

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 741**

51 Int. Cl.:  
**A61B 3/113** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07842939 .6**  
96 Fecha de presentación: **21.09.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2076167**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.07.2009**

54 Título: **Aparato y método para determinar la posición de un ojo**

30 Prioridad:  
**27.09.2006 US 528130**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**31.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**31.10.2012**

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

72 Inventor/es:  
**LAI, MING;  
EAGAN, BARRY T. y  
ALLRED, LLOYD G.**

74 Agente/Representante:  
**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 389 741 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 y método para determinar la posición de un ojo

**5 Campo de la invención**

La presente invención relata a métodos y aparatos para determinar la posición del ojo de un sujeto y, más particularmente, a métodos ópticos y aparatos ópticos para determinar la posición del ojo de un sujeto.

**10 Antecedentes de la invención**

El deseo de determinar de forma precisa la posición del ojo de un sujeto se manifiesta en muchos campos de trabajo. Por ejemplo, en aplicaciones oftálmicas, el conocimiento de la posición de un ojo es deseable para realizar mediciones oculares o para realizar cirugía refractiva.

15 Se conocen diversos aparatos para determinar la posición del ojo de un sujeto. La figura 1 es una ilustración esquemática de un primer aparato convencional para determinar la posición del ojo de un sujeto. Un primer láser 10 y un segundo láser 20 están alineados de modo que los haces de los láseres intersecan en una ubicación L. El ojo del sujeto se lleva a una ubicación longitudinal L (en la dirección y) observando una imagen de la luz en los haces que es dispersada por la córnea del sujeto C usando una cámara 50. Cuando dos puntos  $R_1$  y  $R_2$  son observados por la cámara, el ojo del sujeto está delante o detrás de la ubicación L; y cuando se observa un único punto el ojo del sujeto está en la ubicación. Dicha disposición no es sensible al desplazamiento lateral del ojo (es decir, en la dirección x o la dirección z).

25 La figura 2 es una ilustración esquemática de otro aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto. Usando el aparato de la figura 2, una primera fuente puntual 60 y una segunda fuente puntual 70 se disponen para proyectar luz sobre el ojo de un sujeto. Una cámara está situada para captar imágenes de la luz reflejada desde la córnea del sujeto.

30 Dado que la córnea funciona como una superficie especular convexa, la cámara 75 observa imágenes virtuales  $S_1'$  y  $S_3'$  de las fuentes puntuales. El ojo puede llevarse a una ubicación conocida moviendo el ojo de modo que las imágenes  $S_1$  y  $S_3$  se sitúen de forma simétrica alrededor de una línea central correspondiente al eje óptico. El aparato en la figura 2 determina una posición lateral (es decir, en la dirección x y la dirección z) del ojo. Sin embargo, la técnica no es sensible al desplazamiento a lo largo del eje longitudinal (es decir, en la dirección y).

35 Aunque los aparatos anteriores proporcionan cierto conocimiento de la posición del ojo, se necesita un dispositivo que pueda proporcionar información más precisa sobre la posición de un ojo y/o una técnica más sencilla de determinación de la posición.

40 El documento WO 2005/099639 A se refiere a un sistema láser para tratar un ojo, en el que el sistema láser comprende un detector de la posición del ojo que incluye un rastreador corneal. El rastreador corneal comprende dos o cuatro fuentes de luz que emiten una luz hacia el ojo. El rastreador corneal rastrea los reflejos de las fuentes de luz desde la córnea usando una cámara y técnicas de procesamiento de imágenes.

**45 Resumen**

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un aparato para determinar la posición de la córnea de un sujeto, que comprende un primer aparato de iluminación adaptado para proporcionar un primer haz de luz y una primera parte difusa de luz, emanando la primera parte difusa de un punto coincidente con el primer haz; y una cámara, estando el primer aparato de iluminación y la cámara configurados y dispuestos para formar una primera imagen de un punto de dispersión del primer haz en la córnea, y para formar una segunda imagen de la primera parte difusa reflejada desde la córnea.

55 En algunas realizaciones, el primer aparato de iluminación comprende un primer láser adaptado para proporcionar el primer haz de luz, y una primera abertura dispuesta en el primer haz y adaptada para generar la primera parte difusa de luz. En algunas realizaciones, el aparato comprende, además, una estructura para mantener la cabeza del sujeto en una posición seleccionada, estando el primer aparato de iluminación dirigido para proyectar el primer haz y la primera parte difusa hacia una posición correspondiente a la córnea del sujeto. La estructura para mantener la cabeza del sujeto puede comprender un soporte para la barbilla para posicionar la córnea del sujeto. En algunas realizaciones, el primer aparato de iluminación comprende un primer agujero estenoico configurado y dispuesto para determinar una forma del primer haz y para difractar una parte de la luz desde el primer haz para formar la primera parte difusa.

65 El aparato puede comprender, además, un segundo aparato de iluminación adaptado para proporcionar un segundo haz de luz y una segunda parte difusa de luz, emanando la segunda parte difusa desde un punto coincidente con el segundo haz. En dichas realizaciones, el segundo aparato de iluminación y la cámara pueden estar configurados y

5 dispuestos para formar una tercera imagen de un punto de dispersión del segundo haz en la córnea, y para formar una cuarta imagen de la segunda parte difusa reflejada desde la córnea. En algunas de dichas realizaciones, la cámara tiene un eje óptico, y las primera y tercera imágenes se disponen de forma simétrica alrededor del eje óptico, cuando una córnea está situada a lo largo de un eje óptico de la cámara. Las segunda y cuarta imágenes pueden disponerse de forma simétrica alrededor del eje óptico, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara. Las primera, segunda, tercera y cuarta imágenes pueden estar dispuestas en los puntos medios de un rectángulo, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara. Las primera, segunda, tercera y cuarta imágenes pueden estar dispuestas en los puntos medios de un cuadrado, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara. En otras realizaciones, las primera, segunda, tercera y cuarta imágenes pueden estar dispuestas en una línea recta, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara.

15 En algunas realizaciones, el aparato comprende un procesador acoplado eléctricamente a la cámara y programado para calcular la posición de un ojo usando la imagen de un punto de dispersión del primer haz en la córnea y la imagen de la primera parte difusa reflejada desde la córnea.

20 El aparato puede estar en combinación con un dispositivo paquimétrico adaptado para adquirir una pluralidad de imágenes del ojo del sujeto, en el que el aparato está adaptado para proporcionar la posición del ojo para cada una de la pluralidad de imágenes. En otras realizaciones, el aparato está en combinación con un dispositivo de cirugía refractiva adaptado para realizar un tratamiento, en el que el aparato está adaptado para proporcionar datos de la posición del ojo al dispositivo de cirugía y el dispositivo de cirugía refractiva está adaptado para modificar el tratamiento en respuesta a los datos de la posición.

Otro aspecto de la invención se refiere a un aparato tal como se define en la reivindicación 16.

25 El primer punto y el segundo punto pueden ser coincidentes entre sí. En algunas realizaciones, cada una de la primera imagen, segunda imagen, tercera imagen y la cuarta imagen se disponen en un punto medio correspondiente de un lado de un cuadrado que está centrado alrededor de un punto correspondiente al eje óptico de la cámara.

30 Otro aspecto de la invención se refiere a un aparato, tal como se define en la reivindicación 19.

### Breve descripción de los dibujos

35 Se describirán realizaciones ilustrativas no limitantes de la presente invención a modo de ejemplo en referencia a los dibujos adjuntos, en los que el mismo número de referencia se usa para designar componentes iguales o similares en diferentes figuras, y en los que:

La figura 1 es una ilustración esquemática de un aparato de la técnica anterior para determinar la posición de un ojo;

La figura 2 es una ilustración esquemática de otro aparato de la técnica anterior para determinar la posición de un ojo;

La figura 3A es una ilustración esquemática de una vista lateral de un ejemplo de un aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto, que ilustra las trayectorias de haces de luz incidentes sobre el ojo;

La figura 3B es una ilustración esquemática de la misma vista lateral que se ilustra en la figura 3A, que ilustra las trayectorias de luz desde las fuentes puntuales, siendo cada una de las fuentes puntuales coincidente con uno correspondiente de los haces de luz incidentes mostrados en la figura 3A;

La figura 4 es una ilustración esquemática del aparato de la figura 3A, tal como se ve a lo largo de la línea 4-4;

La figura 5 es una ilustración esquemática del aparato de la figura 3A, tal como se ve a lo largo de la línea 5-5;

La figura 6A es una ilustración esquemática de las imágenes generadas por la cámara en la figura 3A, cuando el ojo del sujeto está alineado apropiadamente con el aparato;

Las figuras 6B y 6C son ilustraciones esquemáticas de las imágenes generadas por el aparato en la figura 3A, cuando el ojo está alineado de forma inapropiada con el aparato;

La figura 7 es una ilustración esquemática de una vista lateral de otro ejemplo de una realización de un aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto;

La figura 8 es una ilustración esquemática del aparato de la figura 7, tal como se ve a lo largo de la línea 8-8;

La figura 9 es una ilustración esquemática del aparato de la figura 7, tal como se ve a lo largo de la línea 9-9;

La figura 10 es una ilustración esquemática de las imágenes generadas por la cámara en la figura 7;

La figura 11 es una ilustración esquemática de una vista lateral de otro ejemplo de una realización de un aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto, usando cuatro fuentes diferentes;

La figura 12 es una ilustración esquemática del aparato de la figura 11, tal como se ve a lo largo de la línea 12-12;

La figura 13 es una ilustración esquemática de un aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto en combinación con otro instrumento oftálmico;

La figura 14A es una ilustración esquemática de una vista de sección transversal de una parte del ojo de un

sujeto que muestra tramos de la imagen que corresponden a imágenes tomadas para el análisis paquimétrico del ojo; y

La figura 14B es una ilustración esquemática de una vista en planta del ojo de un sujeto que muestra los tramos de la imagen de la figura 14A.

