

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 368**

51 Int. Cl.:

**G02C 7/04** (2006.01)

**G02C 7/08** (2006.01)

**G02B 27/00** (2006.01)

**A61B 3/113** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2015 PCT/US2015/035661**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2015 WO15192079**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2015 E 15807295 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 3155478**

54 Título: **Aparato, sistema y método de seguimiento de la mirada basándose en la fotodetección mediante un dispositivo montable en el ojo**

30 Prioridad:

**13.06.2014 US 201462012005 P**  
**11.06.2015 US 201514737363**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.11.2019**

73 Titular/es:

**VERILY LIFE SCIENCES LLC (100.0%)**  
**1600 Amphitheatre Parkway**  
**Mountain View, CA 94043, US**

72 Inventor/es:

**WISER, ROBERT FRANCIS;**  
**HAN, JENNIFER;**  
**OTIS, BRIAN y**  
**PLETCHER, NATHAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 733 368 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Aparato, sistema y método de seguimiento de la mirada basándose en la fotodetección mediante un dispositivo montable en el ojo

5

**Antecedentes**

**1. Campo técnico**

10 Esta divulgación se refiere en general al campo de la óptica y, en particular pero no exclusivamente, se refiere a las lentes de contacto.

**2. Antecedentes de la técnica**

15 La acomodación es un proceso por el cual el ojo ajusta su distancia focal para mantener enfocados unos objetos de distancia variable. La acomodación es una acción refleja, pero se puede manipular conscientemente. La acomodación es controlada por las contracciones del músculo ciliar. El músculo ciliar rodea el cristalino elástico del ojo y aplica una fuerza sobre el cristalino elástico durante las contracciones musculares que cambian el punto focal del cristalino elástico.

20

A medida que envejece un individuo, se deteriora la eficacia del músculo ciliar. La presbicia es una pérdida progresiva relacionada con la edad de potencia acomodativa o de enfoque del ojo, lo que da como resultado un desenfoque aumentado a distancias cercanas. Esta pérdida de potencia acomodativa con la edad ha sido bien estudiada y es relativamente consistente y predecible. La presbicia afecta hoy en día a casi 1.700 millones de personas en todo el mundo (110 millones solo en los Estados Unidos) y se espera que ese número crezca sustancialmente a medida que envejezca la población mundial.

25

Las tecnologías recientes han comenzado a prever diversos dispositivos que funcionan en o sobre un ojo humano para ayudar al enfoque visual de un usuario. Para algunos tipos de estos dispositivos, una lente de acomodación incluye uno o más elementos y conjuntos de circuitos para aplicar una señal eléctrica para cambiar una potencia de enfoque de los uno o más elementos. A menudo, determinar cuándo cambiar tal potencia de enfoque se basa en una dirección de una mirada por un usuario del dispositivo óptico. A medida que continúan aumentando las capacidades de los dispositivos ópticos capaces de acomodación, se espera que haya una demanda aumentada de tales dispositivos ópticos para proporcionar un seguimiento preciso de la dirección de la mirada por un usuario.

30

El documento WO 2012/061411 divulga una lente de contacto o una lente intraocular que incluye un componente electrónico y una óptica dinámica, en donde la óptica dinámica está configurada para proporcionar una primera potencia óptica y una segunda potencia óptica, y en donde la primera y la segunda potencias ópticas son diferentes. La óptica dinámica puede comprender una lente de fluido.

35

El documento WO 2005/000395 se refiere a un implante activo de retina (10) que contiene una pluralidad de elementos de imagen (18) que convierten la luz incidente en señales de estimulación eléctrica para entrar en contacto con células de la retina por medio de electrodos de simulación. Cada elemento de imagen (18) se dota de al menos una célula de imagen (19) que convierte la luz incidente en señales eléctricas. La entrada de un amplificador se conecta a la célula de imagen (19) y la salida de dicho amplificador se conecta a al menos un electrodo de estimulación (22) al que este entrega una señal de estimulación. Un sistema de alimentación (14) proporciona una energía externamente acoplada como la tensión de suministro ( $V_{cc1}$ ,  $V_{cc2}$ ) para las células de imagen (19) y el amplificador. En una forma de realización, la célula de imagen (19) tiene una curva característica logarítmica de acuerdo con la cual la luz incidente de una intensidad definida se convierte en señales eléctricas de una amplitud definida. En otra forma de realización, la señal de estimulación se suministra en forma de pulsos de tensión analógicos de longitudes y distancias definidas, dependiendo la amplitud de dichos pulsos de la intensidad de la luz incidente.

40

El documento EP 2 647 336 describe un algoritmo de detección de parpadeo y un conjunto de circuitos asociado para una lente oftálmica que comprende un sistema electrónico. El algoritmo de detección de parpadeo se implementa en el controlador de sistema que es parte de un sistema electrónico incorporado en la lente oftálmica. El sistema electrónico incluye una o más baterías u otras fuentes de alimentación, conjuntos de circuitos de gestión de alimentación, uno o más sensores, conjuntos de circuitos de generación de reloj, algoritmos y conjuntos de circuitos de control y conjuntos de circuitos de accionamiento de lentes. El algoritmo de detección de parpadeo implementa las etapas de muestrear, a una velocidad predeterminada, la luz incidente sobre un ojo de un individuo y guardar, al menos temporalmente, las muestras recogidas, determinar cuándo un párpado está abierto o cerrado con el fin de calcular un número de parpadeos y la duración de los parpadeos en un periodo de tiempo dado, y comparar el número de parpadeos, las duraciones de los parpadeos en el periodo de tiempo dado y el tiempo entre parpadeos en el periodo de tiempo dado con un conjunto almacenado de muestras para determinar patrones en la acción de parpadeo.

55

La presente invención proporciona un dispositivo montable en el ojo (EMD) como se expone en la reivindicación 1. La presente invención también proporciona un método en un dispositivo montable en el ojo (EMD) de acuerdo con la

65

reivindicación 14. En las reivindicaciones restantes se exponen aspectos adicionales de la invención.

**Breve descripción de los dibujos**

5 Las diversas realizaciones de la presente invención se ilustran a modo de ejemplo, y no a modo de limitación, en las figuras de los dibujos adjuntos y en las que:

La figura 1 es un diagrama de bloques funcionales de un dispositivo montable en el ojo con seguimiento de la mirada para auto-acomodación junto con un lector externo, de acuerdo con una realización de la divulgación.

10 La figura 2A es una vista superior de un dispositivo montable en el ojo, de acuerdo con una realización de la divulgación.

La figura 2B es una vista en perspectiva de un dispositivo montable en el ojo, de acuerdo con una realización de la divulgación.

15 Las figuras 3A y 3B ilustran el funcionamiento general de un mecanismo de detección de la mirada, de acuerdo con una realización de la divulgación.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de seguimiento de la mirada basándose en fotodetección, de acuerdo con una realización de la divulgación.

Las figuras 5A y 5B son unos diagramas de bloques funcionales de unos sistemas sensores respectivos para un dispositivo montable en el ojo, cada uno de acuerdo con una realización correspondiente de la divulgación.

20 Las figuras 6A y 6B ilustran diferentes disposiciones de fotodetectores sobre un dispositivo montable en el ojo para un sistema de seguimiento de la mirada, cada una de acuerdo con una realización correspondiente de la divulgación.

Las figuras 7A y 7B son unos diagramas de circuitos que ilustran unos circuitos detectores respectivos de un sistema de seguimiento de la mirada, cada uno de acuerdo con una realización respectiva de la divulgación.

25 La figura 7C es una gráfica que ilustra un perfil de respuesta a la luz de un circuito detector para un sistema de seguimiento de la mirada de acuerdo con una realización de la divulgación.

La figura 8A es un diagrama de circuitos que ilustra un detector de un sistema de seguimiento de la mirada de acuerdo con una realización de la divulgación.

30 La figura 8B es una gráfica que ilustra diversas salidas por un circuito detector para un sistema de seguimiento de la mirada de acuerdo con una realización de la divulgación.

**Descripción detallada**

35 En el presente documento se describen realizaciones de un aparato, sistema y métodos de operación para una lente de contacto con seguimiento de la mirada basándose en fotodetección. En la siguiente descripción se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión profunda de las realizaciones. Un experto en la materia pertinente reconocerá, no obstante, que las técnicas descritas en el presente documento se pueden poner en práctica sin uno o más de los detalles específicos, o con otros métodos, componentes, materiales, etc. En otros casos, no se muestran ni se describen con detalle estructuras, materiales u operaciones bien conocidos para evitar complicar determinados aspectos.

45 La referencia de principio a fin de esta memoria descriptiva a "una realización" quiere decir que un rasgo distintivo, estructura o característica particular descrita en conexión con la realización está incluido en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, no todas las veces que aparece la expresión "en una realización" en diversos lugares de principio a fin de esta memoria descriptiva, esta hace referencia necesariamente a la misma realización. Además, los rasgos distintivos, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier forma adecuada en una o más realizaciones.

50 En el presente documento se describe una lente de contacto inteligente u otro dispositivo montable en el ojo que incluye un conjunto de circuitos de detección de mirada y una lógica para identificar la dirección o la distancia focal de la mirada de un usuario y usar esta información, por ejemplo, para un control de realimentación en tiempo real de un accionador de acomodación. Las realizaciones del dispositivo montable en el ojo pueden incluir un conjunto de circuitos de sistema de alimentación, elementos electrónicos de control, un accionador de acomodación, un sistema sensor de luz y una antena, todos ellos embebidos dentro de un material envolvente formado para montarse con contacto en un ojo. Los elementos electrónicos de control se acoplan para supervisar el sistema sensor de luz para identificar la dirección de la mirada/distancia focal, manipular el accionador de acomodación para controlar la potencia óptica del dispositivo montable en el ojo y proporcionar comunicaciones inalámbricas con un lector externo. En algunas realizaciones, el sistema de alimentación puede incluir un conjunto de circuitos de carga para controlar la carga inalámbrica inductiva de una batería embebida.

60 El material envolvente se puede fabricar de diversos materiales compatibles para un contacto directo con un ojo humano, tal como un material polimérico, un hidrogel, PMMA, polímeros a base de silicio (por ejemplo, acrilato de fluoro-silicio), o de otro modo. El material envolvente puede encontrarse en forma de lente redonda con una curvatura cóncava configurada para montarse en una superficie corneal de un ojo. Los elementos electrónicos se pueden disponer sobre un sustrato embebido dentro del material envolvente cerca de su periferia para evitar la interferencia con la luz incidente recibida más cerca a la región central de la córnea. El sistema sensor de luz se puede disponer

sobre el sustrato para estar orientado hacia fuera hacia los párpados para detectar la dirección de la mirada/distancia focal basándose en la cantidad y posición de la cobertura de párpado sobre el sistema sensor de luz. A medida que los párpados cubren diferentes porciones del sistema sensor de luz, esto cambia su exposición a la luz ambiente de un entorno circundante, que se puede medir para determinar la dirección de la mirada y/o la distancia focal.

5 En algunas realizaciones, la información de dirección de la mirada/distancia focal se puede usar entonces para determinar la cantidad de acomodación a aplicar por medio de un accionador de acomodación transparente situado en una porción central del material envolvente. El accionador de acomodación se acopla con el controlador para manipularse eléctricamente de ese modo. Por ejemplo, el accionador de acomodación se puede implementar con una  
10 célula de cristal líquido que cambia su índice de refracción en respuesta a una señal de polarización eléctrica aplicada. En otras realizaciones, el accionador de acomodación se puede implementar usando otros tipos de materiales ópticos electro-activos tales como materiales electro-ópticos que varían el índice de refracción en presencia de un campo eléctrico aplicado o estructuras electro-mecánicas que cambian la forma de una lente deformable. Otras estructuras ilustrativas que se pueden usar para implementar el accionador de acomodación incluyen elementos ópticos electro-  
15 humectantes, sistemas micro-electro-mecánicos, o de otro modo.

Determinadas realizaciones prevén una precisión mejorada de la detección de la mirada durante cualquiera de diversos niveles de iluminación ambiental. Durante un día típico, una persona puede esperar experimentar diferentes niveles de luz ambiente que varían, por ejemplo, hasta cuatro o cinco órdenes de magnitud. La acomodación a unas  
20 condiciones de iluminación tan ampliamente variadas se produce, de acuerdo con diferentes realizaciones, mediante el uso de un circuito fotodetector de un EMD para configurar una polarización, ganancia u otra característica operativa de otro circuito fotodetector del EMD.

