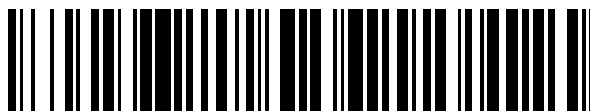


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 693 526**

51 Int. Cl.:

A61B 3/14 (2006.01)

A61B 3/103 (2006.01)

A61B 3/113 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.11.2014 PCT/US2014/064555**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.05.2015 WO15070023**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2014 E 14859789 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.08.2018 EP 3065624**

54 Título: **Detección automática 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:
12.12.2018

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 2 693 526 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 automática de alineación ocular

5 **Referencia cruzada con la solicitud relacionada**

Antecedentes

10 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 hay una exoforia, el ojo que está cubierto girará hacia afuera hasta que se descubra. Seguidamente, adoptará el enfoque hacia el mismo objeto que el otro ojo. En el caso de una esoforia, el ojo que está cubierto girará hacia adentro hasta que se descubra. En el caso de 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. 20 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 debido a 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.

25 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 dichos procedimientos no detectan la desviación más común en la alineación, la foria. 30

35 Todos los procedimientos actuales de medición de alineación ocular, ya sean manuales o automatizados, también carecen de la capacidad de detectar si el sujeto acomoda o no, o si es capaz de enfocar los ojos como si mirara un objeto más cerca que el infinito óptico. Para la persona es útil medir la alineación ocular para saber si alguien acomoda o no, pues la acomodación excesiva o insuficiente durante una medición de tropía o foria afecta la posición lateral del ojo, es decir, a cuánto giran los ojos hacia adentro o hacia afuera.

40 Por lo tanto, se prefieren 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.

45 El documento US 4.712.895 divulga una prueba de foria en la que se observa el movimiento de la imagen reflejada de una marca parpadeante en las pupilas.

Sumario

50 En el presente documento se describen dispositivos y procedimientos para automatizar la medición de las dos desviaciones principales de la alineación ocular.

55 Un procedimiento ejemplar 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 mediante un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir un reflejo de luz de, al menos, uno de los ojos del sujeto. El procedimiento también puede incluir el análisis de 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 en función de la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

60 Opcionalmente, el procedimiento puede incluir la comparación de 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 la foria se puede determinar a partir del resultado de la comparación.

65 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 las superficies 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 las superficies externa (anterior) o interna (posterior) de una lente (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. En otras palabras, la imagen puede ser una
 5 primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje. Aunque desde la primera a la cuarta imagen de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta divulgación 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
 10 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 haber descubierto el ojo. Alternativamente, el procedimiento puede incluir opcionalmente cubrir al menos uno de los ojos del sujeto con un
 15 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 hacer pasar luz de una longitud de onda determinada. 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.

El procedimiento incluye la realización de una medición de autorrefracción. Como se emplea en el presente documento, la medición de autorrefracción es la medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, que incluye, pero no se limita a, la autorrefracción o fotorrefracción. La medición de autorrefracción se puede tomar mientras el sujeto enfoca el objetivo visual, por ejemplo. La imagen se captura como respuesta a la potencia del ojo del sujeto dentro de un rango predeterminado. Alternativa o adicionalmente, el procedimiento puede
 20 incluir opcionalmente el ajuste de la medición de la foria basándose en la medición de autorrefracción.
 25

El procedimiento incluye el cálculo de una relación de acomodación de convergencia acomodativa en función de 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 el presente documento, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de la foria se puede hacer en función del ojo izquierdo o del 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 la foria se puede hacer en función del ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Esta divulgación contempla que la medición de la foria, basada en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto,
 30 puede ser igual o diferente.
 35

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

Opcionalmente, el procedimiento puede incluir la iluminación de, al menos, uno de los ojos del sujeto con una luz utilizando una fuente de luz.
 40

Un aparato ejemplar 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 tiene 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 en función de la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.
 45
 50

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 la foria se puede determinar en función del resultado de la comparación.
 55

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.
 60

Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de las superficies 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 las superficies externa (anterior) o interna (posterior) de una lente (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de
 65

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 desde la primera a la cuarta imagen de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta divulgación contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

5 Opcionalmente, la imagen puede ser capturada después de cubrir y descubrir sucesivamente al menos uno de los 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
10 imágenes de la secuencia con otra de las imágenes de 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 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 por el filtro puede pasar luz de una longitud de onda determinada. En consecuencia, el dispositivo de captura de imágenes puede capturar la imagen de al menos uno de los ojos del sujeto a través del
15 filtro.

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.
20 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 dispositivo de captura de vídeo. La pluralidad de ledes y su disposición se proporcionan solo a modo de ejemplo, y esta divulgación contempla el uso de otras cantidades, tipos y/o disposiciones para la fuente de luz.

25 Opcionalmente, el aparato puede proporcionar el objetivo visual para el sujeto. Además, la memoria tiene otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador realice una medición de autorrefracción que mida la potencia del ojo de un sujeto. Como se emplea en el presente documento, la medición de autorrefracción es una medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, que incluye, pero no se limita a la autorrefracción o fotorrefracción. La imagen se captura como respuesta a la potencia del ojo del sujeto dentro de un rango predeterminado. 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 ajuste la medición de foria en función de la medición de autorrefracción.
30

35 La memoria tiene 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 en función de una posición del reflejo de la luz dentro de, al menos, uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

40 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.

45 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 la foria se puede realizar basada en el ojo izquierdo o del 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 la foria se puede realizar basada en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Esta divulgación contempla que la medición de la foria, basada en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto, puede ser igual o diferente.
50

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

55 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

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

60 Las Figuras 1A-1C ilustran un aparato ejemplar para realizar una detección automatizada de la alineación ocular de acuerdo con las implementaciones descritas en el presente documento.

La Figura 2 es un diagrama de bloque de un dispositivo informático ejemplar.

65 Las Figuras 3A-3E ilustran una prueba automatizada ejemplar para medir la foria.

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

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

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

10 La Figura 7 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento ejemplar para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual.

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

15 La Figura 9 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento ejemplar para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual.

Descripción detallada

20 A menos que se defina de otro modo, todos los términos técnicos y científicos empleados en el presente documento tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la materia. Los procedimientos y materiales similares o equivalentes a los descritos en el presente documento pueden utilizarse en la práctica o prueba de la presente divulgación. 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 sus variaciones, como se emplea en el presente documento, se emplean como sinónimos del término "que incluye" y sus variaciones y son términos abiertos y no limitativos. Los términos "opcional" u "opcionalmente" que se emplean en el presente documento significan que la característica, evento o circunstancia descritos a continuación puede estar presente o no, y que la descripción incluye casos en los que está presente dicha característica, evento o circunstancia y casos en los que no. Aunque se describirán las 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.

35 A continuación, con referencia a las Figuras 1A-1C, se muestra un aparato ejemplar 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 Figura 1A ilustra una primera superficie (por ejemplo, una superficie frontal) 100A del aparato 100. La Figura 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, como una cámara, para capturar una imagen de uno o más de los 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 Figuras 1A-1C, el procesador y la memoria se describen en detalle con respecto a la Figura 2 de 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 Figuras 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.

50 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 entrada/salida. Por ejemplo, el dispositivo informático móvil puede incluir opcionalmente un dispositivo de visualización táctil. El dispositivo de visualización táctil 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 Figura 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 Figura 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 puede ser un "retículo" (u otra marca) dispuesto cerca del dispositivo de captura de imágenes 110, sobre el que enfoca el sujeto durante las pruebas de alineación. Opcionalmente, como se muestra en la Figura 1B, el aparato 100 puede estar provisto de una o más porciones elevadas 160 en la segunda superficie 100B para facilitar la recepción del aparato 100 desde una superficie plana.

65 La fuente de luz opcional 120 puede incluir una o más fuentes de luz. Esta divulgación contempla que la fuente de luz 120 puede ser cualquier tipo de fuente de luz. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 1B, la fuente de luz 120 se puede integrar en la carcasa que comprende dicho 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, que se muestra en la Figura 1B, se proporcionan solo a modo de ejemplo y esta divulgación 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 la luz ambiente o disponible. Alternativamente, se puede utilizar una fuente de luz individual, tal como una lámpara, linterna y similares para practicar las realizaciones de la invención.

