina después de pasar a través de la superficie anterior de la córnea, y el conocimiento de la dirección del rayo de salida del borde trasero correspondiente a la esquina 736_{TC} dentro de la superficie anterior de la córnea para determinar un punto de reflexión (x_2, y_2, z_2) en la superficie posterior de la córnea. Sin embargo, el rayo de
- 65

entrada del borde trasero dentro de la córnea y el rayo de salida del borde trasero dentro de la córnea no pueden intersectarse debido a las aberraciones de la naturaleza discreta (o pixelada) de la imagen digital, o debido a las estimaciones de calibración, etc. En ausencia de una intersección, se selecciona la ubicación del paso más cercano de los dos rayos como el punto de reflexión (x_2, y_2, z_2) del borde delantero.

5 II. Cuando se han identificado todos los puntos de reflexión, se fija una superficie a la pluralidad de superficies que representa la superficie posterior de la córnea. Por ejemplo, puede fijarse una superficie usando una superficie base racional no uniforme (NURB), una ranura cúbica, o simplemente fijando una superficie esférica. A continuación puede calcularse una normal en cualquier ubicación de la superficie anterior.

10 Debería observarse que el cálculo de la forma de la superficie posterior de la córnea se facilitó proyectando segmentos de una rendija de luz, porque los rayos de salida y los rayos de entrada que han de intersectarse para determinar la ubicación de la superficie posterior en un punto determinado pueden identificarse fácilmente (es decir, están ubicados en la esquinas). Es decir, se supone que el rayo de entrada correspondiente a una esquina trasera determinada de un segmento se interseca con el rayo de salida correspondiente a la misma esquina trasera. Una
15 rendija continua (es decir, una rendija sin segmentos) no proporciona dicha ventaja.

Habiendo descrito de esta manera los conceptos inventivos y varias realizaciones ejemplares, será evidente para los expertos en la materia que la invención puede implementarse de varias formas, y que a dichas personas se les ocurrirán fácilmente modificaciones y mejoras. Por lo tanto, no se pretende que las realizaciones sean restrictivas y se presenten solo a modo de ejemplo. La invención está limitada solo cuando sea necesario por las reivindicaciones
20 siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para medir la córnea de un sujeto, que comprende:
- 5 (A.) un subsistema (13a, 13b) de proyección de iluminación que comprende una fuente (12a, 12b) de luz;
 (B.) un subsistema (100a, 100b) de máscara dispuesto en una trayectoria de la luz desde la fuente de luz, configurado el subsistema de máscara para producir una rendija segmentada de la luz;
 (C.) un elemento (18a, 18b) de formación de imágenes configurado y dispuesto para formar una imagen de la rendija segmentada de luz sobre la córnea; y
 10 (D.) un subsistema (50) de captura de imágenes dispuesto para capturar imágenes de la rendija segmentada de luz después de que la rendija segmentada de luz incide en la córnea.
2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el subsistema de máscara comprende una primera máscara de rendija que comprende una abertura segmentada.
- 15 3. El aparato de la reivindicación 2, en el que la abertura segmentada está configurada para producir segmentos rectangulares de luz.
4. El aparato de la reivindicación 2, que comprende además un aparato de traslación adaptado para trasladar la primera máscara de rendija.
- 20 5. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además:
- (E.) un segundo subsistema de proyección de iluminación que comprende una segunda fuente de luz, y
 25 (F.) un segundo subsistema de máscara dispuesto en una trayectoria de la segunda luz desde la segunda fuente de luz, configurado el segundo subsistema de máscara para producir una rendija segmentada de la segunda luz.
6. El aparato de la reivindicación 1, en el que el subsistema de máscara comprende una primera máscara de rendija que define una pluralidad de aberturas y en el que, preferentemente, la pluralidad de aberturas están dispuestas en un único plano.
- 30 7. El aparato de la reivindicación 6, en el que la pluralidad de aberturas están formadas en un único sustrato.
- 35 8. El aparato de la reivindicación 7, en el que la pluralidad de aberturas está definida por unas aberturas en una capa opaca depositada sobre el sustrato.
9. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un subsistema de procesamiento de imágenes acoplado al subsistema de captura de imágenes, estando adaptado el subsistema de procesamiento de imágenes para convertir una pluralidad de imágenes en una única representación de la córnea.
- 40 10. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un aparato de colocación del sujeto adaptado para mantener la córnea del sujeto en una ubicación.
- 45 11. Un método para facilitar la medición de la córnea de un sujeto, que comprende:
- (A.) proyectar una rendija segmentada de luz sobre la córnea;
 (B.) formar una imagen de la rendija segmentada de luz después de que ésta incide en la córnea para formar una imagen; y
 50 (C.) usar al menos dos esquinas en la imagen para calcular una trayectoria de la luz hacia la superficie posterior de la córnea.
12. El método de la reivindicación 11, en el que la etapa de proyección comprende proyectar luz a través de una primera máscara de rendija que comprende una abertura segmentada.
- 55 13. El método de la reivindicación 11, en el que la etapa de proyección comprende proyectar luz para producir segmentos rectangulares de luz.
14. El método de la reivindicación 12, que comprende además trasladar la primera máscara de rendija.
- 60 15. El método de la reivindicación 11, en el que la etapa de proyección comprende proyectar luz a través de una primera máscara de rendija que define una pluralidad de aberturas.