La figura 1 es un diagrama de bloques funcionales de un dispositivo montable en el ojo 100 con seguimiento de la  
25 mirada para auto-acomodación junto con un lector externo 105, de acuerdo con una realización de la divulgación. La porción expuesta del dispositivo montable en el ojo 100 es un material envolvente 110 formado para montarse con contacto en una superficie corneal de un ojo. Un sustrato 115 está embebido dentro de o está rodeado por el material envolvente 110 para proporcionar una superficie de montaje para un sistema de alimentación 120, un controlador 125,  
30 un accionador de acomodación 130, un sistema sensor 135, una antena 140 y diversas interconexiones 145 y 150. La realización ilustrada del sistema de alimentación 120 incluye una antena de recolección de energía 155, un conjunto de circuitos de carga 160 y una batería 165. La realización ilustrada del controlador 125 incluye una lógica de control 170, una lógica de acomodación 175, y una lógica de comunicación 180. La realización ilustrada del lector 105 incluye un procesador 182, una antena 184 y una memoria 186. La realización ilustrada de la memoria 186 incluye un  
35 almacenamiento de datos 188 y unas instrucciones de programa 190.

El controlador 125 se acopla para recibir señales de control de realimentación a partir del sistema sensor 135 y se acopla adicionalmente para accionar el accionador de acomodación 130. El sistema de alimentación 120 suministra tensiones operativas al controlador 125 y/o el accionador de acomodación 130. La antena 140 es accionada por el controlador 125 para comunicar información a y/o desde el dispositivo montable en el ojo 100. En una realización, la  
40 antena 140, el controlador 125, el sistema de alimentación 120 y el sistema sensor 135 están, todos ellos, situados sobre el sustrato 115 embebido. En una realización, el accionador de acomodación 130 está embebido dentro del material envolvente 110, pero no está dispuesto sobre el sustrato 115. Debido a que el dispositivo montable en el ojo 100 incluye elementos electrónicos y está configurado para montarse con contacto en un ojo, en el presente documento también es denominada plataforma oftálmica de elementos electrónicos, lente de contacto o lente de  
45 contacto inteligente.

Para facilitar el montaje con contacto, el material envolvente 110 puede tener una superficie cóncava configurada para adherirse a ("montarse" en) una superficie corneal humedecida (por ejemplo, por fuerzas capilares con una película lacrimonal que reviste la superficie corneal). Adicionalmente o como alternativa, el dispositivo montable en el ojo 100 se puede adherir por una fuerza de vacío entre la superficie corneal y el material envolvente 110 debido a la curvatura cóncava. Aunque se monta con la superficie cóncava contra el ojo, la superficie orientada hacia fuera del material envolvente 110 puede tener una curvatura convexa que está formada para no interferir con el movimiento de los párpados mientras el dispositivo montable en el ojo 100 está montado en el ojo. Por ejemplo, el material envolvente 110 puede ser un disco curvado sustancialmente transparente conformado de forma similar a una lente de contacto.  
55

El material envolvente 110 puede incluir uno o más materiales biocompatibles, tales como los empleados para su uso en lentes de contacto u otras aplicaciones oftálmicas que implican un contacto directo con la superficie corneal. El material envolvente 110 se puede formar opcionalmente, en parte, a partir de tales materiales biocompatibles o puede incluir un revestimiento externo con tales materiales biocompatibles. El material envolvente 110 puede incluir materiales configurados para humectar la superficie corneal, tales como hidrogeles y similares. En algunos casos, el material envolvente 110 puede ser un material deformable ("no rígido") para potenciar la comodidad del usuario. En algunos casos, el material envolvente 110 se puede conformar para proporcionar una potencia óptica correctora de visión predeterminada, tal como puede ser proporcionada por una lente de contacto. El material envolvente se puede fabricar de diversos materiales que incluyen un material polimérico, un hidrogel, PMMA, polímeros a base de silicio (por ejemplo, acrilato de fluoro-silicio), o de otro modo.  
65

El sustrato 115 incluye una o más superficies adecuadas para montar el sistema sensor 135, el controlador 125, el sistema de alimentación 120 y la antena 140. El sustrato 115 se puede emplear tanto como una plataforma de montaje para un conjunto de circuitos a base de chips (por ejemplo, mediante un montaje de chips invertidos) y/o como una plataforma para dibujar patrones con materiales conductores (por ejemplo, oro, platino, paladio, titanio, cobre, aluminio, plata, metales, otros materiales conductores, combinaciones de estos, etc.) para crear electrodos, interconexiones, antenas, etc. En algunas realizaciones, se pueden dibujar patrones con materiales conductores sustancialmente transparentes (por ejemplo, óxido de indio y estaño) sobre el sustrato 115 para formar conjuntos de circuitos, electrodos, etc. Por ejemplo, la antena 140 se puede formar mediante la deposición de un patrón de oro u otro material conductor sobre el sustrato 115. De forma similar, las interconexiones 145 y 150 se pueden formar mediante la deposición de patrones adecuados de materiales conductores sobre el sustrato 115. Se puede emplear una combinación de capas protectoras, máscaras y técnicas de deposición para dibujar patrones con materiales sobre el sustrato 115. El sustrato 115 puede ser un material relativamente rígido, tal como poli(tereftalato de etileno) ("PET") u otro material suficiente para soportar estructuralmente el conjunto de circuitos y/o los elementos electrónicos dentro del material envolvente 110. Como alternativa, el dispositivo montable en el ojo 100 se puede disponer con un grupo de sustratos inconexos en lugar de un único sustrato. Por ejemplo, el controlador 125 y el sistema de alimentación 120 se pueden montar en un sustrato, mientras que la antena 140 y el sistema sensor 135 se montan en otro sustrato y los dos se pueden conectar eléctricamente por medio de interconexiones.

En algunas realizaciones, el sistema de alimentación 120 y el controlador 125 (y el sustrato 115) se pueden situar lejos del centro del dispositivo montable en el ojo 100 y, de ese modo, evitar la interferencia con la transmisión de luz al ojo a través del centro del dispositivo montable en el ojo 110. En contraposición, el accionador de acomodación 130 se puede situar céntricamente para aplicar una acomodación óptica a la luz transmitida al ojo a través del centro del dispositivo montable en el ojo 110. Por ejemplo, en donde el dispositivo montable en el ojo 100 está conformado como un disco curvado cóncavo, el sustrato 115 se puede embeber en torno a la periferia (por ejemplo, cerca de la circunferencia exterior) del disco. En algunas realizaciones, el sistema sensor 135 incluye dos o más sensores fotodetectores discretos que se distribuyen para detectar la superposición de párpado. El sistema sensor 135 y/o el sustrato 115 pueden ser sustancialmente transparentes a la luz visible entrante para mitigar la interferencia con la transmisión de luz al ojo.

El sustrato 115 se puede conformar como un anillo aplanado con una dimensión de anchura radial suficiente para proporcionar una plataforma de montaje para los componentes electrónicos embebidos. El sustrato 115 puede tener un espesor suficientemente pequeño para permitir que el sustrato se embeba en el material envolvente 110 sin afectar adversamente al perfil del dispositivo montable en el ojo 100. El sustrato 115 puede tener un espesor suficientemente grande para proporcionar una estabilidad estructural adecuada para soportar los elementos electrónicos montados sobre el mismo. Por ejemplo, el sustrato 115 se puede conformar como un anillo con un diámetro de aproximadamente 10 milímetros, una anchura radial de aproximadamente 1 milímetro (por ejemplo, un radio exterior 1 milímetro mayor que un radio interior), y un espesor de aproximadamente 50 micrómetros. El sustrato 115 se puede alinear opcionalmente con la curvatura de la superficie de montaje en el ojo del dispositivo montable en el ojo 100 (por ejemplo, una superficie convexa). Por ejemplo, el sustrato 115 se puede conformar a lo largo de la superficie de un cono imaginario entre dos segmentos circulares que definen un radio interior y un radio exterior. En un ejemplo de este tipo, la superficie del sustrato 115 a lo largo de la superficie del cono imaginario define una superficie inclinada que está alineada aproximadamente con la curvatura de la superficie de montaje en el ojo a ese radio.

En la realización ilustrada, el sistema de alimentación 120 incluye una batería 165 para alimentar los diversos elementos electrónicos embebidos, incluyendo el controlador 125. La batería 165 puede ser cargada inductivamente por un conjunto de circuitos de carga 160 y la antena de recolección de energía 155. En una realización, la antena 140 y la antena de recolección de energía 155 son antenas independientes, que prestan sus funciones respectivas de recolección de energía y comunicaciones. En otra realización, la antena de recolección de energía 155 y la antena 140 son la misma antena física que proporcionan funciones respectivas de carga inductiva y comunicaciones inalámbricas temporalmente compartidas o simultáneas con el lector 105. Adicionalmente o como alternativa, el sistema de alimentación 120 puede incluir una célula solar ("célula fotovoltaica") para captar energía a partir de la radiación ultravioleta, visible y/o infrarroja entrante. Además, se puede incluir un sistema de captación de potencia inercial para captar energía a partir de las vibraciones del ambiente.

El conjunto de circuitos de carga 160 puede incluir un rectificador/regulador para acondicionar la energía captada para cargar la batería 165 o alimentar directamente el controlador 125 sin la batería 165. El conjunto de circuitos de carga 160 también puede incluir uno o más dispositivos de almacenamiento de energía para mitigar las variaciones de alta frecuencia en la antena de recolección de energía 155. Por ejemplo, uno o más dispositivos de almacenamiento de energía (por ejemplo, un condensador, una inductancia, etc.) se pueden conectar para funcionar como un filtro de paso bajo.

El controlador 125 contiene una lógica para coreografiar el funcionamiento de los otros componentes embebidos. La lógica de control 170 controla el funcionamiento general del dispositivo montable en el ojo 100, incluyendo proporcionar una interfaz de usuario lógica, funcionalidad de control de potencia, etc. La lógica de acomodación 175 incluye una lógica para supervisar las señales de realimentación a partir del sistema sensor 135, determinar la dirección de la mirada o distancia focal actual del usuario y manipular el accionador de acomodación 130 en respuesta para

proporcionar la acomodación apropiada. La auto-acomodación se puede implementar en tiempo real basándose en la realimentación a partir del seguimiento de la mirada, o permitir un control de usuario para seleccionar unos regímenes de acomodación específicos (por ejemplo, una acomodación de campo cercano para lectura, acomodación de campo lejano para actividades ordinarias, etc.). La lógica de comunicación 180 proporciona protocolos de comunicación para una comunicación inalámbrica con el lector 105 por medio de la antena 140. En una realización, la lógica de comunicación 180 proporciona una comunicación por retrodispersión por medio de la antena 140 cuando en presencia de un campo electromagnético 171 emitido desde el lector 105. En una realización, la lógica de comunicación 180 funciona como una etiqueta de identificación por radiofrecuencia ("RFID") inalámbrica inteligente que modula la impedancia de la antena 140 para unas comunicaciones inalámbricas por retrodispersión. Los diversos módulos lógicos del controlador 125 se pueden implementar en software/firmware ejecutado en un microprocesador de propósito general, en hardware (por ejemplo, circuito integrado para aplicaciones específicas), o una combinación de ambos.

El dispositivo montable en el ojo 100 puede incluir diversos otros elementos electrónicos embebidos y módulos lógicos. Por ejemplo, se puede incluir una fuente de luz o una matriz de píxeles para proporcionar una realimentación visible al usuario. Se puede incluir un acelerómetro o giróscopo para proporcionar una información de realimentación de posición, de rotación, de dirección o de aceleración al controlador 125.

Se hace notar que el diagrama de bloques mostrado en la figura 1 se describe en conexión con módulos funcionales por conveniencia en la descripción, pero no necesariamente tiene la connotación de una organización física. En su lugar, las realizaciones del dispositivo montable en el ojo 100 se pueden disponer con uno o más de los módulos funcionales ("subsistemas") implementados en un único chip, múltiples chips, en uno o más circuitos integrados, o de otro modo.

El lector externo 105 incluye una antena 184 (o un grupo de más de una antena) para enviar y recibir unas señales inalámbricas 171 a y desde el dispositivo montable en el ojo 100. El lector externo 105 también incluye un sistema informático con un procesador 182 en comunicación con una memoria 186. La memoria 186 es un medio legible por ordenador no transitorio que puede incluir, sin limitación, discos magnéticos, discos ópticos, memoria orgánica y/o cualquier otro sistema de almacenamiento volátil (por ejemplo, RAM) o no volátil (por ejemplo, ROM) legible por el procesador 182. La memoria 186 puede incluir un almacenamiento de datos 188 para almacenar indicaciones de datos, tales como registros de datos (por ejemplo, registros de usuario), ajustes de programa (por ejemplo, para ajustar el comportamiento del dispositivo montable en el ojo 100 y/o el lector externo 105), etc. La memoria 186 también puede incluir unas instrucciones de programa 190 para su ejecución por el procesador 182 para dar lugar a que el lector externo 105 realice procesos especificados por las instrucciones 190. Por ejemplo, las instrucciones de programa 190 pueden dar lugar a que el lector externo 105 proporcione una interfaz de usuario que prevé recuperar información comunicada a partir del dispositivo montable en el ojo 100 o que permite transmitir información al dispositivo montable en el ojo 100 para programar, o seleccionar de otro modo, modos operativos del dispositivo montable en el ojo 100. El lector externo 105 también puede incluir uno o más componentes de hardware para accionar la antena 184 para enviar y recibir las señales inalámbricas 171 a y desde el dispositivo montable en el ojo 100.