La Figura 1C es una vista de perfil lateral del aparato 100 para realizar la detección automatizada de la alineación ocular. Aunque las Figuras 1A-1C generalmente ilustran un dispositivo informático móvil, por ejemplo, como una tableta o un teléfono móvil, incorporado en una carcasa 180 para realizar la detección automatizada de la alineación ocular, la invención no se limita 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 el presente documento se implementan en *software*, el proceso puede ejecutarse en cualquier tipo de arquitectura o plataforma informática. Por ejemplo, refiriéndose a la Figura 2, se ilustra un dispositivo informático ejemplar a partir del 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 incluye normalmente, al menos, una unidad de procesamiento 206 y una memoria del sistema 204. Según la configuración exacta y el tipo de dispositivo informático, la memoria del 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 Figura 2 mediante la línea discontinua 202. La unidad de procesamiento 206 puede ser un procesador programable estándar que realiza las 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, que incluyen, pero no se limitan a, cintas o discos magnéticos u ópticos. El dispositivo informático 200 también puede contener una o más conexiones de red 216 que permiten que el dispositivo se comunique con otros dispositivos. El dispositivo informático 200 también puede tener uno o más dispositivos de entrada 214, tales como teclado, ratón, pantalla táctil, etc. El o los dispositivos de salida 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 esta materia 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 hagan 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 un ordenador pueda leer. Los medios legibles por ordenador ejemplares 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 comentan 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. Entre los ejemplos de medios de grabación tangibles legibles por ordenador se incluyen, pero no están limitados a, un circuito integrado (por ejemplo, matriz de puertas programable en campo 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, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnéticos.

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

El dispositivo informático 200 normalmente 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 con cualquier procedimiento o tecnología para almacenar información, por ejemplo, instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programas u otros datos. La memoria del sistema 204, el almacenamiento extraíble 208 y el almacenamiento no extraíble 210 son todos ejemplos de almacenamiento informáticos. Los medios de 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, casetes 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 se pueda acceder a través de un dispositivo informático 200. Cualquiera de dichos medios de almacenamiento informáticos puede ser parte del dispositivo informático 200.

Debe entenderse que las diversas técnicas descritas en el presente documento 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 de la materia objeto divulgada en la presente memoria, o ciertos aspectos o partes de la misma, 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 se carga en y se ejecuta por una máquina, tal como un dispositivo informático, la máquina se convierte en un aparato para poner en práctica la materia objeto descrita en la presente memoria. En el caso de la ejecución de códigos de programa en ordenadores programables, el dispositivo informático generalmente incluye un procesador, un medio de almacenamiento legible por el procesador (que incluye 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 implementar o utilizar los procesos descritos en relación con la materia objeto descrita en la presente memoria, por ejemplo, mediante el uso de una interfaz de programación de aplicaciones (API), controles reutilizables o similares. Dichos programas pueden implementarse en un lenguaje de programación orientado al objeto o de procedimiento de alto nivel para comunicarse con un sistema informático. Sin embargo, el o los programas pueden 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 el presente documento, 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 de alineación ocular deban realizarse en múltiples enfoques visuales. Esto es importante para la optometría, la oftalmología, la neurología y la medicina de urgencias porque el examen de la integridad de los nervios craneales depende del aspecto del enfoque visual múltiple de esta prueba. Muchos dispositivos convencionales tienen una mentonera que requiere que los sujetos miren directamente hacia adelante durante esta prueba. A diferencia de los dispositivos convencionales, el dispositivo informático móvil se puede colocar en cualquier posición con respecto a la cabeza del sujeto, donde los ojos sigan estando visibles y se puedan hacer mediciones. Esto también sería válido para un sujeto con lesión cerebral traumática que está en decúbito supino, donde la realización del examen del nervio craneal sería un reto para 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. Mediante las pruebas automatizadas de medición de la foria que se describen a continuación, es posible eliminar la necesidad de una estimación prismática de la magnitud y la dirección de la medición de la tropía o de la foria que se utiliza normalmente en el procedimiento de medición manual, la 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 Figuras 1A-1B). En una implementación ejemplar (Figuras 3A-3E), la prueba automatizada de medición de la foria puede utilizar la imagen de Purkinje I (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 descubrirlo mientras el dispositivo de captura de imágenes (por ejemplo, una cámara, una cámara de vídeo, etc.) graba el ojo cubierto y la Imagen I de Purkinje del ojo descubierta. Una vez que se quita la cubierta, el dispositivo de captura de imágenes graba la imagen de Purkinje I de ambos ojos. Por ejemplo, el dispositivo de captura de imágenes puede grabar una serie de imágenes fijas o un vídeo continuo. El ojo descubierta tarda aproximadamente de 1 a 2 segundos en volver a mirar un objeto una vez que se ha descubierta. Así, se analizan las imágenes que se capturan durante esos 1 a 2 segundos. La medición real se logra al observar la ubicación de las imágenes de Purkinje I en relación con el lugar donde se encuentran dentro de la porción visible del iris en ambos ojos. A partir de estas posiciones relativas, es posible determinar hacia dónde enfocaba el ojo al estar cubierto, es decir, una medición de foria, de una manera similar a la de la prueba de Hirshberg para la tropía.

Opcionalmente, se pueden realizar mediciones automatizadas de tropía y 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 enfoca el sujeto para ver dicho objeto cercano. Las

mediciones de tropía y de foria siempre se hacen mientras el sujeto mira a lo lejos y también mientras el sujeto mira un objetivo cercano. Es importante que durante la medición de distancia los ojos estén completamente relajados, y que durante la medición cercana los ojos se enfoquen con precisión. Las mediciones de tropía y de foria cercanas serán diferentes de las mediciones de tropía y foria a distancia, solo si un sujeto tiene una relación de acomodación de convergencia acomodativa anormal (AC/A). 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 la foria o tropía cercana diferente de la que se obtiene cuando el sujeto enfoca con precisión. La AC/A puede calcularse haciendo que alguien mire dos o más objetivos diferentes que requieran 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 para el otro objetivo, para así determinar la AC/A. De acuerdo con las técnicas descritas en el presente documento, la misma cámara y luz pueden utilizarse para realizar mediciones simultáneas de 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 para ajustar la medición de tropía/foria en función del esfuerzo acomodativo que se ha ejercido, mejorando así la precisión de la medición.

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

A continuación, con referencia a las Figuras 3A-3E se muestra un ejemplo de prueba automatizada para medir la foria. En la Figura 3A, los ojos derecho e izquierdo del sujeto están fijados en el mismo lugar. Los ojos del sujeto (por ejemplo, al menos uno de los ojos del sujeto) se pueden iluminar con una luz utilizando una fuente de luz. Opcionalmente, se puede utilizar la 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 infrarroja o luz visible. Aunque la luz infrarroja y visible se proporcionan como ejemplos, esta divulgación contempla que se puede utilizar la luz procedente de otras porciones del espectro electromagnético.

Una imagen de los ojos del sujeto puede ser capturada mediante, por ejemplo, un dispositivo de captura de imágenes. Como se muestra en la Figura 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, características 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 del sujeto 302 y un reflejo de luz 304A desde el ojo izquierdo del sujeto 304. Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de las superficies 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 las superficies externa (anterior) o interna (posterior) de una lente (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 desde la primera a la cuarta imagen de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta divulgación contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto. Además, esta divulgación contempla que se puede utilizar 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 Figura 3A, la distancia "A" es la distancia entre el reflejo de la luz 302A del ojo derecho del sujeto 302 y una porción visible de un iris 302B del ojo derecho del sujeto 302, y la distancia "B" es la distancia entre el reflejo de luz 304A del ojo izquierdo del sujeto 304 y una porción visible de un iris 304B del ojo izquierdo del sujeto 304. Como la distancia "A" es igual a la distancia "B", no existe tropía. Para determinar si hay 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 las secuencias de imágenes se puede comparar con una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en otra de las secuencias de imágenes para determinar cualquier movimiento después de haber descubierto el ojo del sujeto, y se puede calcular la magnitud y dirección de la foria o tropía a partir del movimiento.

En la Figura 3B, el ojo izquierdo del sujeto 304 está cubierto con una cubierta 306. En la Figura 3C, el ojo izquierdo del sujeto 304 está parcialmente descubierto. Como se ha descrito anteriormente, las imágenes se pueden capturar cubriendo y descubriendo sucesivamente el ojo izquierdo del sujeto 304. En la Figura 3D, el ojo izquierdo del sujeto 304 está completamente descubierto. De forma similar a la anterior, se puede capturar una imagen de los ojos del sujeto mediante el dispositivo de captura de imágenes cuando el ojo izquierdo del sujeto 304 está completamente

descubierto. Como se muestra en la Figura 3D, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde los ojos del sujeto, por ejemplo, un reflejo de la luz 302A desde el ojo derecho del sujeto 302, y se muestra un reflejo de la luz 304A desde el ojo izquierdo del sujeto 304. En la Figura 3D, la distancia "A" es la distancia entre el reflejo de la luz 302A del ojo derecho del sujeto 302 y una porción visible de un iris 302B del ojo derecho del sujeto 302, y la distancia "B" es la distancia entre el reflejo de luz 304A del ojo izquierdo del sujeto 304 y una porción visible de un iris 304B del ojo izquierdo del sujeto 304. Como la distancia "A" no es igual a la distancia "B", existe una foria. Por ejemplo, en la Figura 3D existe una exoforia, ya que la distancia "B" es menor que la distancia "A". La medición de la foria se puede determinar basándose en la posición del reflejo de la luz dentro de los ojos del sujeto en la Figura 3D.

