

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 194**

51 Int. Cl.:

G02C 7/04 (2006.01)

G02C 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.02.2014 E 14157307 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2018 EP 2772787**

54 Título: **Lente oftálmica electrónica con sensor de diámetro de pupila orientado hacia atrás**

30 Prioridad:

28.02.2013 US 201313780135

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

30.04.2019

73 Titular/es:

**JOHNSON & JOHNSON VISION CARE, INC.
(100.0%)
7500 Centurion Parkway, Suite 100
Jacksonville, FL 32256, US**

72 Inventor/es:

**PUGH, RANDALL BRAXTON;
TONER, ADAM y
OTTS, DANIEL B.**

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 711 194 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).

DESCRIPCION

Lente oftálmica electrónica con sensor de diámetro de pupila orientado hacia atrás

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION**1. Campo de la invención.**

10 La presente invención se refiere a una lente oftálmica alimentada o eléctrica que tiene un sensor y un hardware y software asociados para detectar y/o detectar el diámetro de la pupila, y más particularmente, a un sensor y un hardware y software asociados para detectar cambios en el diámetro de la pupila y cambiar el estado de una lente oftálmica electrónica.

15 2. Exposición de la técnica relacionada.

A medida que los dispositivos electrónicos continúan siendo miniaturizados, se está haciendo más probable crear dispositivos microelectrónicos portátiles o integrables para una variedad de usos. Tales usos pueden incluir monitorizar aspectos de la química corporal, administrar dosificaciones controladas de medicamentos o agentes terapéuticos mediante varios mecanismos, incluyendo automáticamente, en respuesta a mediciones, o en respuesta a señales de control externo, y aumentar el rendimiento de los órganos o tejidos. Ejemplos de tales dispositivos incluyen bombas de infusión de glucosa, marcapasos, desfibriladores, dispositivos de asistencia ventricular y neuroestimuladores. Un nuevo campo de aplicación, particularmente útil, es en las lentes usables y lentes de contacto oftálmicas. Por ejemplo, una lente usable puede incorporar un conjunto de lente que tiene un enfoque ajustable electrónicamente para aumentar o mejorar el rendimiento del ojo. En otro ejemplo, ya sea con o sin enfoque ajustable, una lente de contacto usable puede incorporar sensores electrónicos para detectar concentraciones de sustancias químicas particulares en la película precorneal (rasgado). El uso de electrónica integrada en un conjunto de lente introduce un requisito potencial para la comunicación con la electrónica, para un método de alimentación y/o reactivación de la electrónica, para la interconexión de la electrónica, para la detección y/o monitorización interna y externa, y para el control de la electrónica y la función general de la lente.

30 El ojo humano tiene la capacidad de discernir millones de colores, ajustarse fácilmente a condiciones de luz cambiantes y transmitir señales o información al cerebro a una velocidad que excede a la de una conexión a Internet de alta velocidad. Las lentes, como las lentes de contacto y las lentes intraoculares, se utilizan actualmente para corregir defectos de la vista como la miopía, la hipermetropía, la presbicia y el astigmatismo. Sin embargo, se pueden utilizar lentes apropiadamente diseñadas que incorporen componentes adicionales para mejorar la visión y para corregir defectos de la visión.

40 Las lentes de contacto pueden utilizarse para corregir la miopía, la hipermetropía, el astigmatismo así como otros defectos de la agudeza visual. También se pueden utilizar lentes de contacto para mejorar la apariencia natural de los ojos de un usuario. Las lentes de contacto o "contactos" son simplemente lentes colocadas en la superficie anterior del ojo. Las lentes de contacto se consideran dispositivos médicos y se pueden usar para corregir la visión y/o por razones cosméticas u otras razones terapéuticas. Las lentes de contacto se han utilizado comercialmente para mejorar la visión desde la década de 1950. Las primeras lentes de contacto estaban hechas o fabricadas con materiales duros, eran relativamente caras y frágiles. Adicionalmente, estas primeras lentes de contacto se fabricaron con materiales que no permitían la transmisión suficiente de oxígeno a través de la lente de contacto a la conjuntiva y la córnea, lo que potencialmente podía provocar una serie de efectos clínicos adversos. Aunque estas lentes de contacto se utilizan todavía, no son adecuadas para todos los pacientes debido a su bajo confort inicial. Desarrollos posteriores en el campo dieron lugar a lentes de contacto blandas, basadas en hidrogeles, que son extremadamente populares y ampliamente utilizadas en la actualidad. Específicamente, las lentes de contacto de hidrogel de silicona que están disponibles en la actualidad combinan el beneficio de la silicona, que tiene una permeabilidad al oxígeno extremadamente alta, con la comodidad y el rendimiento clínico comprobados de los hidrogeles. Esencialmente, estas lentes de contacto a base de hidrogel de silicona tienen permeabilidad al oxígeno más alta y son generalmente más cómodas de llevar que las lentes de contacto hechas de los materiales duros anteriores.

55 Las lentes de contacto convencionales son estructuras poliméricas con formas específicas para corregir varios problemas de visión como se ha expuesto brevemente con anterioridad. Para lograr una funcionalidad mejorada, varios circuitos y componentes deben ser integrados en estas estructuras poliméricas. Por ejemplo, los circuitos de control, los microprocesadores, los dispositivos de comunicación, las fuentes de alimentación, los sensores, los accionadores, los diodos emisores de luz, y las antenas en miniatura pueden integrarse en las lentes de contacto a través de componentes optoelectrónicos hechos a la medida para no solo corregir la visión, sino también para mejorar la visión así como proporcionar funcionalidad adicional como se explica en la presente. Las lentes de contacto electrónicas y/o con alimentación pueden diseñarse para proporcionar una visión mejorada a través de capacidades de acercamiento y alejamiento, o simplemente modificando las capacidades refractivas de las lentes. Las lentes de contacto electrónicas y/o con alimentación pueden diseñarse para mejorar el color y la

5 resolución, mostrar información de texturas, traducir el habla en subtítulos en tiempo real, ofrecer señales visuales desde un sistema de navegación, y proporcionar procesamiento de imágenes y acceso a Internet. Las lentes pueden estar diseñadas para permitir que el usuario vea en condiciones de poca luz. La electrónica apropiadamente diseñada y/o la disposición de la electrónica en las lentes puede permitir proyectar una imagen en la retina, por ejemplo, sin una lente óptica de enfoque variable, proporcionar pantallas de imagen novedosas e incluso proporcionar alertas de activación. Alternativamente, o además de cualquiera de estas funciones o funciones similares, las lentes de contacto pueden incorporar componentes para la monitorización no invasiva de los biomarcadores y los indicadores de salud del portador. Por ejemplo, los sensores incorporados en las lentes pueden permitir que un paciente diabético controle los niveles de azúcar en sangre analizando los componentes de la película lagrimal sin la necesidad de extraer sangre. Además, una lente apropiadamente configurada puede incorporar sensores para monitorizar los niveles de colesterol, sodio y potasio, así como otros marcadores biológicos. Esto, junto con un transmisor de datos inalámbrico, podría permitirle a un médico tener acceso casi inmediato a la química sanguínea de un paciente sin la necesidad de que el paciente pierda el tiempo en llegar a un laboratorio y le extraigan sangre. Además, los sensores incorporados en las lentes pueden utilizarse para detectar la incidencia de luz en el ojo para compensar las condiciones de luz ambiental o para usarse en la determinación de patrones de parpadeo.

20 La combinación apropiada de dispositivos podría producir una funcionalidad potencialmente ilimitada; sin embargo, hay una serie de dificultades asociadas con la incorporación de componentes adicionales en una pieza de polímero de grado óptico. En general, es difícil fabricar tales componentes directamente sobre la lente por una serie de razones, así como para montar e interconectar dispositivos planos en una superficie no plana. También es difícil de fabricar a escala. Los componentes a colocar sobre o en la lente deben miniaturizarse e integrarse en solo 1,5 cm² de un polímero transparente a la vez que se protegen los componentes del ambiente líquido en el ojo. También es difícil hacer que una lente de contacto sea cómoda y segura para el usuario con el grosor añadido de los componentes adicionales.

30 Dadas las limitaciones de área y volumen de un dispositivo oftálmico, como una lente de contacto, y el ambiente en el que se va a utilizar, la realización física del dispositivo debe superar una serie de problemas, incluyendo el montaje y la interconexión de una serie de componentes electrónicos sobre una superficie no plana, la mayor parte de la cual comprende plástico óptico. Por consiguiente, hay una necesidad de proporcionar una lente de contacto electrónica mecánica y eléctricamente robusta.

35 Como estas son lentes con alimentación, energía o más particularmente consumo de corriente, el funcionamiento de la electrónica es una preocupación dada la tecnología de baterías en la escala para una lente oftálmica. Además del consumo de corriente normal, los dispositivos o sistemas con alimentación de esta naturaleza requieren generalmente reservas de corriente de espera, control de voltaje preciso y capacidades de conmutación para garantizar el funcionamiento en un amplio intervalo de parámetros operativos, y consumo en ráfagas, por ejemplo, hasta 18 horas en una sola carga, después de permanecer potencialmente inactiva durante años. Por consiguiente, existe una necesidad para un sistema que esté optimizado para un servicio de bajo costo fiable a largo plazo, seguridad y tamaño a la vez que proporcione la potencia requerida.

45 Además, debido a la complejidad de la funcionalidad asociada con una lente con alimentación y al alto nivel de interacción entre todos los componentes que comprenden una lente con alimentación, hay una necesidad de coordinar y controlar el funcionamiento general de la electrónica y la óptica que comprenden una lente oftálmica con alimentación. Por consiguiente, hay una necesidad de un sistema para controlar el funcionamiento de todos los otros componentes que sea seguro, de bajo coste y fiable, tenga un bajo índice de consumo de energía y sea escalable para su incorporación en una lente oftálmica.

50 Las lentes oftálmicas con alimentación o electrónicas pueden tener que considerar ciertas funciones fisiológicas únicas del individuo que utiliza la lente oftálmica con alimentación o electrónica. Más específicamente, es posible que las lentes con alimentación tengan que tener en cuenta el parpadeo, incluyendo el número de parpadeos en un período de tiempo determinado, la duración de un parpadeo, el tiempo entre parpadeos y cualquier número de posibles patrones de parpadeo, por ejemplo, si la persona se está dosificando. La detección del parpadeo también puede utilizarse para proporcionar cierta funcionalidad, por ejemplo, el parpadeo puede utilizarse como un medio para controlar uno o más aspectos de una lente oftálmica con alimentación. Además, los factores externos, como los cambios en los niveles de intensidad de la luz y la cantidad de luz visible que bloquea el párpado de una persona, deben tenerse en cuenta al determinar los parpadeos. Por ejemplo, si una habitación tiene un nivel de iluminación entre 54 y 161 lux, un fotosensor debería ser lo suficiente sensible para detectar los cambios de intensidad de luz que tienen lugar cuando parpadea una persona

60 Los sensores de luz ambiental o fotosensores se utilizan en muchos sistemas y productos, por ejemplo, en televisores para ajustar el brillo de acuerdo con la luz de la habitación, en luces para encenderse al anochecer, y en teléfonos para ajustar el brillo de la pantalla. Sin embargo, estos sistemas de sensores utilizados actualmente no son lo suficientemente pequeños y/o no tienen un consumo de energía lo suficientemente bajo como para incorporarlos en lentes de contacto.

65

También es importante tener en cuenta que diferentes tipos de detectores de parpadeo pueden implementarse con sistemas de visión artificial dirigidos a los ojos, por ejemplo, una cámara digitalizada a un ordenador. El software que se ejecuta en el ordenador puede reconocer patrones visuales como el ojo abierto y cerrado. Estos sistemas pueden utilizarse en entornos clínicos oftálmicos con propósitos de diagnóstico y estudios. A diferencia de los detectores y sistemas descritos anteriormente, estos sistemas están diseñados para uso ocular y para mirar al en lugar de apartar la vista del ojo. Aunque estos sistemas no son lo suficientemente pequeños para ser incorporados en lentes de contacto, el software utilizado puede ser similar al software que funcionaría junto con las lentes de contacto con alimentación. Cualquier sistema puede incorporar implementaciones de software de redes neuronales artificiales que aprenden de las entradas y ajustan sus salidas en consecuencia. Alternativamente, se pueden utilizar implementaciones de software no basadas en biología que incorporan estadísticas, otros algoritmos adaptativos, y/o procesamiento de señales para crear sistemas inteligentes.

Por consiguiente, existe una necesidad de un medio y un método para detectar ciertas funciones fisiológicas, como un parpadeo, y utilizarlas para activar y/o controlar una lente oftálmica electrónica o con alimentación de acuerdo con el tipo de secuencia de parpadeo detectada por un sensor. El sensor que se utiliza tiene que estar dimensionado y configurado para su uso en una lente de contacto.

Alternativamente, puede utilizarse el diámetro de la pupila en lugar de o además del parpadeo para controlar la funcionalidad de una lente de contacto bajo ciertas condiciones. El diámetro de la pupila es un parámetro medible del ojo que puede usarse para dirigir cambios en dispositivos oftálmicos. El diámetro de la pupila puede medirse, por ejemplo, con una cámara orientada hacia el ojo. La cámara captura imágenes del ojo, determina la pupila a través del reconocimiento de imágenes, patrón o contraste, y calcula el diámetro de la pupila. El diámetro de la pupila, ya sea dilatado o contraído, se correlaciona con el nivel de luz que incide en el ojo, enfocando de cerca en lugar de lejos, y algunas afecciones médicas. Los dispositivos oftálmicos podrían cambiar la transmisión de la luz o la distancia focal en base al diámetro de la pupila, o desencadenar otros eventos. Alternativamente, los datos detectados pueden simplemente recopilarse y utilizarse para monitorizar afecciones médicas.

Los métodos y dispositivos existentes para medir el diámetro de la pupila no son adecuados para su uso en lentes de contacto. Por ejemplo, las cámaras y los sistemas de reconocimiento se encuentran típicamente en entornos clínicos o quizás en lentes de gafas. Los sistemas existentes no tienen ni el tamaño pequeño ni la corriente baja necesarios para su integración en una lente de contacto. Los sistemas existentes tampoco pretenden variar el estado de un dispositivo oftálmico en base a los cambios en el diámetro de la pupila. Por consiguiente, existe una necesidad de un medio y un método para detectar el diámetro de la pupila y utilizar esta información para controlar una lente oftálmica electrónica o con alimentación.

Las lentes de contacto que comprenden un sensor para determinar el tamaño de la pupila se divulgan en la WO2010/133317, WO2009/0015785, US2009/0033863 y WO2009/120757.

SUMARIO DE LA INVENCION

La lente oftálmica electrónica con sensor de dilatación de la pupila orientado hacia atrás de acuerdo con la presente invención supera las limitaciones asociadas con la técnica anterior como se ha descrito brevemente anteriormente.

De acuerdo con un aspecto, la presente invención está dirigida a una lente oftálmica con alimentación como se define en la reivindicación 1.

La presente invención se refiere a una lente de contacto con alimentación como se define en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un sistema electrónico, que realiza cualquier número de funciones, incluyendo la activación de una óptica de enfoque variable si está incluida. El sistema electrónico incluye una o más baterías u otras fuentes de alimentación, circuitos de gestión de potencia, uno o más sensores, circuitos de generación de reloj, algoritmos de control y circuitos, y circuitos controladores de lentes.

El control de una lente oftálmica con alimentación puede lograrse a través de un dispositivo externo operado manualmente que se comunica con la lente de manera inalámbrica, como una unidad remota manual. Alternativamente, el control de la lente oftálmica con alimentación puede lograrse a través de la retroalimentación o señales de control directamente desde el usuario. Por ejemplo, los sensores incorporados en la lente pueden detectar parpadeos y/o patrones de parpadeo. En base al patrón o la secuencia de parpadeos, la lente oftálmica con alimentación puede cambiar de estado, por ejemplo, su potencia refractiva para enfocar o un objeto cercano o un objeto distante. En otra realización ejemplar alternativa, el control de la lente oftálmica con alimentación puede lograrse a través de señales de retroalimentación o control directamente desde el usuario; concretamente, a través de cambios detectados en el tamaño de las pupilas del individuo.