5

**Descripción detallada**

Las figuras 3A, 3B, 4 y 5 son ilustraciones esquemáticas de un ejemplo de una realización de un aparato 300 para determinar la posición del ojo de un sujeto de acuerdo con aspectos de la invención. El aparato comprende un primer aparato de iluminación 310, un segundo aparato de iluminación 320 y una cámara 330.

10

El primer aparato de iluminación está adaptado para proporcionar un primer haz de luz  $B_1$  (mostrado en la figura 3A) y una primera parte difusa de luz  $D_1$  (mostrada en la figura 3B). Similar al primer aparato de iluminación, el segundo aparato de iluminación está adaptado para proporcionar un primer haz de luz  $B_2$  y una primera parte difusa de luz  $D_2$ .

15

El primer aparato de iluminación y el segundo aparato de iluminación pueden comprender cualquier estructura adecuada para proporcionar los haces y partes difusas respectivas. Por ejemplo, tal como se ilustra en la figura 3A, el aparato de iluminación puede comprender una fuente de luz láser y un agujero estenopeico (es decir, una pequeña abertura) situado en la trayectoria del haz generado por el láser. El agujero estenopeico genera la parte difusa mediante difracción de una parte del haz. La parte difractada de la luz forma frentes de onda a la manera de una fuente puntual y una parte del haz generado por el láser sigue propagándose como un haz. Se apreciará que, como resultado, la parte difusa emana desde un punto  $P_1$  que es coincidente con el haz  $B_1$ .

20

En una realización alternativa, el aparato de iluminación comprende un láser y un dispositivo de dispersión situado en la trayectoria del haz. El dispositivo de dispersión genera una parte difusa dispersando una parte del haz generado por el láser. La parte dispersada de la luz forma frentes de onda a la manera de una fuente puntual y una parte del haz generado por el láser sigue propagándose como un haz. Se apreciará que la parte difusa emana desde un punto que es coincidente con el haz. En algunas realizaciones, un elemento óptico difractivo (EOD) puede usarse para generar frentes de onda a la manera de una fuente puntual. En algunas realizaciones, un LED puede constituir la fuente de luz que genera el haz y la fuente puntual coincidente. En las realizaciones anteriores, se apreciará que una única fuente de luz proporciona luz para generar tanto un haz como una parte difusa. La expresión "fuente de luz" se refiere a un aparato que crea energía lumínica.

25

30

Tal como se ilustra en la figura 5, la cámara 330 está configurada y dispuesta para formar una imagen a partir de una parte del primer haz  $B_1$  dispersada por la córnea del ojo. La imagen correspondiente al primer haz se ilustra como el punto  $S_4$  en la figura 6A. Tal como se ilustra en la figura 3B, la cámara también está dispuesta para formar una imagen de la primera parte difusa  $D_1$  reflejada desde la córnea. La imagen correspondiente a la primera parte difusa se ilustra como el punto  $S_1$  en la figura 6A. Las figuras 6A-6C corresponden a imágenes en el sensor 332 de la cámara 320. En algunas realizaciones, una pantalla 350 está conectada directamente a la cámara; y en otras realizaciones, la salida de la cámara es procesada por un procesador 340 antes de llegar a la pantalla.

35

40

Adicionalmente, la cámara 330 está configurada y dispuesta para formar una imagen a partir de una parte del segundo haz  $B_2$  dispersada por la córnea. La imagen correspondiente al segundo haz se ilustra como el punto  $S_2$  en la figura 6A. La cámara también está dispuesta para formar una imagen de la segunda parte difusa  $D_2$  reflejada desde la córnea. La imagen correspondiente a la segunda parte difusa se ilustra como el punto  $S_3$  en la figura 6A. Se entenderá, por supuesto, que todos los haces  $B_1$  y  $B_2$ , y partes difusas  $D_1$  y  $D_2$  típicamente se generarán de forma contemporánea.

45

En algunas realizaciones, es preferible que la estructura para proporcionar la parte difusa (es decir, el agujero estenopeico o elemento de dispersión) se seleccione para dirigir una parte sustancial de la luz desde el haz de entrada, de modo que el punto  $S_1$  y el punto  $S_3$  tengan brillos que permitan la fácil visualización en la pantalla 350. En algunas realizaciones, los puntos tienen sustancialmente el mismo brillo que los puntos  $S_2$  y  $S_4$ . Sin embargo, los aspectos de la invención no están limitados de este modo, y los puntos pueden tener cualquier brillo de modo que sean detectables por la cámara y visibles en la pantalla 350. En algunas realizaciones, al menos el 2% de la potencia del haz se proporciona en la parte difusa. En otras realizaciones, se proporciona al menos el 5%, y en otras realizaciones más se proporciona al menos el 10% en la parte difusa.

50

55

La figura 3B ilustra que la luz en la parte difusa  $D_1$  se refleja desde la córnea del ojo, y la parte de luz en la parte difusa  $D_1$  que forma el punto  $S_1$  es determinada por el ángulo de incidencia en la córnea C (es decir, para la luz que forma la imagen  $S_1$ , el ángulo de incidencia en la córnea iguala al ángulo de reflexión). La parte difusa  $D_2$  se muestra solamente en parte en la figura 3B para evitar la ofuscación.

60

La figura 5 ilustra que la luz en el haz  $B_1$  es dispersada por la córnea del ojo, y la luz dispersada del primer haz  $B_1$  forma la imagen  $S_4$ . El haz  $B_2$  es omitido de la figura 5 para evitar la ofuscación. En algunas realizaciones, es preferible que el aparato de iluminación y la cámara se dispongan de modo que las partes reflejadas de forma

65

especular de los haces  $B_1$  y  $B_2$  no incidan sobre la cámara.

También tal como se ilustra en las figuras 3A, 3B, 4 y 5, en la realización ejemplar, los aparatos de iluminación se disponen de modo que la fuente puntual se disponga en un plano X-Y, en una línea  $L_x$  que es paralela al eje X. Los haces se proyectan de modo que intersequen el eje Z a distancias iguales pero opuestas del plano X-Y. Dicha disposición es adecuada para generar un patrón simétrico (es decir, en la figura 6A, las imágenes  $S_2$  y  $S_4$  son simétricas alrededor del eje y (que corresponde al eje óptico de la cámara), y las imágenes  $S_1$  y  $S_3$  son simétricas alrededor del eje y) cuando un ojo está situado apropiadamente con respecto al aparato 300. Una disposición que genera dicha simetría es ventajosa en algunas realizaciones de la invención, pero no es necesaria. En algunas realizaciones, los puntos  $S_2$  y  $S_4$  son simétricos alrededor de un primer punto que está a una distancia predeterminada del eje y; y los puntos  $S_1$  y  $S_3$  son simétricos alrededor de un segundo punto que está a una distancia predeterminada del eje y. En algunas realizaciones, tal como se ha descrito anteriormente, tanto el primer punto como el segundo punto coinciden con el eje óptico de la cámara.

Tal como se ilustra en la figura 6A, la configuración y disposición de las fuentes de luz de la manera descrita anteriormente en referencia a las figuras 3A, 3B, 4 y 5 da como resultado los puntos  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , y  $S_4$  que están dispuestos en los puntos medios de un rectángulo si el vértice del ojo de un sujeto se dispone en un punto predeterminado (por ejemplo el vértice se alinea a lo largo del eje y, y se dispone a una distancia predeterminada delante de la cámara). Se apreciará que al ubicar apropiadamente el agujero estenopeico y situar en un ángulo apropiado al láser, al aparato puede configurarse de modo que las imágenes  $S_1$   $S_2$   $S_3$  y  $S_4$  se dispongan en los puntos medios de un cuadrado cuando el vértice está en el punto predeterminado.

En referencia a las figuras 3A y 3B, se apreciará que, si el ojo del sujeto se mueve transversalmente desde el punto predeterminado (es decir, a lo largo del eje X y/o Z), esos puntos  $S_1$ ,  $S_3$  se desplazarán una cantidad relativamente más grande, en comparación con los puntos  $S_2$ ,  $S_4$ . Tal como se muestra en la figura 6B, las imágenes resultantes se dispondrán de modo que los puntos  $S_1$ ,  $S_3$  ya no serán simétricos alrededor del eje y.

Además, se apreciará que, si el ojo del sujeto se mueve longitudinalmente desde el punto predeterminado (es decir, a lo largo del eje Y), los puntos  $S_2$ ,  $S_4$  estarán desplazados una cantidad relativamente más grande, en comparación con los puntos  $S_1$ ,  $S_3$ . Tal como se muestra en la figura 6C, las imágenes resultantes se dispondrán de modo que  $S_2$ ,  $S_4$  se desvíen de la línea vertical V.

Por consiguiente, puede verse que puede conseguirse una determinación de si un ojo se dispone en una ubicación apropiada observando la ubicación de los puntos  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  y  $S_4$ . Además, se apreciará que es relativamente fácil, para un observador de los puntos en una pantalla 350, identificar si el ojo de un sujeto está ubicado apropiadamente, y mover la cabeza de un sujeto apropiadamente para ubicar el ojo en la posición predeterminada observando un patrón de puntos.

Aunque los puntos se ilustran estando dispuestos en los puntos medios de los lados de un cuadrado que está centrado alrededor del eje y (es decir, el eje óptico de la cámara), el alcance del presente aspecto de la invención no está limitado de este modo y puede usarse cualquier patrón apropiado de puntos. El observador puede ubicar apropiadamente el ojo de un sujeto observando el patrón de puntos y moviendo la cabeza del sujeto para conseguir un patrón apropiado.

Una estructura (no se muestra) para mantener la cabeza del sujeto de modo que la parte difusa de luz y el haz de luz incidan sobre la córnea de un paciente puede proporcionarse en el aparato 300. Por ejemplo, la estructura puede incluir un soporte para la barbilla y/o un soporte para la frente. Además, el aparato 300 puede incluir un dispositivo (no se muestra) para mover los componentes ópticos (por ejemplo, los láseres, lentes y la cámara) con respecto a la cabeza del sujeto.