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

Debería apreciarse que las operaciones lógicas descritas en el presente documento con respecto a las diversas figuras pueden implementarse (1) como una secuencia de actos implementados por ordenador o módulos de programa (es decir, *software*) que se ejecutan en un dispositivo informático, (2) como circuitos lógicos de máquina interconectada o módulos de circuitos (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 descritas en el presente documento no se limitan a ninguna combinación específica de *hardware* y *software*. La implementación es una cuestión de elección que depende del rendimiento y de otros requisitos del dispositivo informático. En consecuencia, las operaciones lógicas descritas en el presente documento 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 aplicación 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 de las que han sido descritas en el presente documento. Estas operaciones también se pueden realizar en un orden diferente al descrito en el presente documento.

La Figura 4 ilustra un procedimiento ejemplar 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, que consiste en capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto mediante 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, que consiste en 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, que consiste en 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 la comparación de una posición del reflejo de la luz dentro de uno de los ojos del sujeto (por ejemplo, un ojo izquierdo o derecho) y de una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto (por ejemplo, el ojo derecho o izquierdo). La medición de la foria se puede determinar en función del 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 las superficies 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 las superficies externa (anterior) o interna (posterior) de una lente (por ejemplo, una tercera o 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 desde la primera a la cuarta imagen de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta divulgación 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 el reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en una secuencia de imágenes con una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en otra secuencia de imágenes para determinar cualquier movimiento después de haber descubierto el ojo del sujeto.

Alternativamente, el procedimiento puede incluir cubrir al menos uno de los ojos del sujeto con un filtro, donde la imagen se captura 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 hacer pasar la luz de una longitud de onda determinada (por ejemplo, luz infrarroja). Un filtro ejemplar es el WRATTEN #89B de EASTMAN KODAK COMPANY de ROCHESTER, Nueva York. Debe entenderse que el WRATTEN #89B se proporciona solo a modo de ejemplo y que se pueden utilizar otros filtros, incluidos los filtros que hacen pasar 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 la 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 el presente documento, la medición de autorrefracción es una medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, que incluye, pero no se limita a, la autorrefracción o fotorrefracción. La medición de autorrefracción se puede tomar, por ejemplo, mientras el sujeto enfoca el objetivo visual. La imagen puede ser capturada opcionalmente en respuesta a la potencia del ojo del sujeto dentro de un rango predeterminado. Alternativa o adicionalmente, el procedimiento puede incluir opcionalmente el ajuste de la medición de la foria basándose en la medición de autorrefracción.

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

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar 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, que consiste en realizar una medición de autorrefracción y capturar una imagen de los ojos del sujeto mediante un dispositivo de captura de imágenes. Como se ha descrito anteriormente, la medición de autorrefracción es una medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, que incluye, pero no se limita a, la autorrefracción o fotorrefracción. Además, la imagen puede incluir un reflejo de la luz de cada uno de los ojos del sujeto. El procedimiento también puede incluir la Etapa 504, que consiste en 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 en función de la posición del reflejo de la luz dentro de cada uno de los ojos del sujeto, respectivamente.

Opcionalmente, la imagen se captura como respuesta a la potencia de al menos uno de los ojos del sujeto dentro de un rango predeterminado. Alternativamente, el procedimiento puede incluir opcionalmente la Etapa 506, que consiste en ajustar la medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto en función de la medición de autorrefracción. Además y opcionalmente, el procedimiento puede incluir el cálculo de una relación de acomodación de convergencia acomodativa en función de una posición del reflejo de la luz, dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y de la medición de autorrefracción.

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

Opcionalmente, la etapa en la que se analiza 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.

Opcionalmente, la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde al menos una de las superficies 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 las superficies externa (anterior) o interna (posterior) de una lente (por ejemplo, una tercera o 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 desde la primera a la cuarta imagen de Purkinje se proporcionan como ejemplos, esta divulgación contempla que la imagen puede incluir un reflejo de la luz desde cualquier superficie del ojo de un sujeto.

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

La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento ejemplar para medir la alineación de al menos un ojo. Esta realización de un procedimiento puede incluir la Etapa 602, que consiste en realizar una medición de autorrefracción de al menos uno de los ojos de un sujeto, la Etapa 604, que consiste en realizar una medición de alineación de al menos uno de los ojos del sujeto, y la Etapa 606, que consiste en compensar la medición de alineación en función de la medición de autorrefracción.

Como se ha descrito anteriormente, la medición de autorrefracción es una medición de la potencia del ojo de un sujeto mediante cualquier técnica conocida, que incluye, pero no se limita a, la autorrefracción o fotorrefracción. La

medición de autorrefracción se puede tomar mientras el sujeto enfoca el objetivo visual, por ejemplo. Opcionalmente, la etapa de compensación de la medición de alineación, en función de la medición de autorrefracción, incluye realizar la medición de alineación solo cuando la medición de autorrefracción está dentro de un rango predeterminado. Alternativamente, la etapa de compensación de la medición de alineación, en función en la medición de autorrefracción, incluye ajustar la medición de alineación en función de la medición de autorrefracción.

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

La Figura 7 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento ejemplar 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, que consiste en 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 las superficies 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 una lente (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Esta divulgación 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 debe limitarse a los ejemplos anteriores (por ejemplo, desde la primera a la cuarta imagen de Purkinje). El procedimiento también puede incluir la Etapa 704, que consiste en analizar la imagen para identificar las posiciones respectivas de al menos dos reflejos de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y determinar una medición de foria en función de las posiciones respectivas de al menos dos reflejos de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

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

La Figura 8 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento ejemplar 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, que consiste en 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, que consiste en capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto mediante un dispositivo de captura de imágenes. La imagen puede incluir reflejos de al menos dos luces desde al menos uno de los ojos del sujeto. Por ejemplo, la imagen puede incluir reflejos de al menos dos luces desde al menos una de las superficies 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 una lente (por ejemplo, una tercera o cuarta imagen de Purkinje, respectivamente) de al menos uno de los ojos del sujeto. Esta divulgación contempla que la imagen puede incluir reflejos de al menos dos luces desde cualquier superficie de los ojos de un sujeto y no debe limitarse a los ejemplos anteriores (por ejemplo, de la primera a la cuarta imagen de Purkinje). El procedimiento también puede incluir la Etapa 806, que consiste en analizar la imagen para identificar posiciones respectivas de los reflejos de al menos dos luces dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, y la Etapa 808, que consiste en determinar una medición de foria en función de las posiciones respectivas de los reflejos de al menos dos luces dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

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

La Figura 9 ilustra un diagrama de flujo de otro procedimiento ejemplar 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, que consiste en capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto mediante 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 divulgación 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, que consiste en 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, que consiste en determinar una medición de foria en función de la posición del punto de referencia dentro de al menos uno de los ojos del sujeto.

Como se emplea en el presente documento, al menos uno de los ojos del sujeto puede ser el ojo izquierdo o el ojo derecho del sujeto. Opcionalmente, la medición de la foria se puede realizar basándose en el ojo izquierdo o del 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 la foria se puede realizar basándose en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto. Esta divulgación contempla que la medición de la foria, basada en el ojo izquierdo y el ojo derecho del sujeto, puede ser igual o diferente.