El sensor de diámetro de la pupila de la presente invención es del tamaño pequeño apropiado y del bajo

consumo de corriente para integrarse en una lente de contacto. En una realización ejemplar, el sensor se fabrica con un proceso de semiconductor de silicio, se adelgaza a aproximadamente 100 micrones o menos, y se corta en cuadraditos a un tamaño de cuadrado de aproximadamente 300 x 300 micrones o menos. En una realización ejemplar alternativa, el sensor se fabrica como un dispositivo flexible delgado que se ajusta a la forma esférica de una lente de contacto. En otra realización ejemplar, el sensor se fabrica como una matriz de sensores más pequeños colocados en varias localizaciones en la lente de contacto para muestrear varios puntos en el iris. Los sensores pueden determinar el diámetro de la pupila y cambios de la misma detectando la reflexión de la luz, la impedancia, el campo electromagnético, la actividad neural, la actividad muscular, y otros parámetros que se conocen en la técnica oftálmica.

El sensor de diámetro de la pupila está diseñado para consumir poca corriente, permitiendo el funcionamiento en una lente de contacto desde una batería pequeña y/o un colector de energía. En una realización ejemplar, el sensor se implementa como un fotosensor no polarizado o poco polarizado que detecta la luz que se refleja en el iris. En este caso, el sensor se puede muestrear en un ciclo de bajo rendimiento y baja frecuencia de tal manera que se minimice el consumo total de energía. En otra realización ejemplar, el sensor se implementa para detectar la impedancia a través del iris o en varios puntos en el iris. De nuevo, el sensor se implementa usando una técnica de baja corriente como es común en la técnica, por ejemplo, alta impedancia y bajo voltaje. En otra realización ejemplar más, el sensor se implementa para medir la actividad neuromuscular, por ejemplo, detectando las emisiones electromagnéticas de los músculos que controlan la apertura del iris.

El sensor de diámetro de la pupila está diseñado para funcionar en un sistema que activa el dispositivo oftálmico electrónico en base a los cambios en el diámetro de la pupila. En una realización ejemplar, el sensor se muestrea a una velocidad que es lo suficientemente rápida para detectar de manera cómoda y conveniente el deseo de cambiar la longitud focal, pero lo suficientemente lenta para minimizar el consumo de corriente para operar con una batería pequeña y/o un colector de energía. El sensor está incluido en un sistema para considerar el diámetro de la pupila junto con otras entradas, por ejemplo, la luz ambiental incidente sobre el ojo. En este caso, el sistema podría detectar cambios en el diámetro de la pupila en ausencia de una disminución de la luz ambiental, una situación correlacionada con el deseo de enfocar de cerca.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Lo anterior y otras características y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción más particular de las realizaciones preferidas de la invención, como se ilustra en los dibujos acompañantes. Las Figuras 1 a 11 y las partes correspondientes de la descripción se refieren a materia no cubierta por las reivindicaciones, incluso si se identifican como relacionadas con la "invención" o como "realización".

La Figura 1 ilustra una lente de contacto ejemplar que comprende un sistema de detección de parpadeo de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La Figura 2 ilustra una representación gráfica de la luz incidente sobre la superficie del ojo frente al tiempo, e ilustra un posible patrón de parpadeo involuntario registrado en varios niveles de intensidad de luz frente al tiempo y un nivel de umbral utilizable basado en algún punto entre los niveles de intensidad de luz máximo y mínimo de acuerdo con La presente invención.

La Figura 3 es un diagrama de transición de estado ejemplar de un sistema de detección de parpadeo de acuerdo con la presente invención.

La Figura 4 es una representación esquemática de una trayectoria de fotodetección utilizada para detectar y muestrear señales luminosas recibidas de acuerdo con la presente invención.

La Figura 5 es un diagrama de bloques de la lógica de condicionamiento digital de acuerdo con la presente invención.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de la lógica de detección digital de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 es un diagrama de tiempo ejemplar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 8 es una representación esquemática de un controlador de sistema digital de acuerdo con la presente invención.

La Figura 9 es un diagrama de tiempo ejemplar para el control de ganancia automático de acuerdo con la presente invención.

La Figura 10 es una representación esquemática de las zonas de bloqueo de luz y paso de la luz en una matriz de circuito integrado ejemplar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 11 es una representación esquemática de un inserto electrónico ejemplar, que incluye un detector de parpadeo, para una lente de contacto con alimentación de acuerdo con la presente invención.

5 La Figura 12 es una representación esquemática de una lente oftálmica con alimentación que tiene un primer sensor de diámetro de la pupila ejemplar colocado en el ojo de acuerdo con la presente invención.

10 La Figura 13 es una representación esquemática de una lente oftálmica con alimentación que tiene un segundo sensor de diámetro de la pupila ejemplar colocado en el ojo de acuerdo con la presente invención.

La Figura 14 es una representación en diagrama de bloques de un sistema electrónico para detectar y utilizar el diámetro de la pupila de acuerdo con la presente invención.

15 La Figura 15 es un gráfico de la luz ambiental y el diámetro de la pupila frente al tiempo de acuerdo con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

20 Las lentes de contacto convencionales son estructuras poliméricas con formas específicas para corregir varios problemas de la visión como se ha expuesto brevemente con anterioridad. Para lograr una funcionalidad mejorada, pueden integrarse varios circuitos y componentes en estas estructuras poliméricas. Por ejemplo, pueden integrarse circuitos de control, microprocesadores, dispositivos de comunicación, fuentes de alimentación, sensores, accionadores, diodos emisores de luz y antenas en miniatura en las lentes de contacto mediante componentes optoelectrónicos hechos a medida no solo para corregir la visión, sino también para mejorar la visión así como
25 proporcionar funcionalidad adicional como se explica en la presente. Las lentes de contacto electrónicas y/o con alimentación pueden estar diseñadas para proporcionar una visión mejorada a través de capacidades de acercamiento y alejamiento, o simplemente modificando las capacidades de refracción de las lentes. Las lentes de contacto electrónicas y/o con alimentación pueden estar diseñadas para mejorar el color y la resolución, para mostrar información de texturas, para traducir el habla en subtítulos en tiempo real, para ofrecer señales visuales desde un sistema de navegación y para proporcionar procesamiento de imágenes y acceso a Internet. Las lentes pueden estar diseñadas para permitir que el usuario vea en condiciones de poca luz. La electrónica apropiadamente diseñada y/o la disposición de la electrónica en las lentes puede permitir proyectar una imagen en la retina, por ejemplo, sin una lente óptica de enfoque variable, proporcionar pantallas de imagen nuevas e incluso proporcionar alertas de activación. Alternativamente, o además de cualquiera de estas funciones o funciones similares, las lentes
35 de contacto pueden incorporar componentes para la monitorización no invasiva de los biomarcadores y los indicadores de salud del portador. Por ejemplo, los sensores incorporados en las lentes pueden permitir que un paciente diabético controle los niveles de azúcar en sangre analizando los componentes de la película lagrimal sin la necesidad de extraer sangre. Además, una lente apropiadamente configurada puede incorporar sensores para monitorizar los niveles de colesterol, sodio y potasio, así como otros marcadores biológicos. Esto, junto con un transmisor de datos inalámbrico, podría permitir a un médico tener acceso casi inmediato a la química sanguínea de un paciente sin la necesidad de que el paciente pierda el tiempo en llegar a un laboratorio y le extraigan sangre. Además, los sensores incorporados en las lentes pueden utilizarse para detectar la luz incidente en el ojo para compensar las condiciones de luz ambiental o para determinar patrones de parpadeo.

45 Las lentes de contacto con alimentación o electrónicas de la presente invención comprenden los elementos necesarios para corregir y/o mejorar la visión de los pacientes con uno o más de los defectos de la visión descritos anteriormente o realizar una función oftálmica útil. Además, la lente de contacto electrónica puede utilizarse simplemente para mejorar la visión normal o proporcionar una amplia variedad de funcionalidades como se ha descrito anteriormente. La lente de contacto electrónica puede comprender una lente óptica de enfoque variable, una óptica frontal ensamblada incrustada en una lente de contacto o simplemente incrustar electrónica sin una lente para cualquier funcionalidad adecuada. La lente electrónica de la presente invención puede incorporarse en cualquiera de una serie de lentes de contacto como se ha descrito anteriormente. Además, las lentes intraoculares también pueden incorporar los varios componentes y funcionalidades descritos en la presente. Sin embargo, por facilidad de explicación, la divulgación se enfocará en una lente de contacto electrónica para corregir defectos de la visión pretendida para la desechabilidad diaria de un solo uso.

50 La presente invención puede emplearse en una lente oftálmica con alimentación o en una lente de contacto con alimentación que comprende un sistema electrónico, que acciona una óptica de enfoque variable o cualquier otro dispositivo o dispositivos configurados para implementar cualquier número de numerosas funciones que puedan realizarse. El sistema electrónico incluye una o más baterías u otras fuentes de energía, circuitos de gestión de energía, uno o más sensores, circuitos de generación de reloj, algoritmos y circuitos de control, y circuitos de controlador de lentes. La complejidad de estos componentes puede variar dependiendo de la funcionalidad requerida o deseada de la lente.

65 El control de una lente oftálmica electrónica o con alimentación puede lograrse a través de un dispositivo

externo manejado manualmente que se comunica con la lente, como una unidad remota manual. Por ejemplo, un fob puede comunicarse inalámbricamente con la lente con alimentación en base a la entrada manual del usuario. Alternativamente, el control de la lente oftálmica con alimentación puede lograrse a través de retroalimentación o señales de control directamente del usuario. Por ejemplo, los sensores incorporados en la lente pueden detectar parpadeos y/o patrones de parpadeo. En base al patrón o la secuencia de parpadeos, la lente oftálmica con alimentación puede cambiar de estado, por ejemplo, su potencia refractiva para enfocar o un objeto cercano o un objeto distante.

Alternativamente, la detección de parpadeo en una lente oftálmica con alimentación o electrónica puede usarse para otros varios usos donde hay interacción entre el usuario y la lente de contacto electrónica, como activar otro dispositivo electrónico, o enviar un comando a otro dispositivo electrónico. Por ejemplo, la detección de parpadeo en una lente oftálmica puede usarse junto con una cámara en un ordenador en donde la cámara realiza un seguimiento de dónde se mueve el ojo(s) en la pantalla del ordenador, y cuando el usuario ejecuta una secuencia de parpadeo que detectó, hace que el puntero del ratón ejecute un comando, como hacer doble clic en un elemento, resaltar un elemento, o seleccionar un elemento del menú.

Un algoritmo de detección de parpadeo es un componente del controlador del sistema que detecta las características de los parpadeos; por ejemplo, el párpado está abierto o cerrado, la duración del parpadeo, la duración entre parpadeos, y el número de parpadeos en un período de tiempo dado. El algoritmo de acuerdo con la presente invención se basa en el muestreo de la luz incidente en el ojo a una cierta frecuencia de muestreo. Los patrones de parpadeo predeterminados se almacenan y se comparan con el historial reciente de muestras de luz incidente. Cuando los patrones coinciden, el algoritmo de detección de parpadeo puede activar la actividad en el controlador del sistema, por ejemplo, para activar el controlador de la lente para cambiar la potencia refractiva de la lente.

El parpadeo es el cierre y la apertura rápidos de los párpados y es una función esencial del ojo. El parpadeo protege al ojo de objetos extraños, por ejemplo, las personas parpadean cuando aparecen objetos inesperadamente cerca del ojo. El parpadeo proporciona lubricación sobre la superficie anterior del ojo extendiendo las lágrimas. El parpadeo también sirve para eliminar contaminantes y/o irritantes del ojo. Normalmente, el parpadeo se realiza automáticamente, pero estímulos externos pueden contribuir, como en el caso de los irritantes. Sin embargo, el parpadeo también puede ser útil, por ejemplo, para individuos que no pueden comunicarse verbalmente o con gestos se puede parpadear una vez para sí y dos veces para no. El algoritmo de detección de parpadeo y el sistema de la presente invención utilizan patrones de parpadeo que no pueden confundirse con la respuesta de parpadeo normal. En otras palabras, si se utiliza el parpadeo como un medio para controlar una acción, entonces el patrón particular seleccionado para una acción dada no puede tener lugar al azar; de lo contrario, pueden tener lugar acciones involuntarias. Como la velocidad de parpadeo puede verse afectada por una serie de factores, que incluyen la fatiga, lesión ocular, medicación y enfermedad, los patrones de parpadeo con propósitos de control tienen preferiblemente en cuenta estas y cualquier otra variable que afecte el parpadeo. La duración media de los parpadeos involuntarios está en el intervalo de aproximadamente 100 a 400 milisegundos. Los hombres y mujeres adultos medios parpadean a velocidad de diez 10 parpadeos involuntarios por minuto, y el tiempo medio entre parpadeos involuntarios es de aproximadamente 0,3 a 70 segundos.

Una realización ejemplar del algoritmo de detección de parpadeo puede resumirse en los pasos siguientes.

1. Definir una "secuencia de parpadeo" intencional que un usuario ejecutará para la detección de parpadeo positivo.
2. Muestrear el nivel de luz entrante a una velocidad consistente con la detección de la secuencia de parpadeo y rechazar los parpadeos involuntarios.
3. Comparar el historial de niveles de luz muestreados con la "secuencia de parpadeo" esperada, como se define por una plantilla de valores de parpadeo.
4. Opcionalmente, implementar una secuencia de "máscara" de parpadeo para indicar partes de la plantilla a ignorar durante las comparaciones, por ejemplo, transiciones cercanas. Esto puede permitir que un usuario se desvíe de una "secuencia de parpadeo" deseada, como una ventana de error de ± 1 , en la que pueden tener lugar uno o más de activación, control y cambio de enfoque de la lente. Adicionalmente, esto puede permitir una variación en la cadencia del usuario de la secuencia de parpadeo.

Una secuencia de parpadeo ejemplar puede definirse de la siguiente manera:

1. parpadeo (cerrado) durante 0,5 s
2. abierto durante 0,5 s
3. parpadeo (cerrado) durante 0,5 s

A una frecuencia de muestreo de 100 ms, una plantilla de parpadeo de 20 muestras viene dada por

parpadeo_plantilla = [1,1,1, 0,0,0,0, 1,1,1,1, 0,0,0,0, 1,1].

La máscara de parpadeo se define para enmascarar las muestras justo después de una transición (0 para enmascarar o ignorar muestras), y viene dada por

5 **parpadeo_máscara = [1,1,1, 0,1,1,1,1, 0,1,1,1,1, 0,1,1,1, 0,1].**

Opcionalmente, se puede enmascarar una región de transición más amplia para permitir una mayor incertidumbre en el tiempo, y viene dada por

10 **parpadeo_máscara = [1,1,0, 0,1,1,1,0, 0,1,1,1,0, 0,1,1,1,0, 0,1].**

Se pueden implementar patrones alternativos, por ejemplo, un solo parpadeo largo, en este caso un parpadeo de 1,5s con una plantilla de 24 muestras, dada por

15 **parpadeo_plantilla = [1,1,1,1,0,0, 0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0,0,0, 0,1,1,1,1,1].**

Es importante tener en cuenta que el ejemplo anterior es con fines ilustrativos y no representa un conjunto específico de datos.

