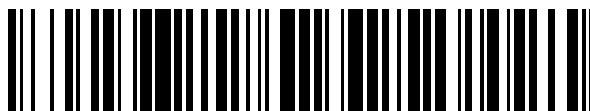


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 574**

51 Int. Cl.:

**A61B 3/14** (2006.01)

**A61B 3/103** (2006.01)

**A61B 3/113** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2014** **E 18188964 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020** **EP 3430977**

54 Título: **Detección automatizada de alineación ocular**

30 Prioridad:

**07.11.2013 US 201361901432 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**16.11.2020**

73 Titular/es:

**OHIO STATE INNOVATION FOUNDATION  
(100.0%)  
1524 North High Street  
Columbus, OH 43201, US**

72 Inventor/es:

**BAILEY, MELISSA DIANE**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 793 574 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

Detección automatizada de alineación ocular

### 5 ANTECEDENTES

Las dos desviaciones principales de la alineación ocular se denominan tropía y foria. La tropía (también llamada estrabismo, bizquera, ojos cruzados) es una desviación en la que el sujeto no puede enfocar la fóvea de ambos ojos al mismo objeto simultáneamente. Una exotropía es cuando un ojo enfoca constantemente hacia afuera y una esotropía es cuando un ojo enfoca constantemente hacia adentro. Del mismo modo, una hipertropía o hipotropía ocurre cuando un ojo enfoca constantemente hacia arriba o hacia abajo. El segundo tipo de desviación, la foria, es una desviación latente que solo está presente cuando un ojo está cubierto. Cuando ambos ojos están abiertos, el sujeto puede enfocar ambos ojos hacia el mismo objeto. Si existe una exoforia, entonces el ojo que está cubierto girará hacia afuera hasta que se quite la cubierta. A continuación, adoptará la fijación en el mismo objeto que el otro ojo. Para una esoforia, el ojo que está cubierto girará hacia adentro hasta que se quite la cubierta. Para hiperforias o hipoforias, el ojo que está cubierto enfocará hacia arriba o hacia abajo en relación con el ojo que no está cubierto. Tanto las tropías como las forias son una fuente de visión doble, incomodidad y pueden causar dificultad para leer. Una tropía puede causar una pérdida permanente de la visión llamada ambliopía u ojo vago en los niños. Estas afecciones pueden ser congénitas y/o genéticas, o adquiridas a través de lesiones cerebrales traumáticas. Tanto la tropía como la foria son afecciones médicas establecidas que se pueden tratar fácilmente si se identifican. Cuanto más temprano en la vida se identifique una tropía, más probable resulta que el tratamiento revierta/prevenga la pérdida permanente de la visión.

Las mediciones clínicas de tropía y la foria se utilizan en múltiples campos de la salud para detectar problemas de visión, ya sean de origen natural o debidos a una lesión cerebral traumática, que conducirían a la visión doble. El procedimiento actual predominante para medir la alineación ocular, llamado prueba de cobertura, es manual, técnicamente difícil y tedioso. Otros procedimientos clínicos ampliamente utilizados que son automatizados solo determinan si existe tropía, pero estos procedimientos no detectan la desviación más común en la alineación, la foria. El documento US4712895A se refiere a un aparato de medición de posición ocular. El documento 2009/303435A1 se refiere a un sistema y procedimiento de examen ocular. El documento 2012/0307203A1 se refiere a un aparato y procedimiento para establecer y/o mejorar la visión binocular.

Todos los procedimientos actuales de medición de alineación ocular, ya sean manuales o automatizados, también carecen de la capacidad de detectar si el sujeto se está acomodando, o enfocando los ojos como si mirara un objeto más cerca que el infinito óptico. Es útil para el individuo que mide la alineación ocular saber si alguien se está acomodando o no porque la acomodación excesiva o insuficiente durante una medición de tropía o de foria afecta la posición lateral del ojo, es decir, cuánto giran los ojos hacia adentro o hacia afuera.

Por lo tanto, se desean procedimientos, aparatos y sistemas que mejoren la detección y el tratamiento de la ceguera y los trastornos debilitantes de la alineación ocular y que superen los desafíos en la técnica, algunos de los cuales se han descrito anteriormente.

### RESUMEN

En esta solicitud se describen dispositivos y procedimientos para automatizar la medición de las dos desviaciones principales de la alineación ocular.

Un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual puede incluir capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir un reflejo de luz desde al menos uno de los ojos del sujeto. El procedimiento también puede incluir analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y determinar una medición de foria basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir comparar una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

Opcionalmente, la etapa de analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto puede incluir identificar una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto de referencia de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o una cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente cubrir y descubrir sucesivamente al menos uno de los ojos del sujeto. Además, la imagen puede ser capturada después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto. Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente capturar una secuencia de imágenes de los ojos del sujeto después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto y comparar una de las imágenes en la secuencia con otra de las imágenes en la secuencia para determinar el movimiento del ojo después de que se descubra el ojo. Alternativamente, el procedimiento puede incluir opcionalmente cubrir al menos uno de los ojos del sujeto con un filtro, donde la imagen es capturada mientras que al menos uno de los ojos del sujeto está cubierto por el filtro. El filtro puede ser opaco para el sujeto de modo que el sujeto no pueda ver a través del filtro, pero el filtro puede pasar luz de una longitud de onda especificada. En consecuencia, el dispositivo de captura de imágenes puede capturar la imagen de al menos uno de los ojos del sujeto a través del filtro.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir realizar una medición de autorrefracción. Como se emplea en esta solicitud, la medición de autorrefracción es una medición de una potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. La medición de autorrefracción se puede tomar mientras el sujeto está enfocando el objetivo visual, por ejemplo. La imagen puede ser capturada opcionalmente en respuesta a que la potencia del ojo del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativa o adicionalmente, el procedimiento puede incluir opcionalmente ajustar la medición de foria basándose en la medición de autorrefracción.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir calcular una relación de acomodación de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

Como se emplea en esta solicitud, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de foria se puede hacer basándose en el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Alternativamente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de foria se puede hacer basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Esta descripción contempla que la medición de foria basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto puede ser igual o diferente.

Opcionalmente, la luz puede estar en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético. Por ejemplo, la luz puede ser luz infrarroja o visible. Aunque se proporcionan luz infrarroja y visible como ejemplos, esta descripción contempla que se puede utilizar la luz procedente de otras porciones del espectro electromagnético.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con una luz utilizando una fuente de luz.

Un aparato de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual incluye un dispositivo de captura de imágenes para capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto, un procesador y una memoria en comunicación operativa con el procesador. La memoria puede tener instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador reciba la imagen del dispositivo de captura de imágenes, donde la imagen incluye un reflejo de luz desde al menos uno de los ojos del sujeto, analice la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y determine una medición de foria basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, la memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador compare una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

Opcionalmente, la etapa de analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto puede incluir identificar una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto de referencia de al menos uno de los ojos del sujeto.

- 5 Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o una cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera,  
10 segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

- Opcionalmente, la imagen puede ser capturada después de cubrir y descubrir sucesivamente al menos uno de los  
15 ojos del sujeto. Además, el dispositivo de captura de imágenes puede ser un dispositivo de captura de vídeo o una cámara para capturar una secuencia de imágenes de los ojos del sujeto después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto y donde el procesador ejecuta instrucciones legibles por ordenador para comparar una de las imágenes en la secuencia con otra de las imágenes en la secuencia para determinar el movimiento del ojo una vez que el ojo está descubierto. Alternativamente, la imagen puede ser capturada mientras que al menos uno de los ojos del sujeto  
20 está cubierto por un filtro. El filtro puede ser opaco para el sujeto de modo que el sujeto no pueda ver a través del filtro, pero el filtro puede pasar luz de una longitud de onda especificada. En consecuencia, el dispositivo de captura de imágenes puede capturar la imagen de al menos uno de los ojos del sujeto a través del filtro.

- Opcionalmente, el aparato puede incluir un dispositivo de visualización. El aparato puede definir una primera superficie  
25 y una segunda superficie opuesta a la primera superficie. El dispositivo de visualización puede disponerse en la primera superficie y el dispositivo de captura de imágenes puede disponerse en la segunda superficie. Alternativa o adicionalmente, el aparato puede incluir una fuente de luz para iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con una luz. Opcionalmente, la fuente de luz puede incluir una o más fuentes de luz. La fuente de luz puede ser cualquier tipo de fuente de luz. Por ejemplo, la fuente de luz puede incluir una pluralidad de ledes dispuestos alrededor de un  
30 dispositivo de captura de vídeo. La pluralidad de ledes y su disposición se proporcionan solo a modo de ejemplo, y esta descripción contempla el uso de otras cantidades, tipos y/o disposiciones para la fuente de luz.

- Opcionalmente, el aparato puede proporcionar el objetivo visual para el sujeto. Además, la memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador,  
35 hacen que el procesador realice una medición de autorrefracción que mide una potencia del ojo de un sujeto. Como se emplea en esta solicitud, la medición de autorrefracción es una medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. La imagen puede ser capturada opcionalmente en respuesta a que la potencia del ojo del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativa o adicionalmente, la memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador  
40 almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador ajuste la medición de foria basándose en la medición de autorrefracción.

- Alternativa o adicionalmente, la memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador calcule una relación de acomodación  
45 de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

- Opcionalmente, el aparato es un dispositivo informático. Por ejemplo, el dispositivo informático puede ser  
50 opcionalmente un dispositivo informático móvil, tal como un ordenador portátil, una tableta o un teléfono móvil.

- Como se ha descrito anteriormente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de foria se puede hacer basándose en el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Alternativamente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de foria se puede hacer basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Esta  
55 descripción contempla que la medición de foria basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto puede ser igual o diferente.

- Opcionalmente, la luz puede estar en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético. Por ejemplo, la luz puede ser luz infrarroja o visible. Aunque se proporcionan luz infrarroja y visible como ejemplos, esta descripción  
60 contempla que se puede utilizar la luz procedente de otras porciones del espectro electromagnético.