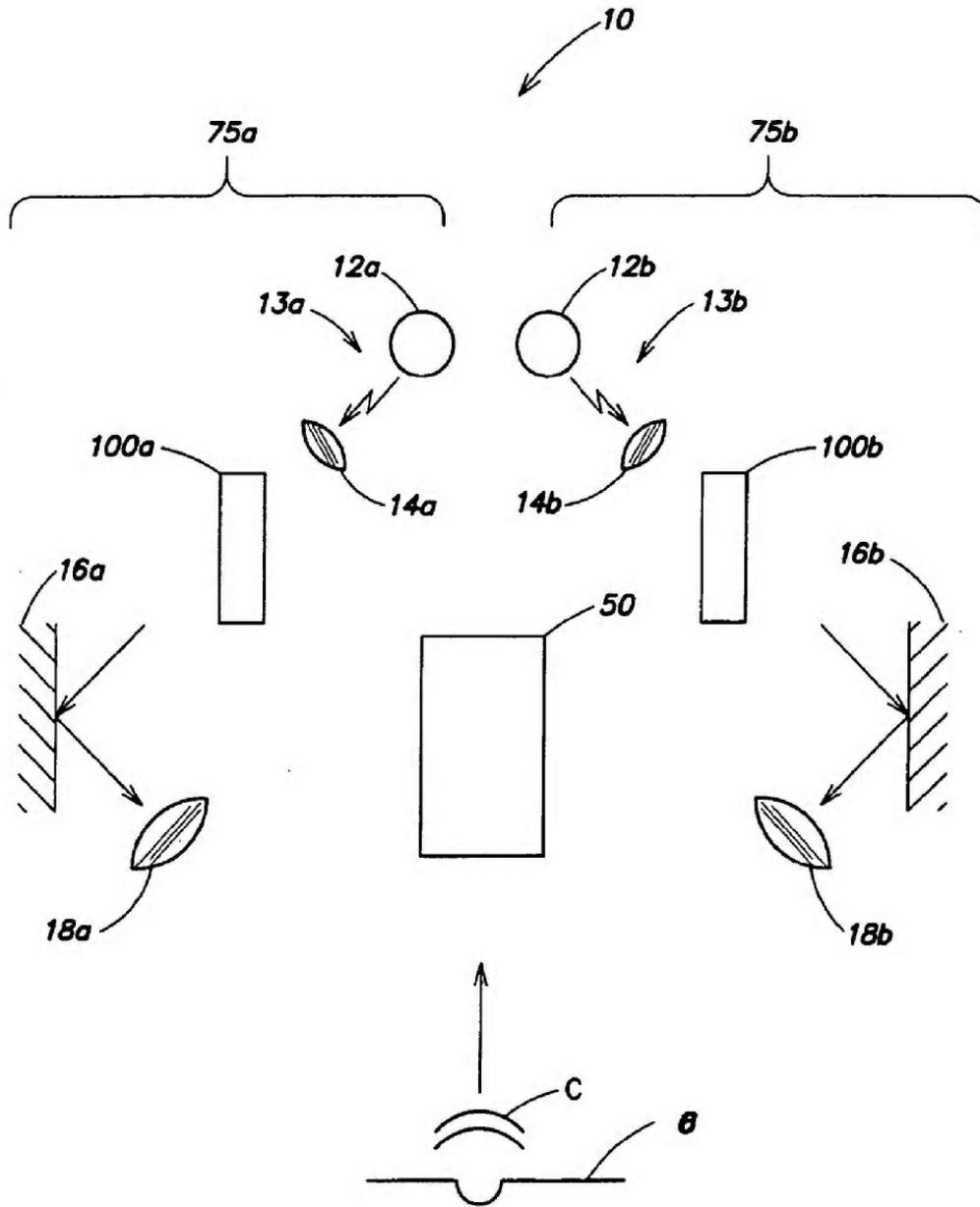


FIG. 1

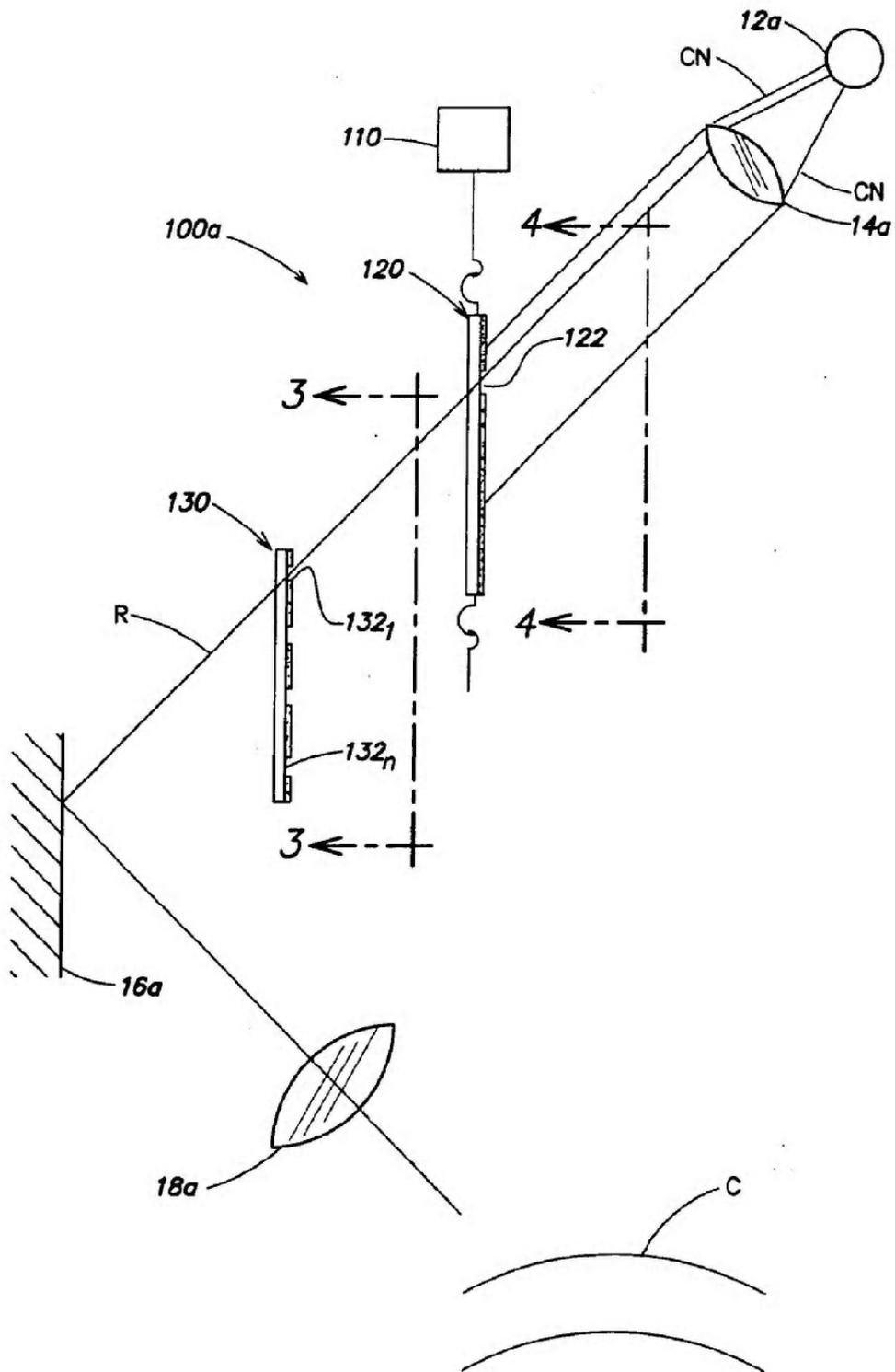