20 La detección puede implementarse comparando lógicamente el historial de muestras con la plantilla y la máscara. La operación lógica es hacer un OR exclusivo (XOR) de la plantilla y la secuencia del historial de muestra, a nivel de bits, y luego verificar que todos los bits del historial sin enmascarar coincidan con la plantilla. Por ejemplo, como se ilustra en las muestras de máscara de parpadeo anteriores, en cada lugar de la secuencia de una máscara de parpadeo que el valor es 1 lógico, un parpadeo tiene que coincidir con la plantilla de máscara de parpadeo en ese lugar de la secuencia. Sin embargo, en cada lugar de la secuencia de una máscara de parpadeo que el valor es 0 lógico, no es necesario que un parpadeo coincida con la plantilla de máscara de parpadeo en ese lugar de la secuencia. Por ejemplo, se puede utilizar la siguiente ecuación de algoritmo booleano, codificada en MATLAB®.

30 **coincidente = no(parpadeo_máscara) | no(xor(parpadeo_plantilla, prueba_muestra)),**

en donde prueba_muestra es el historial de muestra. El valor coincidente es una secuencia con la misma longitud que la plantilla de parpadeo, el historial de muestras y la parpadeo_máscara. Si la secuencia coincidente es toda de 1 lógico, entonces se ha producido una buena coincidencia. Al descomponerlo, no(xor(parpadeo_plantilla, prueba_muestra)) proporciona un 0 lógico para cada discrepancia y un 1 lógico para cada coincidencia. La combinación de lógica con la máscara invertida obliga a cada localización en la secuencia coincidente a un 1 lógico donde la máscara es un 0 lógico. En consecuencia, mientras más lugares en una plantilla de máscara de parpadeo se especifique como valor lógico 0, mayor será el margen de error permitido en relación con los parpadeos de una persona. MATLAB® es un lenguaje e implementación de alto nivel para computación numérica, visualización y programación y es un producto de MathWorks, Natick, Massachusetts. También es importante tener en cuenta que cuanto mayor sea el número de 0 lógicos en la plantilla de máscara de parpadeo, mayor será el potencial de que los falsos positivos coincidan con los patrones de parpadeo esperados o previstos. Debe apreciarse que pueden programarse una variedad de patrones de parpadeo esperados o previstos en un dispositivo con uno o más activos a la vez. Más específicamente, pueden utilizarse múltiples patrones de parpadeo esperados o previstos para el mismo propósito o funcionalidad, o para implementar una funcionalidad diferente o alternativa. Por ejemplo, se puede utilizar un patrón de parpadeo para hacer que la lente se acerque o se aleje en un objeto pretendido, mientras que puede utilizarse otro patrón de parpadeo para hacer que otro dispositivo, por ejemplo, una bomba, en la lente administre una dosis de un agente terapéutico.

50 La Figura 1 ilustra, en forma de diagrama de bloques, una lente de contacto 100, que comprende un sistema de detector de parpadeo electrónico, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención. En esta realización ejemplar, el sistema detector de parpadeo electrónico puede comprender un fotosensor 102, un amplificador 104, un convertidor de analógico a digital o ADC 106, un procesador de señales digitales 108, una fuente de alimentación 110, un accionador 112 y un controlador del sistema 114.

55 Cuando la lente de contacto 100 se coloca en la superficie frontal del ojo de un usuario, los circuitos electrónicos del sistema de detección de parpadeo pueden utilizarse para implementar el algoritmo de detección de parpadeo de la presente invención. El fotosensor 102, así como los otros circuitos, está configurado para detectar parpadeos y/o varios patrones de parpadeo producidos por el ojo del usuario.

60 En esta realización ejemplar, el fotosensor 102 puede integrarse en la lente de contacto 100 y recibe luz ambiental 101, convirtiendo los fotones incidentes en electrones y haciendo de este modo que una corriente, indicada por la flecha 103, fluya hacia el amplificador 104. El fotosensor o fotodetector 102 puede comprender cualquier dispositivo adecuado. En una realización ejemplar, el fotosensor 102 comprende un fotodiodo. En una realización ejemplar preferida, el fotodiodo se implementa en un semiconductor de óxido de metal complementario (tecnología de proceso CMOS) para aumentar la capacidad de integración y reducir el tamaño total del fotosensor

65

102 y los otros circuitos. La corriente 103 es proporcional al nivel de luz incidente y disminuye sustancialmente cuando el fotodetector 102 está cubierto por un párpado. El amplificador 104 crea una salida proporcional a la entrada, con ganancia, y puede funcionar como un amplificador de transimpedancia que convierte la corriente de entrada en voltaje de salida. El amplificador 104 puede amplificar una señal a un nivel utilizable para el resto del sistema, como dar a la señal el voltaje y la potencia suficientes para ser adquiridos por el ADC 106. Por ejemplo, el amplificador puede ser necesario para accionar bloques subsiguientes ya que la salida del fotosensor 102 puede ser bastante pequeña y puede usarse en ambientes de poca luz. El amplificador 104 puede implementarse como un amplificador de ganancia variable, la ganancia del cual puede ajustarse por el controlador del sistema 114, en una disposición de realimentación, para maximizar el rango dinámico del sistema. Además de proporcionar ganancia, el amplificador 104 puede incluir otros circuitos de acondicionamiento de señales analógicas, como filtrado y otros circuitos apropiados para el fotosensor 102 y las salidas del amplificador 104. El amplificador 104 puede comprender cualquier dispositivo adecuado para amplificar y acondicionar la salida de señal por el fotosensor 102. Por ejemplo, el amplificador 104 puede comprender simplemente un único amplificador operacional o un circuito más complicado que comprende uno o más amplificadores operacionales. Como se ha expuesto anteriormente, el fotosensor 102 y el amplificador 104 están configurados para detectar y aislar secuencias de parpadeo en base a la intensidad de la luz incidente recibida a través del ojo y convertir la corriente de entrada en una señal digital utilizable en última instancia por el controlador del sistema 114. El controlador del sistema 114 está preferiblemente preprogramado o preconfigurado para reconocer varias secuencias de parpadeo y/o patrones de parpadeo en varias condiciones de nivel de intensidad de luz y proporcionar una señal de salida apropiada al accionador 112. El controlador del sistema 114 también comprende memoria asociada.

En esta realización ejemplar, el ADC 106 puede usarse para convertir una salida de señal continua analógica del amplificador 104 en una señal digital muestreada apropiada para el procesamiento adicional de señales. Por ejemplo, el ADC 106 puede convertir una salida de señal analógica del amplificador 104 en una señal digital que puede ser utilizada por circuitos posteriores o subsiguientes, como un sistema de procesamiento de señales digitales o un microprocesador 108. Un sistema de procesamiento de señales digitales o un procesador de señales digitales 108 puede utilizarse para el procesamiento de señales digitales, que incluye uno o más de filtrado, procesamiento, detección y manipular/procesar de otra manera datos muestreados para permitir la detección de luz incidente para uso subsiguiente. El procesador de señales digitales 108 puede preprogramarse con las secuencias de parpadeo y/o los patrones de parpadeo descritos anteriormente. El procesador de señales digitales 108 también comprende memoria asociada. El procesador de señales digitales 108 puede implementarse utilizando circuitos analógicos, circuitos digitales, software, o una combinación de los mismos. En la realización ejemplar ilustrada, se implementa en circuitos digitales. El ADC 106 junto con el amplificador asociado 104 y el procesador de señales digitales 108 se activan a una frecuencia adecuada de acuerdo con la frecuencia de muestreo descrita anteriormente, por ejemplo cada 100 ms.

Una fuente de alimentación 110 suministra energía para los numerosos componentes que comprenden el sistema de detección de parpadeo. La energía puede suministrarse desde una batería, un colector de energía, u otros medios adecuados, como es sabido por un experto en la técnica. Esencialmente, puede utilizarse cualquier tipo de fuente de alimentación 110 para proporcionar energía confiable para todos los otros componentes del sistema. Se puede utilizar una secuencia de parpadeo para cambiar el estado del sistema y/o el controlador del sistema. Además, el controlador del sistema 114 puede controlar otros aspectos de una lente de contacto con alimentación dependiendo de la entrada del procesador de señales digitales 108, por ejemplo, cambiando el enfoque o la potencia refractiva de una lente controlada electrónicamente a través del accionador 112.

El controlador del sistema 114 usa la señal de la cadena del fotosensor; concretamente, el fotosensor 102, el amplificador 104, el ADC 106 y el sistema de procesamiento de señales digitales 108, para comparar los niveles de luz muestreados y los patrones de activación de parpadeo. En referencia a la Figura 2, se ilustra una representación gráfica de las muestras de patrones de parpadeo registradas en varios niveles de intensidad de luz en función del tiempo y un nivel de umbral utilizable. Por consiguiente, tener en cuenta varios factores puede mitigar y/o prevenir errores en la detección de parpadeos al muestrear la luz incidente en el ojo, como tener en cuenta cambios en los niveles de intensidad de luz en diferentes lugares y/o mientras se realizan varias actividades. Adicionalmente, cuando se muestrea la luz incidente en el ojo, tener en cuenta los efectos que los cambios en la intensidad de la luz ambiental pueden tener en el ojo y el párpado también pueden mitigar y/o evitar errores en la detección de parpadeos, como la cantidad de luz visible que bloquea el párpado cuando está cerrado en niveles de luz de baja intensidad y en niveles de luz de alta intensidad. En otras palabras, para evitar que se utilicen patrones de parpadeo erróneos para controlar, se tiene en cuenta preferiblemente el nivel de luz ambiental como se explica con mayor detalle a continuación.

Por ejemplo, en un estudio, se ha descubierto que el párpado de media bloquea aproximadamente el 99% de la luz visible, pero a longitudes de onda menores tiende a transmitirse menos luz a través del párpado, bloqueando aproximadamente el 99,6% de la luz visible. En longitudes de onda más largas, hacia la parte infrarroja del espectro, el párpado puede bloquear solo el 30% de la luz incidente. Lo que es importante tener en cuenta; sin embargo, es que la luz a diferentes frecuencias, longitudes de onda e intensidades pueden transmitirse a través de los párpados con diferentes eficiencias. Por ejemplo, cuando se mira una fuente de luz brillante, un individuo puede

ver luz roja con los párpados cerrados. También puede haber variaciones en cuanto luz visible puede bloquear un párpado en función de un individuo, como la pigmentación de la piel de un individuo. Como se ilustra en la Figura 2, las muestras de datos de patrones de parpadeo a través de varios niveles de iluminación se simulan en el transcurso de un intervalo de tiempo de 72 en el que los niveles de intensidad de luz visible transmitidos a través del ojo se registran durante el curso de la simulación, y se ilustra un valor de umbral utilizable. El umbral se establece en un valor entre el valor de pico a pico de la intensidad de luz visible registrada para los patrones de parpadeo de la muestra durante el curso de la simulación a niveles de intensidad de luz variables. Tener la capacidad de preprogramar patrones de parpadeo mientras se sigue un nivel de luz medio a lo largo del tiempo y ajustar un umbral puede ser críticos para poder detectar cuando está parpadeando un individuo, en oposición a cuando no está parpadeando un individuo y/o simplemente hay un cambio en el nivel de intensidad de luz en un área determinada.

En referencia ahora de nuevo a la Figura 1, en otras realizaciones ejemplares alternativas, el controlador del sistema 114 puede recibir entrada de fuentes que incluyen uno o más de un detector de parpadeo, sensores de músculo ocular y un control fob. A modo de generalización, puede ser obvio para un experto en la técnica que el método de activar y/o controlar el controlador del sistema 114 puede requerir el uso de uno o más métodos de activación. Por ejemplo, una lente de contacto electrónica o con alimentación puede ser programable específica para un usuario individual, como programar una lente para reconocer los patrones de parpadeo de un individuo y las señales de los músculos ciliares de un individuo cuando realiza varias acciones, por ejemplo, enfocar en un objeto lejano, o enfocar en un objeto que está cerca. En algunas realizaciones ejemplares, usar más de un método para activar una lente de contacto electrónica, como la detección de parpadeo y la detección de la señal del músculo ciliar, pueden dar la capacidad de que cada método se compruebe de manera cruzada con otro antes de que tenga lugar la activación de la lente de contacto. Una ventaja de la comprobación cruzada puede incluir la mitigación de falsos positivos, como minimizar la posibilidad de hacer que se active involuntariamente una lente. En una realización ejemplar, la comprobación cruzada puede implicar un esquema de votación, en el que se cumplen un cierto número de condiciones antes de que tenga lugar cualquier acción.

El accionador 112 puede comprender cualquier dispositivo adecuado para implementar una acción específica en base a una señal de comando recibida. Por ejemplo, si un patrón de activación de parpadeo se compara coincidente con un nivel de luz muestreado como se ha descrito anteriormente, el controlador del sistema 114 puede habilitar el accionador 112, como una lente electrónica o con alimentación óptica variable. El accionador 112 puede comprender un dispositivo eléctrico, un dispositivo mecánico, un dispositivo magnético, o cualquier combinación de los mismos. El accionador 112 recibe una señal del controlador del sistema 114 además de la energía de la fuente de alimentación 110 y produce alguna acción en base a la señal del controlador del sistema 114. Por ejemplo, si la señal del controlador del sistema 114 es indicativa de que el usuario intenta enfocar un objeto cercano, el accionador 112 puede utilizarse para cambiar la potencia refractiva de la lente oftálmica electrónica, por ejemplo, mediante una zona óptica multi-líquida dinámica. En una realización ejemplar alternativa, el controlador del sistema 114 puede emitir una señal que indica que se debe administrar un agente terapéutico al ojo(s). En esta realización ejemplar, el accionador 112 puede comprender una bomba y un depósito, por ejemplo, una bomba de sistema microelectromecánico (MEMS). Como se ha expuesto anteriormente, la lente con alimentación de la presente invención puede proporcionar varias funcionalidades; por consiguiente, uno o más accionadores pueden configurarse de manera diversa para implementar la funcionalidad.

La Figura 3 ilustra un diagrama de transición de estado 300 para un sistema de detección de parpadeo ejemplar de acuerdo con el algoritmo de detección de parpadeo de la presente invención. El sistema se inicia en un estado IDLE 302 esperando que se confirme una señal de habilitación `bl_go`. Cuando la señal de habilitación de `bl_go` es confirmada, por ejemplo, por un oscilador y un circuito de control que pulsa `bl_go` a una velocidad de 100 ms proporcional a la velocidad de muestreo de parpadeo, la máquina de estados pasa luego a un estado WAIT_ADC 304 en el cual un ADC está habilitado para convertir un nivel de luz recibido a un valor digital. El ADC confirma una señal `adc_done` para indicar que sus operaciones se han completado, y el sistema o la máquina de estados pasa al estado SHIFT 306. En el estado SHIFT 306, el sistema envía el valor de salida ADC más recientemente recibido a un registro de desplazamiento para mantener el historial de muestras de parpadeos. En algunas realizaciones ejemplares, el valor de salida de ADC se compara primero con un valor de umbral para proporcionar un único bit (1 o 0) para el valor de muestra, para minimizar los requisitos de almacenamiento. El sistema o la máquina de estados luego pasan a un estado COMPARE 308 en el que los valores en el registro de cambio del historial de muestras se comparan con una o más plantillas y máscaras de secuencias de parpadeo como se ha descrito anteriormente. Si se detecta una coincidencia, se pueden confirmar una o más señales de salida, como una para cambiar el estado del controlador de la lente, `bl_cp_toggle`, o cualquier otra funcionalidad a ser realizada por la lente oftálmica con alimentación. El sistema o la máquina de estados luego pasa al estado DONE 310 y confirma una señal de `bl_done` para indicar que sus operaciones se han completado.