El lector externo 105 puede ser un teléfono inteligente, asistente digital, u otro dispositivo informático portátil con conectividad inalámbrica suficiente para proporcionar el enlace de comunicación inalámbrica 171. El lector externo 105 también se puede implementar como un módulo de antena que se puede enchufar a un dispositivo informático portátil, tal como en un ejemplo en el que el enlace de comunicación 171 funciona a unas frecuencias de portadora comúnmente no empleadas en dispositivos informáticos portátiles. En algunos casos, el lector externo 105 es un dispositivo de propósito especial configurado para llevarse puesto relativamente cerca del ojo de un usuario para permitir que el enlace de comunicación inalámbrica 171 opere con un presupuesto de baja potencia. Por ejemplo, el lector externo 105 se puede integrar en una pieza de joyería tal como un collar, un pendiente, etc. o integrarse en una prenda de vestir que se lleva puesta cerca de la cabeza, tal como un sombrero, una cinta para el pelo, etc.

Las figuras 2A y 2B ilustran dos vistas de un dispositivo montable en el ojo 200, de acuerdo con una realización de la divulgación. La figura 2A es una vista superior del dispositivo montable en el ojo 200 mientras que la figura 2B es una vista en perspectiva del mismo. El dispositivo montable en el ojo 200 es una posible implementación del dispositivo montable en el ojo 100 ilustrado en la figura 1. La realización ilustrada del dispositivo montable en el ojo 200 incluye un material envolvente 210, un sustrato 215, un sistema de alimentación 220, un controlador 225, un accionador de acomodación 230, un sistema sensor 235 y una antena 240. Se debería apreciar que las figuras 2A y 2B no están necesariamente dibujadas a escala, sino que se han ilustrado únicamente para fines de explicación en la descripción de la disposición del dispositivo montable en el ojo 200 ilustrativo.

El material envolvente 210 del dispositivo montable en el ojo 200 está conformado como un disco curvado. El material envolvente 210 es un material sustancialmente transparente para permitir que la luz incidente se transmita al ojo mientras el dispositivo montable en el ojo 200 está montado en el ojo. El material envolvente 210 es un material biocompatible similar a los empleados para formar lentes de contacto de corrección de visión y/o cosméticas en optometría, tal como un material polimérico, poli(tereftalato de etileno) ("PET"), poli(metacrilato de metilo) ("PMMA"), poli(metacrilato de hidroxietilo) ("poliHEMA"), un hidrogel, polímeros a base de silicio (por ejemplo, acrilato de fluorosilicio), combinaciones de estos, o de otro modo. El material envolvente 210 se puede formar teniendo un lado una

superficie cóncava 211 adecuada para encajar sobre una superficie corneal de un ojo. El lado opuesto del disco puede tener una superficie convexa 212 que no interfiere con el movimiento de los párpados mientras el dispositivo montable en el ojo 200 está montado en el ojo. En la realización ilustrada, un borde lateral exterior circular u oval 213 conecta la superficie cóncava 211 y la superficie convexa 212.

5 El dispositivo montable en el ojo 200 puede tener dimensiones similares a las de las lentes de contacto de corrección de visión y/o cosméticas, tales como un diámetro de aproximadamente 1 centímetro, y un espesor de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,5 milímetros. No obstante, los valores de diámetro y de espesor se proporcionan únicamente para fines de explicación. En algunas realizaciones, las dimensiones del dispositivo  
10 montable en el ojo 200 se pueden seleccionar de acuerdo con el tamaño y/o la forma de la superficie corneal del ojo del usuario. El material envolvente 210 se puede formar con una forma curvada en diversas formas. Por ejemplo, se pueden emplear técnicas similares a las empleadas para formar lentes de contacto de corrección de visión, tales como moldeo por calor, moldeo por inyección, colada centrífuga, etc. para formar el material envolvente 210.

15 El sustrato 215 está embebido dentro del material envolvente 210. El sustrato 215 se puede embeber para situarse a lo largo de la periferia exterior del material envolvente 210, lejos de la región central en donde se sitúa el accionador de acomodación 230. En la realización ilustrada, el sustrato 215 rodea el accionador de acomodación 230. El sustrato 215 no interfiere con la visión debido a que este se encuentra demasiado cerca del ojo para poder enfocarse y se sitúa lejos de la región central en donde la luz incidente se transmite a las porciones detectoras de luz del ojo. En algunas  
20 realizaciones, el sustrato 215 se puede formar opcionalmente de un material transparente para mitigar adicionalmente los efectos sobre la percepción visual. El sustrato 215 se puede conformar como un anillo plano y circular (por ejemplo, un disco con un orificio centrado). La superficie plana del sustrato 215 (por ejemplo, a lo largo de la anchura radial) es una plataforma para montar elementos electrónicos y para dibujar patrones con materiales conductores para formar electrodos, antena o antenas, y/o interconexiones.

25 El sistema sensor 235 se distribuye al menos parcialmente alrededor del dispositivo montable en el ojo 200 para detectar una superposición de párpado basándose en fotodetección. Mediante la supervisión de la cantidad y posición de la superposición de párpado, las señales de realimentación a partir del sistema sensor 235 pueden ser medidas por el controlador 225 para determinar la dirección de la mirada y/o la distancia focal aproximada. Haciendo referencia a la figura 3A, el dispositivo montable en el ojo 200 está dispuesto sobre una córnea que está mirando directamente hacia delante. En esta posición, al menos dos sensores de luz 305 no están cubiertos por los párpados 310, lo que influye en su exposición a la luz. El controlador 225 puede determinar que la córnea está mirando directamente hacia delante por medio de las señales de realimentación a partir de los sensores 305. En este escenario, el controlador 224 puede determinar que el usuario está enfocando en el campo lejano y ajustarse la acomodación en consecuencia. Correspondientemente (véase la figura 3B), si el controlador 225 determina, basándose en la cantidad y ubicaciones  
30 de la superposición del párpado 310 de uno de los sensores 305, que la córnea está mirando hacia abajo y/o hacia dentro hacia la nariz, entonces se puede suponer el usuario está enfocando en el campo cercano (por ejemplo, lectura). En este escenario, la cantidad de acomodación aplicada por el accionador de acomodación 230 se debería corresponder con una distancia focal de campo cercano asociada con la actividad de lectura.

40 El sistema sensor 235 está dispuesto dentro del material envolvente 210 sobre el sustrato 215. En la realización ilustrada, el sistema sensor 235 se distribuye periféricamente en torno al accionador de acomodación 230. En la realización ilustrada, el sistema sensor 235 está dispuesto a lo largo del borde interior del sustrato 215 entre la antena 240 y el accionador de acomodación 230. En otras realizaciones, el sistema sensor 235 se puede distribuir parcial o totalmente a lo largo del borde exterior del sustrato 215 periféricamente a la antena 240. El sistema sensor 235 se puede disponer sobre la cara posterior del sustrato 215 adyacente a la superficie cóncava 211 o sobre la cara frontal del sustrato 215 adyacente a la superficie convexa 212. Se pueden usar varias orientaciones, agrupaciones y distribuciones para implementar el sistema sensor 235. En la realización ilustrada, el sistema sensor 235 incluye una pluralidad de sensores fotodetectores discretos distribuidos a una misma distancia con respecto a un centro del material envolvente 210; no obstante, diversas implementaciones incluyen fotodetectores a unas distancias respectivas diferentes con respecto a un centro de este tipo. Algunas implementaciones para un mecanismo de seguimiento de la mirada, tal como uno que incluya el sistema sensor 235, se analizan con detalle adicional posteriormente en conexión con las figuras 6A, 6B.

55 El accionador de acomodación 230 se sitúa céntricamente dentro del material envolvente 210 para afectar a la potencia óptica del dispositivo montable en el ojo 200 en el centro de la visión del usuario. En diversas realizaciones, el accionador de acomodación 230 funciona mediante el cambio de su índice de refracción bajo la influencia del controlador 225. Mediante el cambio de su índice de refracción, se altera la potencia óptica neta de las superficies curvadas del dispositivo montable en el ojo 200, aplicando de ese modo una acomodación controlable. El accionador de acomodación 230 se puede implementar usando una gran diversidad de diferentes dispositivos ópticos electro-activos. Por ejemplo, el accionador de acomodación 230 se puede implementar usando una capa de cristal líquido (por ejemplo, una célula de cristal líquido) dispuesta en el centro del material envolvente 210. En otras realizaciones, el accionador de acomodación 230 se puede implementar usando otros tipos de materiales ópticos electro-activos tales como materiales electro-ópticos que varían el índice de refracción en presencia de un campo eléctrico aplicado.  
60 El accionador de acomodación 230 puede ser un dispositivo diferenciado embebido dentro del material envolvente 210 (por ejemplo, una célula de cristal líquido), o un material en bruto que tiene un índice de refracción controlable. En

aún otra realización, el accionador de acomodación 230 se puede implementar usando una estructura de lente deformable que cambia de forma bajo la influencia de una señal eléctrica. En consecuencia, la potencia óptica del dispositivo montable en el ojo 200 es controlada por el controlador 225 con la aplicación de señales eléctricas por medio de uno o más electrodos que se extienden desde el controlador 225 hasta el accionador de acomodación 230.

5 El accionador de acomodación 230 se puede implementar usando una gran diversidad de diferentes estructuras de cristal líquido incluyendo cristal líquido nemático, cristal líquido retorcido nemático, cristal líquido colestérico o cristal líquido de fase azul. Debido a que una tensión de conmutación baja es deseable para un diseño de chip de baja potencia, son adecuados unos cristales líquidos nemáticos con unas tensiones de conmutación de menos de 5 V. Con la aplicación de una señal de control de 5 V, se puede lograr una conmutación de índice de refracción que varía de aproximadamente 1,74 en un modo inactivo a 1,52 en un modo activo. Un desplazamiento de índice de refracción de 0,2 debería ser suficiente para proporcionar una acomodación de campo cercano para lectura.

15 Volviendo a la figura 2A, la antena de cuadro 240 es una capa de material conductor con el que se dibujan patrones a lo largo de la superficie plana del sustrato para formar un anillo conductor plano. En algunos ejemplos, para permitir una flexibilidad adicional a lo largo de la curvatura del material envolvente, la antena de cuadro 240 puede incluir múltiples secciones sustancialmente concéntricas unidas eléctricamente entre sí. Cada sección se puede flexionar entonces independientemente a lo largo de la curvatura cóncava/convexa del dispositivo montable en el ojo 200. En algunos ejemplos, la antena de cuadro 240 se puede formar sin hacer una espira completa. En algunos casos, la antena 240 puede tener una muesca para dejar espacio para el controlador 225 y el sistema de alimentación 220, como se ilustra en la figura 2A. No obstante, la antena de cuadro 240 también se puede disponer como una tira continua de material conductor que envuelve totalmente la superficie plana del sustrato 215 una o más veces. Por ejemplo, se pueden dibujar patrones con una tira de material conductor con múltiples arrollamientos sobre la cara posterior del sustrato 215 opuesto al controlador 225, el sistema de alimentación 220 y el sistema sensor 235. Las interconexiones entre los extremos de una antena devanada de este tipo (por ejemplo, los cables de antena) se pueden pasar entonces a través del sustrato 215 al controlador 225.

30 Debido a que el dispositivo montable en el ojo 100 puede ser usado por diferentes usuarios que tienen diversos tamaños diferentes de ojo y formas de párpado, un proceso de configuración puede ser útil para entrenar el sistema para un usuario particular. En consecuencia, una calibración de detección de la mirada se puede ejecutar tras un uso inicial (o incluso de una forma periódica) para adquirir lecturas basales para diferentes direcciones de la mirada y distancias focales.

35 La figura 4 ilustra elementos de un método 400 para detectar la mirada por un usuario de un EMD de acuerdo con una realización. El método 400 puede ser realizado, por ejemplo, por el EMD 100, el EMD 200 o cualquiera de diversos otros dispositivos montables en el ojo analizados en el presente documento. Para ilustrar características de diversas realizaciones, el método 400 se describe en el presente documento con respecto a un sistema sensor 500 mostrado en la figura 5A. No obstante, adicionalmente o como alternativa tal descripción se puede ampliar para aplicarse a otro sistema sensor 550 mostrado en la figura 5B, o cualquiera de diversos otros sistemas sensores de este tipo de acuerdo con diferentes realizaciones.