FIG. 2

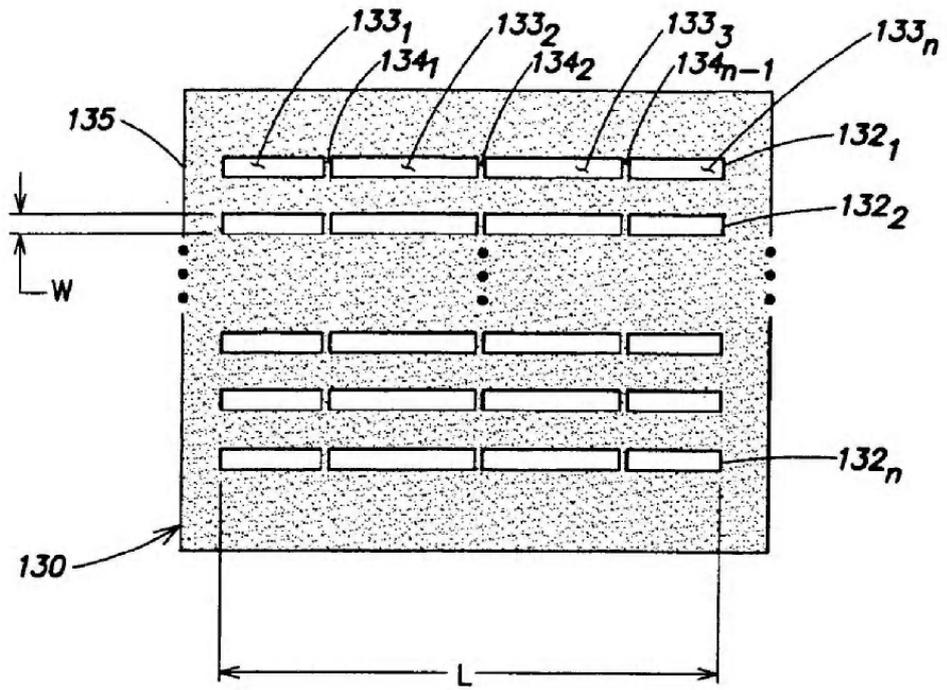


FIG. 3

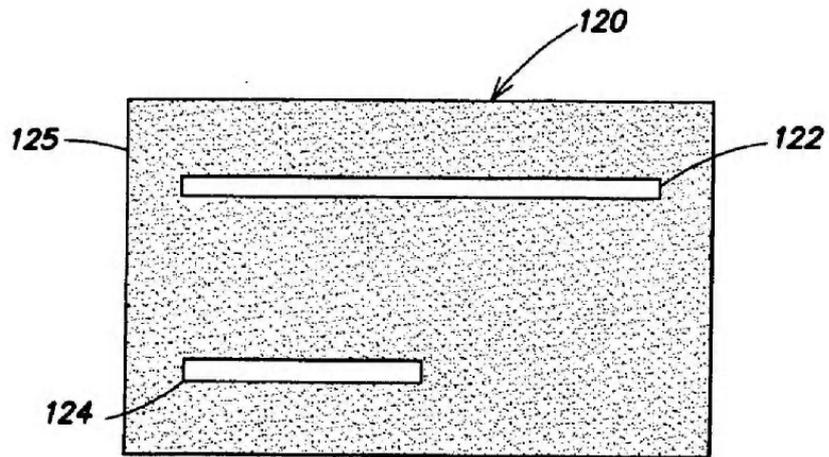