Si bien la materia objeto de la presente memoria se ha descrito mediante un lenguaje específico de las características estructurales y/o los actos metodológicos, se debe comprender que la materia objeto de la presente memoria, definida en las reivindicaciones adjuntas, no se limita necesariamente a las características o los actos específicos descritos anteriormente. Por el contrario, los elementos y actos específicos descritos anteriormente se divulgan como ejemplos de maneras de implementar las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual, que comprende:
- 5 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 de al menos uno de los ojos del sujeto, donde la imagen se captura como respuesta a una potencia de uno de los ojos del sujeto dentro de un rango predeterminado; analizar la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto;
- 10 determinar una medición de foria en función de la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto;
- realizar una medición de autorrefracción, midiendo la medición de autorrefracción la potencia de uno de los ojos del sujeto mientras enfoca el objetivo visual; y
- 15 calcular una relación de acomodación de convergencia acomodativa en función de una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.
2. El procedimiento de la reivindicación 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 en función de un resultado de la comparación.
- 20 3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde el análisis de la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de 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 de al menos uno de los ojos del sujeto, donde el punto de referencia es preferentemente una característica dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, en particular, un vaso sanguíneo.
- 25 4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, donde la imagen incluye un reflejo de la luz desde al menos una superficie externa o interna de una córnea o una superficie externa o interna de una lente de al menos uno de los ojos del sujeto, donde preferentemente la imagen es una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje.
- 30 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende, además
- cubrir y descubrir al menos uno de los ojos del sujeto, donde la imagen se captura después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto; y
- 35 el procedimiento comprende además preferentemente capturar una secuencia de imágenes de los ojos del sujeto después de descubrir al menos uno de los ojos del sujeto, y comparar una posición del reflejo de la luz, dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en una de las secuencias de imágenes, con una posición del reflejo de la luz, dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en otra de las secuencias de imágenes, para determinar cualquier magnitud y dirección de cualquier movimiento después de que al menos uno de los ojos del sujeto esté descubierto.
- 40 6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, 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.
- 45 7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además ajustar la medición de la foria en función de la medición de autorrefracción.
8. El procedimiento de la reivindicación 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, en donde la luz está en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético.
- 50 9. Un aparato (100) para medir automáticamente la foria de un sujeto mientras el sujeto se fija en un objetivo visual, que comprende:
- 55 un dispositivo de captura de imágenes (110) para capturar una imagen de al menos uno de los ojos del sujeto; un procesador (206); y una memoria (204) en comunicación operativa con el procesador, teniendo la memoria instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador:
- 60 reciba la imagen del dispositivo de captura de imágenes, incluyendo la imagen un reflejo de luz desde cualquier superficie de al menos uno de los ojos del sujeto, donde la imagen se captura como respuesta a una potencia de uno de los ojos del sujeto dentro de un rango predeterminado;
- 65 analice la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto; determine una medición de foria en función de la posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto;

realice una medición de autorrefracción que mida la potencia de uno de los ojos del sujeto mientras enfoca el objetivo visual; y
 calcule una relación de acomodación de convergencia acomodativa en función de una posición del reflejo de la luz dentro de al menos uno de los ojos del sujeto y la medición de autorrefracción.

5 10. El aparato de la reivindicación 9, donde la memoria tiene 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 y una posición del reflejo de la luz dentro del otro ojo del sujeto, donde la medición de la foria se determina en función de un resultado de la comparación.

10 11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 9-10, donde el análisis de la imagen para identificar una posición del reflejo de la luz dentro de 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 de al menos uno de los ojos del sujeto, donde el punto de referencia es preferentemente una característica dentro de al menos uno de los ojos del sujeto, en particular, un vaso sanguíneo.

15 12. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 9-11, donde la imagen incluye un reflejo de la luz desde al menos una superficie externa o interna de una córnea o una superficie externa o interna de una lente de al menos uno de los ojos del sujeto,
 20 donde la imagen es preferentemente una primera, segunda, tercera o cuarta imagen de Purkinje.

13. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 9-12, donde la imagen es capturada mientras que al menos uno de los ojos del sujeto está cubierto por un filtro, y/o después de cubrir y descubrir al menos uno de los ojos del sujeto.

25 14. El aparato de la reivindicación 13, donde el dispositivo de captura de imágenes es 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 posición del reflejo de la luz, dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en una de las secuencias de imágenes,
 30 con una posición del reflejo de la luz, dentro de al menos uno de los ojos del sujeto en otra secuencia de imágenes, para determinar una magnitud y una dirección de cualquier movimiento después de que al menos uno de los ojos del sujeto se haya descubierto, comprendiendo preferentemente el aparato además un dispositivo de visualización, donde el aparato define una primera superficie y una segunda superficie opuesta a la primera superficie, estando dispuesto el dispositivo de visualización en la primera superficie y estando dispuesto el dispositivo de captura de
 35 imágenes en la segunda superficie.

15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 9-14, que comprende además una fuente de luz para iluminar al menos uno de los ojos del sujeto con una luz, donde la luz se encuentra preferentemente en una porción visible o no visible de un espectro electromagnético.

40 16. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 9-15, donde el aparato proporciona el objetivo visual para el sujeto, donde la memoria tiene preferentemente otras instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en la misma que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador ajuste la medición de foria en función la medición de autorrefracción.

45 17. El aparato de la reivindicación 9, donde el aparato comprende un ordenador portátil, una tableta o un teléfono móvil.