Un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la alineación de al menos uno de los ojos de un sujeto

puede incluir realizar una medición de autorefracción y capturar una imagen de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. Como se ha descrito anteriormente, la medición de autorrefracción es una medición de una potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. Además, la imagen puede incluir un reflejo de luz desde cada uno de los ojos del sujeto. El procedimiento también puede incluir analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente, y determinar una medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

10 Opcionalmente, la imagen es capturada en respuesta a que la potencia de al menos uno de los ojos del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativamente, el procedimiento puede incluir opcionalmente ajustar la medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto basándose en la medición de autorrefracción. Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente calcular una relación de acomodación de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

15 Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente comparar una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

Opcionalmente, la etapa de analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente, comprende además identificar una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto de referencia de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

25 Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o una cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

30 Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

35 Opcionalmente, en referencia al procedimiento para medir automáticamente la alineación de al menos uno de los ojos de un sujeto, la medición de alineación puede ser una medición de foria o una medición de tropía.

Como se ha descrito anteriormente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Alternativamente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto.

40 Opcionalmente, la luz puede estar en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético. Por ejemplo, la luz puede ser luz infrarroja o visible. Aunque se proporcionan luz infrarroja y visible como ejemplos, esta descripción contempla que se puede utilizar la luz procedente de otras porciones del espectro electromagnético.

45 Opcionalmente, el procedimiento puede incluir iluminar los ojos del sujeto con una luz procedente de una fuente de luz.

Un aparato para medir la alineación de al menos uno de los ojos de un sujeto puede incluir un dispositivo de captura de imágenes para capturar una imagen de los ojos del sujeto, un procesador y una memoria en comunicación operativa con el procesador. La memoria puede tener instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador realice una medición de autorefracción que mide la potencia de al menos uno de los ojos del sujeto mientras enfoca el objetivo visual, reciba la imagen que incluye un reflejo de luz desde cada uno de los ojos del sujeto desde el dispositivo de captura de imágenes, analice la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente, y determine una medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

60 Opcionalmente, la imagen es capturada en respuesta a que la potencia de al menos uno de los ojos del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativamente, la memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador ajuste la medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto basándose en la medición de autorrefracción. Además, La memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son

ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador calcule una relación de acomodación de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

5 Además, la memoria puede tener otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador compare una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

10

Opcionalmente, la etapa de analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente, comprende además identificar una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto de referencia de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

15 Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o una cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera,

20 segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

Opcionalmente, el aparato puede incluir un dispositivo de visualización. El aparato puede definir una primera superficie y una segunda superficie opuesta a la primera superficie. El dispositivo de visualización puede disponerse en la primera superficie y el dispositivo de captura de imágenes puede disponerse en la segunda superficie. Opcionalmente, el aparato puede incluir una fuente de luz para iluminar los ojos del sujeto con una luz. Alternativa o adicionalmente, la fuente de luz puede incluir una o más fuentes de luz. La fuente de luz puede ser cualquier tipo de fuente de luz. Por ejemplo, la fuente de luz puede incluir una pluralidad de ledes dispuestos alrededor de un dispositivo de captura de vídeo. La pluralidad de ledes y su disposición se proporcionan solo a modo de ejemplo, y esta descripción contempla el uso de otras cantidades, tipos y/o disposiciones para la fuente de luz.

30

Opcionalmente, el aparato es un dispositivo informático. Por ejemplo, el dispositivo informático puede ser opcionalmente un dispositivo informático móvil, tal como un ordenador portátil, una tableta o un teléfono móvil.

35

Opcionalmente, en referencia al aparato para medir la alineación de al menos uno de los ojos de un sujeto, la medición de alineación puede ser una medición de foria o una medición de tropía.

40 Como se ha descrito anteriormente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Alternativamente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto.

Opcionalmente, la luz puede estar en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético. Por ejemplo, la luz puede ser luz infrarroja o visible. Aunque se proporcionan luz infrarroja y visible como ejemplos, esta descripción contempla que se puede utilizar la luz procedente de otras porciones del espectro electromagnético.

45

Un procedimiento de ejemplo para medir la alineación de al menos un ojo puede incluir realizar una medición de autorefracción de al menos uno de los ojos de un sujeto, realizar una medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto y compensar la medición de alineación basándose en la medición de autorefracción.

50 Como se ha descrito anteriormente, la medición de autorrefracción es una medición de una potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. La medición de autorrefracción se puede tomar mientras el sujeto está enfocando el objetivo visual, por ejemplo. Opcionalmente, la etapa de compensar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción incluye realizar la medición de alineación solo cuando la medición de autorrefracción está dentro de un intervalo

55 predeterminado. Alternativamente, la etapa de compensar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción incluye ajustar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción.

Opcionalmente, en referencia al procedimiento para medir la alineación de al menos un ojo, la medición de alineación puede ser una medición de foria o una medición de tropía.

60

Un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual puede incluir capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura

de imágenes. La imagen puede incluir al menos dos reflejos de la luz desde al menos uno de los ojos del sujeto. Por ejemplo, la imagen puede incluir al menos dos reflejos de la luz desde al menos dos de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto o una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Esta descripción contempla que la imagen puede incluir al menos dos reflejos de la luz desde cualquiera de las dos superficies de los ojos de un sujeto y no debería limitarse a los ejemplos anteriores (por ejemplo, la primera a la cuarta imagen de Purkinje). El procedimiento también puede incluir analizar a imagen para identificar las posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y determinar una medición de foria basándose en las posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir además comparar posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto y posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro del otro ojo del sujeto. La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con una luz utilizando una fuente de luz.

Un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual puede incluir iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con al menos dos luces utilizando al menos dos fuentes de luz, y capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir reflejos de las al menos dos luces desde al menos uno de los ojos del sujeto. Por ejemplo, la imagen puede incluir reflejos de las al menos dos luces desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto o una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Esta descripción contempla que la imagen puede incluir reflejos de las al menos dos luces desde cualquier superficie de los ojos de un sujeto y no debería limitarse a los ejemplos anteriores (por ejemplo, la primera a la cuarta imagen de Purkinje). El procedimiento también puede incluir analizar la imagen para identificar posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y determinar una medición de foria basándose en las posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir comparar posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de uno de los ojos del sujeto y posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro del otro ojo del sujeto, donde la medición de foria se determina basándose en el resultado de la comparación.

Un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual puede incluir la captura de una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir un punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto. Opcionalmente, el punto de referencia puede ser una característica dentro de al menos uno de los ojos del sujeto tal como un vaso sanguíneo, por ejemplo. Esta descripción contempla que puedan utilizarse otros puntos de referencia distintos de los vasos sanguíneos. El punto de referencia puede ser cualquier característica capturada e identificable dentro de la imagen capturada. El procedimiento también puede incluir analizar la imagen para identificar una posición del punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y determinar una medición de foria basándose en la posición del punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Debería entenderse que el objeto descrito anteriormente también puede implementarse como un aparato controlador por ordenador, un proceso informático, un sistema informático, o un artículo de fabricación, tal como un medio de almacenamiento legible por ordenador.

Otros sistemas, procedimientos, características y/o ventajas serán o pueden llegar a ser evidentes para un experto en la materia tras el examen de los siguientes dibujos y la descripción detallada. Se pretende que todos esos sistemas adicionales, procedimientos, características y/o ventajas sean incluidos dentro de esta descripción y estén protegidos por las reivindicaciones adjuntas.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los componentes de los dibujos no están necesariamente a escala unos con respecto a otros. Los números de referencia similares designan las partes correspondientes en las diversas vistas.

Las FIGURAS 1A-1C ilustran un aparato de ejemplo para realizar una detección automatizada de la alineación ocular según las implementaciones descritas en esta invención;

La FIGURA 2 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático de ejemplo;

Las FIGURAS 3A-3E ilustran una prueba automatizada de ejemplo para medición de foria.

5

La fig. 4 ilustra un diagrama de flujo de ejemplo para un procedimiento para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual.

10 La fig. 5 ilustra un diagrama de flujo para un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la alineación de al menos uno de los ojos de un sujeto.

La fig. 6 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo para medir la alineación de al menos un ojo.

15 La fig. 7 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual.

La fig. 8 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo más para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual.

20 La fig. 9 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos utilizados en esta solicitud tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por un experto ordinario en la materia. Procedimientos y materiales similares o equivalentes a los descritos en esta solicitud se pueden utilizar en la práctica o las pruebas de la presente descripción. Tal como se emplea en la presente memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una", "el" y "la" incluyen referencias plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. El término "que comprende" y las variaciones del mismo, como se emplea en esta solicitud, se emplean como sinónimos del término "que incluye" y las variaciones del mismo y son términos abiertos, no limitativos. Los términos "opcional" u  
30 "opcionalmente" que se emplean en esta solicitud significan que la característica, evento o circunstancia descritos a continuación puede ocurrir o no, y que la descripción incluye casos en los que dicha característica, evento o circunstancia ocurre y casos en los que no. Aunque se describirán implementaciones para la detección automatizada de la alineación lateral ocular, será evidente para los expertos en la materia que las implementaciones no se limitan a la misma. Por ejemplo, las implementaciones se pueden utilizar para detectar problemas con la alineación vertical ocular y problemas de alineación potencialmente ciclotorsionales.

Con referencia ahora a las figs. 1A-1C, se muestra un aparato de ejemplo (100) para realizar la detección automatizada de la alineación ocular. El aparato (100) puede utilizarse para realizar cualquiera de las técnicas automatizadas para medir la foria y/o tropía descritas en detalle a continuación. La fig. 1A ilustra una primera superficie (por ejemplo, una superficie frontal) (100A) del aparato (100). La fig. 1B ilustra una segunda superficie (por ejemplo, una superficie posterior) (100B) que es opuesta a la primera superficie (100A). Opcionalmente, el aparato (100) puede incluir una fuente de luz (120) para iluminar uno o más ojos del sujeto con una luz, un dispositivo de captura de imágenes (110),  
45 como una cámara, para capturar una imagen de uno o más ojos del sujeto, un procesador y una memoria en comunicación operativa con el procesador. Aunque el procesador y la memoria no se muestran en las figs. 1A-1C, el procesador y la memoria se describen en detalle con respecto a la fig. 2 a continuación. Opcionalmente, el dispositivo de captura de imágenes (110) puede ser un dispositivo de captura de vídeo. El aparato (100) también puede incluir un dispositivo de visualización (130). Como se muestra en las figs. 1A-1C, el dispositivo de visualización (130) puede disponerse en la primera superficie (100A) y el dispositivo de captura de imágenes (120) y la fuente de luz (110) pueden disponerse en la segunda superficie (100B).