FIG. 4

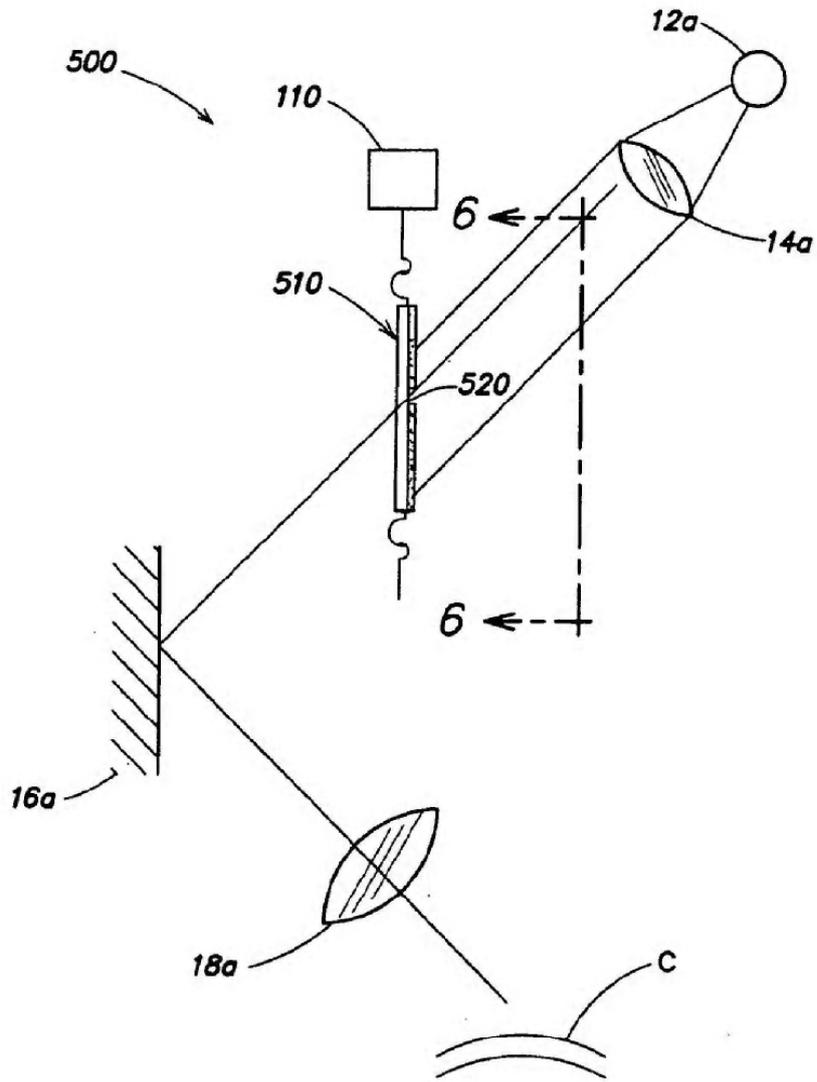


FIG. 5