Debe entenderse también que, aunque las realizaciones descritas anteriormente incluyen primer y segundo haces, y primera y segunda fuentes puntuales, en otras realizaciones, pueden proporcionarse solamente un único haz y una única fuente puntual (que es coincidente con el haz). En dichas realizaciones, si se conoce la ubicación del eje óptico de la cámara, observando solamente los puntos  $S_1$  y  $S_4$  y sus posiciones con respecto al eje óptico, es posible determinar si el vértice de la córnea está posicionado apropiadamente.

En algunas realizaciones, los haces  $B_1$  y  $B_2$  tienen diámetros de 100-500 micrómetros. Por ejemplo, los diámetros pueden ser de aproximadamente 300 micrómetros. En algunas realizaciones, los aparatos de iluminación 310 y 320 y la cámara están configurados y dispuestos de modo que los puntos  $S_1$  y  $S_3$  estén separados entre sí aproximadamente 1-4 mm; y los puntos  $S_2$  y  $S_4$  estén separados entre sí aproximadamente 1-4 mm. Por ejemplo, la separación de los puntos  $S_1$  y  $S_3$  puede ser de 2 mm y la separación de los puntos  $S_2$  y  $S_4$  puede ser de 2 mm. En algunas realizaciones, la cámara está a aproximadamente 180 mm de la córnea y las fuentes de iluminación están aproximadamente a 150 mm de la córnea. En algunas realizaciones, es ventajoso que la luz que genera los puntos  $S_{1-4}$  sea invisible (por ejemplo, infrarroja o ultravioleta).

Las figuras 7-9 son ilustraciones esquemáticas de otro ejemplo de un aparato 700 para determinar la posición del ojo

de un sujeto. El aparato 700 es igual que el aparato 300 excepto que, tal como se ilustra en las figuras 8 y 9, los aparatos de iluminación 310 y 320 están alineados de modo que los haces de luz se proyecten a lo largo del eje x (es decir, sin desviación en la dirección z). Similar al aparato de la figura 3A, cuatro puntos son generados por el aparato 700. Sin embargo, tal como se ilustra en la figura 10, las imágenes de los cuatro puntos están alineadas a lo largo de una única dirección x' en la cámara, cuando el vértice de la córnea está posicionado en un punto predeterminado.

Las figuras 11 y 12 son ilustraciones esquemáticas de otro ejemplo de un aparato 1100 para determinar la posición del ojo de un sujeto. El aparato 1100 comprende cuatro fuentes de luz diferentes 312, 315, 322 y 325. Las fuentes de luz 312 y 322 producen haces B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>, respectivamente, y las fuentes de luz 315 y 322 producen luz desde las fuentes puntuales P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>, respectivamente. Por ejemplo, las fuentes de luz 312 y 322 son fuentes de luz láser, y las fuentes de luz 315 y 325 son fuentes de luz LED.

Tal como es evidente a partir de las figuras 11 y 12, el patrón de los puntos generados por el aparato 1100 es sustancialmente similar al patrón generado por el aparato 300 (mostrado en las figuras 6A, 6B, 6C). Sin embargo, debe apreciarse que un patrón tal como el generado por el aparato 700 (mostrado en la figura 10) podría generarse realineando las fuentes de luz 312 y 322. Debe apreciarse, además, que otros patrones adecuados podrían generarse realineando apropiadamente las fuentes de luz 312 y 322, y rediseñando las fuentes de luz 315 y 325. Se apreciará que las ventajas de un dispositivo tal como se ilustra en la figura 3A respecto a un dispositivo tal como se ilustra en la figura 11 son el reducido número de componentes ópticos para conseguir cuatro puntos y la cantidad reducida de alineamiento de los componentes ópticos para conseguir un patrón particular (es decir, la fuente puntual y el haz están alineados de forma inherente entre sí).

De acuerdo con otro aspecto de la invención, puede usarse un aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto (por ejemplo, aparato 300, 700 ó 1100) para determinar una ubicación de un ojo posicionado de forma arbitraria. Por ejemplo, en un momento seleccionado, la desviación del punto S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> de un patrón predeterminado puede usarse para determinar la posición real del ojo de un sujeto en el espacio tridimensional. Para realizar dichos cálculos, el procesador 340 se programa para calcular la posición del ojo tal como se ha descrito anteriormente.

La ecuación matricial 1 describe la relación entre las desviaciones de los puntos de un patrón predeterminado y las desviaciones del ojo de una posición predeterminada.

$$U = H m \quad \text{Ecuación 1}$$

donde U es una matriz poblada por datos que indican las desviaciones de los puntos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> y S<sub>4</sub> de sus posiciones predeterminadas en cada una de las direcciones X e Y. La matriz m contiene las desviaciones en la posición del ojo en cada una de las direcciones X e Y. La matriz H es una matriz de sensibilidad.

Será evidente a partir de la ecuación 2 que, invirtiendo la matriz de sensibilidad H y multiplicando la matriz invertida (H<sup>-1</sup>) por la matriz U, es posible calcular las posiciones x, y y z del ojo con respecto a la posición predeterminada del ojo (es decir, la matriz m).

$$H^{-1} U = m \quad \text{Ecuación 2}$$

La ecuación 3 ilustra detalles adicionales de la ecuación matricial.

$$\begin{matrix}
 H^{-1}_{1,1} & H^{-1}_{1,2} & H^{-1}_{1,3} & H^{-1}_{1,4} & H^{-1}_{1,5} & H^{-1}_{1,6} & H^{-1}_{1,7} & H^{-1}_{1,8} \\
 H^{-1}_{2,1} & H^{-1}_{2,2} & H^{-1}_{2,3} & H^{-1}_{2,4} & H^{-1}_{2,5} & H^{-1}_{2,6} & H^{-1}_{2,7} & H^{-1}_{2,8} \\
 H^{-1}_{3,1} & H^{-1}_{3,2} & H^{-1}_{3,3} & H^{-1}_{3,4} & H^{-1}_{3,5} & H^{-1}_{3,6} & H^{-1}_{3,7} & H^{-1}_{3,8}
 \end{matrix}
 \times
 \begin{matrix}
 \Delta S_1 x \\
 \Delta S_1 y \\
 \Delta S_2 x \\
 \Delta S_2 y \\
 \Delta S_3 x \\
 \Delta S_3 y \\
 \Delta S_4 x \\
 \Delta S_4 y
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 mx \\
 my \\
 mz
 \end{matrix}$$

Ecuación 3

donde  $\Delta S_n x$  y  $\Delta S_n y$  son las desviaciones de un punto  $n$  desde un punto correspondiente en un patrón predeterminado de puntos; las desviaciones  $\Delta S_n x$  y  $\Delta S_n y$  son en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente; y  $m_x$ ,  $m_y$  y  $m_z$  describen la desviación del vértice del ojo desde el punto predeterminado en las direcciones  $x$ ,  $y$  y  $z$ , respectivamente.

La matriz de sensibilidad  $H$  puede poblarse proyectando luz sobre un ojo mientras el ojo está situado en cada una de tres ubicaciones que están a una distancia conocida de la posición predeterminada y observando las desviaciones de los puntos  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , y  $S_4$  en las direcciones  $x$  e  $y$ . Como alternativa, la matriz de sensibilidad puede calcularse suponiendo una forma particular del ojo. Independientemente de cómo se obtiene la matriz  $H$ , se apreciará que la posición real del ojo de un sujeto puede determinarse usando la desviación del patrón de puntos (por ejemplo, el patrón ilustrado en la figura 6A) de un patrón predeterminado.

De acuerdo con otro aspecto más de la invención, tal como se ilustra en la figura 13, un aparato para determinar la posición del ojo de un sujeto (por ejemplo, un aparato 300, 700 ó 1100) puede combinarse con otro instrumento oftálmico. Por ejemplo, una ventaja particular se consigue cuando el dispositivo oftálmico requiere que la posición de un ojo se conozca durante un periodo de tiempo o en momentos discretos en el tiempo durante un periodo de tiempo.

En una realización de dicha combinación, los componentes 800 y 900 constituyen un dispositivo paquimétrico. Por ejemplo, el componente 800 es un dispositivo de iluminación que proyecta una imagen de rendija, y el componente 900 recibe luz desde una sección transversal del ojo correspondiente a la imagen de rendija. Dichos dispositivos paquimétricos adquieren una serie de imágenes de rendija (por ejemplo, 40 imágenes a través de la pupila de un ojo) durante un periodo de tiempo. Después de adquirir dichas imágenes, los datos de las imágenes se combinan para conseguir una representación del ojo (por ejemplo, un contorno de superficie o un mapa de grosor o un mapa de densidad). Los ejemplos de dichos dispositivos convencionales para determinar la estructura de un ojo usando una pluralidad de imágenes se dan en las patentes de Estados Unidos N°. 5.512.965 y 5.512.966, ambas expedidas el 30 de abril de 1966 a Snook. Lo esencial de ambas de dichas patentes se incorpora por la presente como referencia.

Los dispositivos paquimétricos convencionales adquieren una serie de imágenes de rendija. Cada imagen se adquiere después de mover la cámara una cantidad fijada. Dichos dispositivos están configurados para combinar las imágenes de una serie, suponiendo que el ojo del sujeto ha permanecido estacionario durante la adquisición de cada una de las imágenes (es decir, los datos se recombinan suponiendo una separación igual entre las imágenes).

Se apreciará que, calculando la posición del ojo en el momento de la adquisición de cada una de las imágenes de rendija y combinando los datos de una manera coherente con el conocimiento de la posición del ojo, los datos pueden combinarse de forma más precisa y proporcionarse una representación más precisa del ojo. De acuerdo con aspectos de la presente invención, la posición de un ojo se obtiene en el momento de la adquisición de cada una de las imágenes de rendija. Por ejemplo, tal como se ilustra en las figuras 14A y 14B, los datos correspondientes a las cuatro imágenes se ilustran como  $DA_1$ ,  $DA_2$ ,  $DA_3$  y  $DA_4$ . Usando información respecto a la posición del ojo durante la adquisición de cada imagen (por ejemplo,  $\Delta x_1$ ,  $\Delta y_1$ ,  $\Delta z_1$ ,  $\Delta x_2$ ,  $\Delta y_2$ ,  $\Delta z_2$ , etc.) (calculada tal como se ha descrito anteriormente), la información en cada imagen puede desfasarse apropiadamente, antes de que las imágenes se combinen, consiguiendo de este modo una representación más precisa del ojo de un sujeto que un dispositivo de taquimetría convencional.