La Figura 4 ilustra una ruta de señal de fotosensor o fotodetector ejemplar `pd_rx_top` que puede usarse para detectar y muestrear los niveles de luz recibidos. La ruta de señal `pd_rx_top` puede comprender un fotodiodo 402, un amplificador de transimpedancia 404, una etapa de filtrado de paso bajo y ganancia automática 406 (AGC/LPF), y un ADC 408. La señal `adc_vref` se introduce en el ADC 408 desde la fuente de alimentación 110 (ver Figura 1) o alternativamente puede proporcionarse desde un circuito dedicado dentro del convertidor de analógico a

digital 408. La salida del ADC 408, `adc_data`, se transmite al bloque de procesamiento de señales digitales y controlador del sistema 108/114 (ver Figura 1). Aunque ilustrados en la Figura 1 como bloques individuales 108 y 114, para facilitar la explicación, el procesamiento de señales digitales y el controlador del sistema se implementan preferiblemente en un solo bloque 410. La señal de habilitación, `adc_en`, la señal de inicio, `adc_start` y la señal de reinicio, `adc_rst_n` se reciben desde el procesamiento de señales digitales y el controlador del sistema 410 a la vez que se transmite la señal de completo, `adc_complete`. La señal de reloj, `adc_clk`, puede recibirse desde una fuente de reloj externa a la ruta de señal, `pd_rx_top`, o desde el procesamiento de señales digitales y el controlador del sistema 410. Es importante tener en cuenta que la señal `adc_clk` y el reloj del sistema pueden funcionar a diferentes frecuencias. También es importante tener en cuenta que se pueden utilizar cualquier número de ADC diferentes de acuerdo con la presente invención que pueden tener diferentes señales de interfaz y control pero que realizan una función similar de proporcionar una representación digital muestreada de la salida de la parte analógica de la ruta de señal del fotosensor. La habilitación de fotodetección, `pd_en`, y la ganancia de fotodetección, `pd_gain`, se reciben desde el procesamiento de señal digital y el controlador del sistema 410.

La Figura 5 ilustra un diagrama de bloques de la lógica de condicionamiento digital 500 que puede usarse para reducir el valor de la señal de ADC recibida, `adc_data`, a un único valor de bit `pd_data`. La lógica de condicionamiento digital 500 puede comprender un registro digital 502 para recibir los datos, `adc_data`, desde la ruta de señal de fotodetección `pd_rx_top` para proporcionar un valor retenido en la señal `adc_data_held`. El registro digital 502 está configurado para aceptar un nuevo valor en la señal `adc_data` cuando se confirma la señal `adc_complete` y para retener de otra manera el último valor aceptado cuando se recibe la señal `adc_complete`. De esta manera, el sistema puede deshabilitar la ruta de señal de fotodetección una vez que los datos están bloqueados para reducir el consumo de corriente del sistema. El valor de los datos retenidos puede luego promediarse, por ejemplo, mediante un promedio de integración y volcado u otros métodos de promediado implementados en lógica digital, en el circuito de generación de umbral 504 para producir uno o más umbrales en la señal `pd_th`. El valor de los datos retenidos se puede comparar, mediante el comparador 506, con uno o más umbrales para producir un valor de datos de un bit en la señal `pd_data`. Se apreciará que la operación de comparación puede emplear histéresis o comparación con uno o más umbrales para minimizar el ruido en la señal de salida `pd_data`. La lógica de acondicionamiento digital puede comprender además un bloque de ajuste de ganancia `pd_gain_adj` 508 para establecer la ganancia de la etapa de filtrado de paso bajo y ganancia automática 406 en la ruta de la señal de fotodetección mediante la señal `pd_gain`, ilustrada en la Figura 4, de acuerdo con los valores de umbral calculados y/o de acuerdo con el valor de los datos retenidos. Es importante tener en cuenta que en esta realización ejemplar, las palabras de seis bits proporcionan suficiente resolución sobre el rango dinámico para la detección de parpadeo a la vez que minimizan la complejidad.

En una realización ejemplar, el circuito de generación de umbral 504 comprende un detector de pico, un detector de valle y un circuito de cálculo de umbral. En esta realización ejemplar, los valores de umbral y control de ganancia pueden generarse como sigue. El detector de pico y el detector de valle están configurados para recibir el valor retenido en la señal `adc_data_held`. El detector de pico está además configurado para proporcionar un valor de salida, `pd_pk`, que sigue rápidamente los aumentos en el valor `adc_data_held` y decae lentamente si el valor `adc_data_held` disminuye. El funcionamiento es análogo al de un detector de envolvente de diodo clásico, como es bien conocido en las técnicas eléctricas. El detector de valle está además configurado para proporcionar un valor de salida `pd_vl` que rastrea rápidamente las disminuciones en el valor `adc_data_held` y decae lentamente a un valor más alto si el valor `adc_data_held` aumenta. El funcionamiento del detector de valle también es análogo a un detector de envolvente de diodo, con la resistencia de descarga conectada a un voltaje de alimentación positiva. El circuito de cálculo de umbral está configurado para recibir los valores `pd_pl` y `pd_vl` y está configurado además para calcular un valor de umbral de punto medio `pd_th_mid` en base a una media de los valores `pd_pk` y `pd_vl`. El circuito de generación de umbral 504 proporciona el valor de umbral `pd_th` en base al valor de umbral de punto medio `pd_th_mid`.

El circuito de generación de umbral 504 puede adaptarse además para actualizar los valores de los niveles `pd_pk` y `pd_vl` en respuesta a los cambios en el valor `pd_gain`. Si el valor de `pd_gain` aumenta en un paso, entonces los valores de `pd_pk` y `pd_vl` aumentan en un factor igual al aumento de ganancia esperado en la ruta de la señal de fotodetección. Si el valor de `pd_gain` disminuye en un paso, entonces los valores de `pd_pk` y `pd_val` disminuyen en un factor igual a la disminución de ganancia esperada en la ruta de la señal de fotodetección. De esta manera, los estados del detector de pico y los detectores de valle, como se retienen en los valores `pd_pk` y `pd_vl`, respectivamente, y el valor umbral `pd_th` tal como se calcula a partir de los valores `pd_pk` y `pd_vl` se actualizan para coincidir con los cambios en la ganancia de la trayectoria de la señal, evitando de esta manera discontinuidades u otros cambios en el estado o valor resultantes solamente del cambio intencionado en la ganancia de ruta de la señal de fotodetección.

En una realización ejemplar adicional del circuito de generación de umbral 504, el circuito de cálculo de umbral puede configurarse además para calcular un valor de umbral `pd_th_pk` en base a una proporción o porcentaje del valor `pd_pk`. En una realización ejemplar preferida, `pd_th_pk` puede configurarse ventajosamente para ser siete octavos del valor de `pd_pk`, un cálculo que puede implementarse con un simple desplazamiento a la derecha de tres bits y una resta como es bien conocido en la técnica relevante. El circuito de cálculo de umbral puede seleccionar que el valor de umbral `pd_th` sea el menor que `pd_th_mid` y `pd_th_pk`. De esta manera, el valor

pd_th nunca será igual al valor pd_pk, incluso después de largos periodos de luz constante incidente en el fotodiodo, que puede dar como resultado que los valores pd_pk y pd_vl sean iguales. Se apreciará que el valor pd_th_pk asegura la detección de un parpadeo después de largos intervalos. El comportamiento del circuito de generación de umbral se ilustra adicionalmente en la Figura 9, como trataremos posteriormente.

5

La Figura 6 ilustra un diagrama de bloques de la lógica de detección digital 600 que puede usarse para implementar un algoritmo de detección de parpadeo digital ejemplar de acuerdo con una realización de la presente invención. La lógica de detección digital 600 puede comprender un registro de desplazamiento 602 adaptado para recibir los datos de la ruta de señal de fotodetección pd_rx_top, Figura 4, o desde la lógica de condicionamiento digital, Figura 5, como se ilustra aquí en la señal pd_data, que tiene un valor de un bit. El registro de desplazamiento 602 contiene un historial de los valores de muestra recibidos, aquí en un registro de 24 bits. La lógica de detección digital 600 comprende además un bloque de comparación 604, adaptado para recibir el historial de muestras y una o más plantillas de parpadeo bl_tpl y máscaras de parpadeo bl_mask, y está configurada para indicar una coincidencia con una o más plantillas y máscaras en una o más señales de salida que pueden ser retenidas para su uso posterior. La salida del bloque de comparación 604 se bloquea a través de un flip-flop D 606. La lógica de detección digital 600 puede comprender además un contador 608 u otra lógica para suprimir comparaciones sucesivas que pueden estar en el mismo historial de muestra establecido en pequeños desplazamientos debido a operaciones de enmascaramiento. En una realización ejemplar preferida, el historial de muestras se borra o restablece después de que se encuentra una coincidencia positiva, requiriendo de este modo, que se muestree una nueva secuencia de parpadeo coincidente completa antes de poder identificar una coincidencia posterior. La lógica de detección digital 600 puede comprender además una máquina de estados o un circuito de control similar para proporcionar las señales de control a la ruta de la señal de fotodetección y el ADC. En algunas realizaciones ejemplares, las señales de control pueden ser generadas por una máquina de estados de control que está separada de la lógica de detección digital 600. Esta máquina de estados de control puede ser parte del procesamiento de señales digitales y el controlador del sistema 410.

25

La Figura 7 ilustra un diagrama de tiempo de las señales de control proporcionadas desde un subsistema de detección de parpadeo a un ADC 408 (Figura 4) usado en una ruta de señal de fotodetección. Las señales de habilitación y reloj adc_en, adc_rst_n y adc_clk se activan al inicio de una secuencia de muestra y continúan hasta que se completa el proceso de conversión de analógico a digital. En una realización ejemplar, el proceso de conversión de ADC se inicia cuando se proporciona un pulso en la señal adc_start. El valor de salida del ADC se retiene en una señal adc_data y la finalización del proceso se indica mediante la lógica del convertidor de analógico a digital en una señal adc_complete. También se ilustra en la Figura 7 la señal pd_gain que se utiliza para establecer la ganancia de los amplificadores antes del ADC. Esta señal se muestra como configurada antes del tiempo de calentamiento para permitir que la polarización del circuito analógico y los niveles de señal se estabilicen antes de la conversión.

35

La Figura 8 ilustra un controlador de sistemas digital 800 que comprende un subsistema de detección de parpadeo digital dig_blink 802. El subsistema de detección de parpadeo digital dig_blink 802 puede controlarse por una máquina de estados maestra dig_master 804 y puede adaptarse para recibir señales de reloj desde un generador de reloj clkgen 806 externo al controlador del sistema digital 800. El subsistema de detección de parpadeo digital dig_blink 802 puede adaptarse para proporcionar señales de control y recibir señales de un subsistema de fotodetección como se ha descrito anteriormente. El subsistema de detección de parpadeo digital dig_blink 802 puede comprender lógica de condicionamiento digital y lógica de detección digital como se ha descrito anteriormente, además de una máquina de estados para controlar la secuencia de operaciones en un algoritmo de detección de parpadeo. El subsistema de detección de parpadeo digital dig_blink 802 puede adaptarse para recibir una señal de habilitación desde la máquina de estados maestra 804 y para proporcionar una indicación de finalización o de realizado y una indicación de detección de parpadeo de vuelta a la máquina de estados maestra 804.

50

La Figura 9 proporciona formas de onda, Figuras 9A-9G, para ilustrar el funcionamiento del circuito de generación de umbral y el control de ganancia automático (Figura 5). La Figura 9A ilustra un ejemplo de fotocorriente en función del tiempo que podría proporcionarse por un fotodiodo en respuesta a niveles de luz variables. En la primera parte de la gráfica, el nivel de luz y la fotocorriente resultante son relativamente bajos en comparación con la segunda parte del gráfico. En tanto la primera parte como en la segunda parte del gráfico, se observa un doble parpadeo para reducir la luz y la fotocorriente. Tener en cuenta que la atenuación de la luz por parte del párpado puede no ser del 100%, sino un valor más bajo dependiendo de las propiedades de transmisión del párpado para las longitudes de onda de la luz incidente en el ojo. La Figura 9B ilustra el valor adc_data_held que se captura en respuesta a la forma de onda de fotocorriente de la Figura 9A. Para simplificar, el valor adc_data_held se ilustra como una señal analógica continua en lugar de una serie de muestras digitales discretas. Se apreciará que los valores de muestra digitales corresponderán al nivel ilustrado en la Figura 9B en los tiempos de muestra correspondientes. Las líneas discontinuas en la parte superior e inferior del gráfico indican los valores máximo y mínimo de las señales adc_data y adc_data_held. El rango de valores entre el mínimo y el máximo también se conoce como el rango dinámico de la señal adc_data. Como se trata a continuación, la ganancia de la ruta de la señal de fotodetección es diferente (inferior) en la segunda parte del gráfico. En general, el valor adc_data_held es

65

directamente proporcional a la fotocorriente, y los cambios de ganancia solo afectan a la ración o la constante de proporcionalidad. La Figura 9C ilustra los valores pd_pk , pd_vl y pd_th_mid calculados en respuesta al valor adc_data_held por el circuito de generación de umbral. La Figura 9D ilustra los valores pd_pk , pd_vl y pd_th_pk calculados en respuesta al valor adc_data_held en algunas realizaciones ejemplares del circuito de generación de umbral. Tener en cuenta que el valor pd_th_pk siempre es una proporción del valor pd_pk . La Figura 9E ilustra el valor adc_data_held con los valores pd_th_mid y pd_th_pk . Tener en cuenta que durante períodos de tiempo largos en los que el valor adc_data_held es relativamente constante, el valor pd_th_mid se vuelve igual al valor adc_data_held ya que el valor pd_vl decae al mismo nivel. El valor pd_th_pk siempre permanece algo por debajo del valor adc_data_held . También se ilustra en la Figura 9E la selección de pd_th donde el valor pd_th se selecciona para ser el más bajo de pd_th_pk y pd_th_mid . De esta manera, el umbral siempre se establece a cierta distancia del valor pd_pk , evitando transiciones falsas en pd_data debido al ruido en las señales de fotocorriente y adc_data . La Figura 9F ilustra el valor pd_data generado al comparar el valor adc_data_held con el valor pd_th . Tener en cuenta que la señal pd_data es una señal de dos valores que es baja cuando está teniendo lugar un parpadeo. La Figura 9G ilustra un valor de tia_gain frente al tiempo para estas formas de onda de ejemplo. El valor de tia_gain se establece más bajo cuando pd_th comienza a exceder un umbral alto que se muestra como agc_pk_th en la Figura 9E. Se apreciará que un comportamiento similar tiene lugar para aumentar tia_gain cuando pd_th comienza a caer por debajo de un umbral bajo. Mirando de nuevo la segunda parte de cada una de las Figuras 9A a 9E el efecto del tia_gain menor es claro. En particular, tener en cuenta que el valor adc_data_held se mantiene cerca de la mitad del rango dinámico de las señales adc_data y adc_data_held . Además, es importante tener en cuenta que los valores pd_pk y pd_vl se actualizan de acuerdo con el cambio de ganancia descrito anteriormente de tal manera que se evitan las discontinuidades en los estados y valores del detector de pico y valle debido únicamente a los cambios en la ganancia de la ruta de la señal de fotodetección.