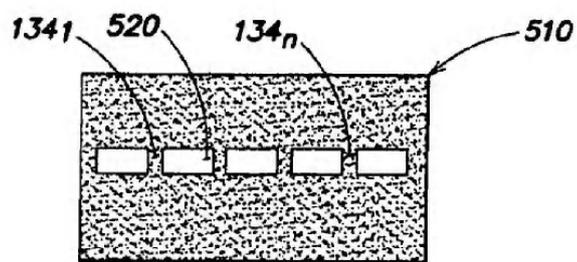


FIG. 6

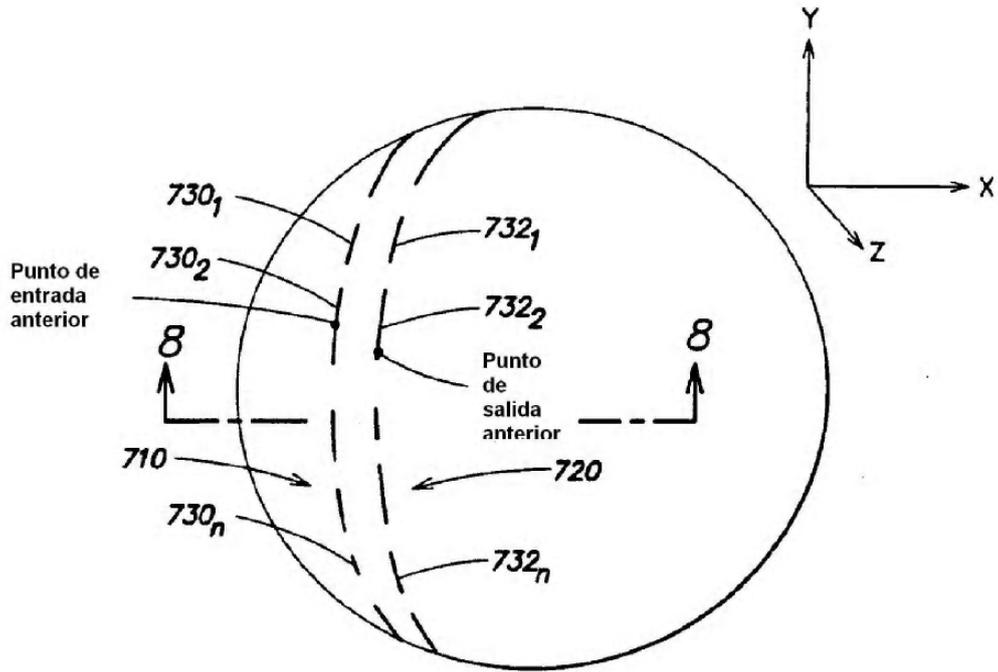