45 Como se ilustra en la figura 5A, el sistema sensor 500 comprende unos circuitos detectores 510, 520 que incluyen los fotodiodos 512, 522 respectivos, cada uno para realizar una detección de la luz mientras que el sistema sensor 500 está dispuesto sobre una córnea de un usuario. El circuito detector 510 puede funcionar, por ejemplo, en respuesta a una o más señales de control 532 que, por ejemplo, son proporcionadas por la lógica de control 530 ilustrativa del sistema sensor 500 (por ejemplo, en donde la lógica de control 530 está incluida en la lógica de control 170). Como alternativa o adicionalmente, el circuito detector 520 puede funcionar en respuesta a una o más señales de control 534 que, por ejemplo, son proporcionadas por la lógica de control 530 (u otro conjunto de circuitos del sistema sensor 500). Tales señales de control 532, 534 pueden determinar de forma diversa una respectiva polarización, conmutación y/u otras características operativas de los circuitos detectores 510, 520.

55 El método 400 puede comprender, en 410, generar una primera señal basándose en la luz recibida en un primer fotodiodo (PD) de un primer circuito del EMD - por ejemplo, en donde la generación en 410 incluye generar la primera señal 514 basándose en la luz recibida en el PD 512 del circuito detector 510. Por ejemplo, el circuito detector 510 puede comprender adicionalmente una primera carga capacitiva (no mostrada) que se acopla para almacenar de forma diversa diferentes niveles de carga en instantes diferentes. En un instante dado, un nivel de la carga almacenada se puede basar al menos en parte en la operación del PD 512 - por ejemplo, en donde una carga de y/o descarga con respecto a la primera carga capacitiva es determinada al menos en parte por una tensión a través del PD 512 y/o una corriente emitida por el PD 512. En una realización de este tipo, el circuito detector 510 puede incluir adicionalmente un conjunto de circuitos muestreador (no mostrado) para muestrear una tensión a través de la primera carga capacitiva y/o una corriente emitida por la primera carga capacitiva. El circuito detector 510 puede generar la primera señal 514 basándose en tal muestreo - por ejemplo, en donde el conjunto de circuitos muestreador incluye un conjunto de circuitos convertidor de analógico a digital (ADC) para generar información digital de la primera señal 514. Aunque algunas realizaciones no están limitadas a este respecto, un nivel de señal (por ejemplo, tensión o corriente), frecuencia de señal, valor digital u otra característica de la primera señal 514 puede ser determinado por tal conjunto de circuitos ADC. En otras realizaciones, la primera señal 514 es una salida analógica del circuito detector 510.

El método 400 puede comprender adicionalmente, en 420, generar una segunda señal basándose en la luz recibida en un segundo PD de un segundo circuito del EMD. El primer circuito (por ejemplo, el circuito detector 510) se puede configurar para proporcionar un primer perfil de respuesta a la luz, en donde el segundo circuito (por ejemplo, el circuito detector 520) está configurado para proporcionar un segundo perfil de respuesta a la luz que es más lineal que el primer perfil de respuesta. Como se usa en el presente documento en el contexto de un fotodiodo (o un circuito detector que incluye un fotodiodo de este tipo), "perfil de respuesta a la luz" se refiere a un intervalo de respuestas por el fotodiodo (circuito detector) a través de un dominio de los niveles de la luz que es incidente sobre el fotodiodo. A modo de ilustración y no de limitación, un intervalo de respuestas como este puede incluir un intervalo de valores para una tensión a través del fotodiodo y/o un intervalo de valores para una corriente emitida por el fotodiodo. Aunque determinadas realizaciones no están limitadas a este respecto, al menos parte del primer perfil de respuesta puede ser logarítmico o, por lo demás, no lineal. La no linealidad del primer perfil de respuesta puede facilitar una detección de la mirada precisa que da cuenta de un amplio intervalo de condiciones de iluminación posibles de un entorno circundante. A modo de ilustración y no de limitación, un intervalo de niveles de intensidad de iluminación que varía a través de varios órdenes de magnitud se puede corresponder con un intervalo de valores para una tensión, una corriente y/u otra característica operativa del primer circuito, en donde el intervalo de valores está dentro de menos órdenes de magnitud (por ejemplo, dentro de un único orden de magnitud).

En el ejemplo del sistema sensor 500, el circuito detector 520 comprende adicionalmente una segunda carga capacitiva (no mostrada) que se acopla para almacenar de forma diversa diferentes niveles de carga en instantes diferentes. En un instante dado, un nivel de la carga almacenada se puede basar al menos en parte en la operación del PD 522 - por ejemplo, en donde una carga de y/o descarga con respecto a la segunda carga capacitiva es determinada al menos en parte por una tensión a través del PD 522 y/o una corriente emitida por el PD 522. El circuito detector 520 incluye adicionalmente un conjunto de circuitos muestreador (no mostrado) para muestrear una tensión a través de la segunda carga capacitiva y/o una corriente emitida por la segunda carga capacitiva. En una realización de este tipo, la generación en 420 puede incluir que el circuito detector 520 genere la segunda señal 545 basándose en tal muestreo - por ejemplo, en donde el conjunto de circuitos muestreador incluye un conjunto de circuitos convertidor de analógico a digital (ADC) para generar información digital de la segunda señal 545. Aunque algunas realizaciones no están limitadas a este respecto, un nivel de tensión, frecuencia, valor digital u otra característica de la segunda señal 545 puede ser determinado por tal conjunto de circuitos ADC. En otras realizaciones, la segunda señal 545 es una salida analógica del circuito detector 520.

El método 400 comprende adicionalmente, en 430, detectar una dirección de la mirada por una córnea del usuario del EMD. La detección en 430 se basa al menos en parte en la primera señal generada en 410 y la segunda señal generada en 420. En el ejemplo del sistema sensor 500, la primera señal 514 se proporciona para sintonizar o configurar de otro modo una operación del circuito detector 520 basándose en un nivel de la luz detectada con el PD 512. A modo de ilustración y no de limitación, la configuración del circuito detector 520 con la primera señal 514 puede incluir establecer una tensión, carga, duración de muestreo, frecuencia de muestreo y/o cualquiera de diversas otras características operativas basándose en una detección por el PD 512 de un nivel actual de la luz ambiente en un entorno circundante. Tal configuración del circuito detector 520 con la primera señal 514 puede constituir una base para cómo se genera la segunda señal 545 en respuesta a la detección de luz por el PD 522.

En una realización, es debido a que la segunda señal se basa en la primera señal que la dirección de la mirada se detecta en 430 basándose, al menos en parte, en la primera señal. Por ejemplo, la detección en 430 puede incluir enviar a la lógica de evaluación 540 del sistema sensor 500 una segunda señal 545 que se basa en la primera señal 514 (por ejemplo, la primera señal generada en 410) y que se basa adicionalmente en la detección de luz por el PD 522. La lógica de evaluación 540 puede evaluar la segunda señal 545 para detectar una o más características de la mirada por un usuario de un EMD que incluye el sistema sensor 500. Por ejemplo, un conjunto de circuitos de la lógica de evaluación 540 puede comparar información representada por la segunda señal 545 con un umbral predeterminado u otro valor de referencia. Un valor de este tipo se puede proporcionar como un parámetro *a priori* - por ejemplo, en donde el parámetro se determina de acuerdo con técnicas convencionales de detección de la mirada que no se detallan en el presente documento y no suponen limitaciones para determinadas realizaciones. Basándose en la evaluación de la segunda señal 545, la lógica de evaluación 540 puede detectar una dirección de la mirada - por ejemplo, en relación con la posición de un párpado del usuario. Por ejemplo, la lógica de evaluación 540 puede detectar si el PD 522 está actualmente cubierto (o no) por un párpado de un usuario.

En otra realización, la dirección de la mirada se detecta en 430 basándose en la primera señal y basándose adicionalmente en la segunda señal, en donde la primera señal no se proporciona a un circuito detector que genera la segunda señal. Por ejemplo, la figura 5B ilustra un sistema sensor 550 de un EMD de acuerdo con otra realización. El sistema sensor 550 incluye un circuito detector 560, un circuito detector 570, una lógica de control 580 y una lógica de evaluación 590 que, respectivamente, se corresponden funcionalmente con el circuito detector 510, el circuito detector 520, la lógica de control 530 y la lógica de evaluación 540. Los circuitos detectores 560, 570 incluyen los PD 562, 572 respectivos que se corresponden con los PD 512, 522 - por ejemplo, en donde un perfil de respuesta a la luz del circuito detector 570 es más lineal que un perfil de respuesta a la luz correspondiente del circuito detector 560. La lógica de control 580 proporciona una o más señales de control 582 y una o más señales de control 584 para controlar de forma diversa una polarización, conmutación y/u otras características operativas de los circuitos detectores 560,

570. Basándose en tal control, la detección de luz por el circuito detector 560 da como resultado que se genere una primera señal 564, y la detección de luz por el circuito detector 570 da como resultado que se genere una segunda señal 595.

5 En la realización ilustrativa del sistema sensor 550, la detección en 430 incluye la lógica de evaluación 590 que procesa una segunda señal 595 que se genera independientemente de la primera señal 564. La primera señal 564 se proporciona a la lógica de evaluación 590 como una indicación de un nivel actual de la luz en el entorno circundante. La lógica de evaluación 590 puede ajustar un umbral u otro parámetro que se usa como un valor de referencia para evaluar la segunda señal 595. En una realización, la primera señal 564 y la segunda señal 595 se generan  
10 independientemente entre sí. En otra realización, la lógica de evaluación 590 proporciona una señal de realimentación 592 para cambiar la operación del circuito detector 570 basándose en la primera señal 564, en donde la lógica de control 580 ajusta una o más señales de control 570 en respuesta a la señal 592, cambiando así, o determinando de otro modo, cómo el circuito detector 570 genera la segunda señal 595.

15 Las figuras 6A, 6B ilustran diferentes disposiciones de sensores para implementar un sistema sensor de un dispositivo montable en el ojo, de acuerdo con diversas realizaciones. Estos sistemas sensores representan, por ejemplo, posibles implementaciones de los sistemas sensores 135, 235, 500. La figura 6A ilustra un sistema sensor 600 dispuesto dentro de un dispositivo montable en el ojo 620 que, por ejemplo, incluye características de uno de los EMD 100, 200. La operación del EMD 620 puede incluir realizar parte o la totalidad del método 400 - por ejemplo, en donde el sistema  
20 sensor 600 funciona para ayudar a determinar una potencia óptica (tal como una longitud focal) a proporcionar con un accionador de acomodación 615 del EMD 620.

En una realización, el sistema sensor 600 incluye un controlador 610 (por ejemplo, que comprende una lógica del controlador 125) y al menos dos fotodiodos acoplados al mismo. A modo de ilustración y no de limitación, el controlador  
25 610 se puede acoplar de forma diversa por medio de una o más pistas 630 con los fotodiodos 640, 645. Las una o más pistas 630 pueden posibilitar el accionamiento respectivo de los PD 640, 645 mediante la provisión de parte o la totalidad de un potencial de referencia (por ejemplo, masa), una tensión de suministro, una o más señales de control y/o similares. Una o más pistas 630 pueden prever adicionalmente que una o más señales se comuniquen al controlador 610. En algunas realizaciones, los PD 640, 645 intercambian una o más señales entre sí - por ejemplo,  
30 por medio de una o más pistas 630 (u otra pista de este tipo). Un intercambio de este tipo entre los PD 640, 645 puede ser por medio de una trayectoria que es independiente del controlador 610.

Uno de los PD 640, 645 se puede configurar para proporcionar un perfil de respuesta a la luz que es más lineal que un perfil de respuesta a la luz correspondiente para el que está configurado el otro de los PD 640, 645. Por ejemplo,  
35 los PD 640, 645 pueden proporcionar la funcionalidad correspondiente de los PD 522, 512, respectivamente. En una realización de este tipo, la fotodetección por el PD 645 puede dar como resultado que un primer circuito detector del sistema sensor 600 configure (por ejemplo, incluyendo una sintonización, polarización, o similares) otro circuito detector que incluye el PD 640. Tal conjunto de circuitos detector se puede ubicar de forma diversa en los PD 640,  
40 645 o, en otra realización, en el controlador 610.