Opcionalmente, el aparato (100) puede incluir una carcasa (180) para alojar un dispositivo informático móvil tal como una tableta o un teléfono móvil, por ejemplo. El dispositivo informático móvil puede incluir uno o más dispositivos de  
55 entrada/salida. Por ejemplo, el dispositivo informático móvil puede incluir opcionalmente un dispositivo de visualización sensible al tacto. El dispositivo de visualización sensible al tacto puede ser accesible/visible a través de la carcasa. Alternativa o adicionalmente, el dispositivo informático móvil puede incluir opcionalmente uno o más conmutadores, botones u otros controles que son accesibles/visibles a través de la carcasa. El aparato (100) puede tener un diseño ergonómico. Además, el aparato (100) puede estar provisto de marcas visuales. Por ejemplo, como se muestra en la  
60 fig. 1A, el aparato (100) puede estar provisto de un localizador visual (140) en la primera superficie (100A) que se alinea con el dispositivo de captura de imágenes (110) dispuesto en la segunda superficie (100B). Alternativa o adicionalmente, como se muestra en la fig. 1B, el aparato (100) puede estar provisto de un localizador visual (150) en



la segunda superficie (100B) para proporcionar un objetivo visual al sujeto. Opcionalmente, el localizador visual (150) pueden ser "retículos" (u otras marcas) dispuestos cerca del dispositivo de captura de imágenes (110) en los que el sujeto se fija durante las pruebas de alineación. Opcionalmente, como se muestra en la fig. 1B, el aparato (100) puede estar provisto de una o más porciones elevadas (160) en la segunda superficie (100B) para facilitar el agarre del aparato (100) desde una superficie plana.

La fuente de luz opcional (120) puede incluir una o más fuentes de luz. Esta descripción contempla que la fuente de luz (120) puede ser cualquier tipo de fuente de luz. Por ejemplo, como se muestra en la fig. 1B, la fuente de luz (120) se puede integrar en la carcasa que comprende ese aparato (100) e incluir una pluralidad de ledes dispuestos alrededor del dispositivo de captura de imágenes (110) (por ejemplo, 12 ledes dispuestos en un anillo). La pluralidad de ledes y su disposición mostrada en la fig. 1B se proporcionan solo a modo de ejemplo y esta descripción contempla el uso de otras cantidades, tipos y/o disposiciones para la fuente de luz (120). Alternativamente, en realizaciones de la invención no se proporciona una fuente de luz adicional y el aparato (100) utiliza luz ambiente o disponible. Alternativamente, se puede utilizar una fuente de luz separada tal como una lámpara, linterna y similares para practicar las realizaciones de la invención.

La fig. 1C es una vista de perfil lateral del aparato (100) para realizar la detección automatizada de la alineación ocular. Aunque las figs. 1A-1C generalmente ilustran un dispositivo informático móvil tal como una tableta o un teléfono móvil, por ejemplo, incorporado en una carcasa (180) para realizar la detección automatizada de la alineación ocular, la invención no se limitará a esta realización. El aparato puede ser independiente y comprender al menos un dispositivo de captura de imágenes para capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto; un procesador; y una memoria en comunicación operativa con el procesador. En otras realizaciones, el aparato puede utilizar o incorporarse en dispositivos tales como Google Glass (Google Corporation, Mountain View, California, EE. UU.), relojes, otros aparatos y dispositivos de pruebas de visión y similares.

Cuando las operaciones lógicas descritas en esta solicitud se implementan en software, el procedimiento puede ejecutarse en cualquier tipo de arquitectura o plataforma informática. Por ejemplo, con referencia a la fig. 2, se ilustra un dispositivo informático de ejemplo sobre el que se pueden implementar realizaciones de la invención. El dispositivo informático (200) puede ser opcionalmente un dispositivo informático móvil, como un ordenador portátil, una tableta o un teléfono móvil. El dispositivo informático (200) puede incluir un bus u otro mecanismo de comunicación para comunicar información entre diversos componentes del dispositivo informático (200). En su configuración más básica, el dispositivo informático (200) típicamente incluye al menos una unidad de procesamiento (206) y una memoria de sistema (204). Dependiendo de la configuración exacta y el tipo de dispositivo informático, la memoria de sistema (204) puede ser volátil (como una memoria de acceso aleatorio (RAM)), no volátil (como una memoria de solo lectura (ROM), una memoria flash, etc.) o alguna combinación de las dos. Esta configuración más básica se ilustra en la fig. 2 mediante la línea discontinua (202). La unidad de procesamiento (206) puede ser un procesador programable estándar que realiza operaciones aritméticas y lógicas necesarias para el funcionamiento del dispositivo informático (200).

El dispositivo informático (200) puede tener características/funcionalidades adicionales. Por ejemplo, el dispositivo informático (200) puede incluir almacenamiento adicional tal como almacenamiento extraíble (208) y almacenamiento no extraíble (210) incluyendo, pero no limitado a discos magnéticos u ópticos o cintas. El dispositivo informático (200) también puede contener una o más conexiones de red (216) que permiten que el dispositivo se comuniquen con otros dispositivos. dispositivo 200 de computación también puede tener dispositivo de entrada (s) 214 tal como un teclado, ratón, pantalla táctil, etc. Dispositivo de salida (s) 212 tal como una pantalla, altavoces, impresora, etc. También se pueden incluir. Los dispositivos adicionales pueden estar conectados al bus para facilitar la comunicación de datos entre los componentes del dispositivo informático (200). Todos estos dispositivos son bien conocidos en la técnica y no necesitan ser descritos detalladamente en el presente documento.

La unidad de procesamiento (206) puede configurarse para ejecutar código de programa codificado en medios tangibles legibles por ordenador. Los medios legibles por ordenador se refieren a cualquier medio que sea capaz de proporcionar datos que hacen que el dispositivo informático (200) (es decir, una máquina) funcione de una manera particular. Se pueden utilizar diversos medios legibles por ordenador para proporcionar instrucciones a la unidad de procesamiento (206) para su ejecución. Las formas comunes de medios legibles por ordenador incluyen, por ejemplo, medios magnéticos, medios ópticos, medios físicos, chips o cartuchos de memoria, una onda portadora o cualquier otro medio desde el cual pueda leer un ordenador. Los medios legibles por ordenador de ejemplo pueden incluir, pero no se limitan a, medios volátiles, medios no volátiles y medios de transmisión. Los medios volátiles y no volátiles pueden implementarse en cualquier procedimiento o tecnología para el almacenamiento de información tal como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos y las formas comunes se describen en detalle a continuación. Los medios de transmisión pueden incluir cables coaxiales, hilos de cobre y/o cables de fibra óptica, así como ondas acústicas o de luz, como las generadas durante la comunicación de datos por ondas de radio y por infrarrojos. Ejemplos de medios de grabación tangibles legibles por ordenador incluyen, pero no se limitan a, un circuito integrado (por ejemplo, matriz de puertas programables *in-situ* o IC específico de aplicación),

un disco duro, un disco óptico, un disco magneto-óptico, un disquete, una cinta magnética, un medio de almacenamiento holográfico, un dispositivo de estado sólido, RAM, ROM, memoria de solo lectura programable eléctricamente borrable (EEPROM), memoria flash u otra tecnología de memoria, CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD) u otro almacenamiento óptico, cassetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético u  
5 otros dispositivos de almacenamiento magnéticos.

En una implementación de ejemplo, la unidad de procesamiento (206) puede ejecutar código de programa almacenado en la memoria de sistema (204). Por ejemplo, el bus puede transportar datos a la memoria de sistema (204), desde la cual la unidad de procesamiento (206) recibe y ejecuta instrucciones. Los datos recibidos por la memoria de sistema  
10 (204) pueden almacenarse opcionalmente en el almacenamiento extraíble (208) o en el almacenamiento no extraíble (210) antes o después de la ejecución por la unidad de procesamiento (206).

El dispositivo informático (200) típicamente incluye una variedad de medios legibles por ordenador. Los medios legibles por ordenador pueden ser cualquier medio disponible al que pueda acceder el dispositivo (200) e incluyen medios tanto volátiles como no volátiles, medios extraíbles y no extraíbles. Los medios de almacenamiento informático incluyen medios volátiles y no volátiles y medios extraíbles y no extraíbles implementados en cualquier procedimiento o tecnología para almacenamiento de información, tales como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programas u otros datos. La memoria de sistema (204), el almacenamiento extraíble (208) y el almacenamiento no extraíble (210) son todos ejemplos de medios de almacenamiento informáticos. Los medios de  
20 almacenamiento informáticos incluyen, pero no se limitan a, RAM, ROM, memoria de solo lectura programable eléctricamente borrable (EEPROM), memoria flash u otra tecnología de memoria, CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD) u otro almacenamiento óptico, cassetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnéticos o cualquier otro medio que se pueda utilizar para almacenar la información deseada y al que pueda acceder el dispositivo informático (200). Cualquiera de tales medios de  
25 almacenamiento informáticos puede formar parte del dispositivo informático (200).

Debería entenderse que las diversas técnicas descritas en esta solicitud pueden implementarse en conexión con un hardware o software, o, cuando sea apropiado, con una combinación de los mismos. Por lo tanto, los procedimientos y aparatos del objeto descrito actualmente o ciertos aspectos o partes del mismo, pueden adoptar la forma de código de programa (es decir, instrucciones) incorporado en medios tangibles, tales como disquetes, CD-ROM, discos duros o cualquier otro medio de almacenamiento legible por máquina donde, cuando el código de programa es cargado en y ejecutado por una máquina, tal como un dispositivo informático, la máquina se convierte en un aparato para practicar el objeto descrito actualmente. En el caso de la ejecución de código de programa en ordenadores programables, el dispositivo informático generalmente incluye un procesador, un medio de almacenamiento legible por el procesador  
35 (incluyendo memoria volátil y no volátil y/o elementos de almacenamiento), al menos un dispositivo de entrada y al menos un dispositivo de salida. Uno o más programas pueden implementarse o utilizar los procedimientos descritos en relación con el objeto descrito actualmente, por ejemplo, mediante el uso de una interfaz de programación de aplicaciones (API), controles reutilizables o similares. Tales programas pueden implementarse en un lenguaje de programación por procedimientos u orientado a objetos de alto nivel para la comunicación con un sistema informático.  
40 Sin embargo, el (los) programa(s) puede(n) implementarse en lenguaje ensamblador o de máquina, si se desea. En todo caso, el lenguaje puede ser un lenguaje compilado o interpretado y puede combinarse con implementaciones de hardware.