FIG. 7A

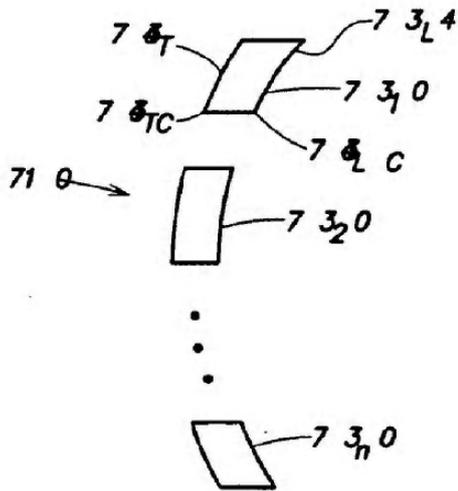


FIG. 7B

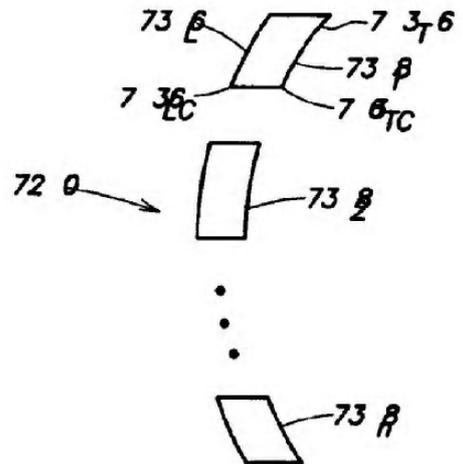