Una ubicación del PD 645 en el EMD 620 puede prever que el PD 645 esté más expuesto, con el tiempo, a la luz ambiente de un entorno circundante (por ejemplo, en comparación con la cantidad de tal exposición con el tiempo para el EMD 640). En la realización ilustrativa mostrada, el PD 645 se encuentra más cerca que el PD 640 a un centro del EMD 620, con lo que es más probable que el PD 640 - en comparación con el PD 645 - esté cubierto en instantes  
45 diferentes por un párpado de un usuario. Cuando se mueve la córnea del usuario, una superposición de párpado del PD 640 puede dar lugar a que una señal (por ejemplo, la señal 545) sea generada por un conjunto de circuitos detector que incluye el PD 640. Tal conjunto de circuitos detector se puede configurar basándose en una detección de luz simultánea o anterior por el PD 645. Diferentes niveles de señal, frecuencias, valores u otras características de una señal de este tipo se pueden asociar con diferentes direcciones de la mirada y/o distancias focales y pueden ser  
50 usados de ese modo - por ejemplo, por el controlador 610 - para determinar la dirección de la mirada y/o la distancia focal de un usuario.

La figura 6B ilustra otro sistema sensor 650 dispuesto dentro de un dispositivo montable en el ojo 670 que, por ejemplo, incluye características de uno de los EMD 100, 200. La operación del EMD 670 puede incluir realizar parte o la totalidad  
55 del método 400 - por ejemplo, en donde el sistema sensor 650 funciona para ayudar a determinar una potencia óptica a proporcionar con el accionador de acomodación 665. El sistema sensor 650 puede incluir características similares a las del sistema sensor 600. Por ejemplo, el sistema sensor 650 puede incluir un controlador 660, una o más pistas 680 y los PD 690, 695 que se corresponden funcionalmente con, el controlador 610, una o más pistas 630 y los PD 640, 645, respectivamente.

60 Uno de los PD 690, 695 se puede configurar para proporcionar un perfil de respuesta a la luz que es más lineal que un perfil de respuesta a la luz correspondiente para el que está configurado el otro de los PD 690, 695. Por ejemplo, los PD 690, 695 pueden proporcionar la funcionalidad correspondiente de los PD 522, 512, respectivamente. En una realización de este tipo, la fotodetección por el PD 695 puede dar como resultado que un primer circuito detector del sistema sensor 600 configure (por ejemplo, incluyendo una sintonización, polarización, o similares) otro circuito  
65 detector que incluye el PD 690. Tal conjunto de circuitos detector se puede ubicar de forma diversa en los PD 690,

695 o, en otra realización, en el controlador 660.

Una ubicación del PD 695 en el EMD 670 puede prever que el PD 695 esté más expuesto, con el tiempo, a la luz ambiente de un entorno circundante (por ejemplo, en comparación con la cantidad de tal exposición con el tiempo para el EMD 690). En la realización ilustrativa mostrada, los PD 690, 695 están rotacionalmente desplazados uno de otro - por ejemplo, al menos cuarenta y cinco (45) grados - con respecto a un centro del EMD 670. En una realización de este tipo, el EMD 670 puede incluir una estructura contrapesada, estructura tórica u otros mecanismos de este tipo para prever una orientación automática y/o estabilidad rotacional en un ojo del usuario. Tales mecanismos pueden aumentar la probabilidad de que el EMD 690 se encuentre, con el tiempo, más cerca que el EMD 695 a un párpado de un usuario. Cuando se mueve la córnea del usuario, una superposición de párpado del PD 690 puede dar lugar a que una señal (por ejemplo, la señal 545) sea generada por un conjunto de circuitos detector que incluye el PD 690. Tal conjunto de circuitos detector se puede configurar para generar la señal basándose en una detección de luz simultánea o anterior por el PD 695. Diferentes características de una señal de este tipo se pueden asociar con diferentes direcciones de la mirada y/o distancias focales y pueden ser usadas de ese modo - por ejemplo, por el controlador 610 - para determinar la dirección de la mirada y/o la distancia focal de un usuario.

La figura 7A muestra características de un circuito detector 700 para ayudar en la detección de la mirada por un dispositivo montable en el ojo de acuerdo con una realización. El circuito detector 700 puede incluir parte o la totalidad de las características del circuito detector 510, por ejemplo. El circuito detector 700 es simplemente un ejemplo de un circuito que incluye un fotodiodo y otro conjunto de circuitos para realizar un muestreo de una tensión, una corriente u otra característica que se basa en la fotodetección por el fotodiodo.

En la realización ilustrativa mostrada, el circuito detector 700 incluye un fotodiodo 710 que está polarizado directamente para el PD 710 - y/o el circuito detector 700 como un todo - para proporcionar un cierto perfil de respuesta a la luz no lineal (por ejemplo, logarítmico). Un ejemplo de un perfil de respuesta de este tipo se ilustra conceptualmente en la gráfica 780 de la figura 7C por una relación idealizada 786 entre una tensión de muestra 782 - generada con un PD - y un nivel de la luz 784 que es incidente sobre ese PD. La relación 786 puede representar un perfil de respuesta para una tensión a través del PD 710, una tensión a través del condensador 714 después de un periodo dado de carga por el PD 710 o cualquiera de diversas otras características operativas basándose en la detección de luz por el PD 710. La relación 786 ilustrativa es sustancialmente logarítmica al menos en un dominio por encima de un nivel 10 de la luz incidente sobre el PD 710. Determinadas realizaciones no se limitan a tensiones o niveles de luz particulares de la relación 786, que pueden variar ampliamente de acuerdo con detalles específicos de la implementación.

En una realización, el circuito detector 700 incluye una carga capacitiva - como se representa por el condensador 714 ilustrativo - y un conjunto de circuitos para acoplar selectivamente la carga capacitiva con el PD 710. El circuito detector 700 puede comprender adicionalmente un convertidor de analógico a digital (ADC) 718 para muestrear la carga en el condensador 714 (por ejemplo, incluyendo muestrear una tensión a través del condensador 714) y para generar una señal digital 730 basándose en una cantidad de tal carga. La operación del circuito detector 700 puede incluir cerrar los conmutadores 712, 716 (por ejemplo, con unas señales de control 720, 722 respectivas) para establecer/restablecer el circuito detector 700 a un estado basal mediante la disminución de cualquier tensión a través del PD 710 y el condensador 714. Subsiguientemente, el conmutador 712 se puede abrir (mientras el conmutador 716 permanece cerrado) para prever que el PD 710 comience a cargar el condensador 714. Una velocidad a la que se carga el condensador 714 puede depender de un nivel actual de la luz incidente sobre el PD 710. Después de un cierto periodo de tiempo *a priori* determinado por la señal de control 722, el conmutador 716 se puede abrir para detener la carga del condensador 714, y el ADC 718 puede muestrear entonces la cantidad de tal carga. Un nivel, frecuencia, valor u otra característica particular de la salida 730 puede indicar, por lo tanto, el nivel de la luz incidente sobre el PD 710.

La figura 7B muestra características de un circuito detector 740 para ayudar en la detección de la mirada por un dispositivo montable en el ojo de acuerdo con otra realización. El circuito detector 740 puede incluir parte o la totalidad de las características del circuito detector 510, por ejemplo. El circuito detector 740 es otro ejemplo de un circuito configurado para proporcionar un perfil de respuesta a la luz no lineal logarítmico o de otro tipo - por ejemplo, de acuerdo con la relación 786.

El circuito detector 740 puede incluir un PD 750, un transistor 752 acoplado entre el PD 750 y una tensión de suministro V<sub>dd</sub>, un condensador 754 y un conmutador 756 para acoplar selectivamente el condensador 754 con el PD 750. El circuito detector 740 puede comprender adicionalmente un convertidor de analógico a digital (ADC) 758 para muestrear la carga en el condensador 754 y generar una señal digital 770 basándose en una cantidad de tal carga. En una realización, el circuito detector 740 se puede establecer (por ejemplo, restablecer) a un cierto estado inicial como preparación para una operación para detectar la luz con el PD 750. Por ejemplo, tal inicialización puede incluir poner en corte el transistor 752 (por ejemplo, establecer una tensión de polarización V<sub>b</sub> a 0 V temporalmente) y permitir que el PD 750 descargue el condensador 754 mientras el conmutador 756 está cerrado.

Durante una detección de luz subsiguiente por el circuito detector 740 mientras el transistor 752 está polarizado, una tensión V<sub>pd</sub> a través del PD 750 se puede representar por la siguiente ecuación:

$$V_{pd} = (k) \left[ \ln \left\{ \frac{(I_b + i_{ph})}{I_0} \right\} \right]$$

5 en donde  $I_b$  es una componente de la corriente a través del transistor 752 que es inducida por/debido a  $V_b$ ,  $i_{ph}$  es una  
componente de la corriente a través del transistor 752 que es inducida por el PD 750,  $I_0$  es una corriente de saturación  
inversa para el transistor 752 y  $k$  es una constante. En una realización ilustrativa, el transistor 752 es un transistor de  
efecto de campo de metal-óxido-semiconductor (NMOS) de canal n que está polarizado con  $V_b$  para encontrarse por  
debajo de su estado umbral. En consecuencia, el circuito detector 740 puede proporcionar un perfil de respuesta a la  
luz sustancialmente logarítmico. La operación del circuito detector 740 puede incluir cerrar un conmutador 756 (por  
ejemplo, basándose en una señal de control 760) para prever que el PD 750 comience a cargar el condensador 754.  
10 Después de un cierto periodo de tiempo *a priori* determinado por la señal de control 760, el conmutador 756 se puede  
abrir para detener la carga del condensador 754, y el ADC 758 puede muestrear entonces la cantidad de tal carga y  
generar una señal digital 770 basándose en tal muestreo. En otra realización, el conmutador 760 permanece cerrado  
y el ADC 758 muestrea continuamente el condensador 754.

15 La figura 8A muestra características de un circuito detector 800 para ayudar en la detección de la mirada por un  
dispositivo montable en el ojo de acuerdo con una realización. El circuito detector 800 puede incluir parte o la totalidad  
de las características del circuito detector 520, por ejemplo. El circuito detector 800 es un ejemplo de un circuito que  
incluye un fotodiodo y otro conjunto de circuitos para realizar un muestreo que se basa en la fotodetección por el  
fotodiodo. En la realización ilustrativa mostrada, el circuito detector 800 incluye un PD 810, un conmutador 812  
20 acoplado entre el PD 810 y una tensión de suministro  $V_{dd}$ , un condensador 814 y un conmutador 816 para acoplar  
selectivamente el condensador 814 con el PD 810. El circuito detector 800 puede comprender adicionalmente un  
convertidor de analógico a digital (ADC) 818 para muestrear la carga en el condensador 814 y generar una señal digital  
830 basándose en una cantidad de tal carga.

25 El circuito detector 800 se puede configurar para ayudar en que el circuito detector 800 proporcione un perfil de  
respuesta a la luz relativamente lineal. En la realización ilustrada por la figura 8A, el PD 810 está polarizado  
inversamente para ayudar en que el PD 810 - y/o el circuito detector 800 como un todo - proporcione un cierto perfil  
de respuesta a la luz que sea relativamente lineal, en comparación con un perfil de respuesta a la luz de otro circuito  
detector (tal como uno de los circuitos detectores 700, 740). Una señal a partir del otro circuito detector puede  
30 configurar el circuito detector 800 para proporcionar uno particular de múltiples perfiles de respuesta a la luz  
comparativamente lineales. A modo de ilustración y no de limitación, el circuito detector 800 se puede acoplar con otro  
circuito detector (no mostrado) que genera una salida basándose en fotodetección por ese otro circuito detector. La  
señal de control 822 (u otra señal para configurar el circuito detector 800) puede incluir o basarse de otro modo en una  
señal de salida de este tipo. Por ejemplo, un periodo de muestreo, frecuencia de muestreo u otra característica  
35 operativa del conmutador 816 se puede determinar basándose al menos en parte en una detección por el otro circuito  
detector de un nivel de la luz ambiente en un entorno circundante.

La figura 8B muestra una gráfica 850 de diversas transiciones 860, 862, 864 de una tensión de muestra 852 (por  
ejemplo, a través del condensador 814) con el tiempo 854, correspondiéndose cada una de las transiciones 860, 862,  
40 864 con un nivel respectivo diferente de iluminación detectado en el PD 810. La relación entre la tensión de muestra  
852 y un intervalo de tales niveles de iluminación puede ser relativamente lineal - por ejemplo, en comparación con un  
perfil de respuesta a la luz de uno de los circuitos 700, 740. Aunque las transiciones 860, 862, 864 se muestran, cada  
una, como si comenzaran en un instante  $t_0$  por razones de comparación, se apreciará que el PD 810 solo se expone  
a tal nivel de iluminación en un instante dado.