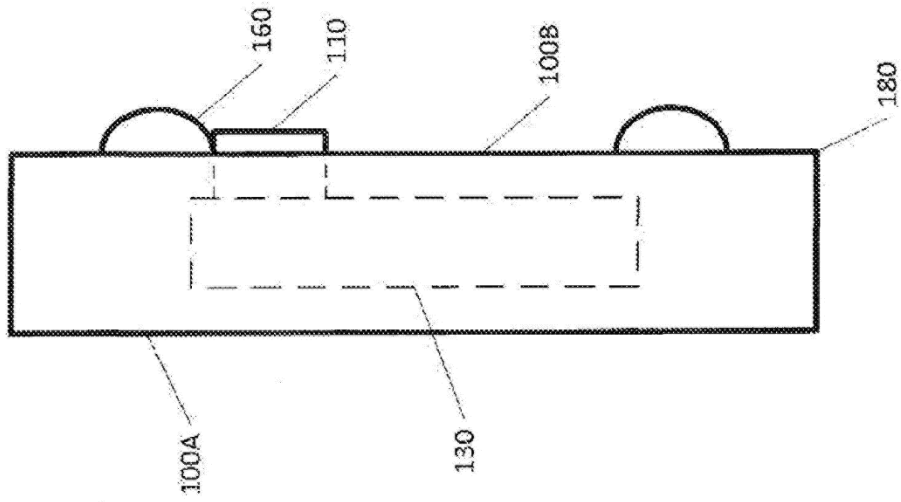


FIG. 1C

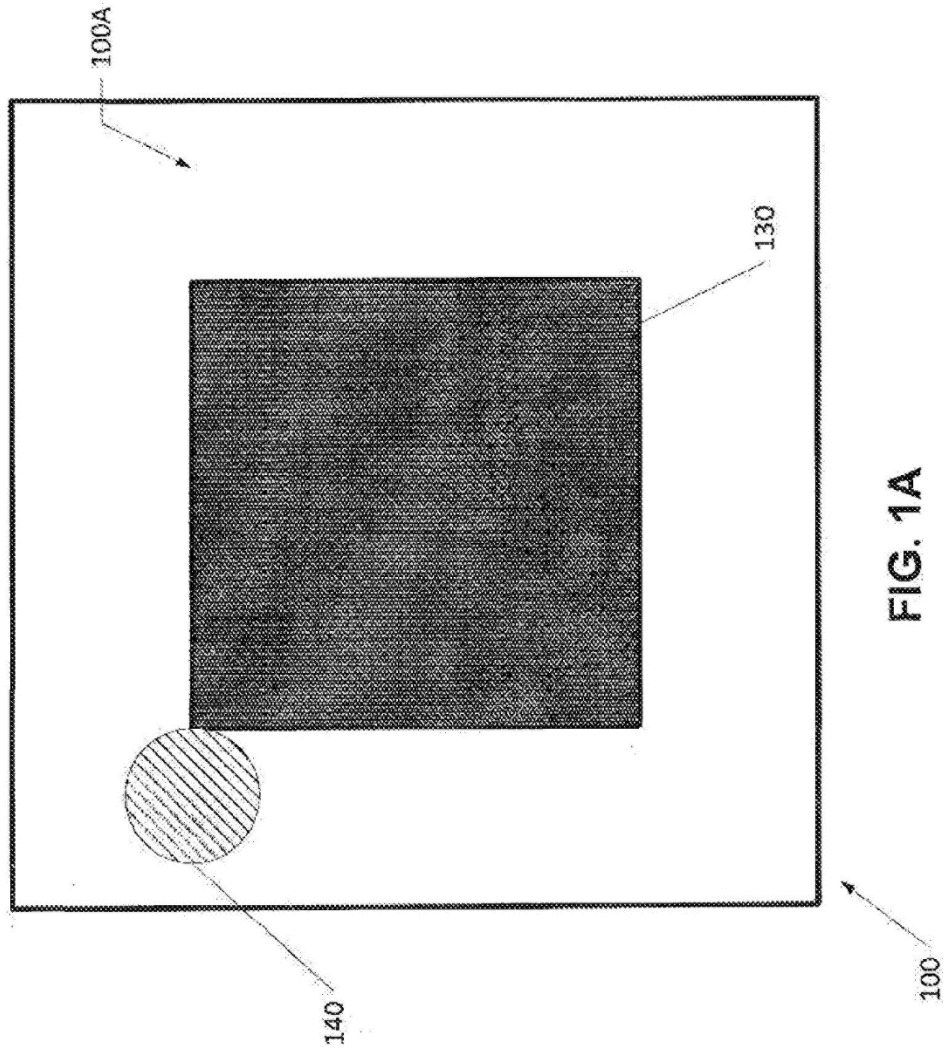
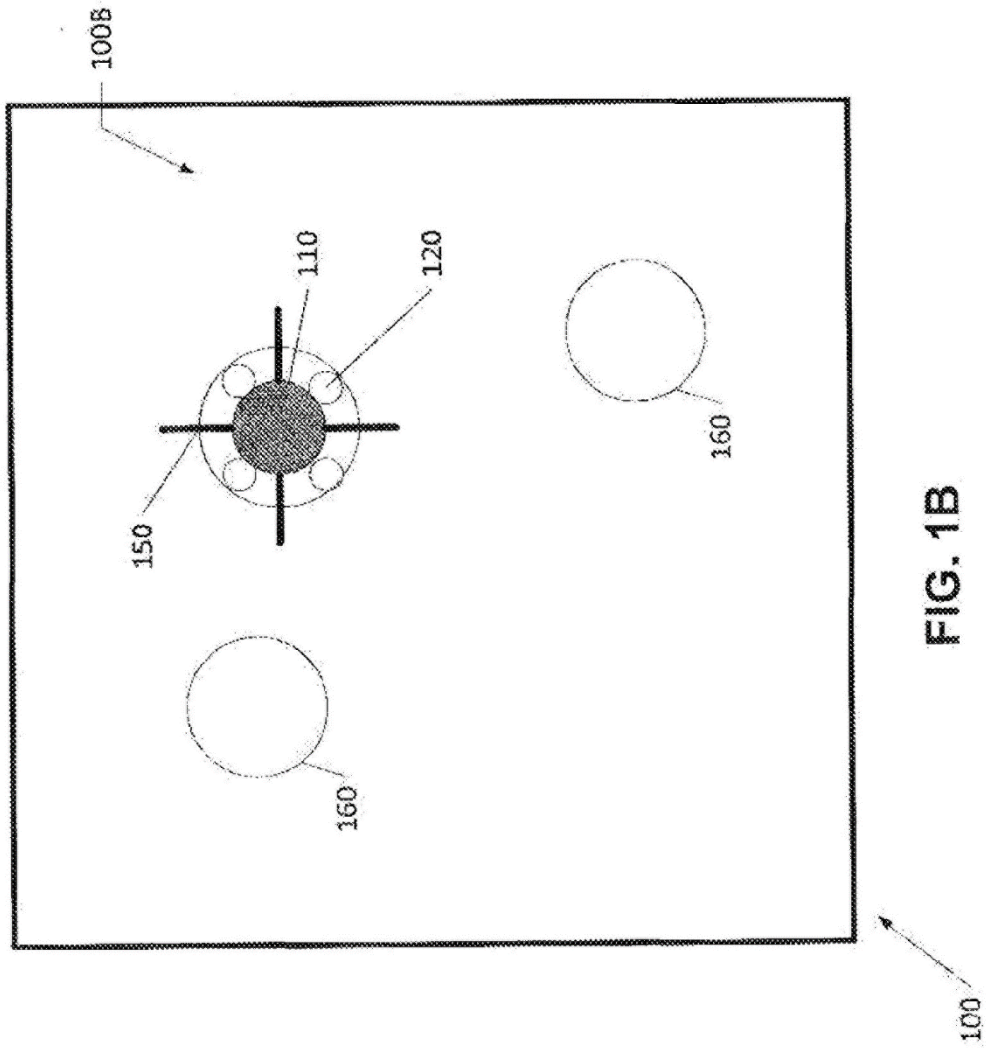