La Figura 10 ilustra las características de bloqueo de luz y paso de luz ejemplares en una matriz de circuito integrado 1000. La matriz de circuito integrado 1000 comprende una región de paso de luz 1002, una región de bloqueo de luz 1004, almohadillas de unión 1006, aberturas de pasivación 1008 y aberturas de capa de bloqueo de luz 1010. La región de paso de luz 1002 está localizada sobre los fotosensores (no ilustrados), por ejemplo, una serie de fotodiodos implementados en el proceso de semiconductores. En una realización ejemplar preferida, la región de paso de luz 1002 permite que tanta luz como sea posible alcance los fotosensores maximizando de este modo la sensibilidad. Esto se puede hacer eliminando el polisilicio, metal, óxido, nitruro, poliimida y otras capas por encima de los fotorreceptores, según lo permitido en el proceso de semiconductores utilizado para la fabricación o en el procesamiento posterior. El área de paso de luz 1002 también puede recibir otro procesamiento especial para optimizar la detección de luz, por ejemplo, un revestimiento, filtro y/o difusor antirreflectante. La región de bloqueo de luz 1004 puede cubrir otros circuitos en la matriz que no requieren exposición a la luz. El rendimiento de los otros circuitos puede ser degradado por las fotocorrientes, por ejemplo, cambiando los voltajes de polarización y las frecuencias del oscilador en los circuitos de corriente ultra baja requeridos para la incorporación en lentes de contacto, como se ha mencionado anteriormente. La región de bloqueo de luz 1004 está formada preferentemente con un material delgado, opaco, reflectante, por ejemplo, aluminio o cobre ya utilizado en el procesamiento y posprocesamiento de discos de semiconductores. Si se implementa con metal, el material que forma la región de bloqueo de la luz 1004 debe estar aislado de los circuitos que se encuentran debajo y las almohadillas de unión 1006 para evitar condiciones de cortocircuitos. Tal aislamiento puede ser proporcionado por la pasivación ya presente en la matriz como parte de la pasivación de discos normal, por ejemplo, óxido, nitruro y/o poliimida, o con otro dieléctrico añadido durante el posprocesamiento. El enmascaramiento permite aberturas en la capa de bloqueo de la luz 1010, de tal manera que el metal de bloqueo de la luz conductor no se superponga con las almohadillas de unión en la matriz. La región de bloqueo de luz 1004 está cubierta con dieléctrico o pasivación adicional para proteger la matriz y evitar cortocircuitos durante la unión de la matriz. Esta pasivación final tiene aberturas de pasivación 1008 para permitir la conexión con las almohadillas de unión 1006..

La Figura 11 ilustra una lente de contacto ejemplar con un inserto electrónico que comprende un sistema de detección de parpadeo de acuerdo con las presentes realizaciones (invención). La lente de contacto 1100 comprende una parte de plástico blando 1102 que comprende un inserto electrónico 1104. Este inserto 1104 incluye una lente 1106 que se activa mediante electrónica, por ejemplo, enfocando cerca o lejos dependiendo de la activación. El circuito integrado 1108 se monta en el inserto 1104 y se conecta a las baterías 1110, la lente 1106 y los otros componentes según sea necesario para el sistema. El circuito integrado 1108 incluye un fotosensor 1112 y circuitos de rutas de señal del fotodetector asociados. El fotosensor 1112 está orientado hacia afuera a través del inserto de la lente y se aleja del ojo, y puede por tanto recibir luz ambiental. El fotosensor 1112 puede implementarse en el circuito integrado 1108 (como se muestra), por ejemplo como un único fotodiodo o conjunto de fotodiodos. El fotosensor 1112 también puede implementarse como un dispositivo separado montado en el inserto 1104 y conectado con las trazas de cableado 1114. Cuando el párpado se cierra, el inserto de lente 1104 que incluye el fotodetector 1112 está cubierto, reduciendo de esta manera el nivel de luz incidente en el fotodetector 1112. El fotodetector 1112 puede medir la luz ambiental para determinar si el usuario está parpadeando o no.

Realizaciones adicionales del algoritmo de detección de parpadeo pueden permitir una mayor variación en la duración y el espaciado de la secuencia de parpadeo, por ejemplo, sincronizando el inicio de un segundo parpadeo en base al tiempo de finalización medido de un primer parpadeo en lugar de usando una plantilla fija o

ampliando la intervalos de la máscara "no importa" (valores 0).

Se apreciará que el algoritmo de detección de parpadeo puede implementarse en lógica digital o en software ejecutando en un microcontrolador. La lógica del algoritmo o el microcontrolador pueden implementarse en un único circuito integrado de aplicación específica, ASIC, con circuitos de ruta de señal de fotodetección y un controlador del sistema, o puede dividirse en más de un circuito integrado.

Es importante tener en cuenta que el sistema de detección de parpadeo de la presente invención tiene usos más amplios que para el diagnóstico de la visión, la corrección de la visión y la mejora de la visión. Estos usos más amplios incluyen la utilización de detección de parpadeo para controlar una amplia variedad de funcionalidades para personas con discapacidades físicas. La detección de parpadeo se puede configurar en el ojo o fuera del ojo.

De acuerdo con otra realización ejemplar, la presente invención está dirigida a una lente oftálmica con alimentación o electrónica que tiene un sensor de diámetro de la pupila orientado hacia atrás. El tamaño de las pupilas y sus cambios, concretamente, la dilatación y la constricción, pueden utilizarse para controlar uno o más aspectos de la lente de contacto electrónica o con alimentación. En otras palabras, las señales que salen del sensor de la pupila pueden introducirse en un controlador del sistema que a su vez realiza una acción específica en base a la entrada y envía una señal a un accionador para implementar una función específica. Además, la información detectada puede utilizarse para evaluar condiciones médicas.

El iris es la división entre las cámaras anterior y posterior del ojo. El iris está formado por dos músculos que regulan la abertura central del mismo, comúnmente conocida como la pupila. De manera similar al obturador de una cámara, la pupila, a través de las acciones de los dos músculos, controla la cantidad de luz que entra en el ojo. El tamaño de la pupila varía con la edad, el color del iris y el error de refracción si lo hay; sin embargo, una serie de otros factores pueden afectar al tamaño de las pupilas en cualquier momento dado.

Las pupilas pueden dilatarse por el uso de ciertos agentes, por ejemplo, un fármaco ciclopléxico como la atropina. Las pupilas pueden dilatarse como resultado de la parálisis del tercer nervio craneal. La pupila puede estar dilatada y fijada para dirigir la estimulación de la luz y la estimulación de la luz consensual después del glaucoma agudo de ángulo estrecho. Alternativamente, las pupilas pueden contraerse debido al uso de medicamentos para el glaucoma como la pilocarpina. Otros fármacos, por ejemplo, la morfina, causan la contracción de las pupilas. Además, ciertas afecciones, como la iritis, la interrupción de las vías simpáticas del ojo y las lesiones irritativas de la córnea también pueden causar contracción de las. El hippus es una dilatación y contracción espasmódica, rítmica, pero irregular de las pupilas y puede ser indicativo de una serie de afecciones.

Las influencias psíquicas externas, como la sorpresa, el miedo y el dolor, también hacen que las pupilas se dilaten. La luz tenue hace que las pupilas se dilaten, mientras que la luz brillante hace que las pupilas se contraigan. Además, cuando un individuo enfoca un objeto cercano, por ejemplo, leyendo un libro, las pupilas convergen y se contraen ligeramente en lo que se conoce comúnmente como el reflejo acomodativo. Por consiguiente, dado que se sabe que ciertos factores provocan una reacción pupilar específica en ojos por lo demás sanos, la detección de la reacción de las pupilas puede utilizarse como un medio de control. Por ejemplo, si la contracción de la pupila se detecta sola o en combinación con convergencia, entonces el controlador del sistema puede enviar una señal a un accionador para cambiar el estado de una óptica de potencia variable incorporada en la lente de contacto con alimentación.

En referencia ahora a la Figura 12, se ilustra una lente de contacto con alimentación con un sensor de diámetro de la pupila. La lente de contacto 1200 se coloca en el ojo 1201 de un individuo. El iris del ojo 1201 se muestra en dos niveles de diámetro, contraído 1203 y dilatado 1205. La lente de contacto 1200 cubre una parte del ojo 1201 que incluye el iris. La lente de contacto 1200 comprende un primer sensor de diámetro de la pupila ejemplar 1202 y un componente electrónico 1204. La lente de contacto 1200 puede comprender otros dispositivos, no mostrados.

El sensor de diámetro de la pupila ejemplar 1202 se coloca preferiblemente en la lente de contacto 1200 por encima del iris. Como se ilustra, el sensor de diámetro de la pupila 1202 es una tira delgada que cubre todos los diámetros de pupila posibles lo que le permite detectar todos los niveles de diámetro de la pupila. Si se implementa como una tira, como en esta realización ejemplar, la tira es preferiblemente delgada y transparente, para no interrumpir la luz incidente en el ojo 1201. En una realización ejemplar, el sensor de diámetro de la pupila 1202 comprende un conjunto de fotodetectores que están orientados hacia atrás en o hacia el iris. Dependiendo del diámetro de la pupila, los sensores a varias distancias del centro del iris detectarán la diferente luz reflejada. Por ejemplo, cuando el iris está dilatado, la mayoría de los sensores pueden detectar poca luz debido a la pupila grande oscura. A la inversa, cuando el iris está contraído, la mayoría de los sensores pueden detectar una luz más alta debido a la reflexión del iris. Debe apreciarse que, para tal sensor, puede ser necesario considerar el nivel de luz ambiental y el color del iris en el diseño del sistema, por ejemplo, por una programación y/o calibración por usuario. Dicho sensor de luz ambiental se implementa como un fotosensor orientado hacia adelante para complementar los sensores orientados hacia atrás del sensor de diámetro de la pupila 1202. Para minimizar la interrupción de la zona

óptica delante del ojo, en una realización ejemplar, el sensor de diámetro de la pupila 1202 puede implementarse usando conductores transparentes como óxido de indio-estaño y fotosensores de silicio delgados pequeños.

5 En una realización ejemplar alternativa, el sensor de diámetro de la pupila 1202 puede implementarse como un conjunto de sensores colocados alrededor del iris para maximizar la cobertura en oposición a sólo una tira lineal. Se debe tener en cuenta que son posibles otras configuraciones físicas para maximizar el rendimiento, el costo, la comodidad, la aceptación y otras métricas.

10 El sensor de diámetro de la pupila 1202 puede integrarse con otros componentes electrónicos, puede funcionar por sí mismo, o puede conectarse a otro dispositivo, como una parte del controlador del componente electrónico 1204. En esta realización ejemplar, el controlador del sistema muestrea el sensor de diámetro de la pupila 1202 y, dependiendo de los resultados del sensor de diámetro de la pupila 1202, puede activar otro componente en el sistema (no mostrado). Por ejemplo, el controlador puede activar una lente de enfoque variable. Una fuente de alimentación (no mostrada) suministra corriente al sensor de diámetro de la pupila 1202, al controlador, y a otros componentes del sistema oftálmico electrónico. A continuación se proporciona una descripción más detallada.

20 Tal sistema puede requerir no solo detectores como los ilustrados y descritos, sino también emisores (no mostrados). Dichos emisores pueden, por ejemplo, comprender diodos emisores de luz adaptados a los fotosensores del sensor de diámetro de la pupila 1202. Alternativamente, los emisores pueden comprender transductores ultrasónicos piezoeléctricos acoplados a receptores ultrasónicos en el sensor de diámetro de la pupila 1202. En otra realización ejemplar más, los sensores y los emisores pueden crear un sistema de detección de impedancia, por ejemplo, pasando una señal de corriente baja a través del ojo y midiendo los cambios en el voltaje a través del ojo.

25 La Figura 13 ilustra una lente de contacto con un sensor de diámetro de la pupila ejemplar alternativo. La lente de contacto 1300 se coloca en el ojo 1301 de un individuo. El iris del ojo 1301 se muestra en dos niveles de diámetro, contraído 1303 y dilatado 1305. La lente de contacto 1300 cubre una parte del ojo 1301, incluyendo el iris. En lugar de la tira o el conjunto de detectores que cubren parcialmente la pupila como se ha descrito anteriormente e
30 ilustrados en la Figura 12, el sistema en la Figura 13 coloca el sensor o sensores de diámetro de la pupila 1302 fuera del diámetro máximo de la pupila 1305 pero todavía dentro de la lente de contacto 1300. Esta configuración es beneficiosa porque no se produce una obstrucción de la zona óptica debido al sensor de diámetro de la pupila 1302. El sensor o sensores de diámetro de la pupila 1302 puede, por ejemplo, comprender una antena de bobina de giro simple o múltiple. Dicha antena puede recibir radiación electromagnética del ojo cuando los músculos que controlan el iris se contraen y relajan. Es bien conocido en la técnica relevante que la actividad muscular y neural del ojo
35 puede detectarse a través de cambios en las emisiones electromagnéticas, por ejemplo con electrodos de contacto, sensores capacitivos, y antenas. De esta manera, se puede implementar un sensor de diámetro de la pupila basado en un sensor muscular. El sensor de diámetro de la pupila 1302 también puede implementarse como uno o más electrodos de contacto o capacitivos diseñados para medir la impedancia a través del ojo. Similar a otros sistemas propuestos que usan cambios en la impedancia para determinar la actividad del músculo ciliar en el ojo, y por lo tanto un deseo de cambiar el estado focal, la impedancia puede usarse para detectar cambios en el diámetro de la pupila. Por ejemplo, la impedancia medida a través del iris y la pupila puede cambiar apreciablemente dependiendo del diámetro de la pupila. Un sensor de diámetro de la pupila 1302 colocado en la localización apropiada en el ojo y acoplado apropiadamente al ojo podría detectar estos cambios en la impedancia y por lo tanto el diámetro de la pupila. La lente de contacto 1300 también puede comprender un componente electrónico 1304 como se ha descrito anteriormente.

40 La Figura 14 ilustra un sistema electrónico ejemplar 1400 para controlar los sensores de diámetro de la pupila, como se ilustra en las Figuras 12 y 13, recibir información de ellos, y cambiar el estado de un accionador. El sensor de diámetro de la pupila 1402 comprende uno o más de los sensores de diámetro de la pupila como se han descrito anteriormente, por ejemplo, fotosensores, antenas o sensores de impedancia. En esta realización ejemplar ilustrada, todos los emisores necesarios para implementar o mejorar el rendimiento de los sensores están incluidos en el elemento 1402 por simplicidad. El elemento 1402 puede comprender múltiples sensores, o múltiples bloques de sensores como el 1402, quizás implementado en diferentes tecnologías y métodos de sensores. El elemento
55 1404 es una interfaz entre el sensor 1402 y un controlador del sistema digital 1406. Mostrado en un elemento 1404, para simplificar, esta parte del sistema es responsable de activar el sensor 1402, recibir información del mismo, convertir de analógico a digital, amplificar, filtrar, procesar, y cualquier otra función necesaria. Puede comprender uno o más de multiplexores, amplificadores operacionales, amplificadores diferenciales, amplificadores de transimpedancia, convertidores de analógico a digital (ADC), procesadores de señales digitales (DSP), filtros y otros dispositivos como se conoce en la técnica de procesamiento de señales. La salida del elemento de acondicionamiento de señal 1404 es una señal compuesta por datos del sensor que se introducen en el controlador del sistema 1406. El controlador del sistema 1406 considera las entradas del sensor de diámetro de la pupila 1402 y determina si es necesario un cambio de estado para el accionador 1408. Este accionador 1408 puede servir para cualquiera de una serie de funciones, por ejemplo, cambiar el estado de una lente de enfoque variable o la transmisión de un filtro delante del ojo. El controlador del sistema 1406 puede considerar entradas de múltiples
60
65

sensores 1402 y puede activar múltiples accionadores 1408. Se puede incluir un tranceptor 1410 en el sistema para enviar y recibir datos desde dispositivos externos, por ejemplo, una segunda lente de contacto montada en el ojo adyacente, lentes para gafas, un teléfono inteligente u otro dispositivo. Dicha comunicación tiene lugar a través de una antena 1412, quizás una antena electromagnética o una combinación de sensor de diodo emisor de luz/fotodiodo. Una fuente de alimentación 1414, que puede comprender una batería o un colector de energía, alimenta el sistema.

Es importante tener en cuenta que la comunicación con un dispositivo en el otro ojo, así como con lentes y sensores externos, puede ser preferible para descartar ciertas condiciones que pueden actuar como falsos desencadenantes para la acción. Por ejemplo, si solo se dilata una pupila, esto podría indicar un problema en lugar de simplemente poca luz.

De acuerdo con una realización ejemplar, un sistema de comunicación digital comprende una serie de elementos que, cuando se implementan, pueden adoptar cualquiera de una serie de formas. El sistema de comunicación digital generalmente comprende una fuente de información, un codificador de fuente, un codificador de canal, un modulador digital, un canal, un demodulador digital, un decodificador de canal y un decodificador de fuente.