FIG. 7C

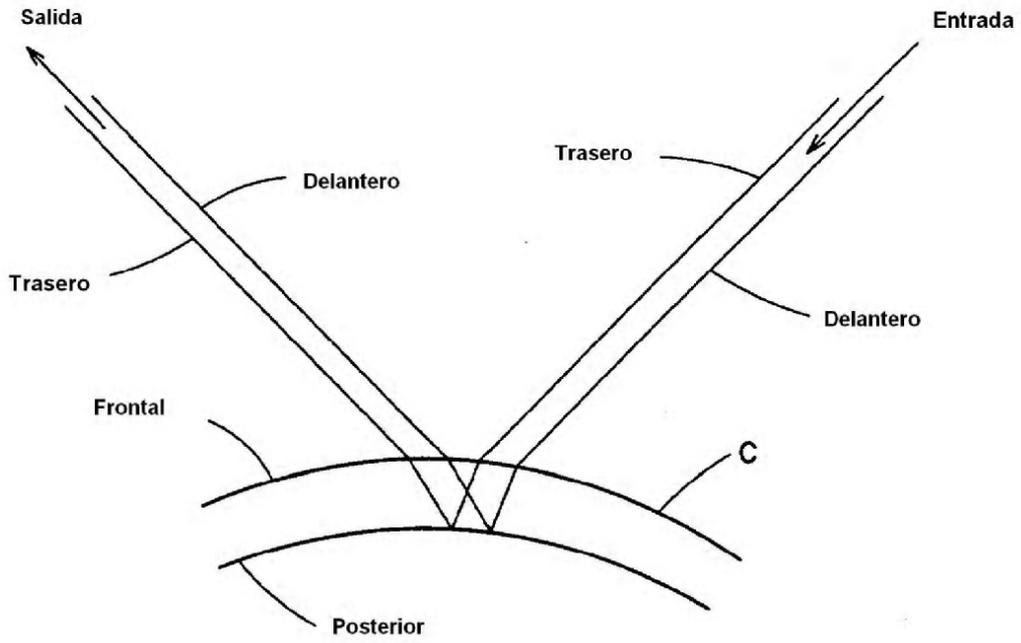


FIG.8