FIG. 1A



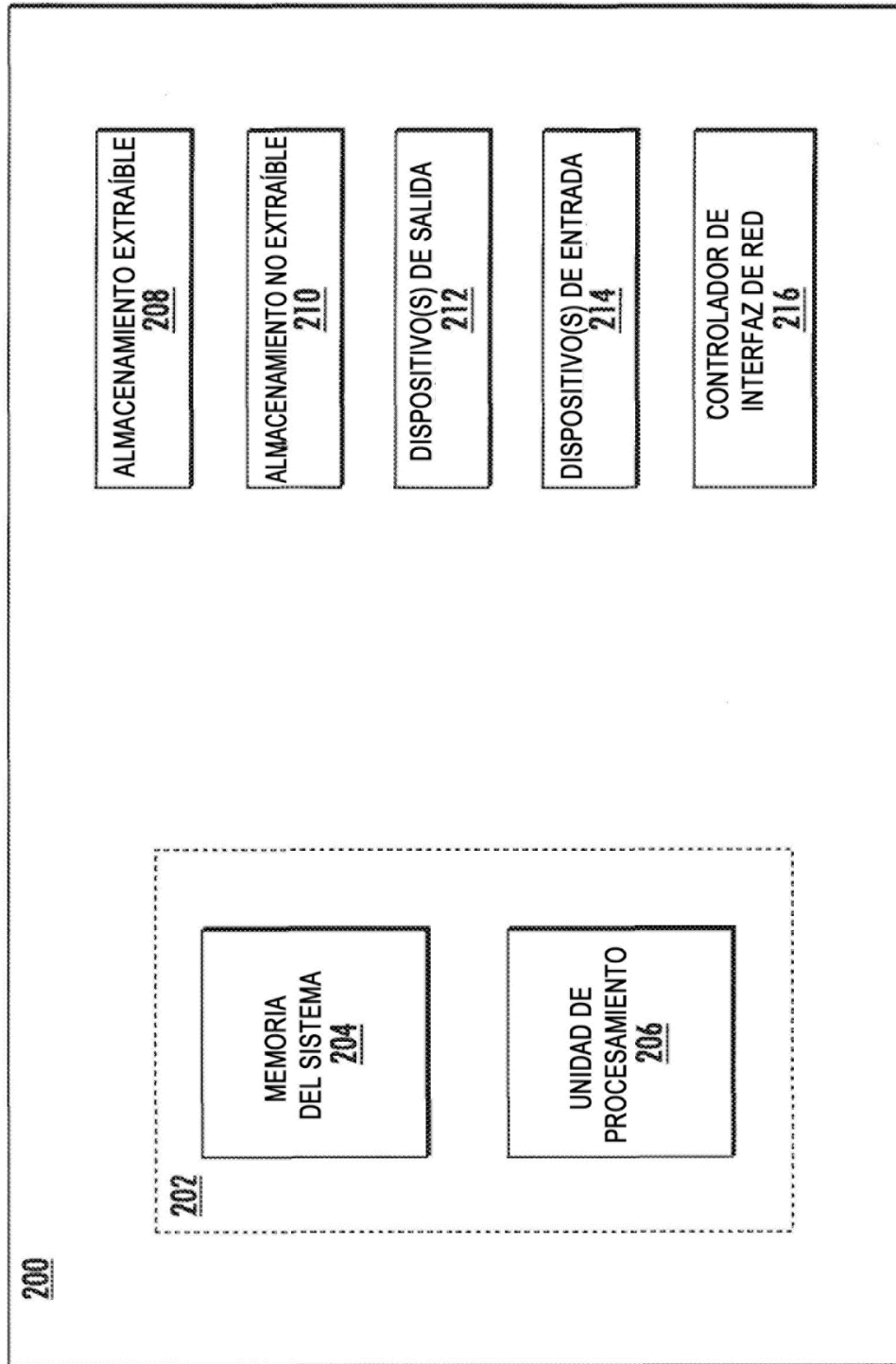


FIG. 2

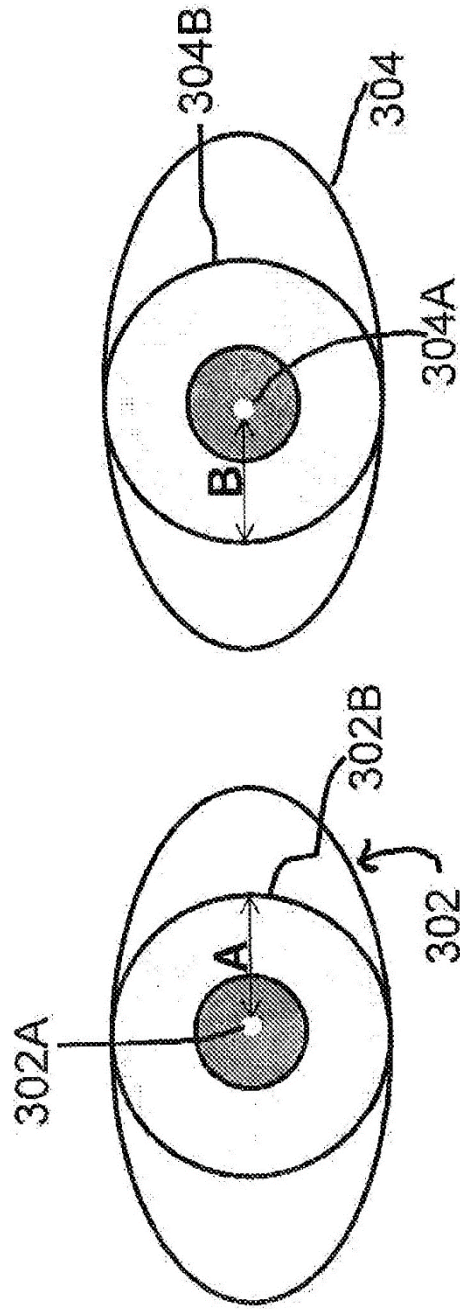


FIG. 3A

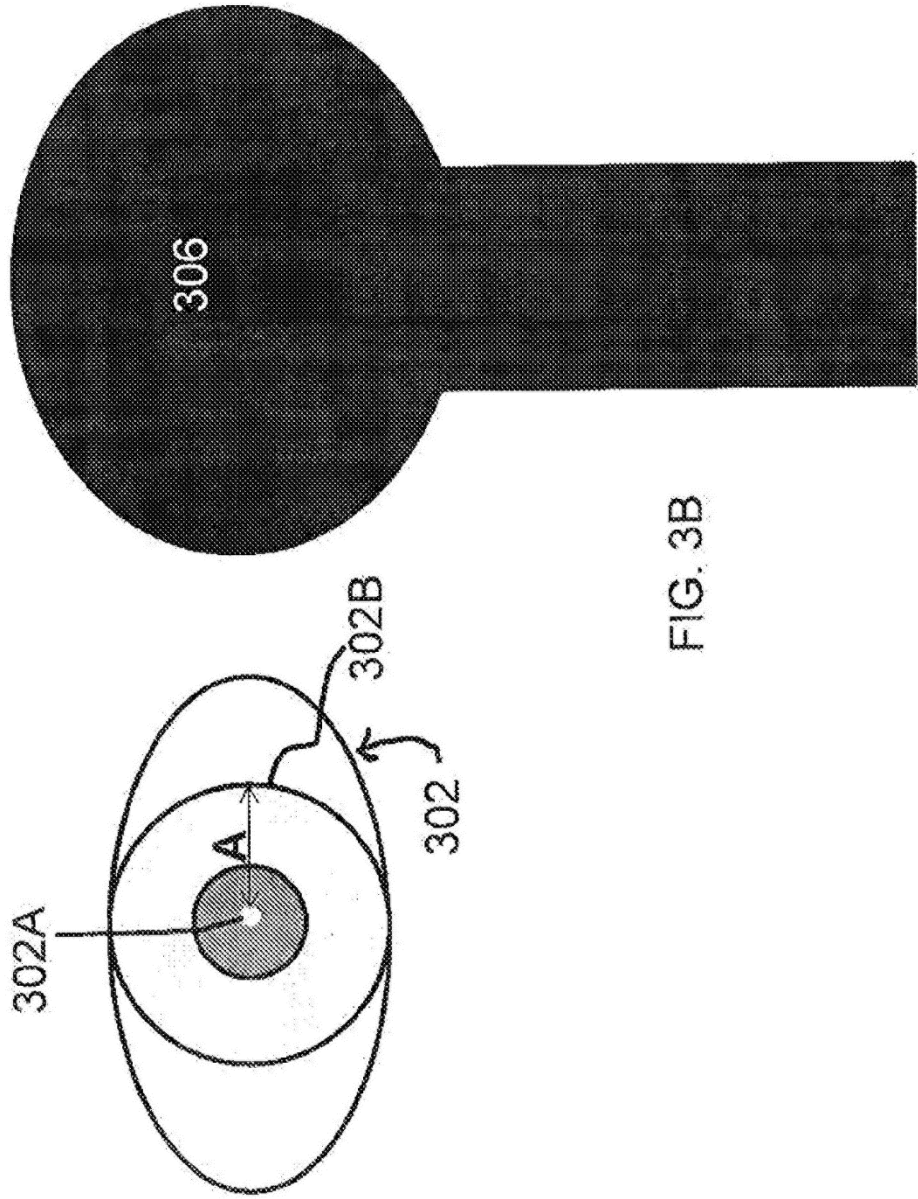


FIG. 3B

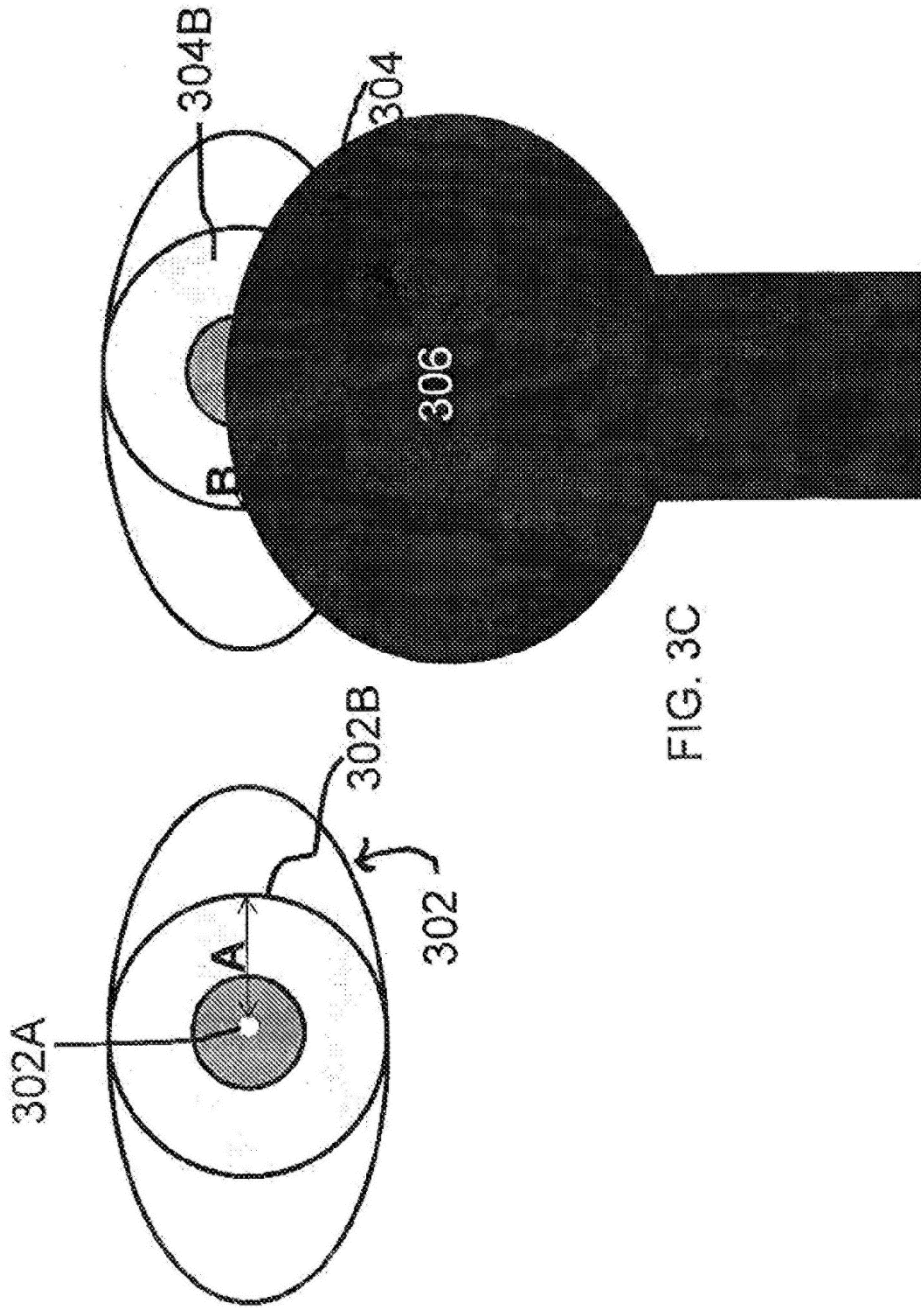