La fuente de información puede comprender cualquier dispositivo que genere información y/o datos que se requieran por otro dispositivo o sistema. La fuente puede ser analógica o digital. Si la fuente es analógica, su salida se convierte en una señal digital que comprende una cadena binaria. El codificador de fuente implementa un proceso de conversión eficiente de la señal de la fuente en una secuencia de dígitos binarios. La información del codificador de origen se pasa luego a un codificador de canal donde se introduce la redundancia en la secuencia de información binaria. Esta redundancia se puede utilizar en el receptor para superar los efectos del ruido, interferencia y similares encontrados en el canal. La secuencia binaria se pasa luego a un modulador digital que a su vez convierte la secuencia en señales eléctricas analógicas para su transmisión a través del canal. Esencialmente, el modulador digital mapea las secuencias binarias en formas de onda de señal o símbolos. Cada símbolo puede representar el valor de uno o más bits. El modulador digital puede modular una fase, frecuencia o amplitud de una señal portadora de alta frecuencia apropiada para la transmisión sobre o a través del canal. El canal es el medio a través del cual se desplazan las formas de onda, y el canal puede introducir interferencias u otras corrupciones en las formas de onda. En el caso del sistema de comunicación inalámbrico el canal es la atmósfera. El demodulador digital recibe la forma de onda corrompida por el canal, la procesa y reduce la forma de onda a una secuencia de números que representan, lo más cerca posible, los símbolos de datos transmitidos. El decodificador de canal reconstruye la secuencia de información original a partir del conocimiento del código utilizado por el codificador de canal y la redundancia en los datos recibidos. El decodificador de origen decodifica la secuencia a partir del conocimiento del algoritmo de codificación, en el que la salida del mismo es representativa de la señal de información de la fuente.

Es importante tener en cuenta que los elementos descritos anteriormente pueden realizarse en hardware, en software o en una combinación de hardware y software. Además, el canal de comunicación puede comprender cualquier tipo de canal, incluyendo cableado e inalámbrico. En el inalámbrico, el canal puede configurarse para señales electromagnéticas de alta frecuencia, señales electromagnéticas de baja frecuencia, señales de luz visible y señales de luz infrarroja.

La Figura 15 ilustra la luz ambiental 1502 y el diámetro de la pupila 1504 trazados frente al tiempo en el eje x, ilustrando cómo las diferencias entre estas dos cantidades medidas podrían usarse para activar un dispositivo oftálmico electrónico como una lente de contacto. Durante el primer período 1501, el nivel de luz ambiental 1502 está aumentando, mientras que el diámetro de la pupila 1504 está disminuyendo. La luz ambiental y el diámetro de la pupila pueden detectarse como se ha descrito anteriormente, por ejemplo, mediante un fotodiodo orientado hacia adelante y un sensor de impedancia orientado hacia atrás, respectivamente. Como suele ser el caso, a medida que aumenta la luz ambiental en el período de tiempo 1501, el diámetro de la pupila disminuye. Esta es una reacción común que tiene lugar para mantener una intensidad de luz relativamente constante en la retina reduciendo la apertura del iris. En el período de tiempo 1503, el nivel de luz ambiental 1502 continúa primero aumentando y luego se nivela. Sin embargo, el diámetro de la pupila 1504 se contrae más rápidamente que en el período de tiempo anterior. Esta no es la correlación clásica entre la luz ambiental y el diámetro de la pupila. Esta respuesta puede estar provocada por una respuesta de ángulo estrecho de la pupila, tal vez a un libro que se mantiene cerca, frente a la respuesta de gran angular de un detector de luz ambiental. De esta manera, puede detectarse un cambio en la respuesta del diámetro de la pupila y usarse para activar una función en un dispositivo oftálmico electrónico. En el período de tiempo 1505, la luz ambiental 1502 continúa plana, sin embargo, el diámetro de la pupila 1504 se dilata o aumenta. De nuevo, esto puede estar provocado por una respuesta específica en el ojo, por ejemplo, el reflejo de acomodación. En el período de tiempo 1507 hay de nuevo una diferencia entre el nivel de luz ambiental 1502, que comienza nivelado y luego disminuye, y el diámetro de la pupila 1504 que permanece plano. De nuevo, esto puede usarse para detectar ciertas respuestas en el ojo y desencadenar cambios en el funcionamiento de un dispositivo oftálmico electrónico. Finalmente, en el período temporal 1509 se observa de nuevo la respuesta clásica de manera similar a la mostrada en el período temporal 1501. A medida que disminuye el nivel de luz ambiental 1502, el diámetro de la pupila 1504 se dilata para dejar que entre más luz.

5 Las actividades del bloque de acondicionamiento de señales y del controlador del sistema (1404 y 1406 en la Figura 14, respectivamente) dependen de las entradas de sensor disponibles, el entorno y las reacciones del usuario, por ejemplo, el nivel de luz ambiental y el diámetro de la pupila, como se ilustra en la Figura 15. Las 5 entradas, las reacciones y los umbrales de decisión pueden determinarse a partir de uno o más de los algoritmos de investigación oftalmológica, preprogramación, capacitación, y adaptación/aprendizaje. Por ejemplo, las características generales de la dilatación de la pupila frente a la luz ambiental pueden estar bien documentadas en la bibliografía, aplicables a una amplia población de usuarios y pre-programadas en el controlador del sistema 1406. Sin embargo, las desviaciones de un individuo de la respuesta general esperada, por ejemplo Las desviaciones 10 ilustradas en los períodos temporales 1503, 1505 y 1507 de la Figura 15, puede registrarse en una sesión de capacitación o formar parte de un algoritmo adaptativo/de aprendizaje que continúa refinando la respuesta en el funcionamiento del dispositivo oftálmico electrónico. En una realización ejemplar, el usuario puede capacitar el dispositivo activando un fob manual, que se comunica con el dispositivo, cuando el usuario desea enfocar de cerca. Un algoritmo de aprendizaje en el dispositivo puede entonces referenciar las entradas del sensor en la memoria 15 antes y después de la señal fob para refinar los algoritmos de decisión internos. Este período de capacitación podría durar un día, después de lo cual el dispositivo funcionaría autónomamente con solo entradas de sensores y no requeriría el fob.

20 Debe apreciarse que el diámetro de la pupila solo puede usarse para desencadenar cambios en una lente oftálmica electrónica, por ejemplo, aumentando o disminuyendo la transmisión de una lente de transmisión variable delante del ojo, o el diámetro de la pupila puede combinarse con uno o más entradas para cambiar el estado de un dispositivo oftálmico electrónico.

25 También debe apreciarse que un dispositivo que utiliza tal sensor no puede cambiar de estado de manera visible para el usuario; más bien, el dispositivo puede simplemente registrar datos. Por ejemplo, tal sensor podría usarse para determinar si un usuario tiene la respuesta del iris apropiada durante un día o si existe una condición médica problemática.

30 En una realización ejemplar, la electrónica y las interconexiones electrónicas se realizan en la zona periférica de una lente de contacto en lugar de en la zona óptica. De acuerdo con una realización ejemplar alternativa, es importante tener en cuenta que el posicionamiento de la electrónica no necesita estar limitado a la zona periférica de la lente de contacto. Todos los componentes electrónicos descritos en la presente pueden fabricarse utilizando tecnología de película delgada y/o materiales transparentes. Si se utilizan estas tecnologías, los componentes electrónicos pueden colocarse en cualquier localización adecuada siempre que sean compatibles con 35 la óptica.

40 Aunque se ha mostrado y descrito lo que se cree que son las realizaciones más prácticas y preferidas, es evidente que serán sugeridas por sí mismas desviaciones de los diseños y métodos específicos descritos y mostrados a los expertos en la materia y pueden usarse sin apartarse del alcance de la invención. La presente invención no está restringida a las construcciones particulares descritas e ilustradas, sino que debe interpretarse que se cohesionan con todas las modificaciones que puedan caer dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Una lente oftálmica con alimentación, la lente oftálmica con alimentación comprendiendo:
- 5 una lente de contacto que incluye una zona óptica y una zona periférica;
un sistema sensor de diámetro de la pupila orientado hacia atrás incorporado en la lente de contacto para medir el diámetro de la pupila, el sistema sensor de diámetro de la pupila incluyendo por lo menos un sensor; un fotosensor orientado hacia delante adaptado para detectar la luz ambiental;
- 10 un controlador del sistema (1406) asociado operativamente con el por lo menos un sensor y con el fotosensor orientado hacia adelante y configurado para determinar el diámetro de la pupila y emitir una señal de control en base al diámetro de la pupila, y por lo menos un accionador (1408) configurado para recibir la señal de control de salida e implementar una función predeterminada.
- 15 2. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 1, en la que por lo menos un sensor comprende una tira delgada montada a través de la zona óptica de tal manera que pueda detectar pupilas totalmente contraídas y totalmente dilatadas.
- 20 3. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 2, en la que la tira delgada comprende un conjunto de fotosensores montados para estar orientados hacia el iris del ojo.
4. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 3, en la que el conjunto de fotosensores comprende fotosensores transparentes.
- 25 5. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 3, en la que el conjunto de fotodetectores comprende fotosensores de silicio fino.
6. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 1, en la que por lo menos un sensor comprende un conjunto de sensores individuales colocados alrededor del perímetro de la zona óptica.
- 30 7. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 6, en la que el conjunto de sensores individuales comprende fotosensores.
8. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 1, en la que el sensor de dilatación de la pupila comprende además un procesador de señales configurado para recibir señales de por lo menos un sensor, realizar el procesamiento de señales digitales, y enviar una o más señales al controlador del sistema.
- 35 9. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 8, en la que el procesador de señales comprende una memoria asociada.
- 40 10. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 1, en la que el sistema sensor de diámetro de la pupila comprende una fuente de alimentación.
- 45 11. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 1, en la que por lo menos un sensor comprende un sensor de impedancia.
12. La lente oftálmica con alimentación de acuerdo con la Reivindicación 1, en la que por lo menos un sensor comprende un sensor de actividad neuromuscular.
- 50
- 55
- 60
- 65

FIG. 1

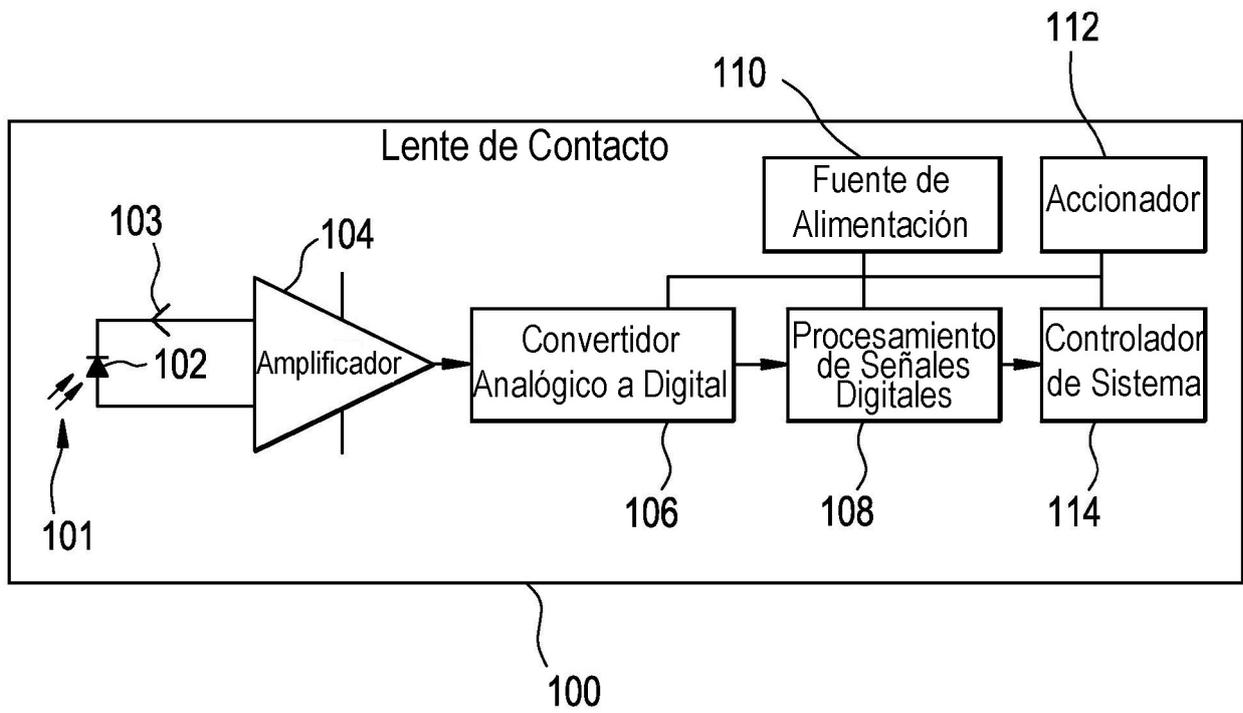
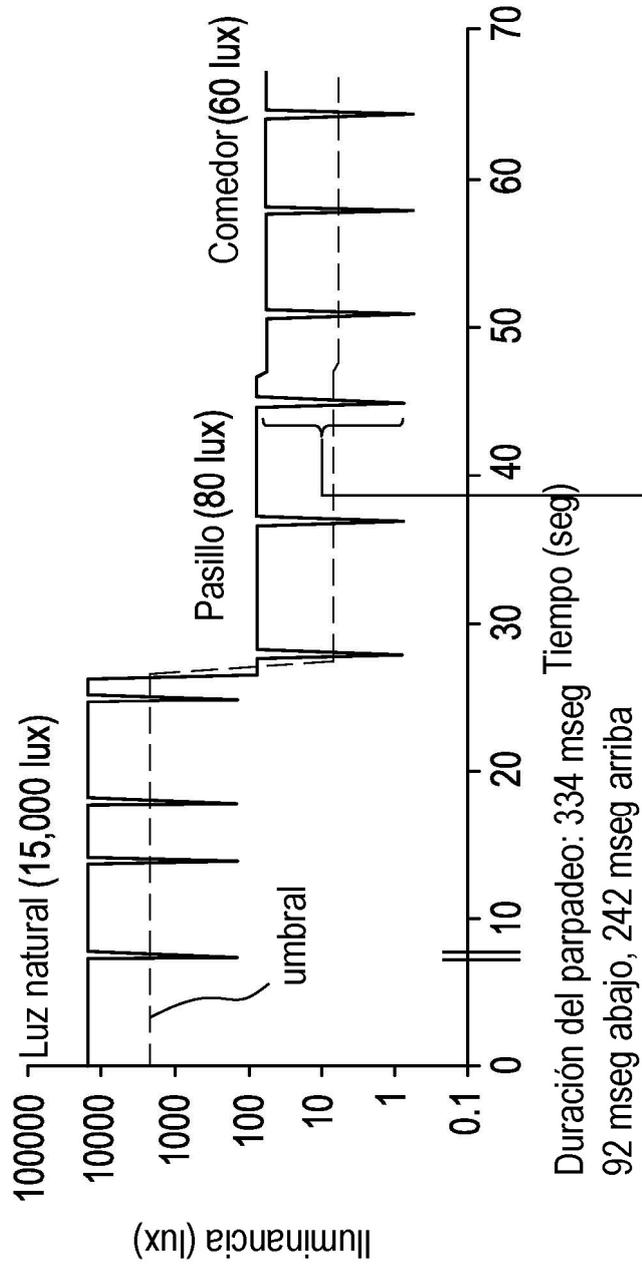