Las técnicas para la medición automatizada de la alineación ocular descritas en esta solicitud pueden implementarse opcionalmente con un dispositivo informático móvil, tal como un ordenador portátil, una tableta o un teléfono móvil. En consecuencia, el dispositivo informático móvil es extremadamente pequeño en comparación con los dispositivos convencionales y es muy portátil, lo que permite que el dispositivo informático móvil se utilice cuando las pruebas para la alineación ocular deben realizarse en múltiples miradas. Esto es importante para la optometría, la oftalmología, la neurología y la medicina de emergencia porque las pruebas de la integridad de los nervios craneales dependen del aspecto de múltiples miradas de estas pruebas. Muchos dispositivos convencionales tienen una mentonera que requiere que los sujetos solo miren directamente hacia adelante durante estas pruebas. A diferencia de los dispositivos convencionales, el dispositivo informático móvil se puede situar en cualquier posición con respecto a la cabeza del sujeto donde los ojos puedan seguir viéndose y puedan hacerse mediciones. Esto también sería cierto para un sujeto con lesión cerebral traumática que está en decúbito supino, donde las pruebas del nervio craneal serían un reto para  
55 el clínico.

Como se ha descrito anteriormente, la foria es una desviación latente que solo se presenta cuando un ojo está cubierto. Cuando ambos ojos están abiertos y descubiertos, el sujeto puede enfocar ambos ojos hacia el mismo objeto. Utilizando las pruebas automatizadas de medición de foria descritas a continuación, es posible eliminar la necesidad de la estimación prismática de la magnitud y la dirección de la medición de tropía o de foria que se utiliza normalmente en el procedimiento de medición manual, prueba de cobertura. En su lugar, se puede utilizar un dispositivo informático con un dispositivo de captura de imágenes y una fuente de luz (por ejemplo, el aparato mostrado en las figs. 1A-1B).  
60

En una implementación de ejemplo (figs. 3A-3E), la prueba automatizada de medición de foria puede utilizar la imagen I de Purkinje (es decir, un reflejo de luz de la superficie externa de la córnea). El clínico puede cubrir uno de los ojos del sujeto como de costumbre y quitar la cubierta mientras el dispositivo de captura de imágenes (por ejemplo, una cámara, una cámara de vídeo, etc.) está grabando el ojo cubierto y la imagen I de Purkinje para el ojo descubierto.

5 Una vez que se quita la cubierta, el dispositivo de captura de imágenes graba la imagen I de Purkinje para ambos ojos. Por ejemplo, el dispositivo de captura de imágenes puede grabar una serie de imágenes fijas o un vídeo continuo. El ojo descubierto tarda aproximadamente de 1 a 2 segundos en volver a mirar un objeto una vez que se quita la cubierta. Por lo tanto, las imágenes que son capturadas durante esos 1 a 2 segundos son analizadas. La medición real se logra observando la ubicación de las imágenes I de Purkinje en relación con donde se encuentran dentro de la porción visible del iris en ambos ojos. A partir de estas posiciones relativas, es posible determinar hacia dónde estaba enfocando el ojo, es decir, una medición de foria, de una manera que es similar a la prueba de Hirshberg para la tropía.

Opcionalmente, se pueden realizar mediciones automatizadas de la tropía y la foria con mediciones de la potencia del ojo obtenidas con autorrefracción. Si un sujeto está mirando muy lejos, la potencia del ojo que se mide con autorrefracción es una estimación de la prescripción de las gafas del sujeto. Sin embargo, si el sujeto está mirando un objetivo cercano, un autorrefractor puede medir cuánto está enfocando el sujeto para ver ese objeto cercano. Las mediciones de la tropía y de la foria siempre se hacen ambas mientras el sujeto está mirando a lo lejos y también mientras el sujeto está mirando un objetivo cercano. Es importante que durante la medición de distancia los ojos estén completamente relajados y que durante la medición cercana los ojos estén enfocando con precisión. Las mediciones de la tropía y de la foria cercanas serán diferentes de las mediciones de la tropía y la foria a distancia solo si un sujeto tiene una relación de acomodación de convergencia acomodativa (AC/A) anormal. La relación AC/A es la cantidad que el ojo gira hacia adentro (por ejemplo, convergencia acomodativa, AC) por cada unidad de potencia para enfocar un objetivo cercano (por ejemplo, acomodación, A). La acomodación y la convergencia acomodativa están relacionadas neurológicamente. Si alguien con una AC/A anormal enfoca poco o demasiado un objetivo cercano, el clínico obtendrá una medición de foria o de tropía cercana diferente que si el sujeto está enfocando con precisión. La AC/A puede calcularse haciendo que alguien mire dos o más objetivos diferentes que requieren diferentes cantidades de acomodación (dos denominadores diferentes, "A") y comparando la convergencia acomodativa (el numerador, "AC") y calculando la diferencia entre la convergencia para un objetivo y el otro objetivo para determinar la AC/A. Según las técnicas descritas en el presente documento, pueden utilizarse la misma cámara y luz para realizar mediciones simultáneas de la tropía/foria y de autorrefracción. Esto le permite al clínico realizar solo la medición cuando el sujeto se está acomodando a un cierto nivel o ajustar la medición de tropía/foria basándose en el esfuerzo acomodativo que se ejerció, mejorando así la precisión de la medición.

Además, todas estas mismas mediciones de formación de imágenes proporcionan una medición de la AC/A de cada sujeto. Por lo tanto, es posible determinar cuánto giró el ojo hacia adentro (por ejemplo, convergencia acomodativa, AC) desde la posición de la imagen I de Purkinje para ambos ojos y cuánto se acomodó el sujeto (A). Actualmente, no hay mediciones automatizadas de AC/A. Actualmente, la prueba de cobertura se realiza a distancias múltiples que requieren diferentes niveles de acomodación, y la relación se determina a partir de al menos dos de tales mediciones o se sitúan lentes delante del ojo y el clínico supone que el sujeto tiene la misma cantidad de acomodación que las lentes. Para determinar la convergencia acomodativa (AC) se realiza una medición de foria con y sin las lentes.

Con referencia ahora a las figs. 3A-3E, se muestra una prueba automatizada de ejemplo para medición de foria. En la fig. 3A, los ojos derecho e izquierdo del sujeto se fijan en el mismo lugar. Los ojos del sujeto (por ejemplo, al menos uno de los ojos del sujeto) se pueden iluminar con una luz mediante una fuente de luz. Opcionalmente, se puede utilizar luz ambiente o disponible, donde no se requiere una fuente de luz adicional. Opcionalmente, la luz puede estar en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético. Por ejemplo, la luz puede ser luz infrarroja o visible. Aunque se proporcionan luz infrarroja y visible como ejemplos, esta descripción contempla que se puede utilizar la luz procedente de otras porciones del espectro electromagnético.

50 Una imagen de los ojos del sujeto puede ser capturada utilizando un dispositivo de captura de imágenes, por ejemplo. Como se muestra en la fig. 3A, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde los ojos del sujeto u otra característica distintiva (vaso sanguíneo, porción visible del iris, característica del iris, centro de la pupila, centro del diámetro del iris visible, etc.). Por ejemplo, se muestran un reflejo de la luz (302A) desde el ojo derecho (302) del sujeto y un reflejo de luz (304A) desde el ojo izquierdo (304) del sujeto. Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de los ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto. Además, esta descripción contempla que puede utilizarse cualquier otra característica del ojo (vaso sanguíneo, porción visible del iris, característica del iris, centro de la pupila, centro del

diámetro del iris visible, etc.) para rastrear su posición o movimiento y, por lo tanto, no se requiere un reflejo.

En la fig. 3A, la distancia "A" es la distancia entre el reflejo de la luz (302A) desde el ojo derecho (302) del sujeto y una porción visible de un iris (302B) del ojo derecho (302) del sujeto, y la distancia "B" es la distancia entre el reflejo de luz (304A) desde el ojo izquierdo (304) del sujeto y una porción visible de un iris (304B) del ojo izquierdo (304) del sujeto. Como la distancia "A" es igual a la distancia "B", no existe tropía. Para determinar si existe una foria, uno de los ojos del sujeto puede cubrirse y descubrirse sucesivamente. Opcionalmente, se puede capturar una secuencia de imágenes después de descubrir uno de los ojos del sujeto. Como se describe a continuación, el reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en una de la secuencia de imágenes se puede comparar con una posición del reflejo de la luz dentro del al menos uno de los ojos del sujeto en otra de la secuencia de imágenes para determinar cualquier movimiento después de que se descubra el ojo del sujeto y se puede calcular la magnitud y dirección de la foria o tropía a partir del movimiento.

En la fig. 3B, el ojo izquierdo (304) del sujeto está cubierto con una cubierta (306). En la fig. 3C, el ojo izquierdo (304) del sujeto está parcialmente descubierto. Como se ha descrito anteriormente, las imágenes se pueden capturar cubriendo y descubriendo sucesivamente el ojo izquierdo (304) del sujeto. En la fig. 3D, el ojo izquierdo (304) del sujeto está completamente descubierto. De forma similar a la anterior, se puede capturar una imagen de los ojos del sujeto utilizando el dispositivo de captura de imágenes cuando el ojo izquierdo (304) del sujeto está completamente descubierto. Como se muestra en la fig. 3D, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde los ojos del sujeto, por ejemplo, se muestran un reflejo de la luz (302A) desde el ojo derecho (302) del sujeto y un reflejo de la luz (304A) desde el ojo izquierdo (304) del sujeto. En la fig. 3D, la distancia "A" es la distancia entre el reflejo de la luz (302A) desde el ojo derecho (302) del sujeto y una porción visible de un iris (302B) del ojo derecho (302) del sujeto, y la distancia "B" es la distancia entre el reflejo de luz (304A) desde el ojo izquierdo (304) del sujeto y una porción visible de un iris (304B) del ojo izquierdo (304) del sujeto. Como la distancia "A" no es igual a la distancia "B", existe una foria. Por ejemplo, en la fig. 3D existe una exoforia porque la distancia "B" es menor que la distancia "A". La medición de foria se puede determinar basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de los ojos del sujeto en la fig. 3D.