Otro ejemplo de un tipo de dispositivo oftálmico con el que pueden usarse realizaciones de la presente invención son dispositivos de cirugía ocular refractiva. Por ejemplo, los componentes 800 y/o 900 en la figura 13 pueden constituir uno o más láseres para cortar partes del ojo de un sujeto para conseguir corrección óptica. Los dispositivos de cirugía convencionales calculan un tratamiento refractivo y controlan uno o más láseres para dirigir el láser y proporcionar una intensidad del láser adecuada. Aunque dichos dispositivos han incluido dispositivos de posicionamiento convencionales, se apreciará que controlando el láser usando información de la posición tridimensional (obtenida tal como se ha descrito anteriormente), puede mejorarse la precisión con la que el tratamiento es ejecutado.

Además de los instrumentos oftálmicos, un aparato tal como se ha descrito anteriormente puede usarse con otros dispositivos donde el conocimiento de la posición del ojo de un sujeto es deseable. Por ejemplo, dichos dispositivos incluyen dispositivos de videojuegos, máquinas de realidad virtual o dispositivos de visualización.

Habiendo descrito de este modo los conceptos de la invención y una serie de realizaciones ejemplares, será evidente para los especialistas en la técnica que la invención puede implementarse de diversas maneras, y que a dichas personas se les ocurrirán fácilmente modificaciones y mejoras. De este modo, las realizaciones no pretendes ser limitantes y se presentan a modo de ejemplo solamente. La invención está limitada solamente según se requiera por las siguientes reivindicaciones y equivalentes de las mismas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato para determinar la posición de la córnea de un sujeto, que comprende:
- 5 un primer aparato de iluminación adaptado para proporcionar un primer haz de luz y una primera parte difusa de luz, emanando la primera parte difusa desde un punto coincidente con el primer haz; y una cámara, estando el primer aparato de iluminación y la cámara configurados y dispuestos para formar una primera imagen de un punto de dispersión del primer haz en la córnea, y para formar una segunda imagen de la primera parte difusa reflejada desde la córnea.
- 10 2. El aparato de la reivindicación 1; en el que el primer aparato de iluminación comprende:
- un primer láser adaptado para proporcionar el primer haz de luz, y una primera abertura dispuesta en el primer haz y adaptada para generar la primera parte difusa de luz.
- 15 3. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una estructura para mantener la cabeza del sujeto en una posición seleccionada, estando el primer aparato de iluminación dirigido para proyectar el primer haz y la primera parte difusa hacia una posición correspondiente a la córnea del sujeto.
- 20 4. El aparato de la reivindicación 3, en el que la estructura para mantener la cabeza del sujeto comprende un soporte para la barbilla para posicionar la córnea del sujeto.
5. El aparato de la reivindicación 1, en el que el primer aparato de iluminación comprende un primer agujero estenopeico configurado y dispuesto para determinar una forma del primer haz y para difractar una parte de la luz desde el primer haz para formar la primera parte difusa.
- 25 6. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un segundo aparato de iluminación adaptado para proporcionar un segundo haz de luz y una segunda parte difusa de luz, emanando la segunda parte difusa desde un punto coincidente con el segundo haz.
- 30 7. El aparato de la reivindicación 6, en el que el segundo aparato de iluminación y la cámara están configurados y dispuestos para formar una tercera imagen de un punto de dispersión del segundo haz en la córnea, y para formar una cuarta imagen de la segunda parte difusa reflejada desde la córnea
- 35 8. El aparato de la reivindicación 7, en el que la cámara tiene un eje óptico, y en el que las primera y tercera imágenes se disponen de forma simétrica alrededor del eje óptico, cuando la córnea está situada a lo largo de un eje óptico de la cámara.
9. El aparato de la reivindicación 8, en el que las segunda y cuarta imágenes se disponen de forma simétrica alrededor del eje óptico, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara.
- 40 10. El aparato de la reivindicación 9, en el que las primera, segunda, tercera y cuarta imágenes se disponen en los puntos medios de un rectángulo, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara.
- 45 11. El aparato de la reivindicación 10, en el que las primera, segunda, tercera y cuarta imágenes se disponen en los puntos medios de un cuadrado, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara.
12. El aparato de la reivindicación 7, en el que las primera, segunda, tercera y cuarta imágenes se disponen en una línea recta, cuando una córnea está situada a lo largo del eje óptico de la cámara.
- 50 13. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un procesador acoplado eléctricamente a la cámara y programado para calcular la posición de un ojo usando la imagen de un punto de dispersión del primer haz en la córnea, y la imagen de la primera parte difusa reflejada desde la córnea.
- 55 14. El aparato de la reivindicación 13, en combinación con un dispositivo paquimétrico adaptado para adquirir una pluralidad de imágenes del ojo del sujeto, en el que el aparato está adaptado para proporcionar una posición del ojo para cada una de la pluralidad de imágenes.
- 60 15. El aparato de la reivindicación 13, en combinación con un dispositivo de cirugía refractiva adaptado para realizar un tratamiento, en el que el aparato está adaptado para proporcionar datos de la posición del ojo al dispositivo de cirugía y el dispositivo de cirugía refractiva está adaptado para modificar el tratamiento en respuesta a los datos de la posición.
- 65 16. Un aparato de la reivindicación 1, en el que la primera parte difusa es la de un primer aparato de iluminación con fuente puntual que comprende:

un segundo aparato de iluminación adaptado para proporcionar un segundo haz de luz;  
un segundo aparato de iluminación con fuente puntual; y  
la cámara que tiene un eje óptico,

5 estando la cámara, los primer y segundo aparatos de iluminación y los primer y segundo aparatos de  
iluminación con fuente puntual configurados y dispuestos de modo que, cuando el ojo está ubicado en una  
posición dada, (i) la luz procedente del primer haz y la luz procedente del segundo haz se dispersan desde la  
córnea del ojo para formar primera y segunda imágenes en la cámara respectivamente, estando las primera y  
segunda imágenes dispuestas alrededor de un primer punto que es una primera distancia predeterminada  
10 desde un punto en la cámara correspondiente al vértice de la córnea del ojo, y (ii) la luz procedente de la  
primera fuente puntual y la luz procedente de la segunda fuente puntual se reflejan desde la córnea para formar  
tercera y cuarta imágenes respectivamente, estando las tercera y cuarta imágenes dispuestas alrededor de un  
segundo punto que es una segunda distancia predeterminada desde el punto en la cámara correspondiente al  
vértice de la córnea del ojo.

15 17. El aparato de la reivindicación 16, en el que el primer punto y el segundo punto son coincidentes.

18. El aparato de la reivindicación 16, en el que cada una de la primera imagen, segunda imagen, tercera imagen y  
la cuarta imagen se disponen en un punto medio correspondiente de un lado de un cuadrado que está centrado  
20 alrededor de un punto correspondiente al eje óptico de la cámara.

19. Un aparato de la reivindicación 1, que comprende:

(A.) el primer aparato de iluminación que comprende

25 (i.) un primer láser adaptado para proporcionar el primer haz de luz, y  
(ii.) una primera abertura dispuesta en una trayectoria del primer haz y adaptada para generar la primera  
parte difusa que emana desde el punto coincidente con el primer haz;

30 (B.) un segundo aparato de iluminación que comprende

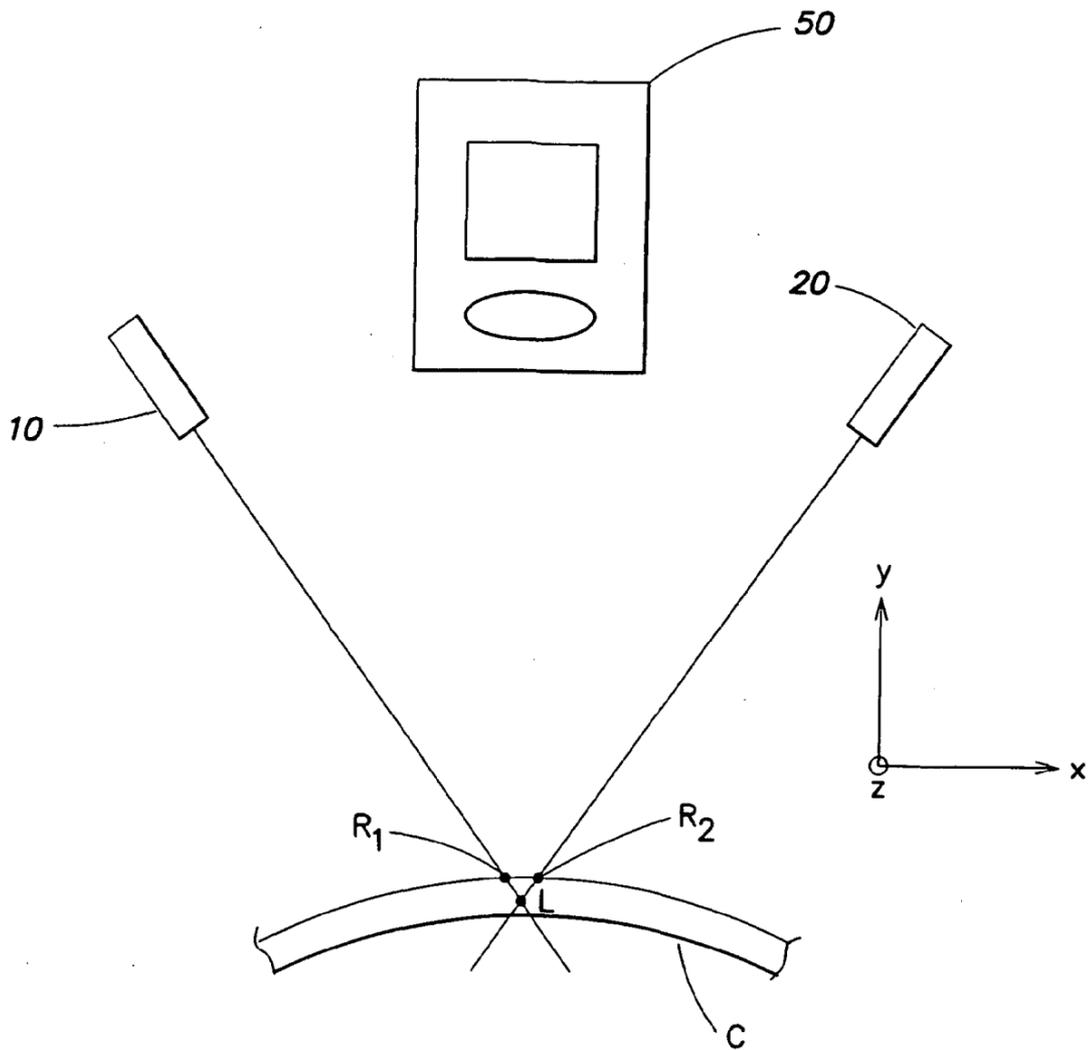
(i.) un segundo láser adaptado para proporcionar un segundo haz de luz, y  
(ii.) una segunda abertura dispuesta en una trayectoria del segundo haz y adaptada para generar una  
segunda parte difusa que emana desde un punto coincidente con el segundo haz; y