FIG. 2



El párpado bloquea de media el 99% de la luz visible

FIG. 3

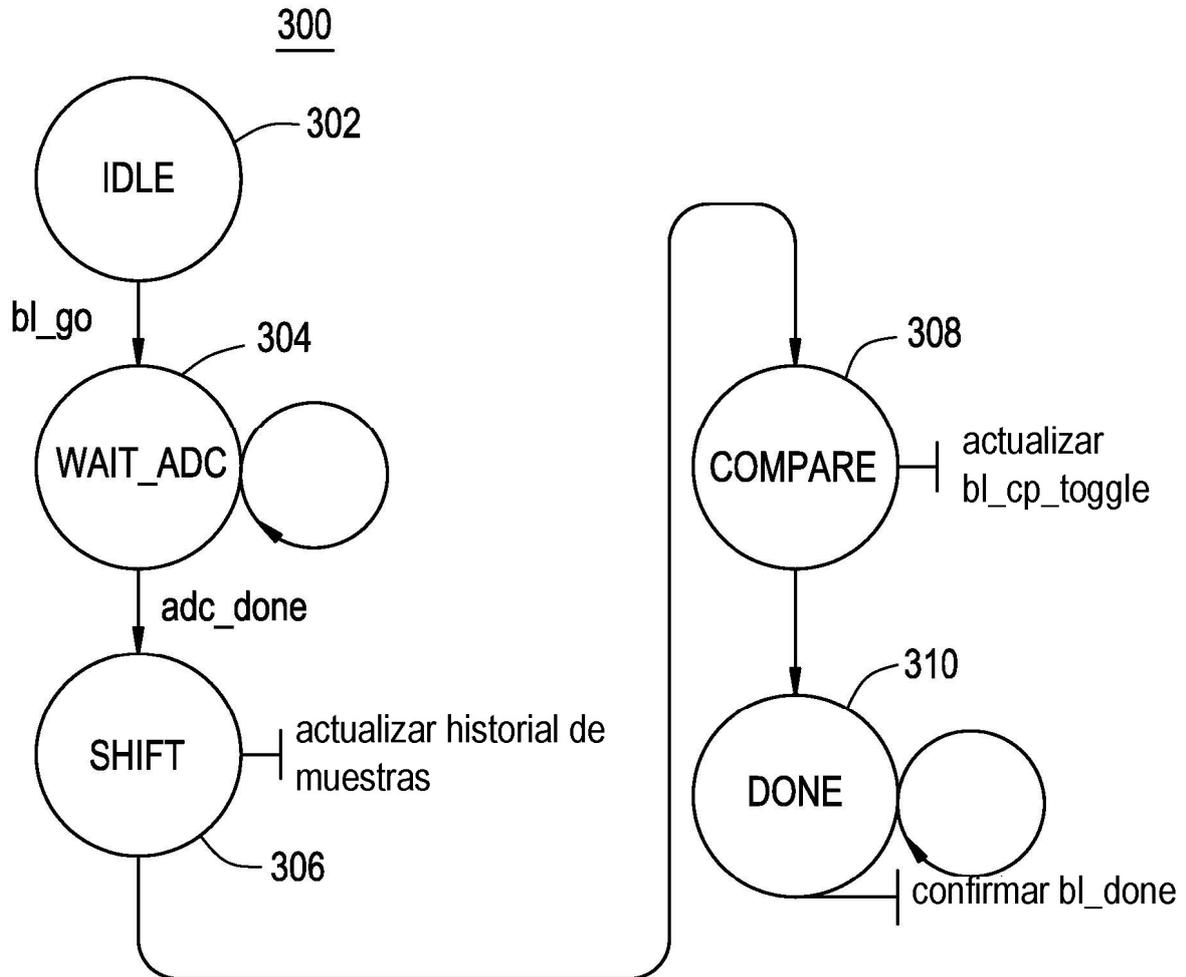


FIG. 4

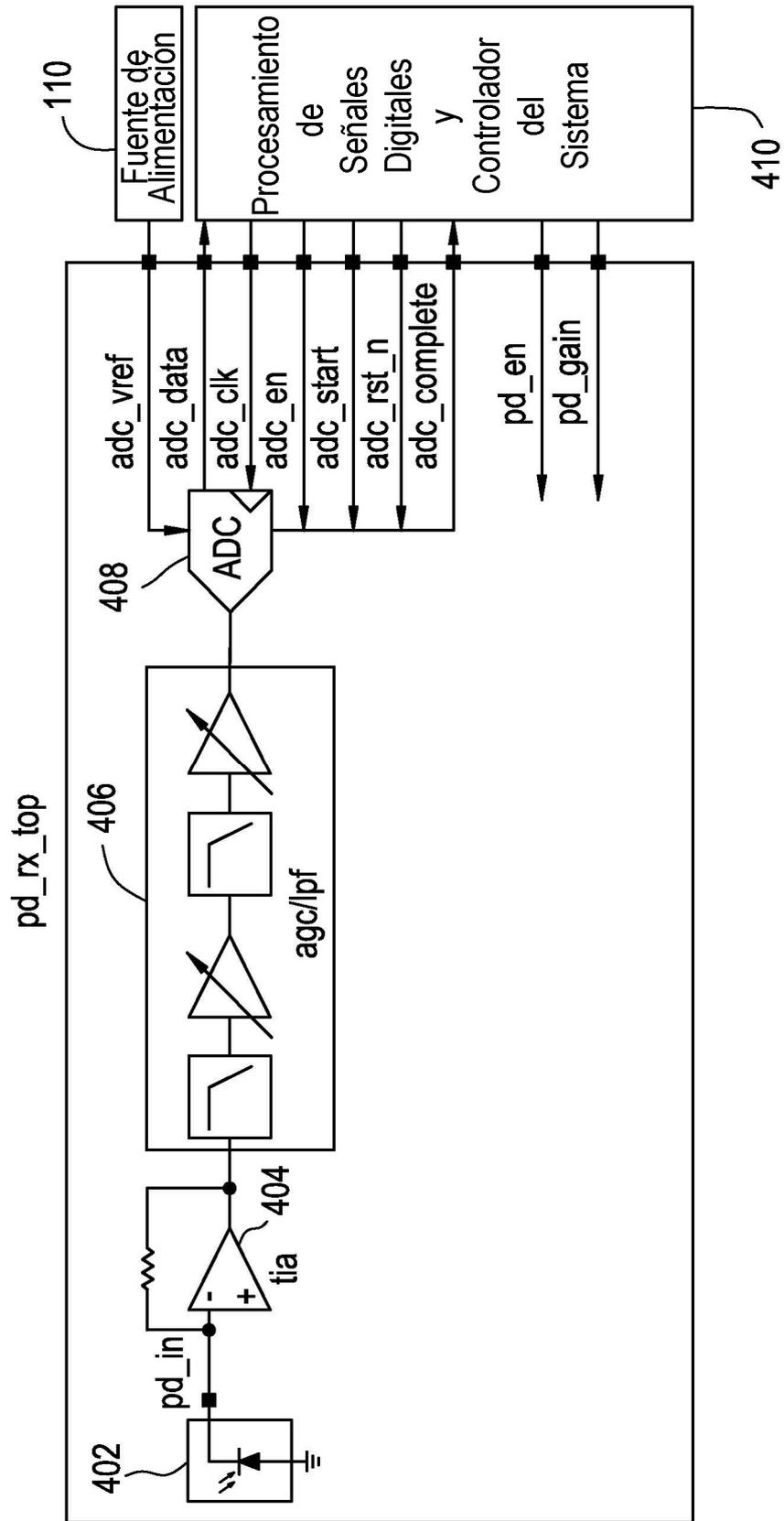


FIG. 5

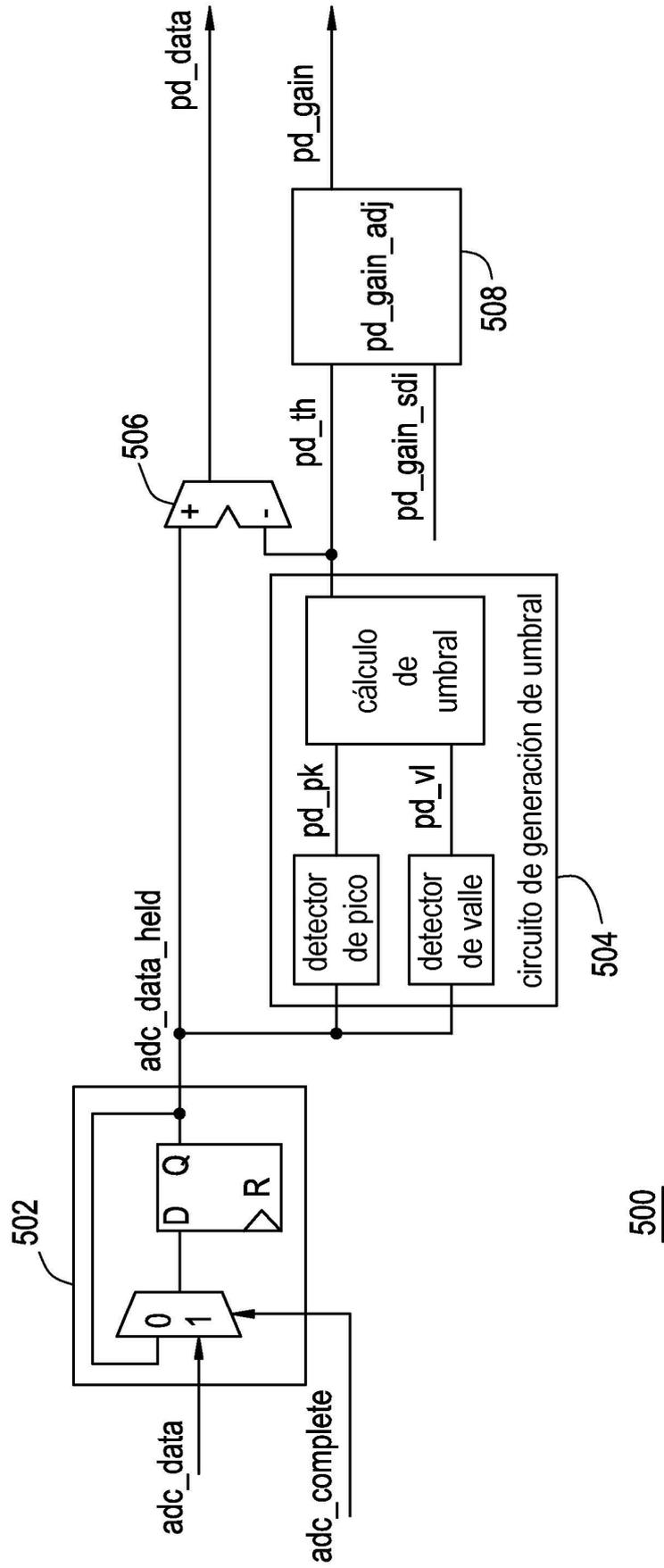


FIG. 6

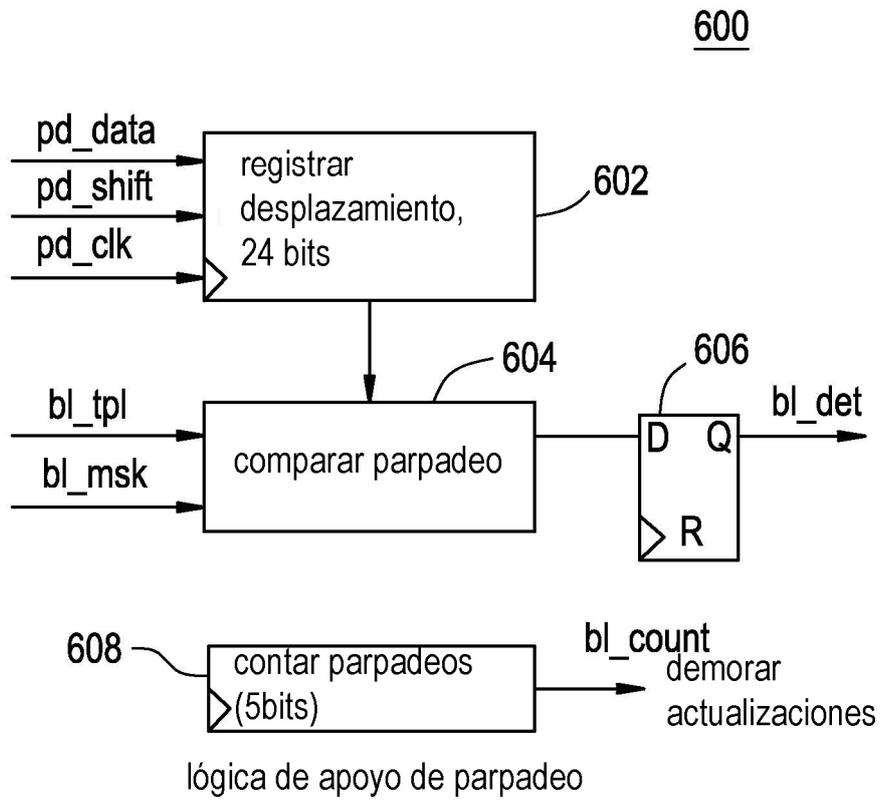


FIG. 7

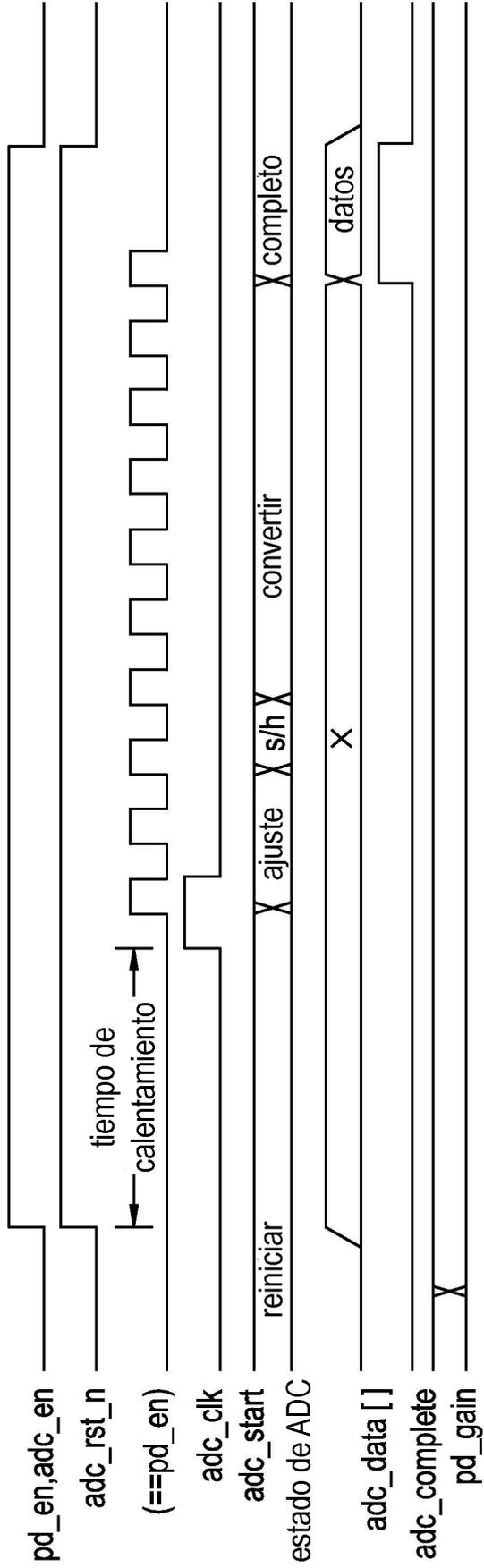


FIG. 8

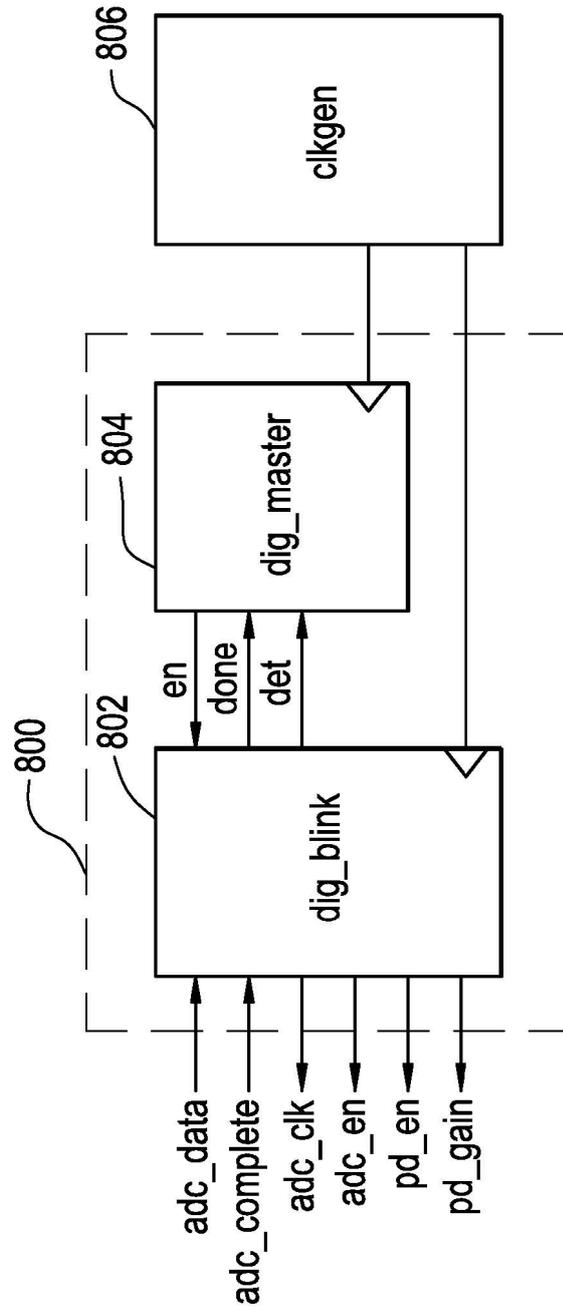


FIG. 9A

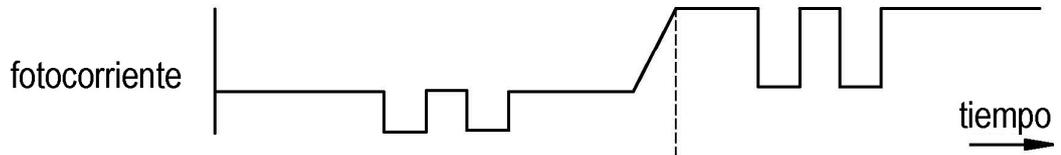


FIG. 9B

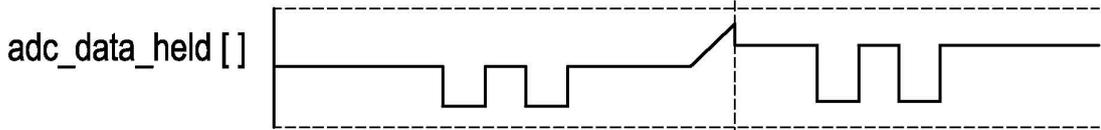