45 En la gráfica 850, un instante  $t_0$  coincide con la apertura del conmutador 812, cuando el condensador 814 se ha  
cargado para proporcionar la tensión de muestra 852 a un cierto nivel inicial (por ejemplo, el nivel de la tensión de  
suministro  $V_{dd}$ ). Después de que se abra el conmutador 812 (y se cierre el conmutador 816), el condensador 814 se  
descargará mientras está acoplado al PD 810, en donde un nivel relativamente superior de iluminación en el PD 810  
50 da como resultado una descarga relativamente más rápida de la tensión de muestra 852. En un escenario ilustrativo  
de acuerdo con una realización, un entorno de iluminación oscura (por ejemplo, durante la noche) da como resultado  
un tiempo de descarga relativamente lento, en donde el circuito detector 800 proporciona, por lo tanto, la transición  
860. Por contraste, un entorno de iluminación brillante (por ejemplo, durante el día) puede dar como resultado un  
tiempo de descarga relativamente rápido, en donde el circuito detector 800 proporciona, por lo tanto, la transición 864.  
55 Un entorno de iluminación moderada (por ejemplo, durante el crepúsculo) puede dar como resultado un tiempo de  
descarga medio tal como el representado por la transición 862. Una tensión muestreada en un instante  $t_s$  (por ejemplo,  
una de las tensiones  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ) puede representar, o usarse de otro modo para determinar, una diferencia entre un  
nivel de la luz incidente en el PD 810 y un nivel de la luz incidente sobre otro PD (por ejemplo, el PD 710 o el PD 750).

60 Cuando se mueve la córnea del usuario, una superposición de párpado del PD 810 puede dar como resultado un nivel,  
frecuencia, valor u otra característica de la señal 830 que se basa en la luz detectada en 810 y en una configuración  
del circuito detector 800 en respuesta a una fotodetección simultánea o anterior por otro circuito. Diferentes niveles de  
señal, valores u otra información representada por una señal de este tipo se pueden asociar con diferentes direcciones  
de la mirada y/o distancias focales y, por lo tanto, pueden ser usados - por ejemplo, por el controlador 125 - para

determinar la dirección de la mirada y/o la distancia focal de un usuario. En una realización, la operación del conmutador 812 y/o el conmutador 816 se basa en una señal a partir de otro circuito (por ejemplo, uno de los circuitos 700, 740) que indica un nivel de iluminación ambiental que se detecta con ese otro circuito. Como alternativa o adicionalmente, una señal de este tipo a partir del otro circuito puede en su lugar proporcionarse, junto con la señal 5 830, a otra lógica (no mostrada) de evaluación para detectar una dirección de la mirada por un usuario.

Los procesos explicados anteriormente se describen en términos de hardware y software informático. Las técnicas descritas pueden constituir instrucciones ejecutables por máquina materializadas dentro de un medio de almacenamiento legible por máquina (por ejemplo, ordenador) tangible o no transitorio, que cuando son ejecutadas 10 por una máquina darán lugar a que la máquina realice las operaciones descritas. Adicionalmente, los procesos se pueden materializar dentro de hardware, tal como un circuito integrado para aplicaciones específicas ("ASIC") o de otro modo.

Un medio de almacenamiento legible por máquina tangible incluye cualquier mecanismo que proporcione (es decir, almacene) información en una forma no transitoria a la que puede acceder una máquina (por ejemplo, un ordenador, dispositivo de red, asistente digital personal, herramienta de fabricación, cualquier dispositivo con un conjunto de uno o más procesadores, etc.). Por ejemplo, un medio de almacenamiento legible por máquina incluye medios grabables/no grabables (por ejemplo, memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), medios de almacenamiento en disco magnético, medios de almacenamiento óptico, dispositivos de memoria flash, etc.). 15 20

No se tiene por objeto que la descripción anterior de realizaciones ilustradas de la invención, incluyendo lo que se describe en el resumen, sea exhaustiva o que limite la invención a las formas exactas divulgadas. Aunque en el presente documento se describen para fines ilustrativos realizaciones específicas de, y ejemplos para, la invención, son posibles diversas modificaciones dentro del alcance de la invención, como reconocerán los expertos en la materia 25 pertinente.

Estas modificaciones se pueden hacer a la invención a la luz de la descripción detallada anterior. No debería interpretarse que las expresiones usadas en las siguientes reivindicaciones limiten la invención a las realizaciones específicas divulgadas en la memoria descriptiva. En su lugar, el alcance de la invención ha de determinarse 30 totalmente por las siguientes reivindicaciones, que se han de interpretar de acuerdo con las doctrinas establecidas de interpretación de reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo montable en el ojo, EMD, (100, 200, 620, 670) que comprende:

5 un material envolvente (110, 210);  
un sistema sensor (135, 235, 305, 500, 550, 600, 650) dispuesto dentro del material envolvente, incluyendo el sistema sensor:

10 un primer circuito (510, 560, 700, 740) acoplado para generar una primera señal (514, 564, 730, 770) basándose en la luz recibida en un primer fotodiodo, PD, (512, 562, 645, 695, 710, 750) del primer circuito, en donde el primer circuito está configurado para proporcionar un primer perfil de respuesta a la luz que es no lineal de tal modo que hay una relación no lineal entre una magnitud de la primera señal y un nivel de la luz recibida en el primer fotodiodo; y

15 un segundo circuito (520, 570, 800) acoplado para generar una segunda señal (545, 595, 830) basándose en la luz recibida en un segundo PD (522, 572, 640, 690, 810) del segundo circuito, en donde el segundo circuito está configurado para proporcionar un segundo perfil de respuesta a la luz que es lineal de tal modo que hay una relación lineal entre una magnitud de la segunda señal y un nivel de la luz recibida en el segundo fotodiodo, en donde el sistema sensor está adaptado para configurar el segundo circuito basándose en la primera señal con el fin de cambiar el segundo perfil de respuesta a la luz proporcionado por el segundo circuito; y

20 una lógica de evaluación (540, 590) acoplada al sistema sensor, configurada la lógica de evaluación para detectar, basándose en la segunda señal, una dirección de la mirada por una córnea.

25 2. El EMD de la reivindicación 1, en donde el primer PD se encuentra más cerca que el segundo PD a un centro del EMD.

3. El EMD de la reivindicación 1, en donde el primer PD está rotacionalmente desplazado con respecto al segundo PD con respecto a un centro del EMD.

30 4. El EMD de la reivindicación 1, en donde el primer circuito comprende adicionalmente:

una primera carga capacitiva (714, 754) acoplada para almacenar carga a partir del primer PD; y  
un primer circuito muestreador (718, 758) acoplado para generar la primera señal basándose en la carga almacenada por la primera carga capacitiva.

35 5. El EMD de la reivindicación 4, en donde, basándose en un nivel de carga almacenada por la primera carga capacitiva, el primer circuito muestreador determina uno de:

40 un nivel de tensión de la primera señal;  
un nivel de corriente de la primera señal;  
una frecuencia de la primera señal; y  
un número representado por la primera señal.

45 6. El EMD de la reivindicación 1, en donde el primer perfil de respuesta a la luz es logarítmico.

7. El EMD de la reivindicación 1, teniendo el material envolvente una superficie cóncava (211) y una superficie convexa (212), en donde la superficie cóncava está configurada para ser montada de forma extraíble sobre la córnea y la superficie convexa está configurada para ser compatible con el movimiento de los párpados cuando la superficie cóncava está así montada.

50 8. El EMD de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un accionador de acomodación (130, 230, 615, 665) dispuesto dentro del material envolvente y conectado eléctricamente a un controlador (125, 225, 610, 660), en donde el controlador está configurado para manipular eléctricamente el accionador de acomodación para cambiar automáticamente una potencia óptica del EMD en respuesta a un cambio en la segunda señal.

55 9. El EMD de la reivindicación 8, en donde el accionador de acomodación comprende un material óptico electro-activo transparente que tiene un índice de refracción que cambia bajo la influencia eléctrica del controlador.

60 10. El EMD de la reivindicación 8, en donde el accionador de acomodación comprende una capa de cristal líquido transparente que tiene un índice de refracción que cambia bajo la influencia eléctrica del controlador.

11. El EMD de la reivindicación 1, en donde la dirección de la mirada por la córnea se usa para determinar una cantidad de acomodación a aplicar a un accionador de acomodación (130, 230, 615, 665) dispuesto dentro del material envolvente.

65

12. El EMD de la reivindicación 1, en donde el segundo circuito comprende adicionalmente:

una carga capacitiva (814) acoplada para recibir y almacenar carga generada por el segundo PD;  
un conmutador (816) acoplado entre la carga capacitiva y el segundo PD, en donde el conmutador está configurado para ser controlado basándose en la primera señal; y  
un convertidor de analógico a digital (818) acoplado para generar la segunda señal basándose en la carga almacenada en la carga capacitiva.

5

10

13. El EMD de la reivindicación 12, en donde el segundo PD está polarizado inversamente para proporcionar el perfil lineal del segundo perfil de respuesta a la luz, y en donde la primera señal determina el periodo o la frecuencia de muestreo con los que el conmutador acopla la carga capacitiva al segundo PD en respuesta al nivel actual de la luz ambiente.

15

14. Un método de accionamiento de un dispositivo montable en el ojo (100, 200, 620, 670) de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el método:

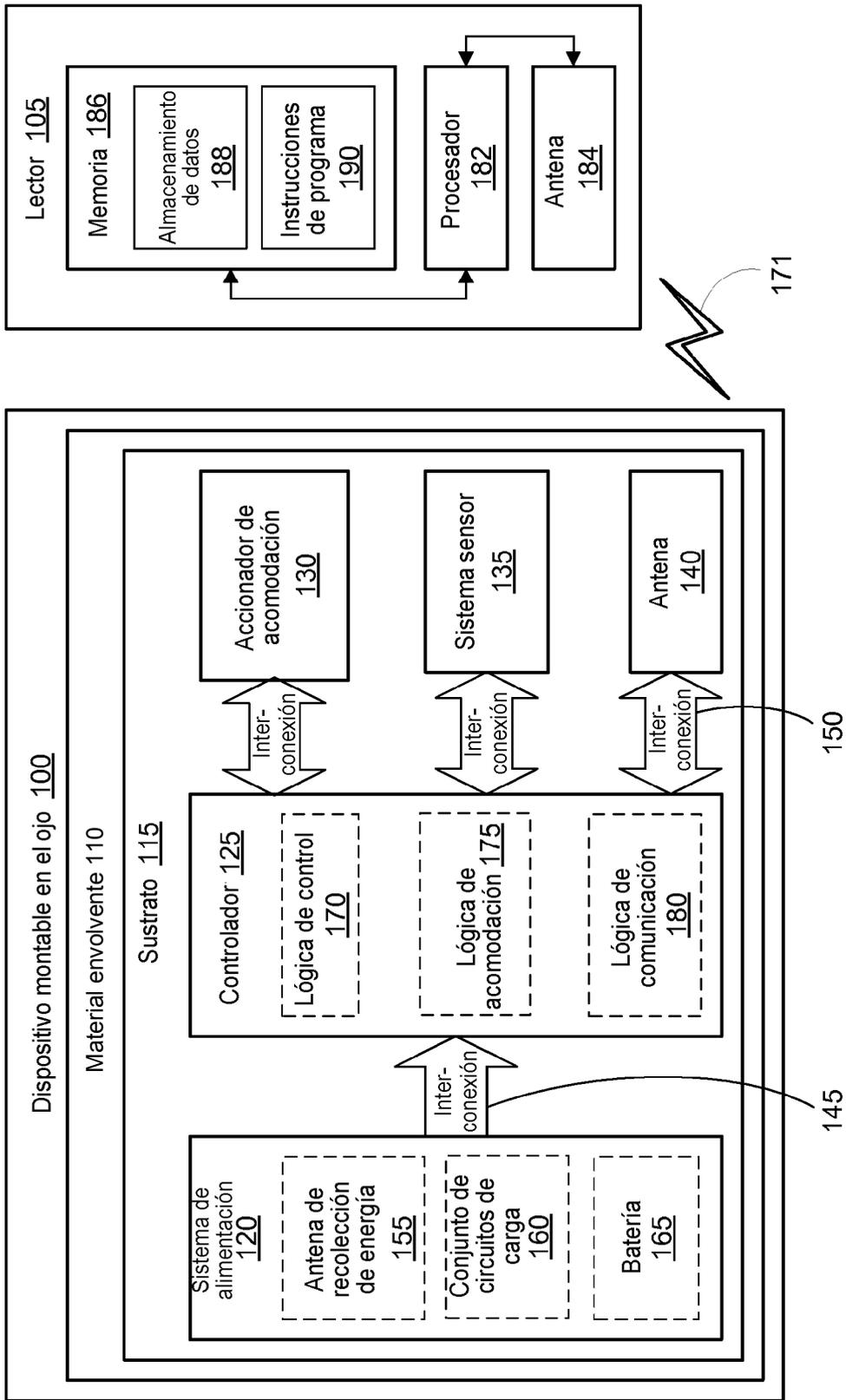
generar una primera señal (514, 564, 730, 770) basándose en la luz recibida en el primer PD (512, 562, 645, 695, 710, 750) del primer circuito (510, 560, 700, 740) del EMD;  
generar una segunda señal (545, 595, 830) basándose en la luz recibida en el segundo PD (522, 572, 640, 690, 810) del segundo circuito del EMD; y  
detectar una dirección de la mirada por una córnea, basándose la detección en la segunda señal.