35 (C.) la cámara,

estando el primer láser, el segundo láser, la primer abertura, la segunda abertura y la cámara configurados y  
dispuestos para formar, en la cámara

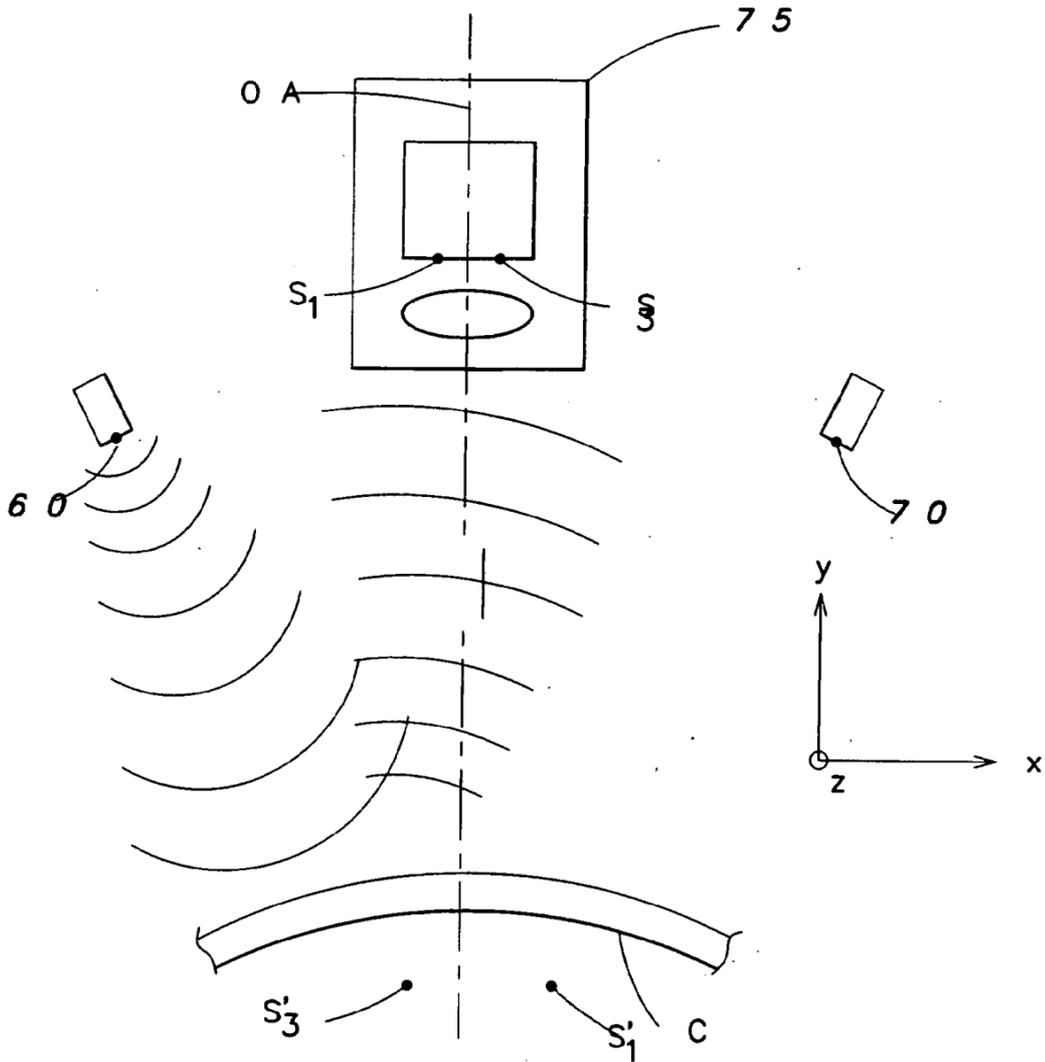
40 (i) una imagen de un punto de dispersión del primer haz en la córnea,  
(ii) una imagen de la primera parte difusa reflejada desde la córnea,  
(iii) una imagen de un punto de dispersión del segundo haz en la córnea, y  
(iv) una imagen de la segunda parte difusa reflejada desde la córnea.

45



**FIG. 1**

(Técnica Anterior)