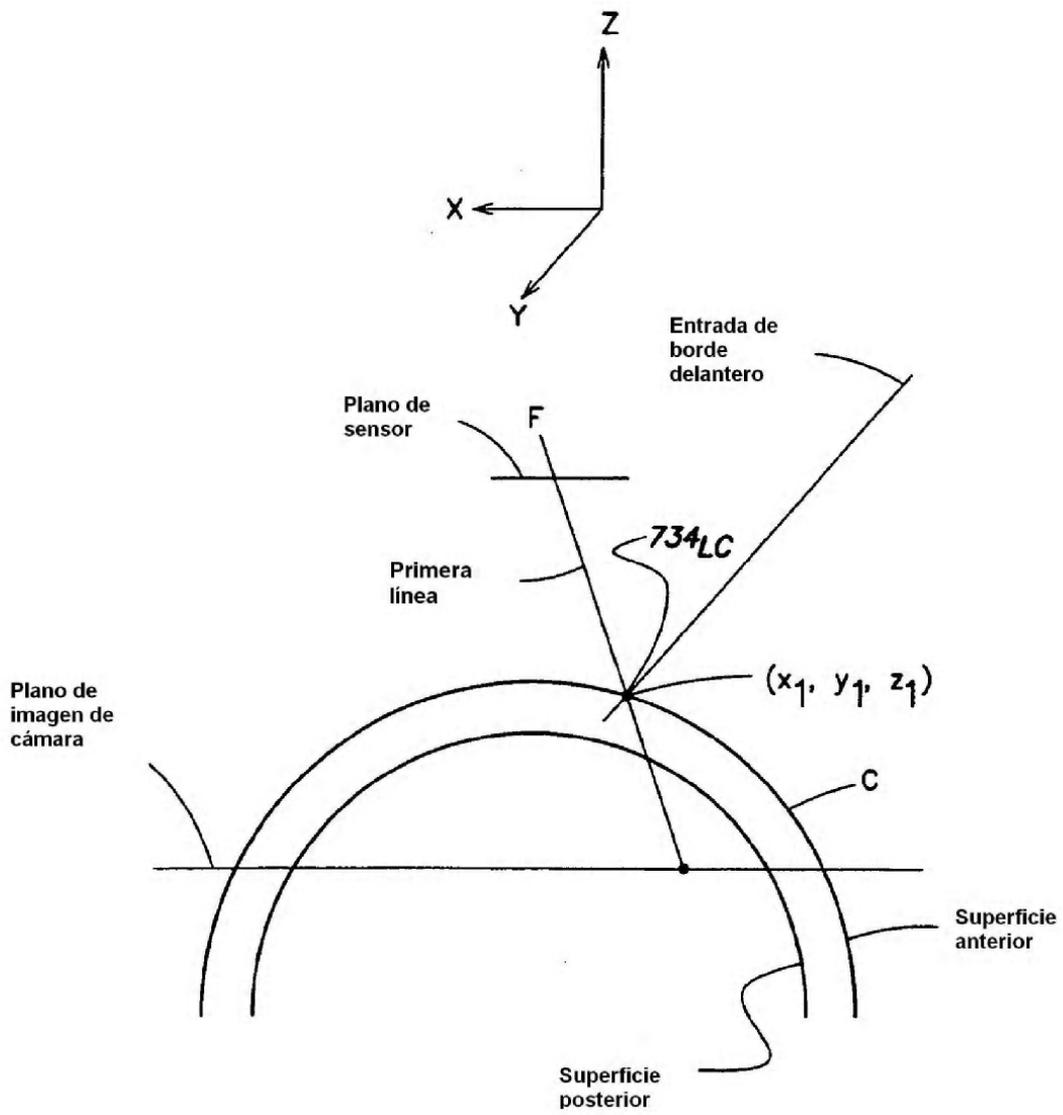


FIG. 9A

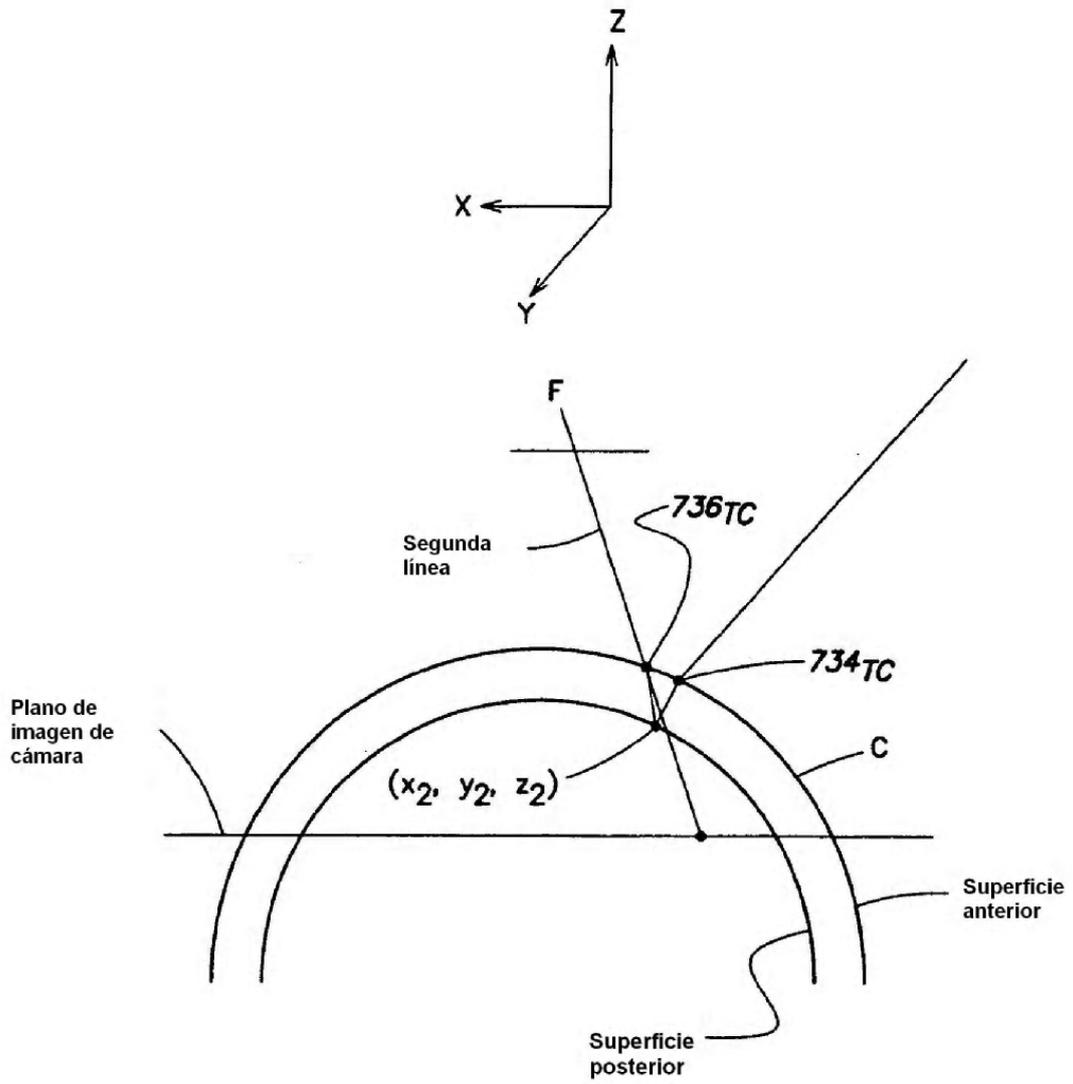


FIG. 9B