FIG. 9C



FIG. 9D



FIG. 9E

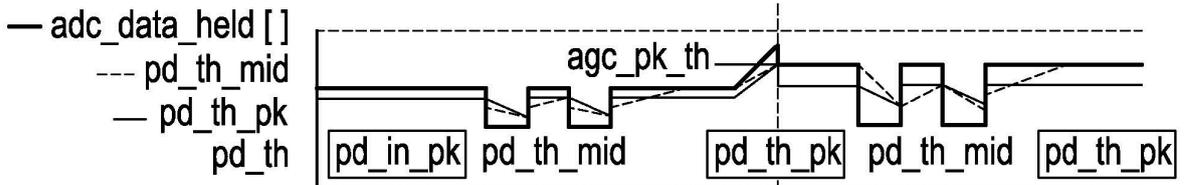


FIG. 9F

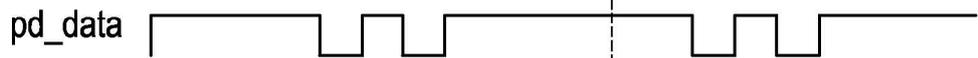


FIG. 9G

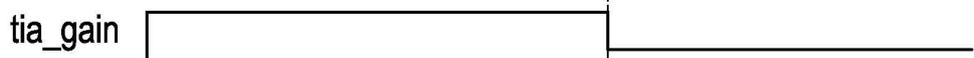


FIG. 10

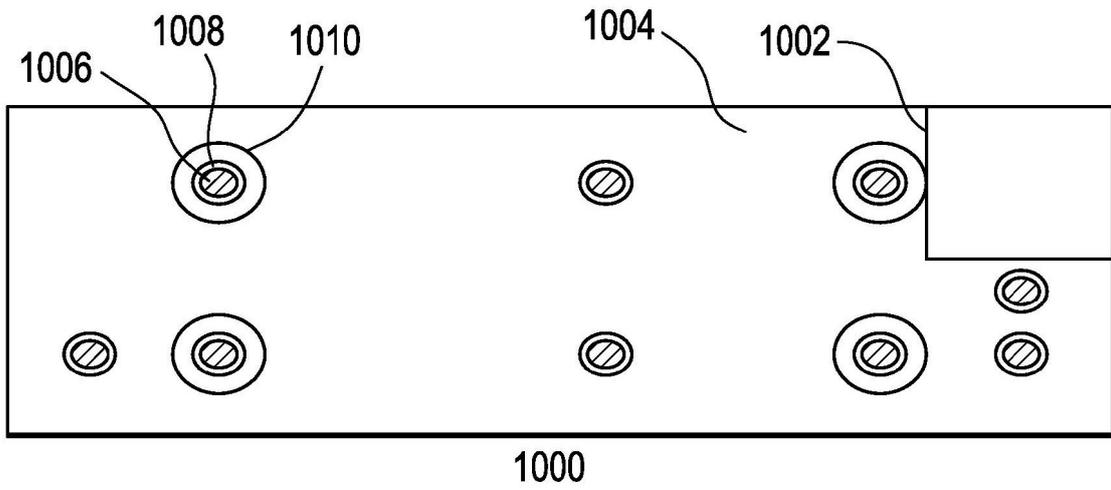


FIG. 11

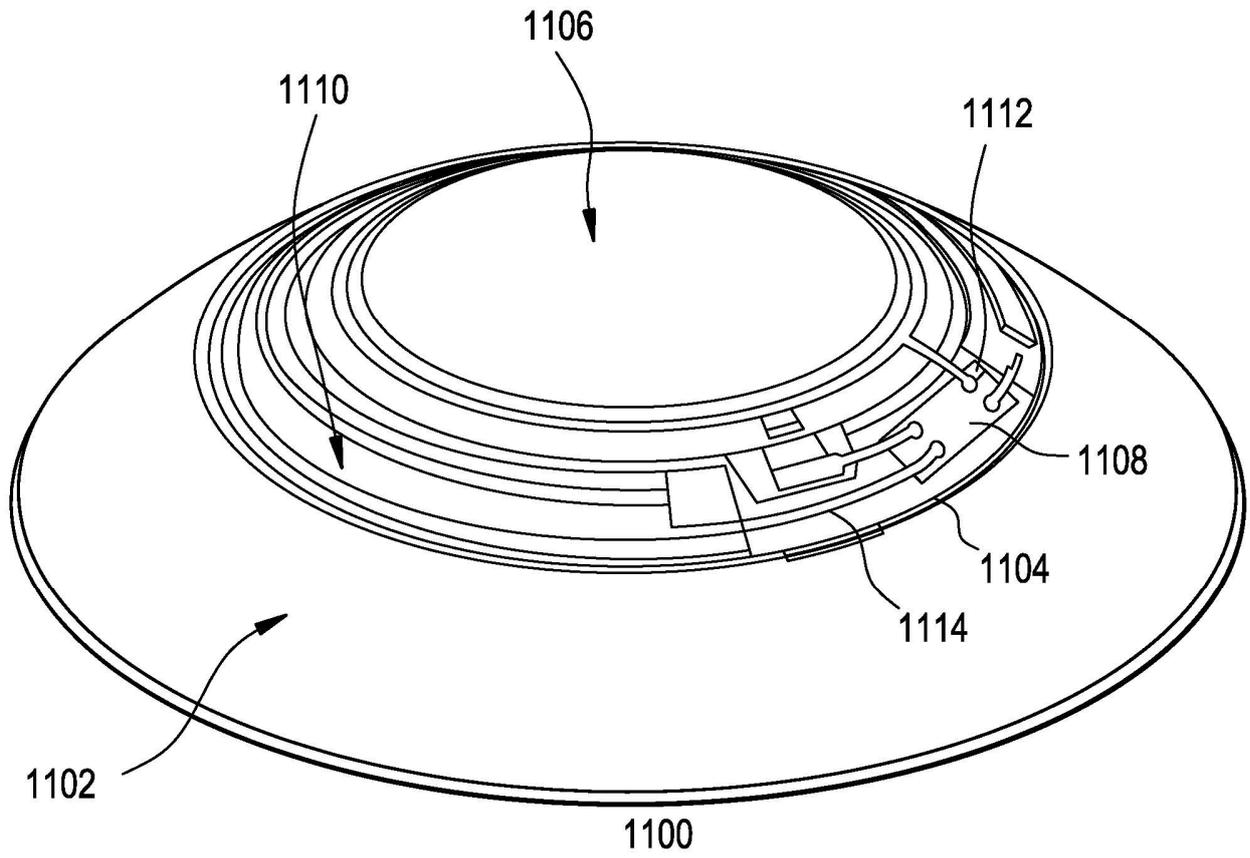


FIG. 12

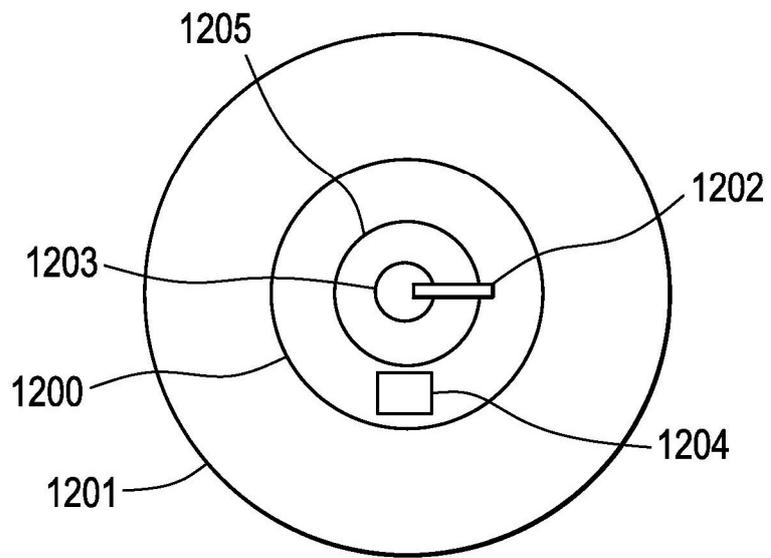


FIG. 13

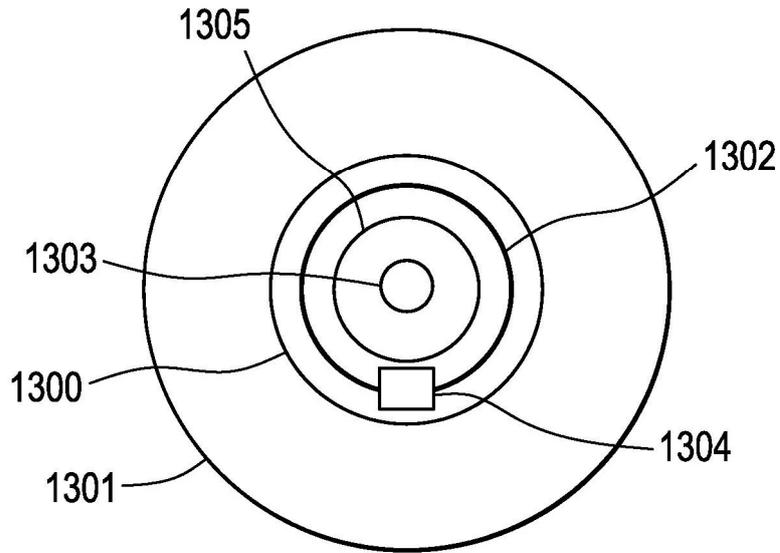


FIG. 14

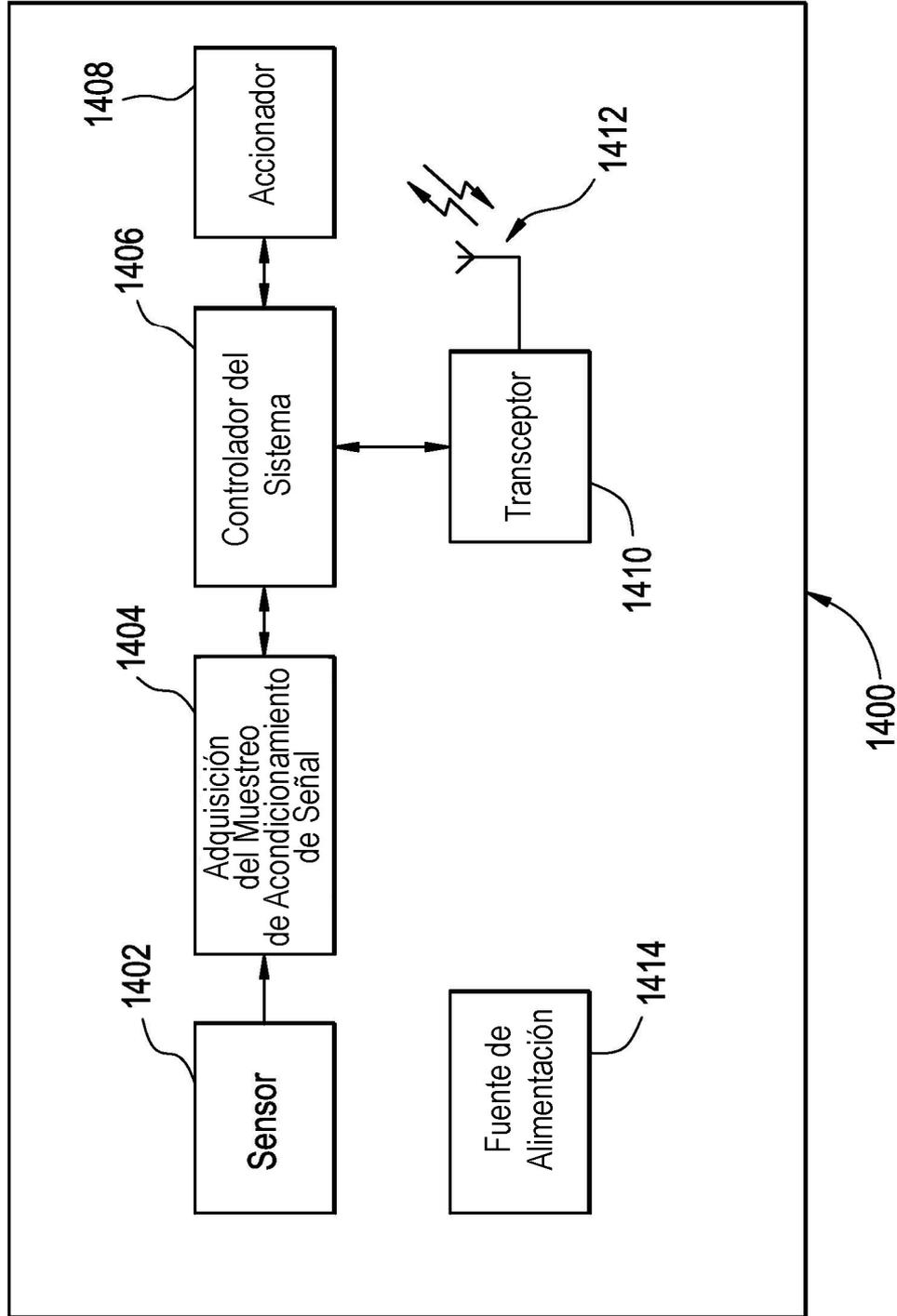


FIG. 15