**FIG. 2**  
(Técnica Anterior)

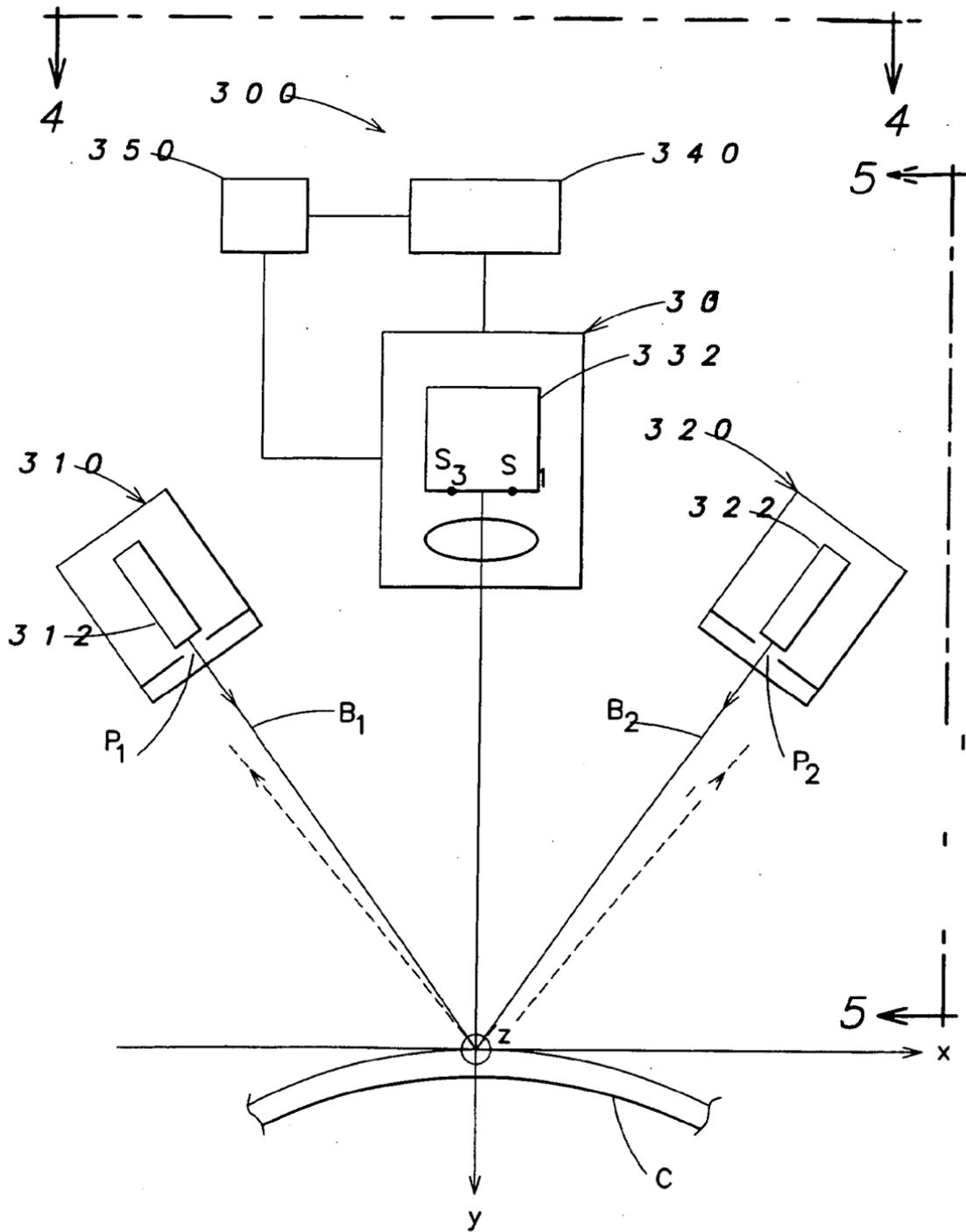
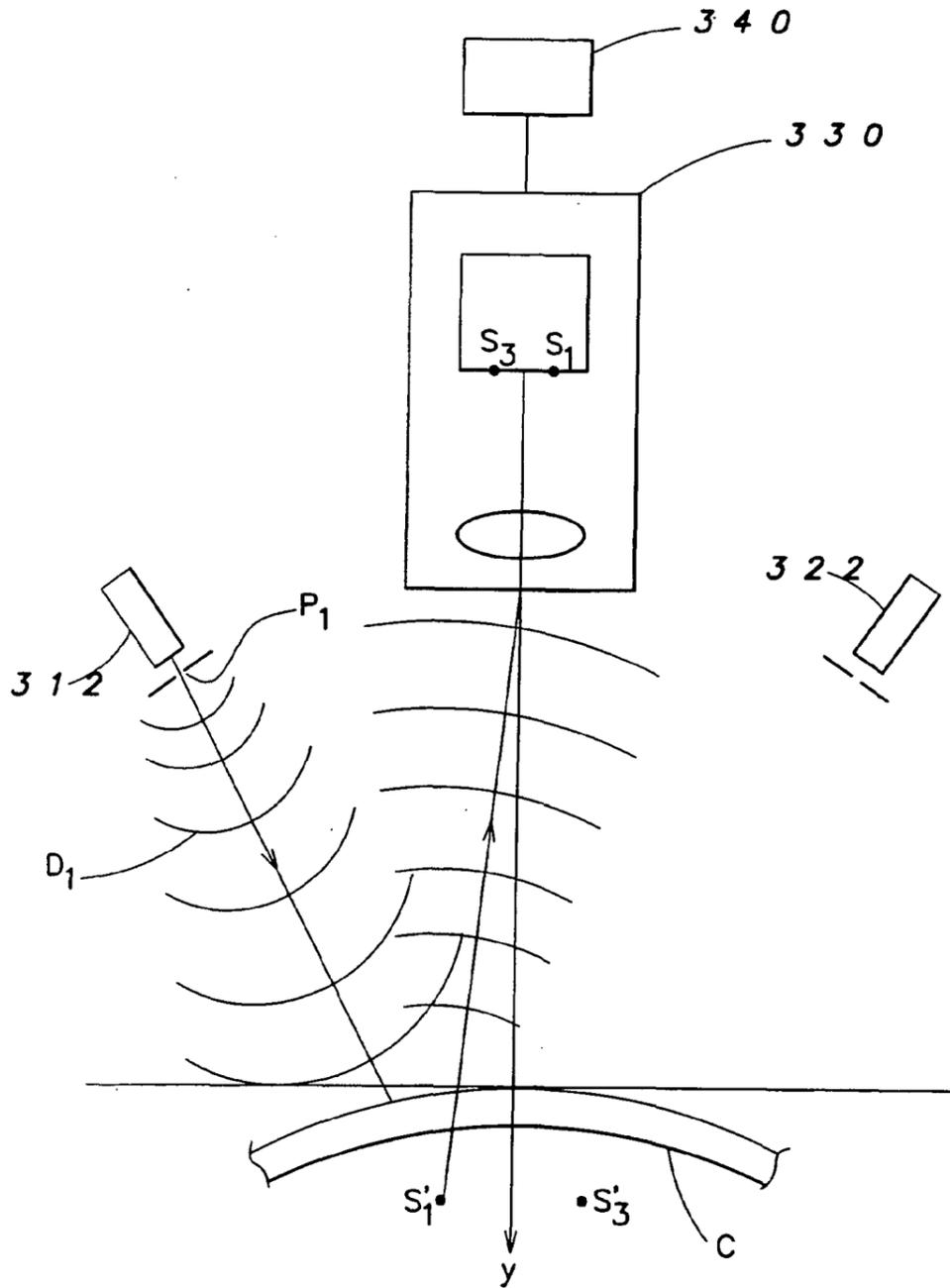
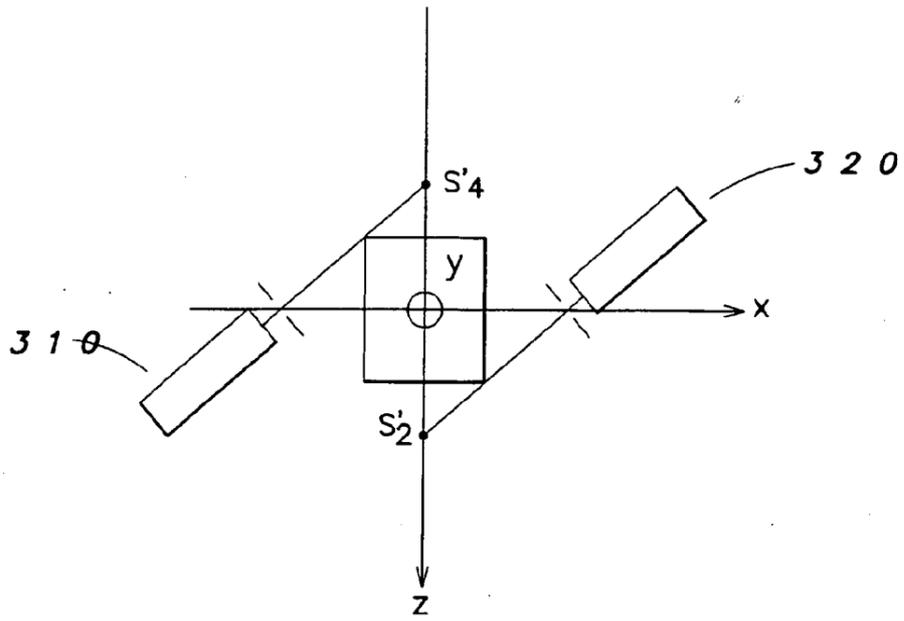