20

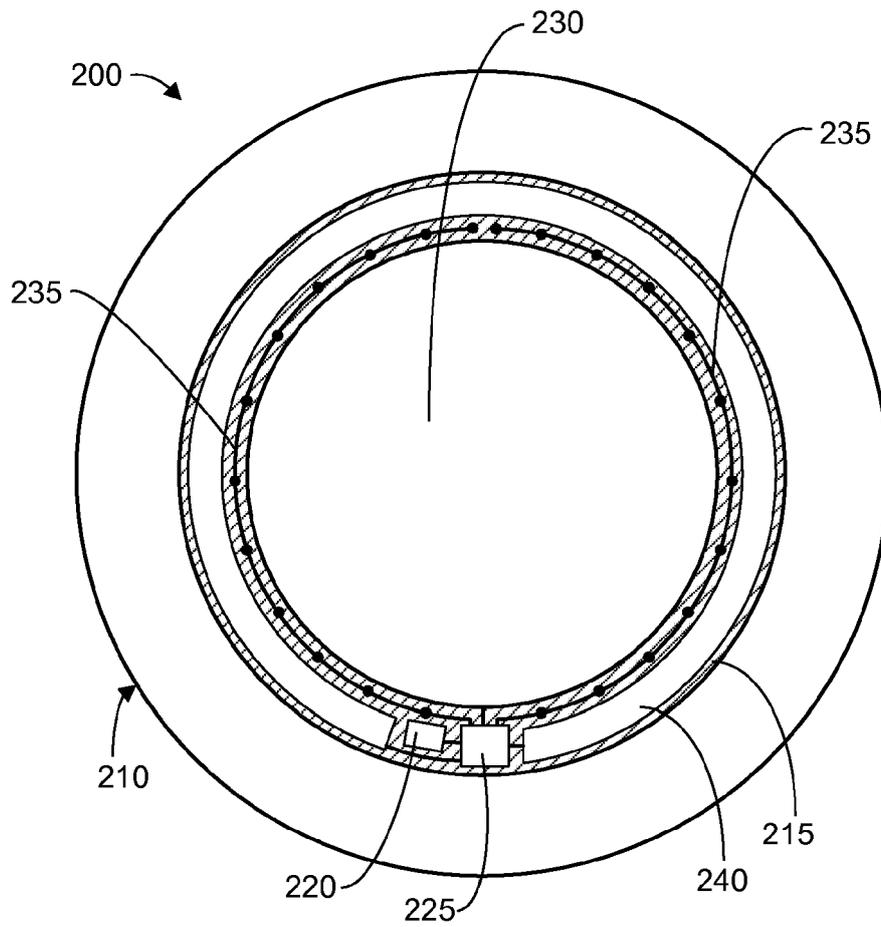
15. El método de la reivindicación 14, en donde el primer PD se encuentra más cerca que el segundo PD de un centro del EMD.

25

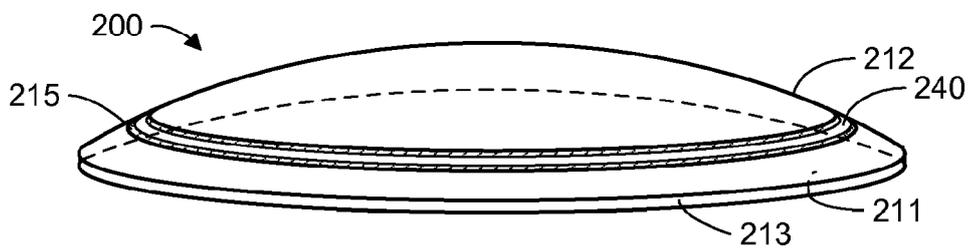
16. El método de la reivindicación 14, en donde el primer PD está rotacionalmente desplazado con respecto al segundo PD con respecto a un centro del EMD.