Después de aproximadamente 1-2 segundos, el ojo izquierdo (304) del sujeto (por ejemplo, el ojo que fue cubierto y descubierto sucesivamente), retoma la fijación en el mismo lugar que el ojo derecho (302) del sujeto. Por lo tanto, como se muestra en la fig. 3E, la distancia "A" es la distancia entre el reflejo de la luz (302A) desde el ojo derecho (302) del sujeto y una porción visible de un iris (302B) del ojo derecho (302) del sujeto, y la distancia "B" es la distancia entre el reflejo de luz (304A) desde el ojo izquierdo (304) del sujeto y una porción visible de un iris (304B) del ojo izquierdo (304) del sujeto. Como la distancia "A" es igual a la distancia "B", no existe una tropía.

Debería apreciarse que las operaciones lógicas descritas en esta solicitud con respecto a las diversas figuras pueden implementarse (1) como una secuencia de actos o módulos de programa implementados por ordenador (es decir, software) que se ejecutan en un dispositivo informático, (2) como circuitos lógicos o módulos de circuitos de máquina interconectados (es decir, hardware) dentro del dispositivo informático y/o (3) una combinación de software y hardware del dispositivo informático. Por lo tanto, las operaciones lógicas analizadas en esta solicitud no se limitan a ninguna combinación específica de hardware y software. La implementación es una cuestión de elección que depende del rendimiento y otros requisitos del dispositivo informático. En consecuencia, las operaciones lógicas descritas en esta solicitud se denominan de diversas formas como operaciones, dispositivos estructurales, actos o módulos. Estas operaciones, dispositivos estructurales, actos y módulos pueden implementarse en software, en firmware, en lógica digital de propósito especial y en cualquier combinación de los mismos. También debería apreciarse que se pueden realizar más o menos operaciones que las mostradas en las figuras y descritas en esta solicitud. Estas operaciones también se pueden realizar en un orden diferente al descrito en esta solicitud.

La fig. 4 ilustra un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa (402), capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos uno de los ojos del sujeto. El procedimiento también puede incluir la Etapa (404), analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la Etapa (406), determinar una medición de foria basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir comparar una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

Opcionalmente, la etapa de análisis de la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto puede incluir la identificación de una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto

de referencia de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los  
 5 ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o una cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie  
 10 del ojo de un sujeto.

Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente cubrir y descubrir sucesivamente al menos uno de los ojos del sujeto. Además, la imagen puede ser capturada después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto. Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente capturar una secuencia de imágenes de los ojos del sujeto después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto y comparar el reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del  
 15 sujeto en una de la secuencia de imágenes con una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en otra de la secuencia de imágenes para determinar cualquier movimiento después de que se descubra el ojo del sujeto.

Alternativamente, el procedimiento puede incluir cubrir al menos uno de los ojos del sujeto con un filtro, donde la imagen es capturada mientras que al menos uno de los ojos del sujeto está cubierto por el filtro. El filtro puede ser opaco para el sujeto de modo que el sujeto no pueda ver a través del filtro, pero el filtro puede pasar luz de una longitud de onda determinada (por ejemplo, luz infrarroja). Un filtro de ejemplo es el WRATTEN # 89B de EASTMAN KODAK COMPANY de ROCHESTER, NY. Debería entenderse que el WRATTEN # 89B se proporciona solo a modo de  
 20 ejemplo y que se pueden utilizar otros filtros, incluyendo filtros que pasan luz con longitudes de onda distintas a la infrarroja. En consecuencia, el dispositivo de captura de imágenes puede capturar la imagen de al menos uno de los ojos del sujeto a través del filtro. En otras palabras, la medición de alineación puede realizarse sin cubrir y descubrir sucesivamente al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir realizar una medición de autorrefracción. Como se emplea en esta solicitud, la medición de autorrefracción es una medición de una potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. La medición de autorrefracción se puede tomar mientras el sujeto está enfocando el objetivo visual, por ejemplo. La imagen puede ser capturada opcionalmente en respuesta a que la potencia del ojo del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativa  
 25 o adicionalmente, el procedimiento puede incluir opcionalmente ajustar la medición de foria basándose en la medición de autorrefracción.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir calcular una relación de acomodación de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de  
 30 autorrefracción.

La fig. 5 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la alineación de al menos uno de los ojos de un sujeto. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa (502), realizar una medición de autorrefracción y que captura una imagen de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de  
 35 imágenes. Como se ha descrito anteriormente, la medición de autorrefracción es una medición de una potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. Además, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cada uno de los ojos del sujeto. El procedimiento también puede incluir la Etapa (504), analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente, y determinar una medición de alineación de al menos uno de los ojos del  
 40 sujeto basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

Opcionalmente, la imagen es capturada en respuesta a que la potencia de al menos uno de los ojos del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativamente, el procedimiento puede incluir opcionalmente la Etapa (506), ajustar la medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto basándose en la medición de autorrefracción.  
 45 Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente calcular una relación de acomodación de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

Además, el procedimiento puede incluir opcionalmente comparar una posición del reflejo de la luz dentro de uno de  
 50 los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

Opcionalmente, la etapa de analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente, comprende además identificar una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto de referencia de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

5

Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o una segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Alternativa o adicionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o una cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque la primera a la cuarta imágenes de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta descripción contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

10

15 Opcionalmente, la medición de alineación puede ser una medición de foria o una medición de tropía.

La fig. 6 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo para medir la alineación de al menos un ojo. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa (602), realizar una medición de autorrefracción de al menos uno de los ojos de un sujeto, la Etapa (604), realizar una medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto, y la Etapa (606), compensar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción.

20

Como se ha descrito anteriormente, la medición de autorrefracción es una medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, incluyendo, pero no limitada a la autorrefracción o fotorrefracción. La medición de autorrefracción se puede tomar mientras el sujeto está enfocando el objetivo visual, por ejemplo. Opcionalmente, la etapa de compensar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción incluye realizar la medición de alineación solo cuando la medición de autorrefracción está dentro de un intervalo predeterminado. Alternativamente, la etapa de compensar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción incluye ajustar la medición de alineación basándose en la medición de autorrefracción.

25

30 Opcionalmente, la medición de alineación puede ser una medición de foria o una medición de tropía.

La fig. 7 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa (702), capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir al menos dos reflejos de la luz desde al menos uno de los ojos del sujeto. Por ejemplo, la imagen puede incluir al menos dos reflejos de la luz desde al menos dos de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto o una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Esta descripción contempla que la imagen puede incluir al menos dos reflejos de la luz desde cualquiera de las dos superficies de los ojos de un sujeto y no debería limitarse a los ejemplos anteriores (por ejemplo, la primera a la cuarta imagen de Purkinje). El procedimiento también puede incluir la Etapa (704), analizar la imagen para identificar las posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y determinar una medición de foria basándose en las posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

35

40

45

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir además comparar posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto y posiciones respectivas de los al menos dos reflejos de la luz dentro del otro ojo del sujeto. La medición de foria se puede determinar basándose en un resultado de la comparación.

50

La fig. 8 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo más para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa (802), iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con al menos dos luces utilizando al menos dos fuentes de luz, y la Etapa (804), capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir reflejos de las al menos dos luces desde al menos uno de los ojos del sujeto. Por ejemplo, la imagen puede incluir reflejos de las al menos dos luces desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea (por ejemplo, una primera o segunda imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto o una superficie externa (anterior) o interna (posterior) de un cristalino (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Esta descripción contempla que la imagen puede incluir reflejos de las al menos dos luces desde cualquier superficie de los ojos de un sujeto y no debería limitarse a los ejemplos anteriores (por ejemplo, la primera a la cuarta imagen de Purkinje). El procedimiento también puede incluir la Etapa (806), analizar la imagen para identificar posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y la Etapa (808), determinar una medición de foria basándose

55

60

en las posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir comparar posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de uno de los ojos del sujeto y posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro del otro ojo del sujeto, donde la medición de foria se determina basándose en el resultado de la comparación.

La fig. 9 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa (902), capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir un punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto. Opcionalmente, el punto de referencia puede ser una característica dentro de al menos uno de los ojos del sujeto tal como un vaso sanguíneo, por ejemplo. Esta descripción contempla que se pueden utilizar puntos de referencia diferentes a los vasos sanguíneos, tales como una característica del iris, la porción visible del iris, el punto medio de la pupila o el punto medio del iris visible y similares. El punto de referencia puede ser cualquier característica capturada e identificable dentro de la imagen capturada. El procedimiento también puede incluir la Etapa (904), analizar la imagen para identificar una posición del punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la Etapa (906), determinar una medición de foria basándose en la posición del punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Como se emplea en esta solicitud, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de foria se puede hacer basándose en el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Alternativamente, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de foria se puede hacer basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Esta descripción contempla que la medición de foria basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto puede ser igual o diferente.

En lo siguiente, la presente invención y diversos detalles y realizaciones específicas se describirán en cláusulas numeradas. En consecuencia, la presente invención se refiere en primer lugar (1.) a un procedimiento para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual, que comprende:

capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes, incluyendo la imagen un reflejo de luz desde cualquier superficie del al menos uno de los ojos del sujeto; analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto; y determinar una medición de foria basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

2. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 1., que comprende además comparar una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto, donde la medición de foria se determina basándose en un resultado de la comparación.

3. Opcionalmente, la presente invención se refiere a un procedimiento según cualquiera de 1. a 2., donde analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro del al menos uno de los ojos del sujeto comprende además identificar una posición del reflejo de la luz con respecto a un punto de referencia del al menos uno de los ojos del sujeto.

4. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 3., donde la imagen incluye un reflejo de la luz desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea o una superficie externa o interna de un cristalino del al menos uno de los ojos del sujeto.

5. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 4., donde la imagen es una primera segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje.

6. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 5., que comprende además cubrir y descubrir el al menos uno de los ojos del sujeto, en el que la imagen es capturada después de descubrir el al menos uno de los ojos del sujeto.

7. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 6., que comprende además capturar una secuencia de imágenes de los ojos del sujeto después de descubrir el al menos uno de los ojos del sujeto, y comparar una posición del reflejo de la luz dentro del al menos uno de los ojos del sujeto en una de la secuencia de imágenes con una posición del reflejo de la luz dentro del al menos uno de los ojos del sujeto en otra de la secuencia de imágenes para determinar cualquier magnitud y dirección de cualquier movimiento después de que se descubra al menos uno de los ojos del sujeto.

8. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 5., que comprende además cubrir al menos uno de los ojos del sujeto con un filtro, donde la imagen es capturada mientras al menos uno de los ojos del sujeto está cubierto por el filtro.
- 5 9. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 8., que comprende además realizar una medición de autorrefracción, midiendo la medición de autorrefracción una potencia de uno de los ojos del sujeto mientras enfoca el objetivo visual.
- 10 10. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 9., donde la imagen es capturada en respuesta a que la potencia del uno de los ojos del sujeto está dentro de un intervalo predeterminado.
11. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 9., que comprende además ajustar la medición de foria basándose en la medición de autorrefracción.
- 15 12. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 9., que comprende además calcular una relación de acomodación de convergencia acomodativa basándose en una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.
- 20 13. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 12., donde el al menos uno de los ojos del sujeto es el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto.
14. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 12., donde el al menos uno de los ojos del sujeto es el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto.
- 25 15. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según 1., que comprende además iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con una luz utilizando una fuente de luz para crear el reflejo.
- 30 16. Además, la presente invención se refiere al procedimiento según cualquiera de 1. a 15., donde la luz está en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético.



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual, que comprende:
- 5            cubrir y descubrir al menos uno de los ojos del sujeto;  
              capturar una secuencia de imágenes del al menos uno de los ojos del sujeto después de descubrir el al menos uno de los ojos del sujeto utilizando un dispositivo de captura de imágenes, incluyendo una primera imagen de la secuencia de imágenes un primer reflejo de luz desde el al menos uno de los ojos del sujeto e incluyendo una  
10            segunda imagen de la secuencia de imágenes un segundo reflejo de luz desde el al menos uno de los ojos del sujeto, donde la primera imagen y la segunda imagen son capturadas en diferentes momentos después de descubrir el al menos uno de los ojos del sujeto;  
              comparar una posición del primer reflejo de la luz dentro de la primera imagen de la secuencia de imágenes con una posición del segundo reflejo de la luz dentro de la segunda imagen de la secuencia de imágenes para  
15            determinar una magnitud y una dirección de cualquier movimiento después de que se descubre el al menos uno de los ojos del sujeto; y  
              determinar una medición de foria basándose en la magnitud determinada y la dirección del movimiento después de que se descubre el al menos uno de los ojos del sujeto.
- 20 2. El procedimiento según la reivindicación 1, donde la primera imagen y la segunda imagen incluyen al menos dos reflejos de la luz desde al menos dos de una superficie externa o interna de una córnea o una superficie externa o interna de un cristalino de al menos uno de los ojos del sujeto.
3. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además iluminar al menos uno de los ojos  
25 del sujeto con una luz utilizando una fuente de luz para crear el reflejo.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con al menos dos luces utilizando al menos dos fuentes de luz y analizar la primera imagen y la segunda imagen para identificar las posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro del al menos uno de los  
30 ojos del sujeto, donde la secuencia de imágenes incluye una primera imagen y una segunda imagen que incluyen reflejos de las al menos dos luces desde al menos uno de los ojos del sujeto y determinar una medición de foria se basa en las posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro del al menos uno de los ojos del sujeto.
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende, además, comparar posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro de uno de los ojos del sujeto en la primera imagen y la segunda imagen y posiciones respectivas de los reflejos de las al menos dos luces dentro del otro ojo del sujeto en la primera imagen y la segunda imagen, donde la medición de foria se determina basándose en un resultado de la comparación.
- 40 6. El procedimiento según la reivindicación 4, donde la primera imagen y la segunda imagen incluyen reflejos de las al menos dos luces desde al menos una de una superficie externa o interna de una córnea o una superficie externa o interna de un cristalino del al menos uno de los ojos del sujeto.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además:  
45            analizar la primera imagen de la secuencia de imágenes y la segunda imagen de la secuencia de imágenes para identificar una posición del primer reflejo de luz y el segundo reflejo de luz con respecto a un punto de referencia del al menos uno de los ojos del sujeto, donde la secuencia de imágenes incluye el punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y  
50            determinar una medición de foria se basa en la posición del primer reflejo de luz y el segundo reflejo de luz con respecto al punto de referencia dentro del al menos uno de los ojos del sujeto tal como se determina entre la primera y segunda imágenes.
8. El procedimiento de la reivindicación 7, donde el punto de referencia es una característica dentro del al  
55 menos uno de los ojos del sujeto.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, donde la característica es un vaso sanguíneo.

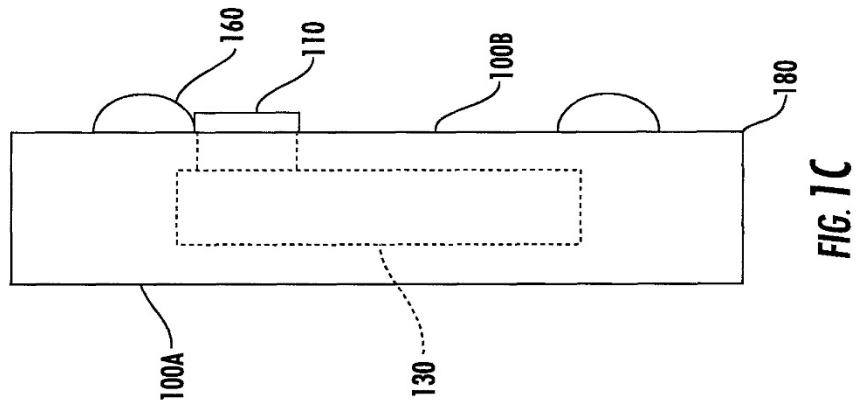


FIG. 1C

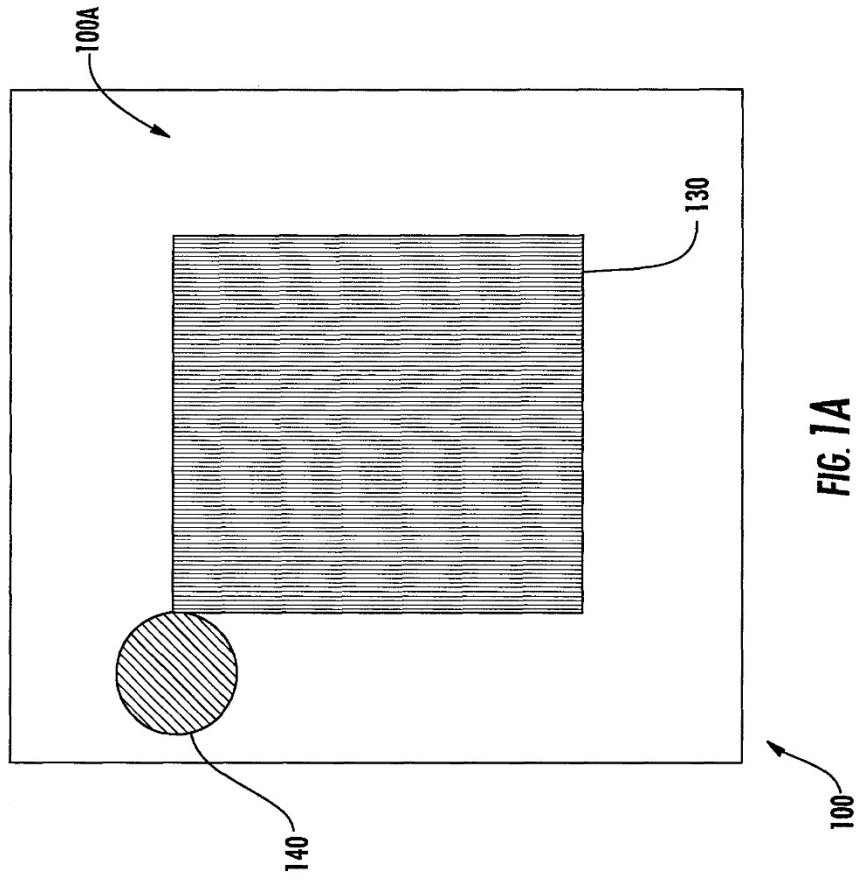
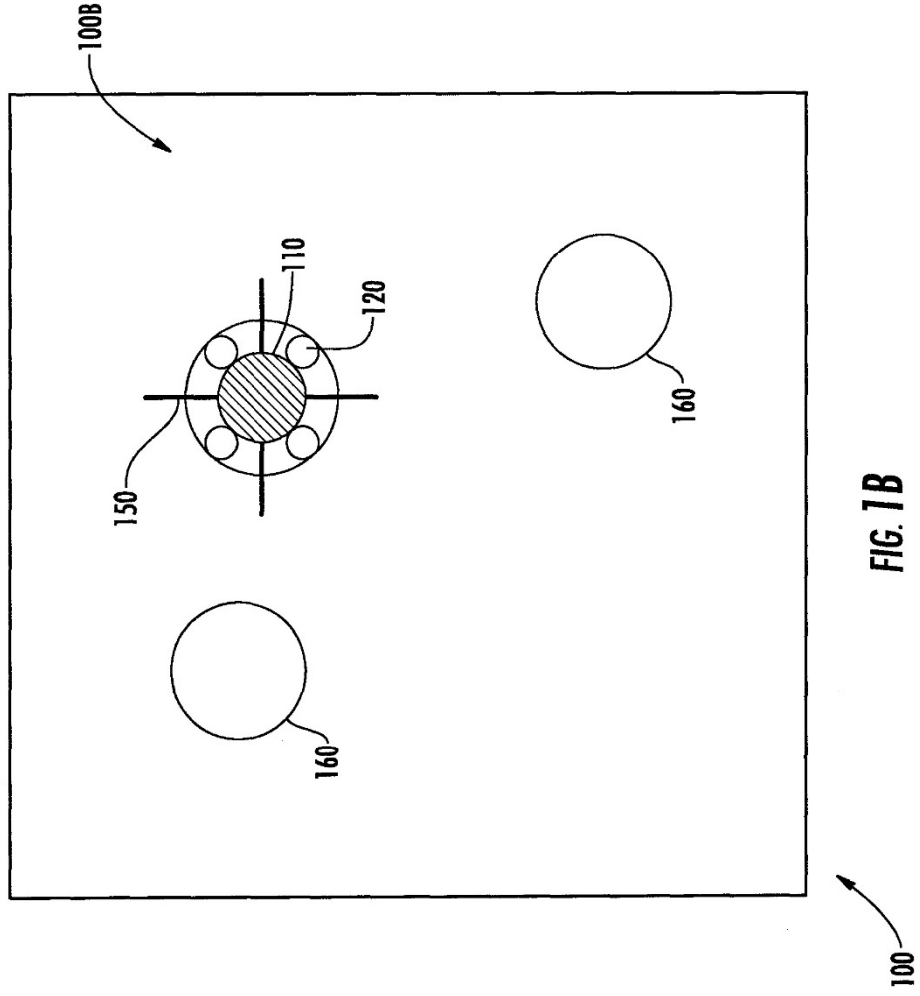