FIG. 3C

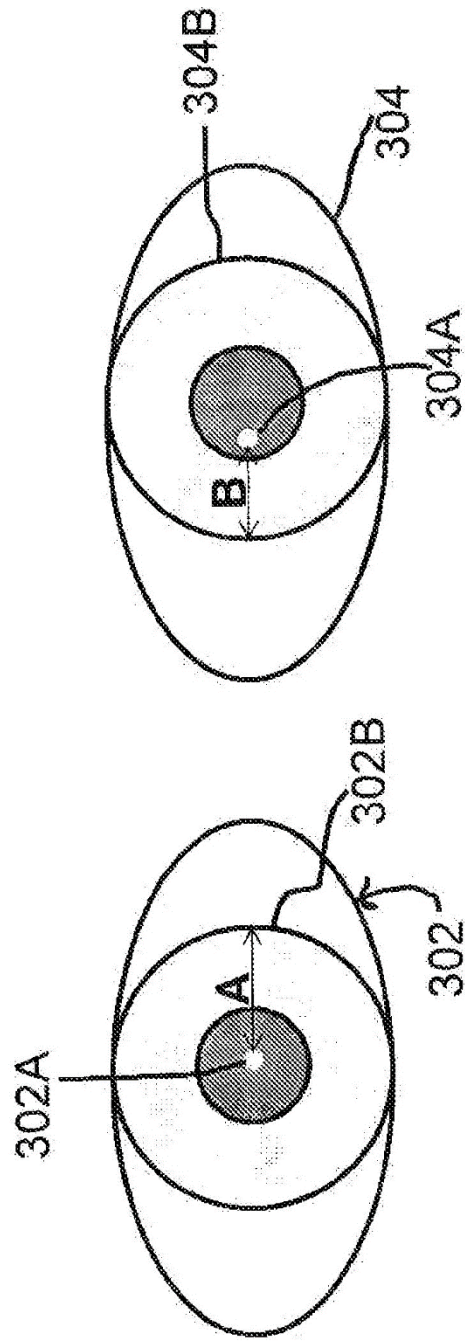


FIG. 3D

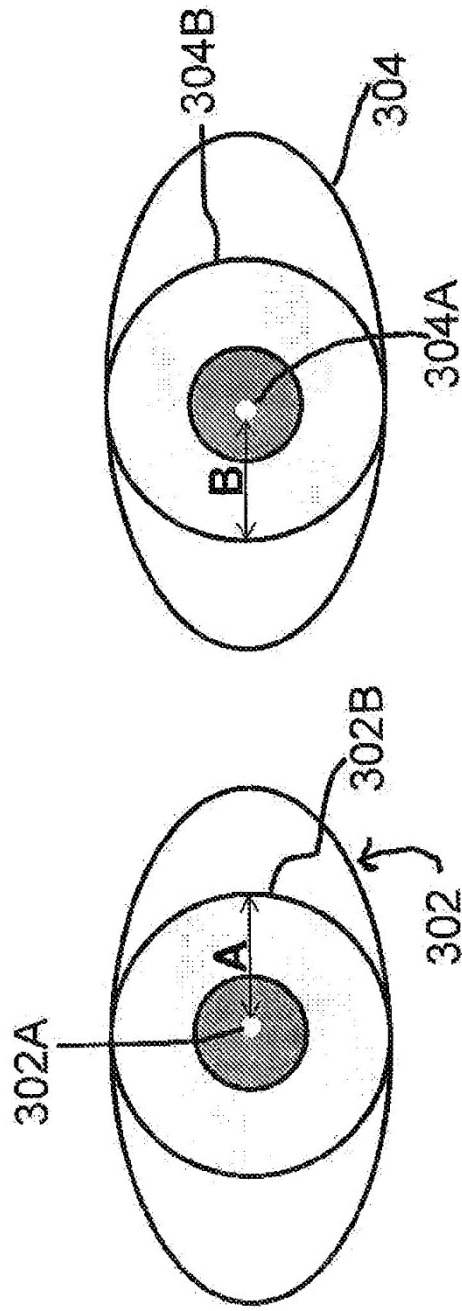


FIG. 3E

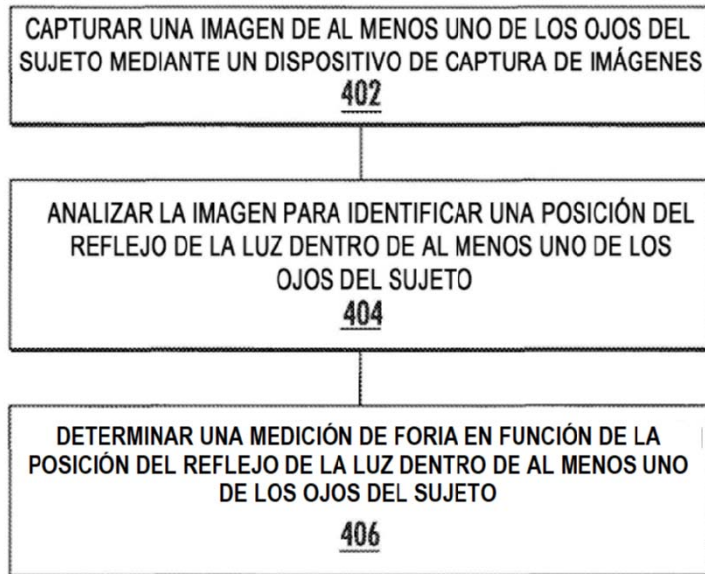


FIG. 4

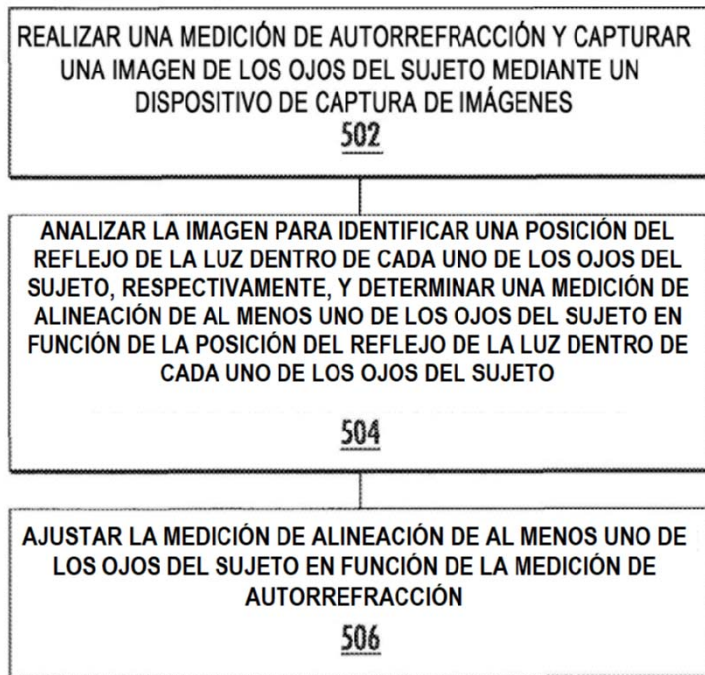