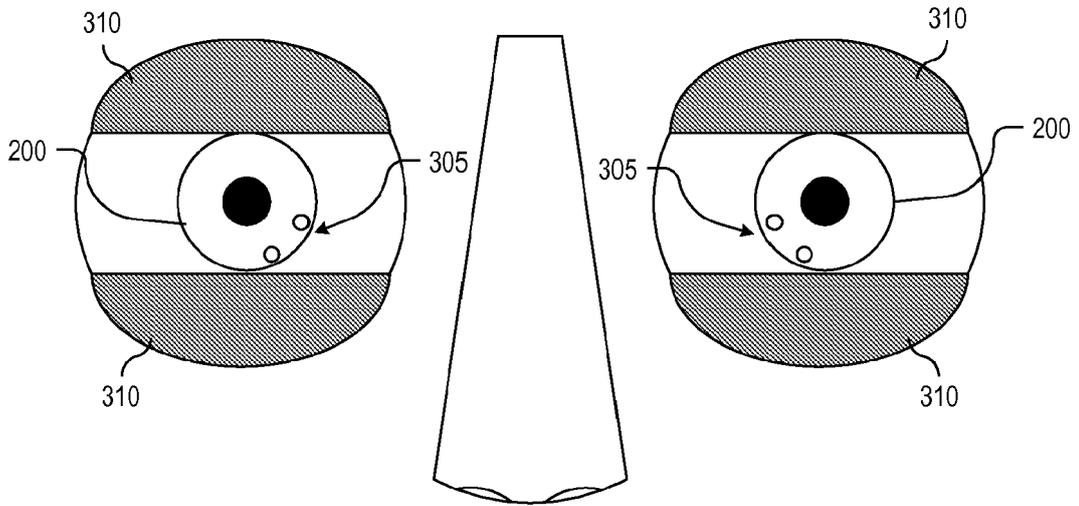
**FIG. 1**



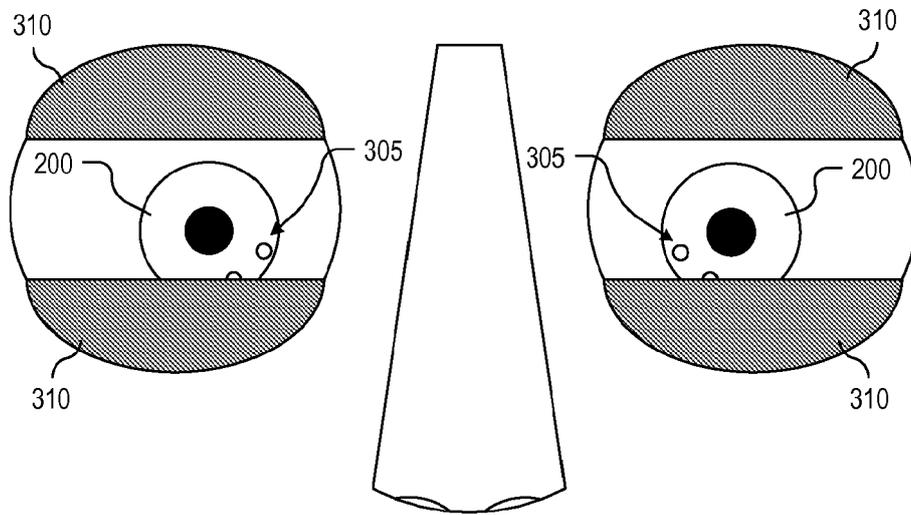
**FIG. 2A**



**FIG. 2B**



**FIG. 3A**



**FIG. 3B**

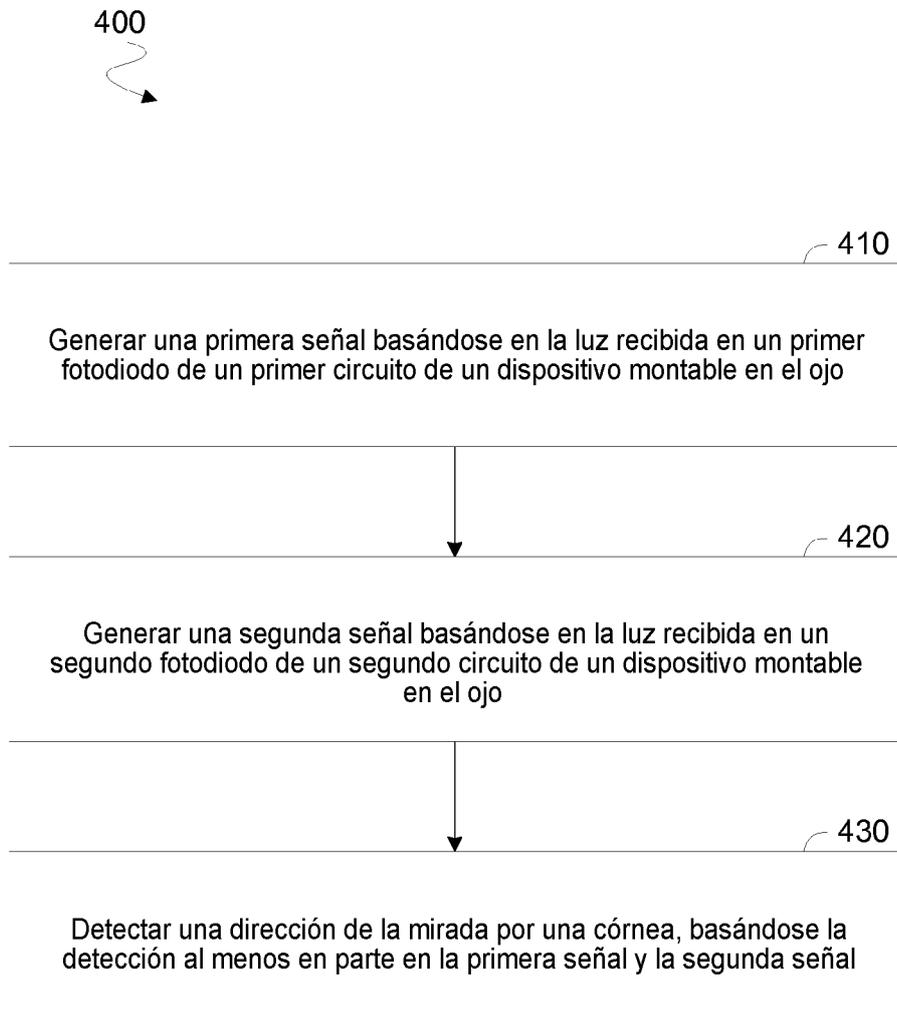


FIG. 4

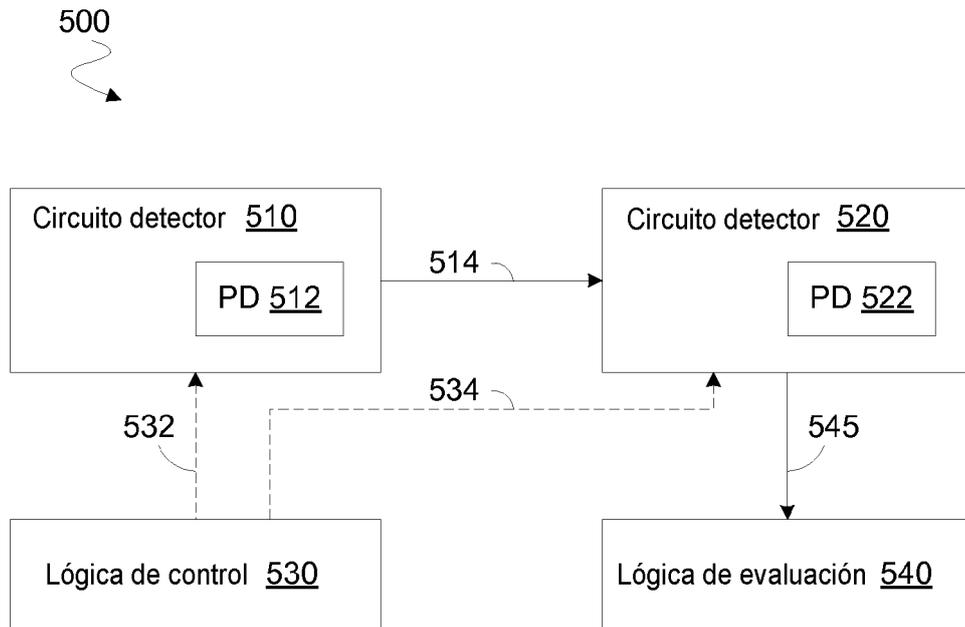


FIG. 5A

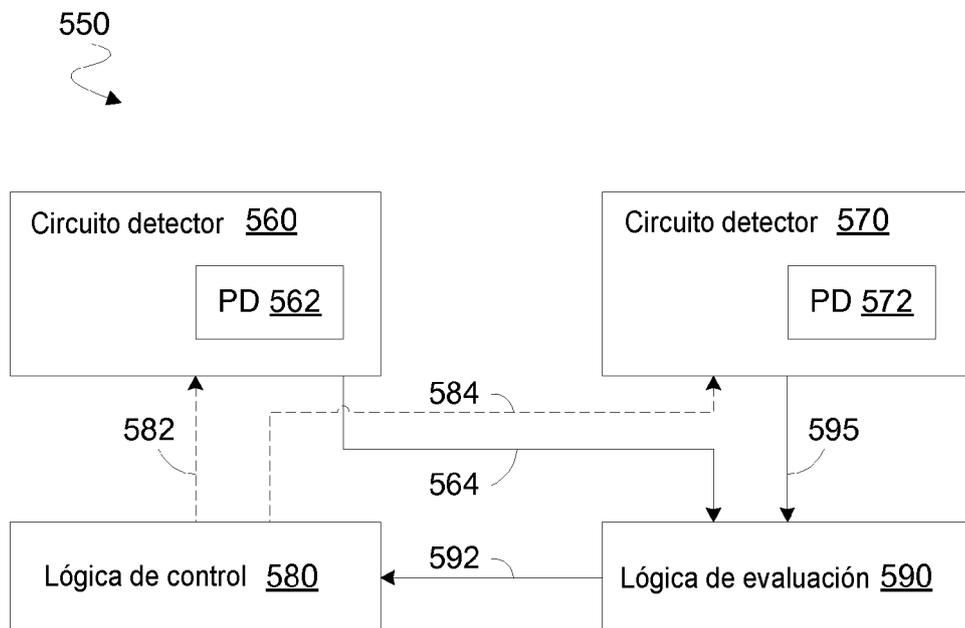


FIG. 5B

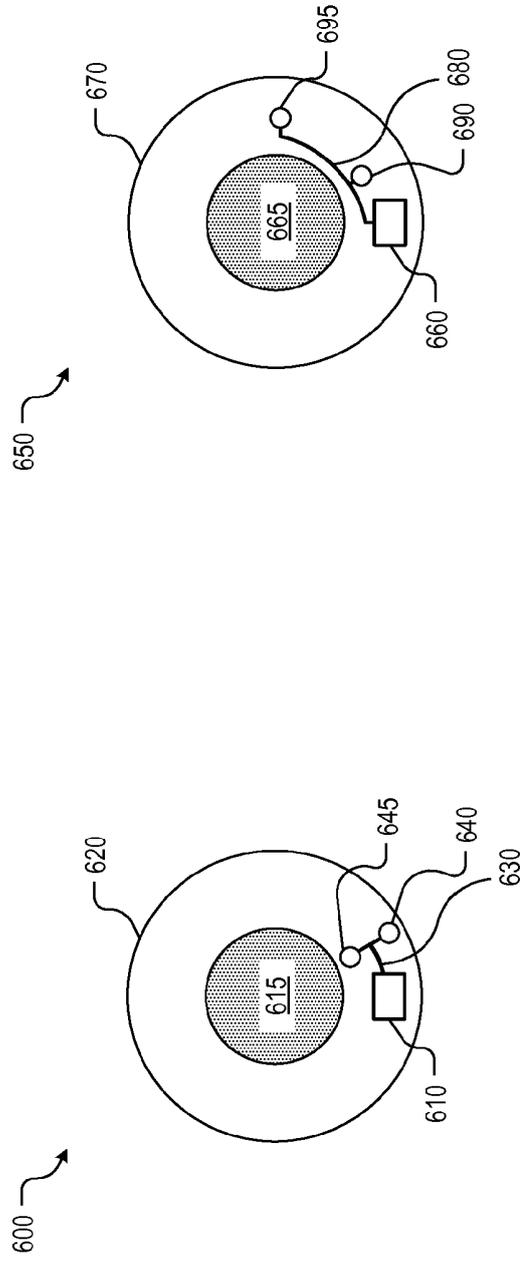


FIG. 6B

FIG. 6A

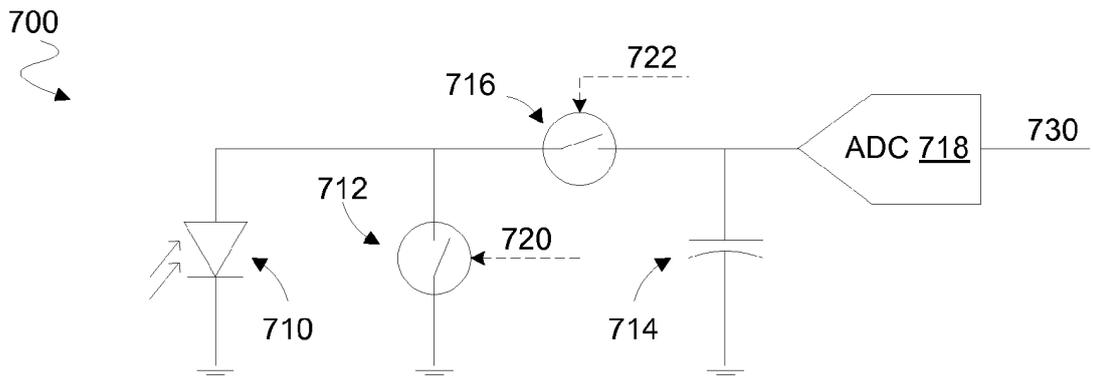


FIG. 7A

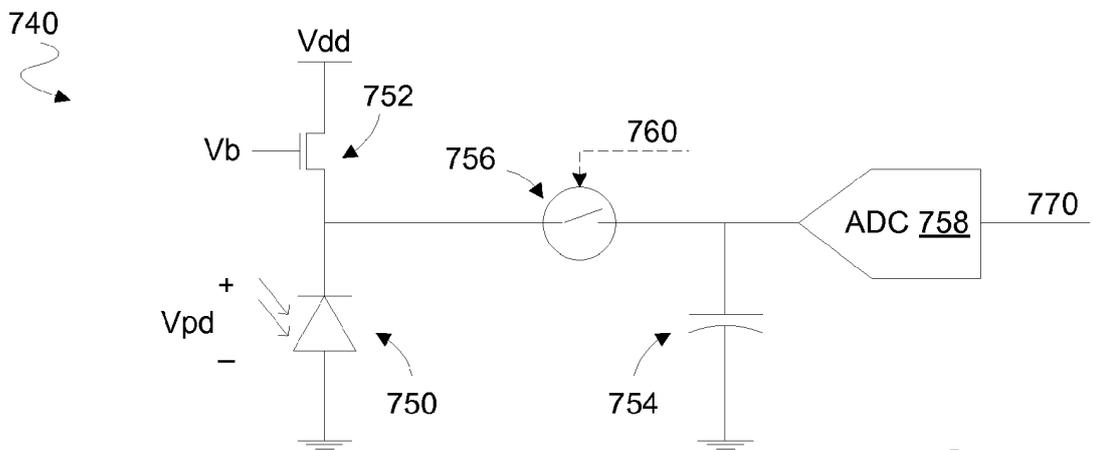


FIG. 7B

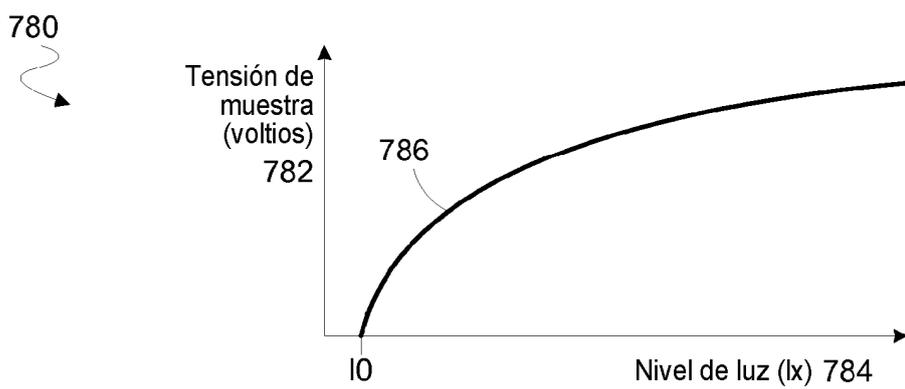


FIG. 7C

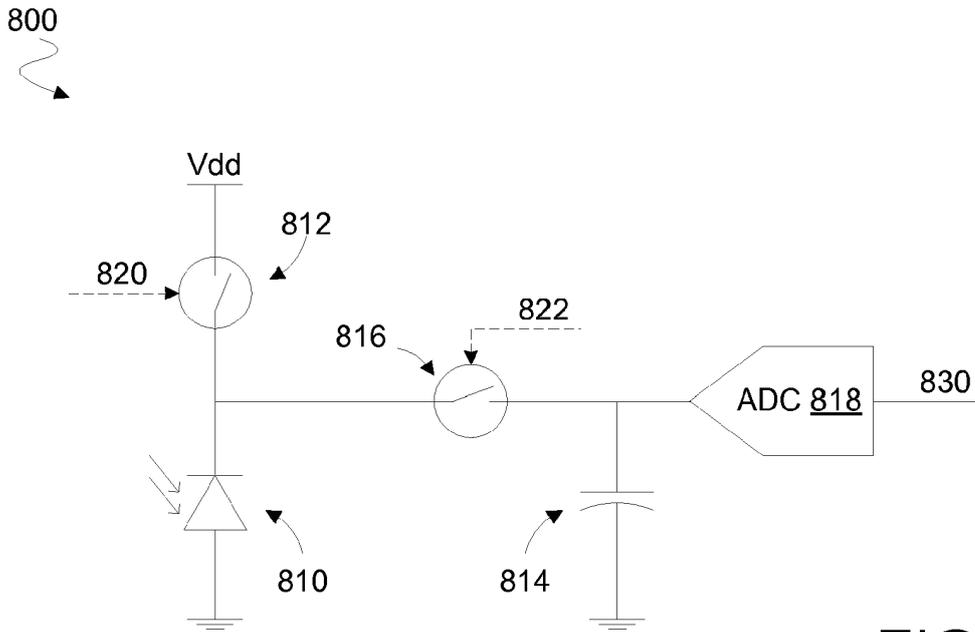


FIG. 8A

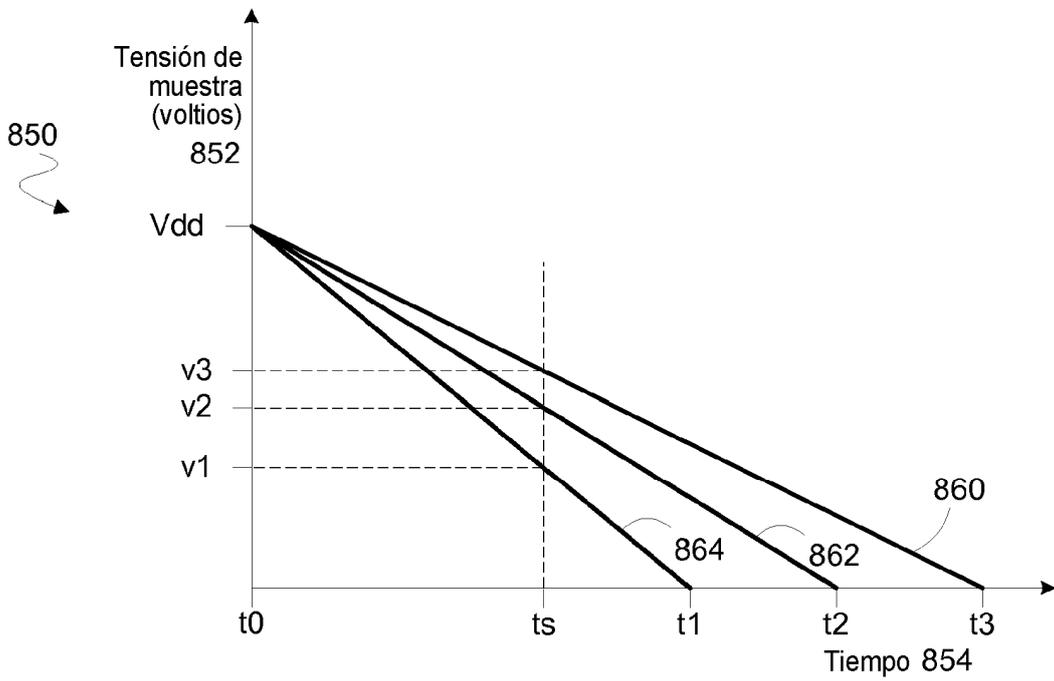


FIG. 8B