FIG. 1A



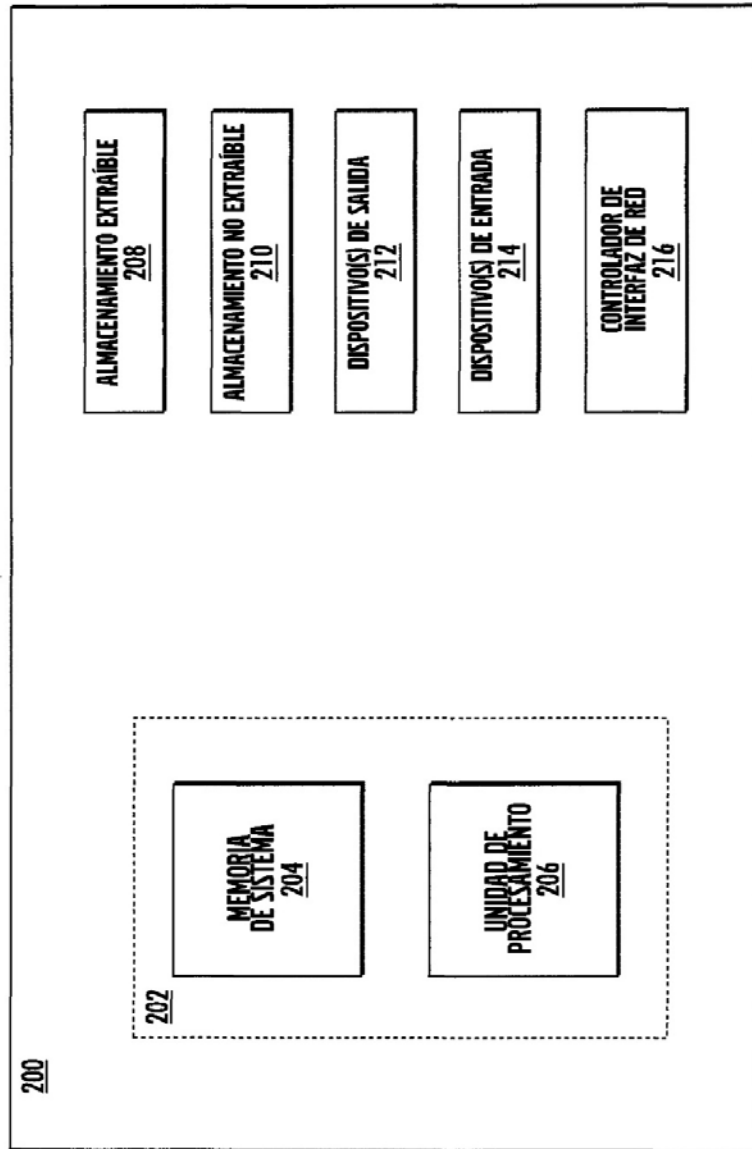


FIG. 2

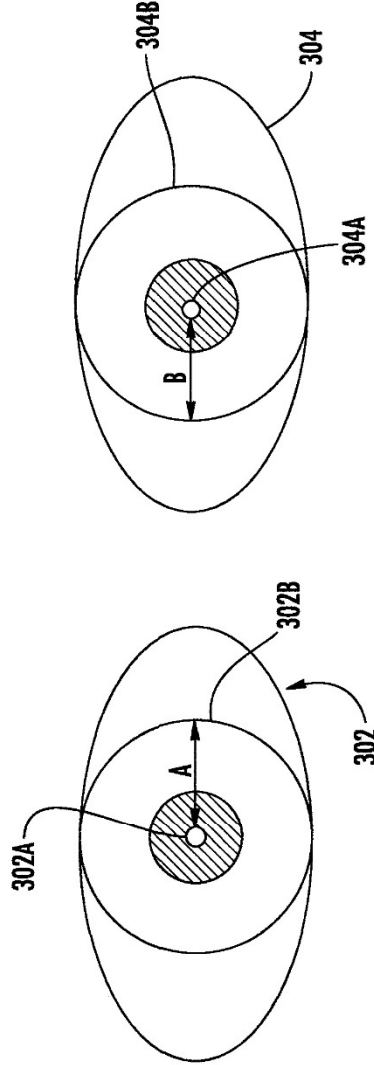
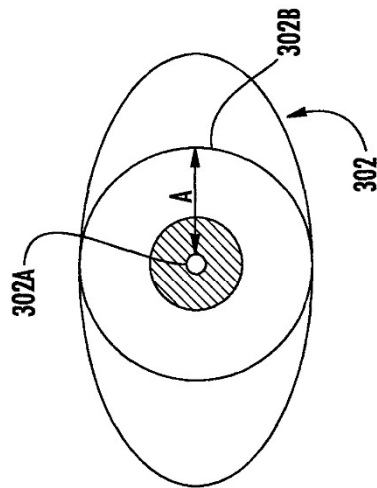
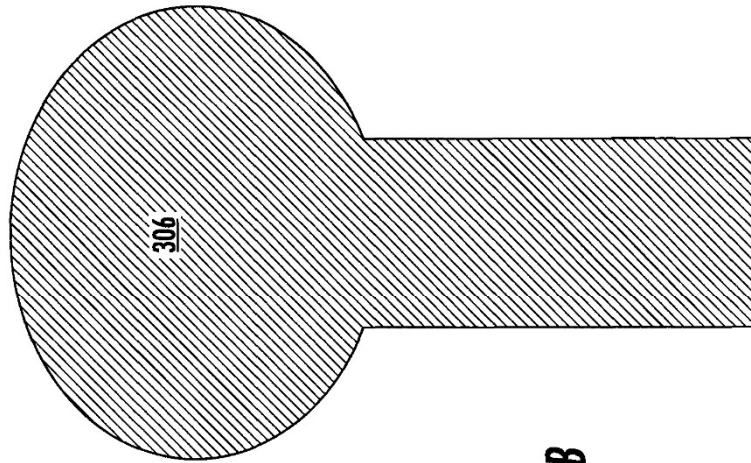