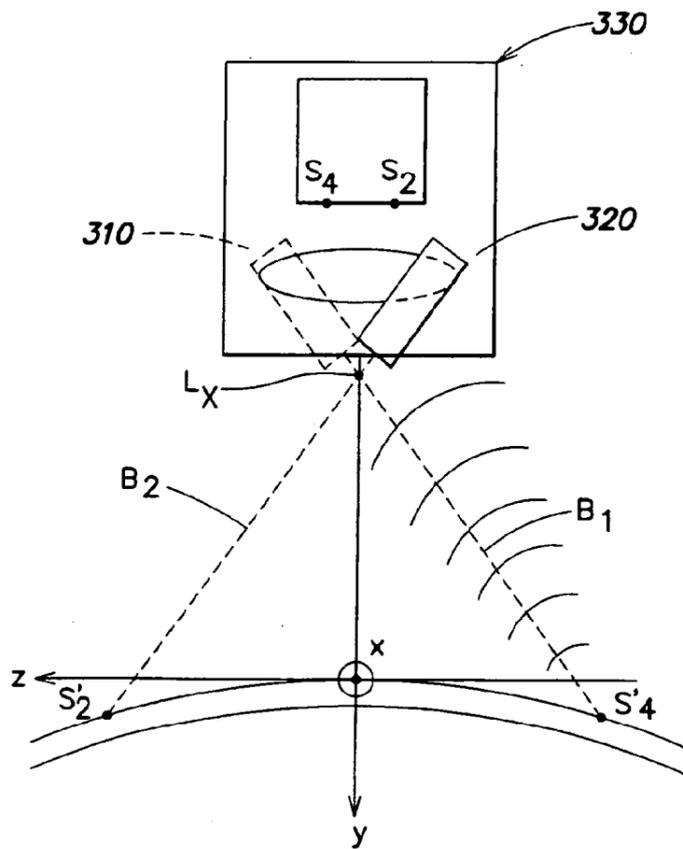
FIG. 3A



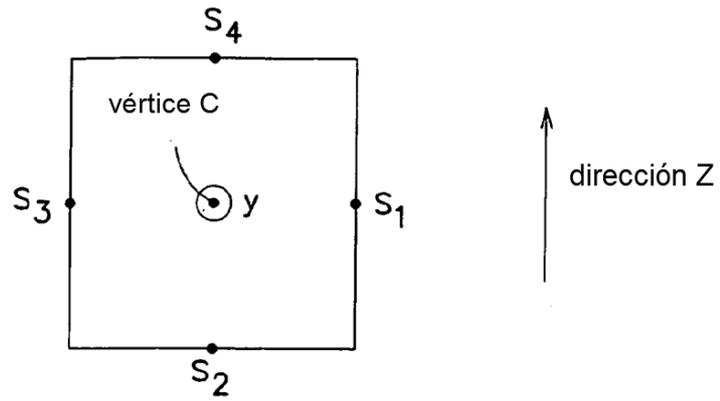
**FIG. 3B**



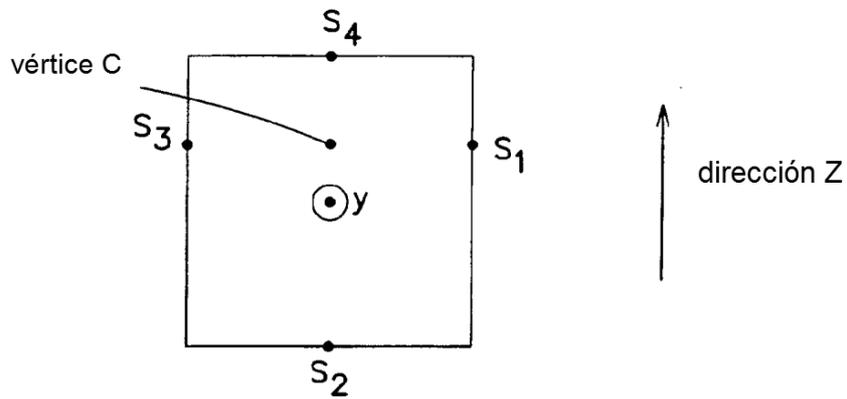
**FIG 4**



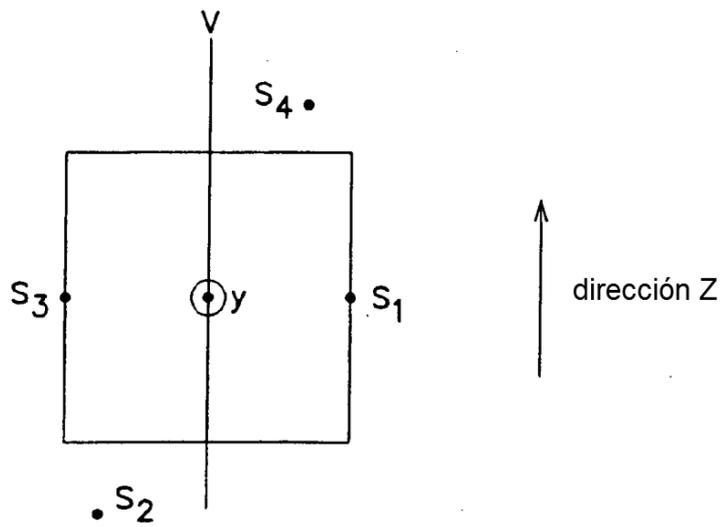
**FIG. 5**



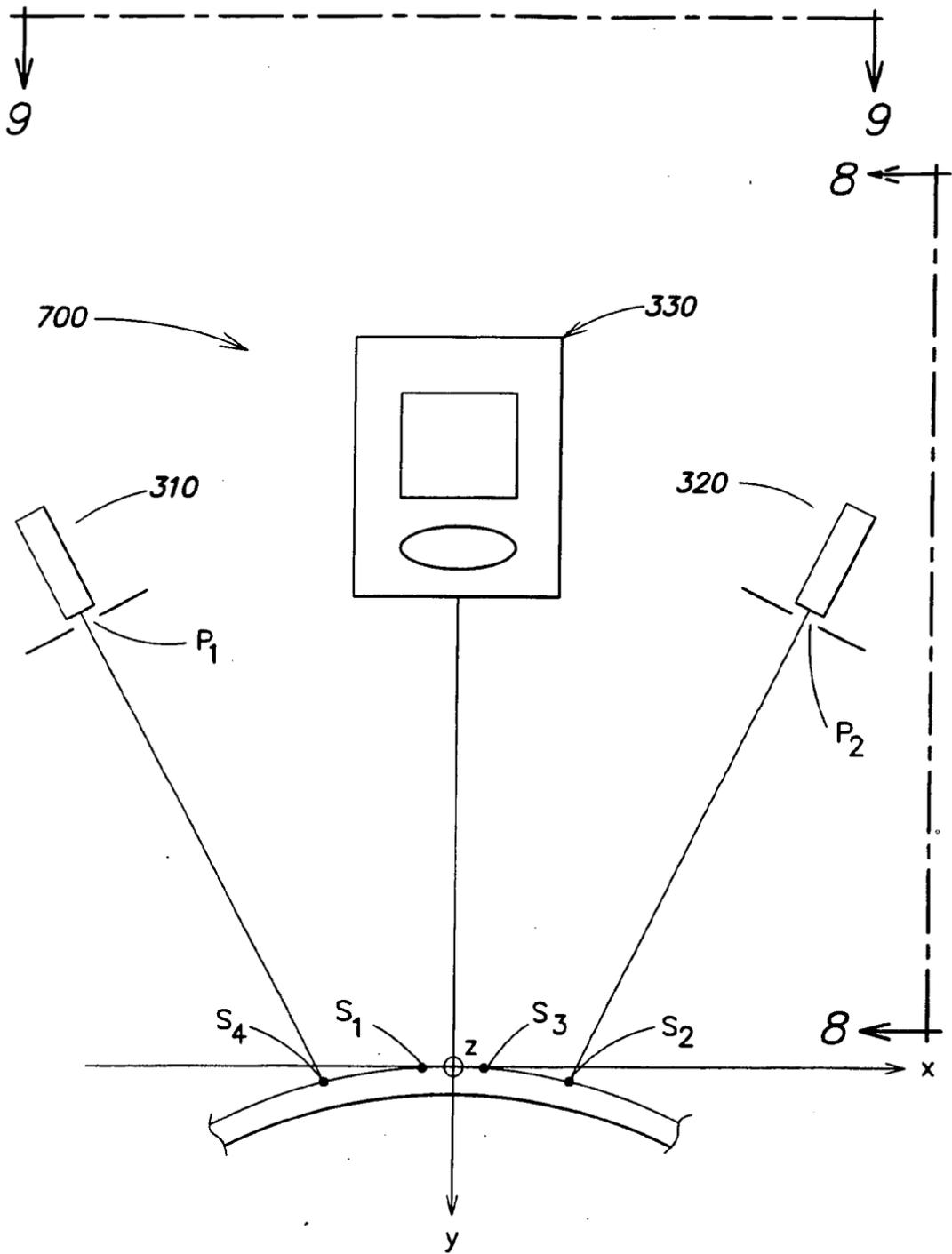
**FIG. 6A**



**FIG. 6B**



**FIG. 6C**



**FIG. 7**

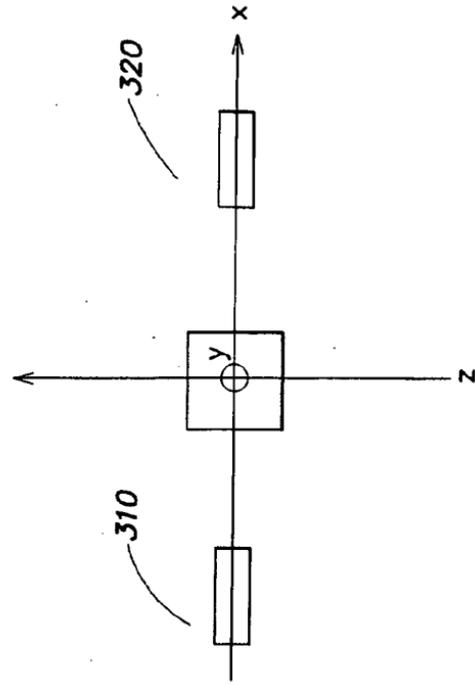


FIG. 8

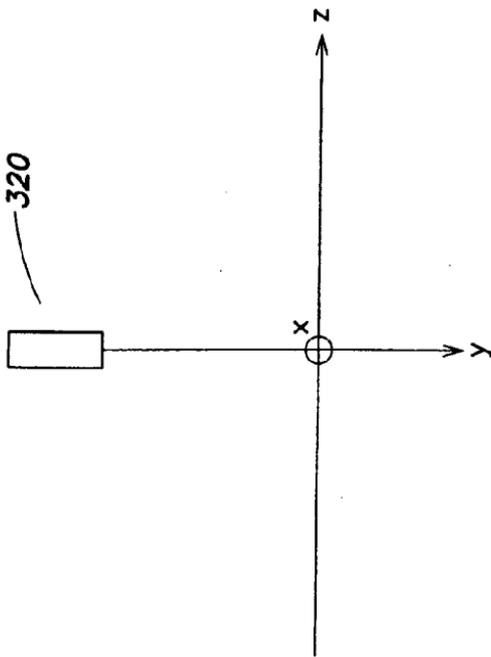


FIG. 9

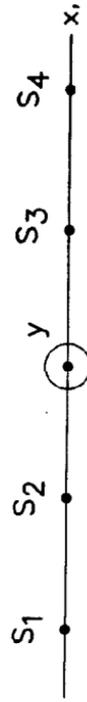
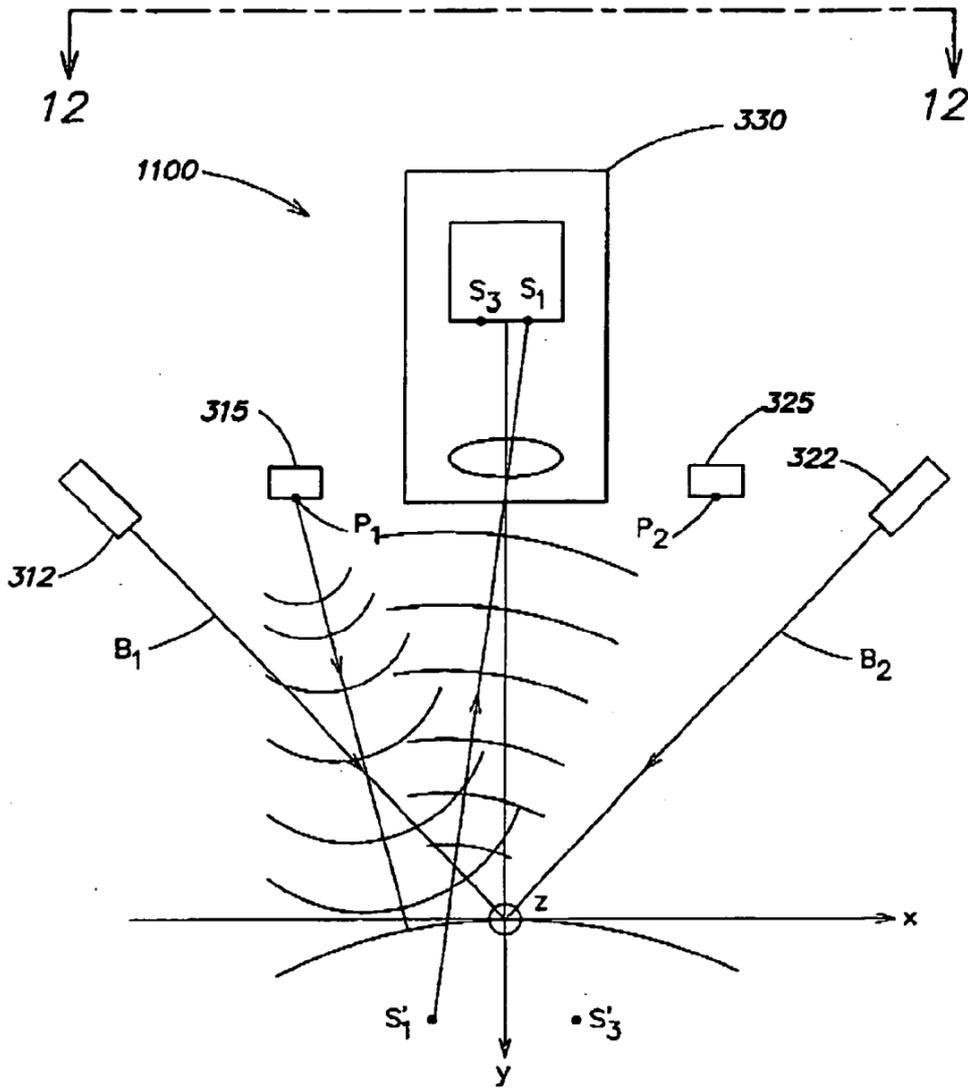
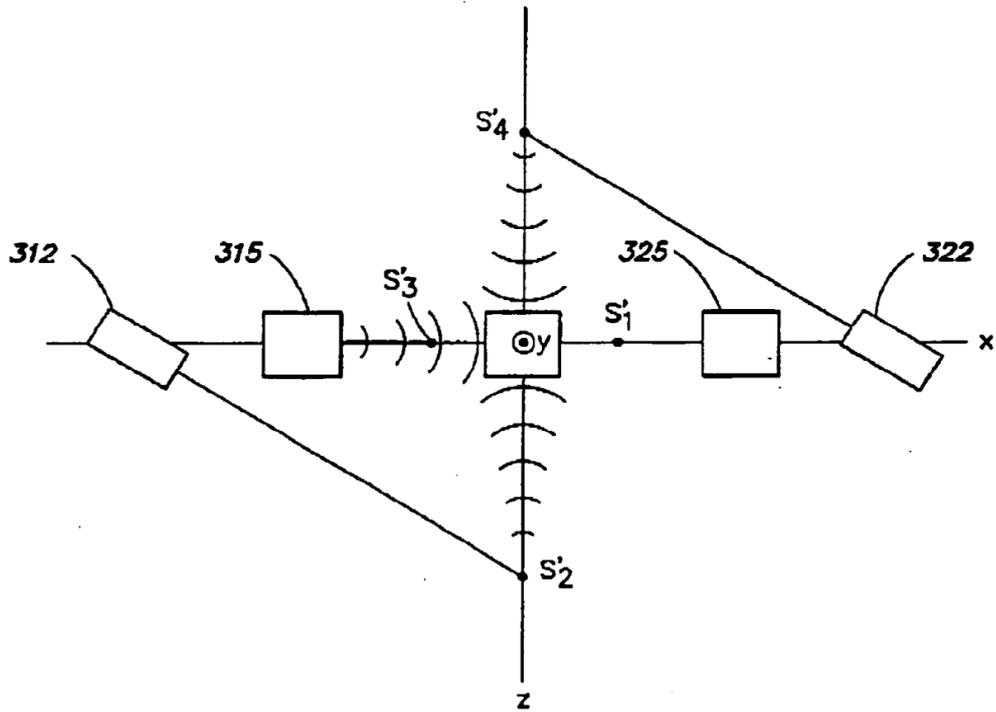