FIG. 5

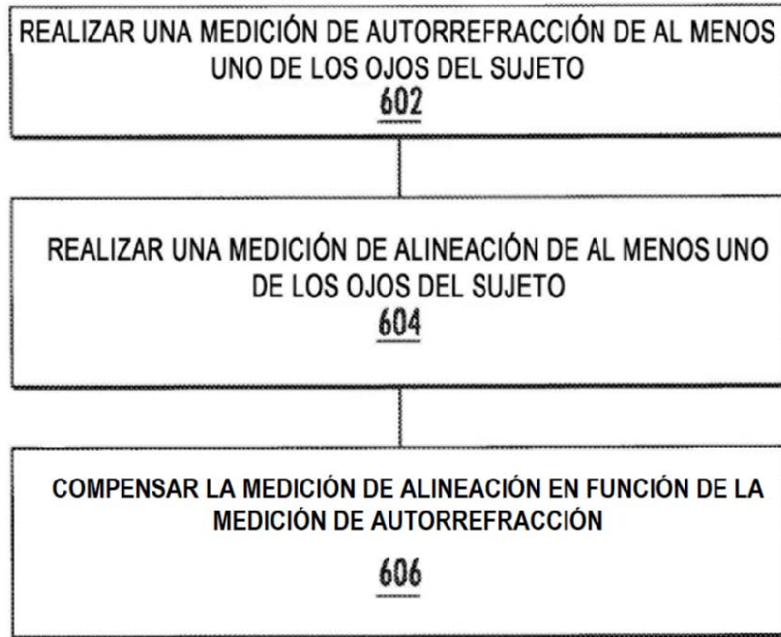


FIG. 6

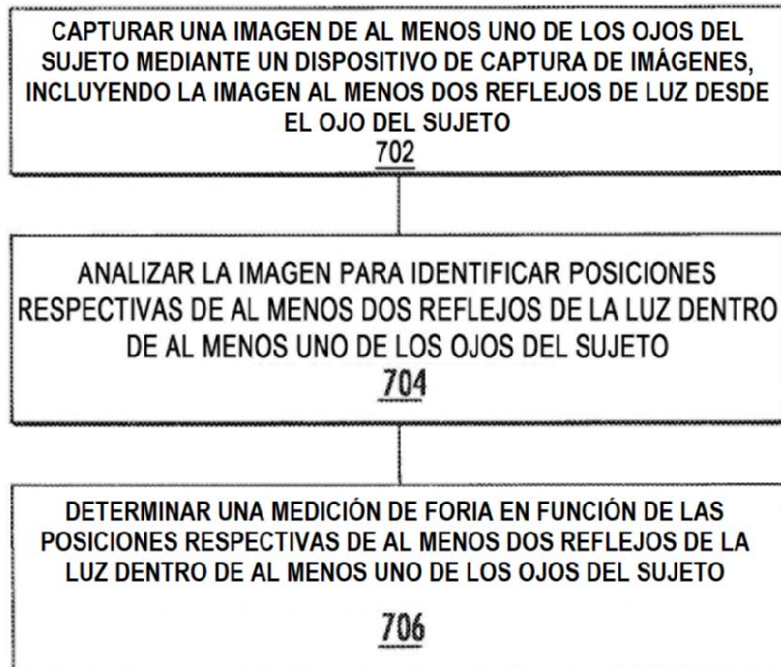


FIG. 7

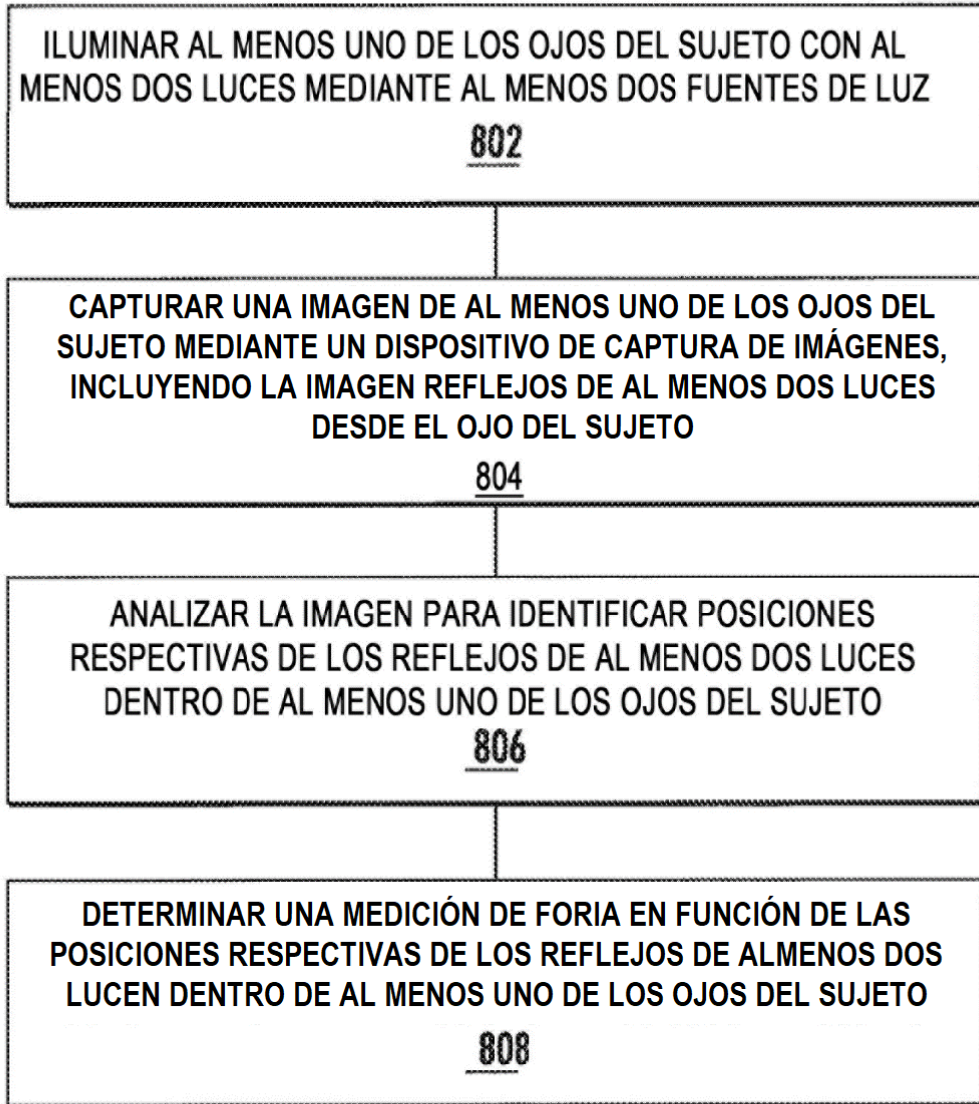


FIG. 8

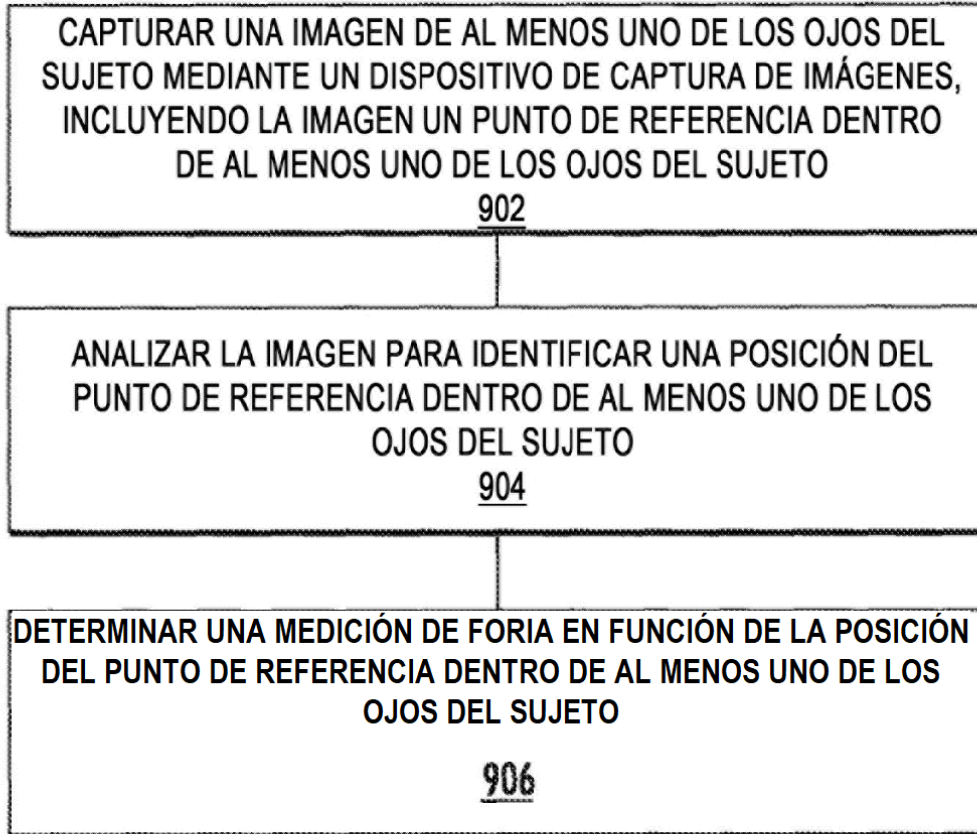


FIG. 9