FIG. 3A



**FIG. 3B**

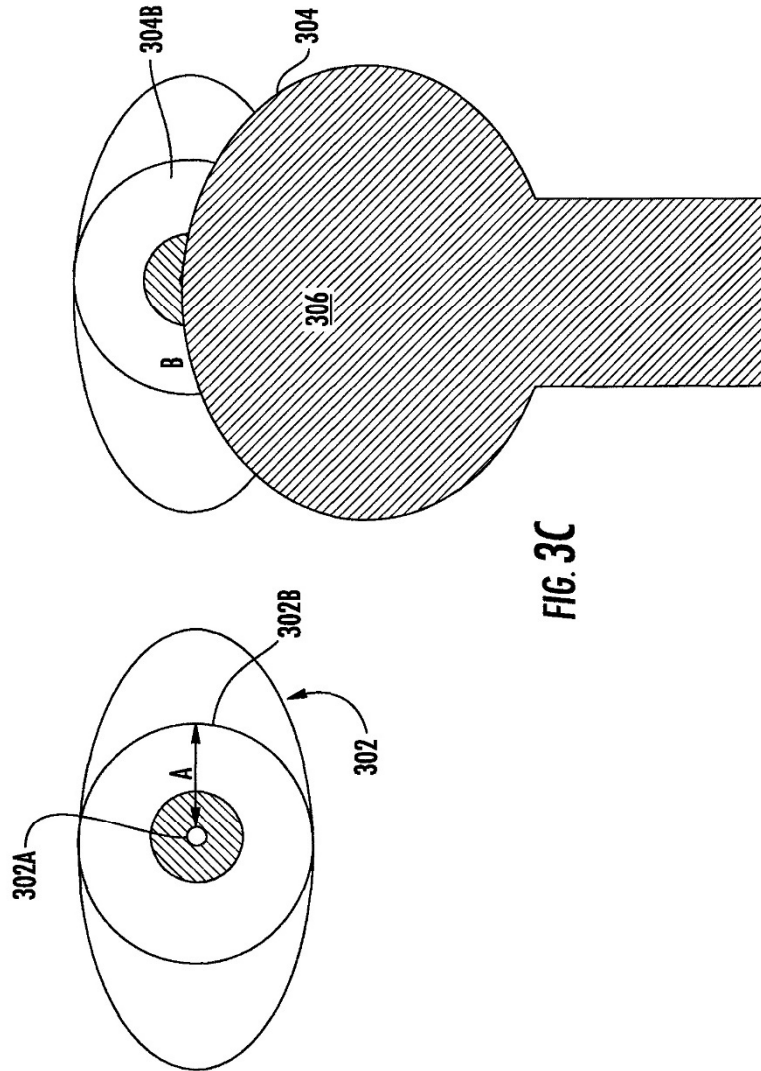


FIG. 3C

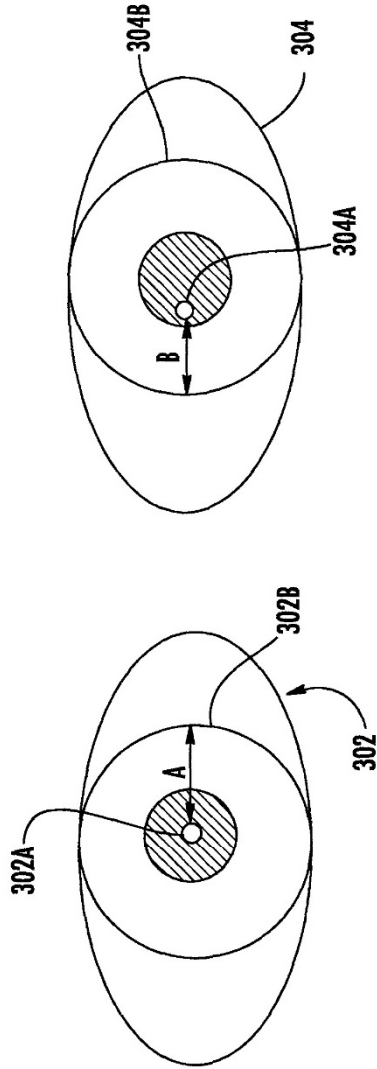


FIG. 3D



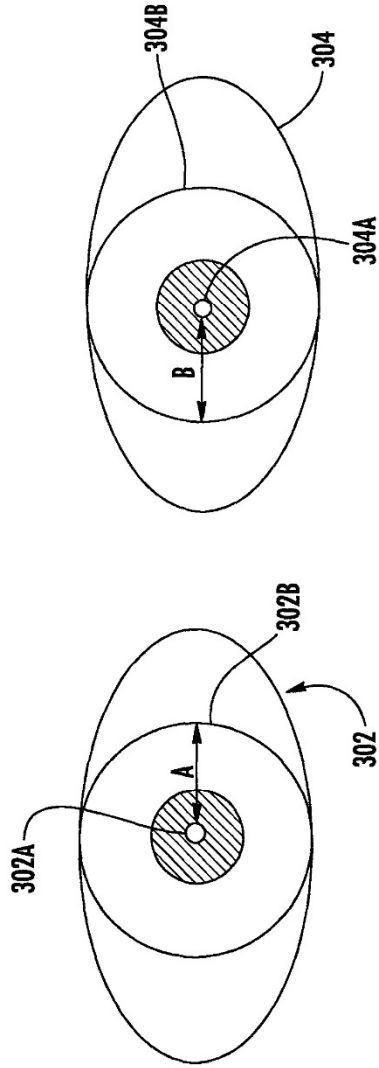
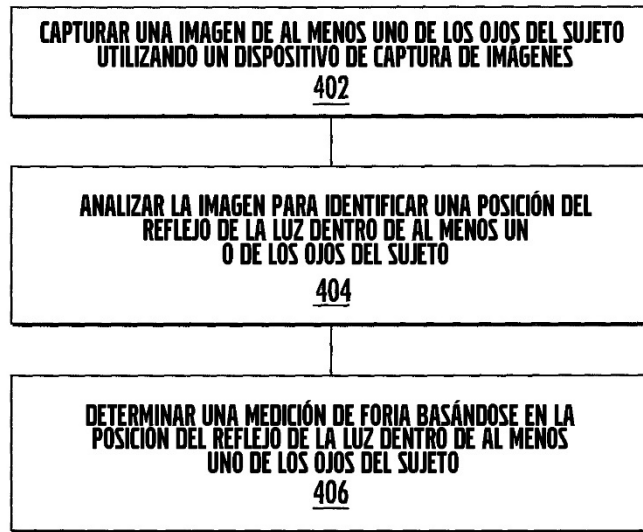
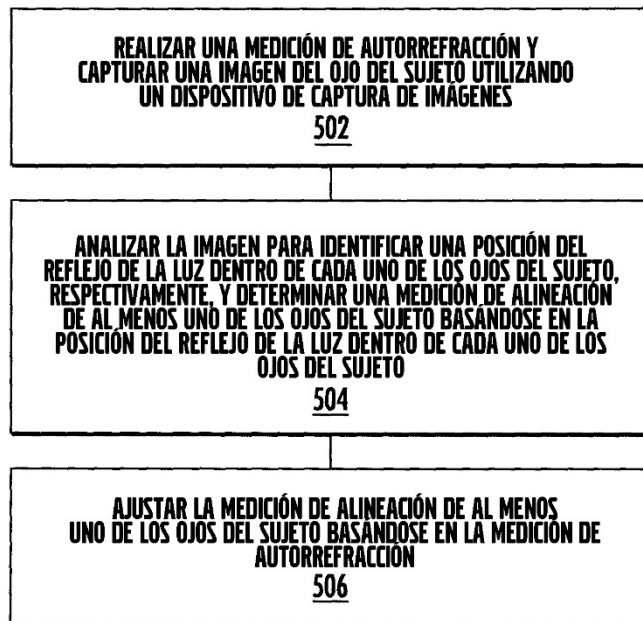


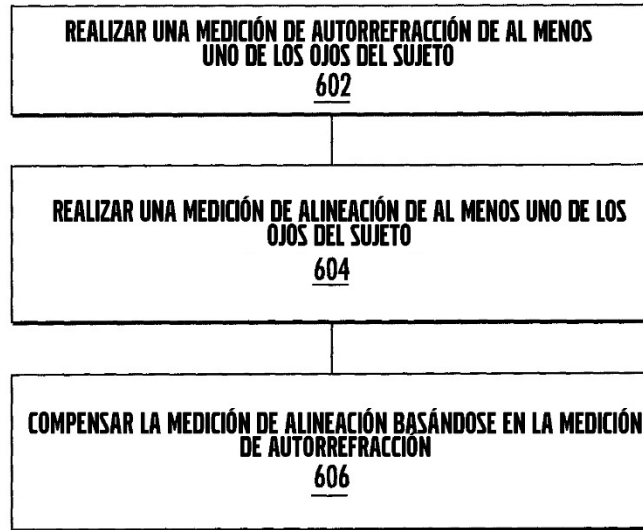
FIG. 3E



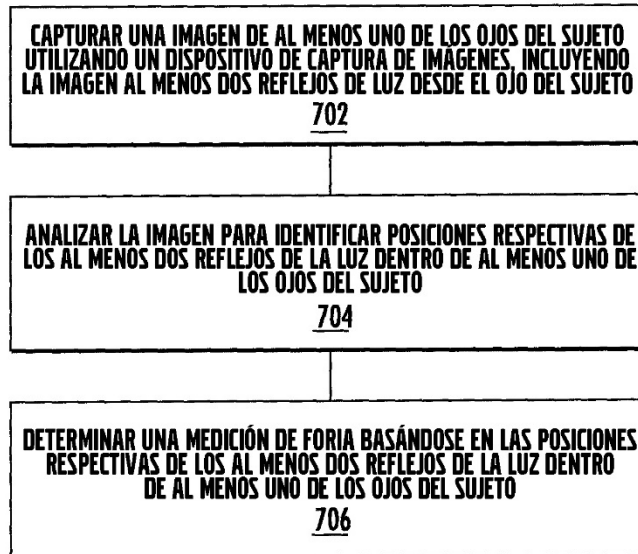
**FIG. 4**



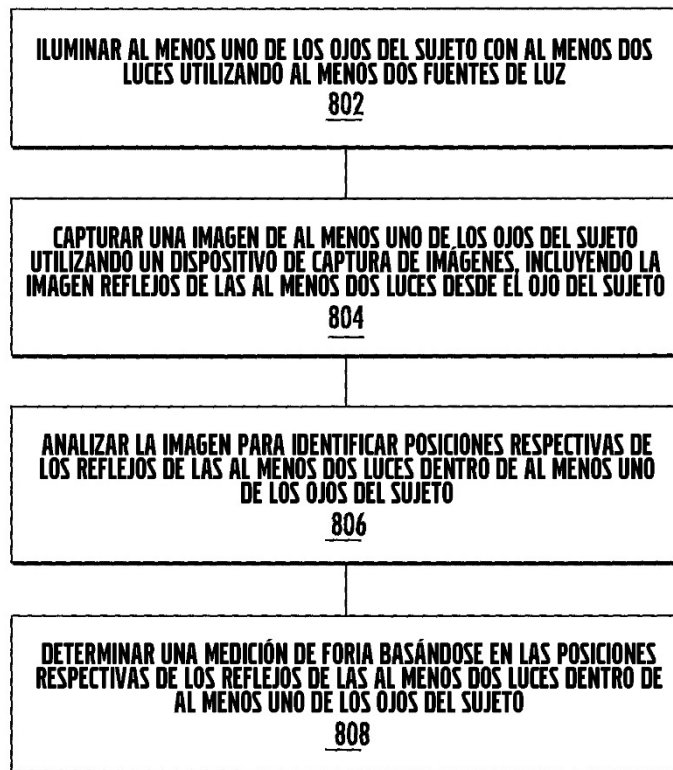
**FIG. 5**



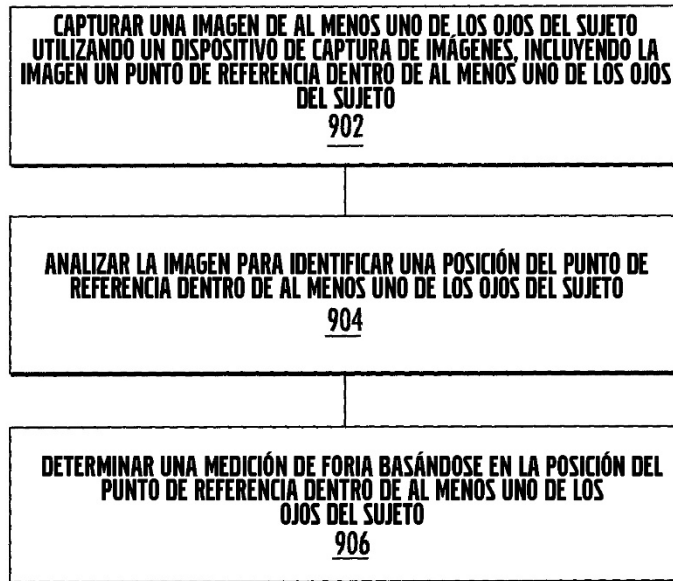
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**