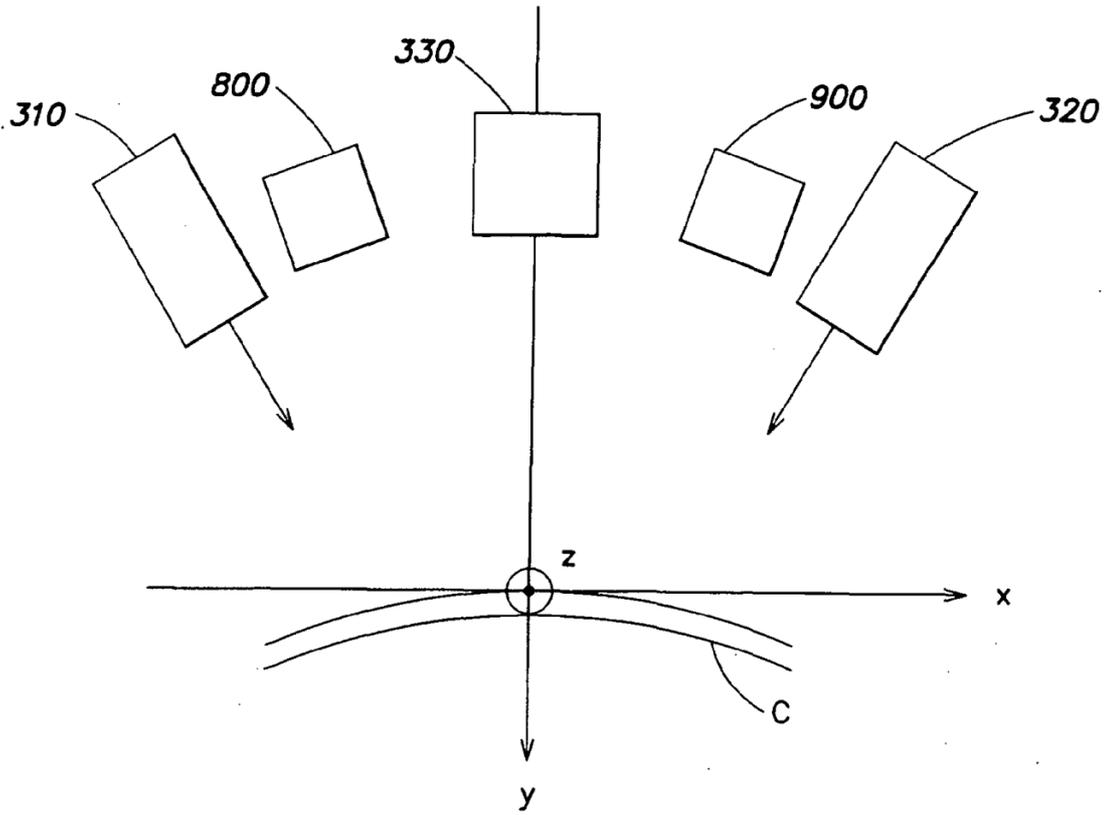
FIG. 10



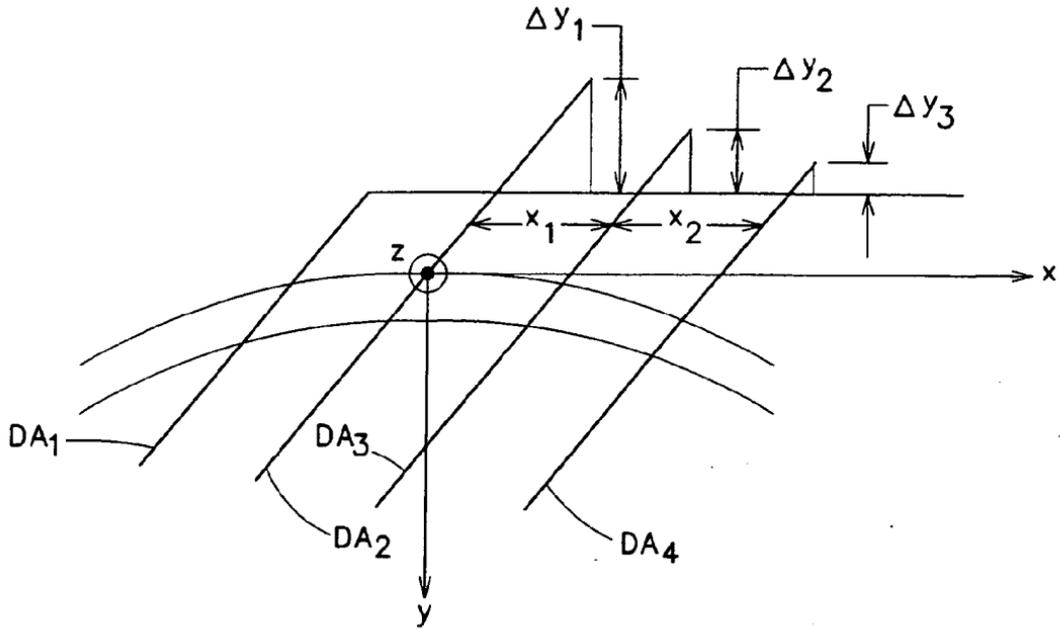
**FIG. 11**



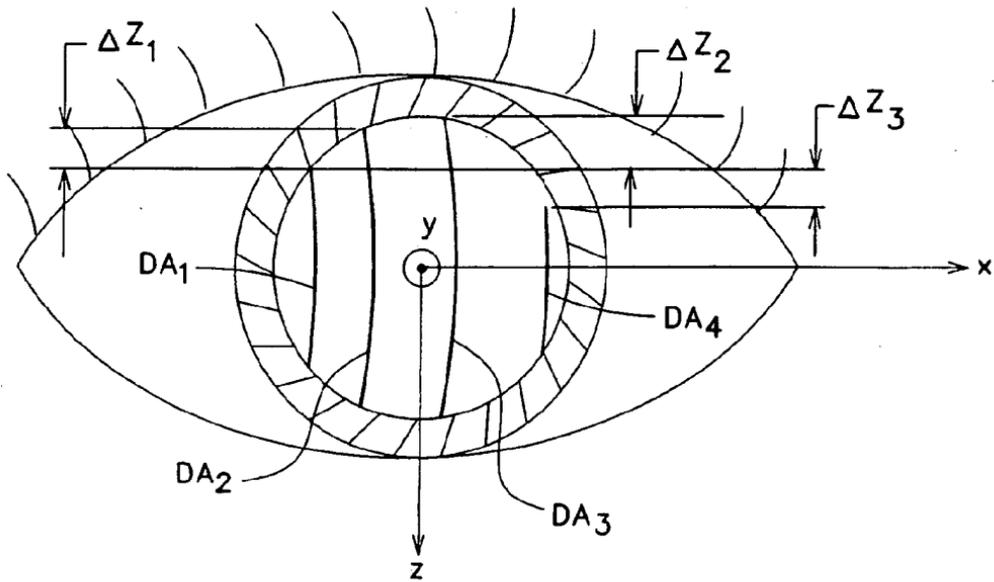
**FIG. 12**



**FIG 13**



**FIG. 14A**



**FIG. 14B**