

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 814**

51 Int. Cl.:

**A61F 2/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.05.2017 PCT/US2017/031701**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2018 WO18004831**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2017 E 17724250 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 3474777**

54 Título: **Dispositivo intraocular con electrónica auxiliar acoplada de forma inalámbrica**

30 Prioridad:

**27.06.2016 US 201615194245**

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

**18.03.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BASINGER, BROOKE C.;  
AZAR, DIMITRI;  
EMKEN, JEREMY;  
RAM RAKHYANI, ANIL;  
JOHNSON, PATRICIA E.;  
OTTIS, DANIEL B. y  
PARK, SOHYUN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 812 814 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo intraocular con electrónica auxiliar acoplada de forma inalámbrica

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere en general a los dispositivos oftálmicos implantables y, en particular, se refiere a los componentes acoplados de forma inalámbrica de un dispositivo intraocular.

10 **Antecedentes**

La acomodación es un proceso por el cual el ojo ajusta su distancia focal para mantener el enfoque en objetos de distancia variable. La acomodación es una acción refleja, pero se puede manipular conscientemente. La acomodación es controlada por las contracciones del músculo ciliar. El músculo ciliar rodea el cristalino elástico del ojo y, cuando se contrae, alivia la tensión aplicada al cristalino a través de las zónulas, causando que el cristalino se relaje, cambie de forma, y de este modo, altere su poder óptico.

A medida que envejece un individuo, la acomodación se degrada debido a los cambios fisiológicos en el cristalino y en los tejidos circundantes. La presbicia es una pérdida progresiva relacionada con la edad de potencia acomodativa o de enfoque del ojo, lo que da como resultado un desenfoque aumentado a distancias cercanas. Esta pérdida de potencia acomodativa con la edad ha sido bien estudiada y es relativamente consistente y predecible. La presbicia afecta hoy en día a casi 1700 millones de personas en todo el mundo (110 millones solo en los Estados Unidos) y se espera que ese número crezca sustancialmente a medida que envejezca la población mundial.

Las tecnologías recientes han comenzado a proporcionar diversos dispositivos que funcionan en o sobre un ojo humano para ayudar al enfoque visual de un usuario. Los dispositivos destinados a ayudar a la acomodación pueden adoptar la forma de una lente intraocular (LIO), una lente de contacto, o implante corneal. Una lente acomodativa electroactiva en cualquiera de estas configuraciones puede incluir uno o más elementos y conjuntos de circuitos para aplicar una señal eléctrica para cambiar una potencia de enfoque del uno o más elementos. A medida que las sucesivas generaciones de conjuntos de circuitos integrados continúan disminuyendo en tamaño y consumo de energía, se espera que haya una mayor demanda de funcionalidades adicionales que se incorporen a los dispositivos médicos, tales como los implantes oftálmicos con capacidad de acomodación (u otros). El cumplimiento de esta demanda está restringido por el tamaño del ojo humano, que limita la cantidad de espacio disponible para que un dispositivo intraocular proporcione comunicación, un sensor, potencia y/u otra funcionalidad.

El documento WO 2015/138507 A1 propone un sistema de acomodación óptica para un ojo que incluye un conjunto de sensores y un conjunto óptico ajustable, en el que el conjunto óptico ajustable está configurado para ser implantado dentro o sobre el ojo, o configurado para ser dispuesto de forma adyacente o cerca del ojo.

40 **Breve descripción de los dibujos**

Se describen realizaciones no limitadas y no exhaustivas de la invención con referencia a las siguientes figuras, en las que los números de referencia similares se refieren a partes similares en las diversas vistas, a menos que se especifique lo contrario. No todos los casos de un elemento están necesariamente etiquetados para no desordenar los dibujos cuando sea apropiado. Los dibujos mostrados no son necesariamente a escala, por el contrario, se hace hincapié en ilustrar los principios que se están describiendo.

La FIG. 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de lentes oftálmicas de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 2A es una vista en planta ilustrativa de una electrónica auxiliar de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 2B es una vista en planta ilustrativa de una electrónica auxiliar de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 3A es una vista lateral ilustrativa de un dispositivo oftálmico implantado en un ojo de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 3B es una vista frontal ilustrativa del dispositivo oftálmico implantado en el ojo de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 4A es una ilustración en sección transversal de un ojo con un dispositivo oftálmico implantado que incluye estructuras acopladas de forma inalámbrica de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 4B es una vista en sección transversal de una porción de un ojo con una electrónica auxiliar implantable de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 4C es una vista en sección transversal de una porción de un ojo con una electrónica auxiliar implantable de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 5 es un método de ejemplo para transmitir de forma inalámbrica energía a partir de una electrónica auxiliar implantada a una LIOa implantada de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 6 es un método de ejemplo para transmitir de forma inalámbrica una información del sensor a partir de una

electrónica auxiliar implantada a una LIOa implantada de acuerdo con la presente divulgación.

### Descripción detallada

5 Las realizaciones descritas en el presente documento proporcionan de forma variada un dispositivo oftálmico implantable que incluye secciones acopladas de forma inalámbrica, tales como una lente intraocular y una electrónica auxiliar. En lugar de encerrar todos los componentes en el único recipiente, los dispositivos oftálmicos implantables de acuerdo con algunas realizaciones distribuyen los componentes de forma variada a través de múltiples secciones que se acoplan de forma inalámbrica entre sí. Dichas secciones pueden estar acopladas de forma inalámbrica entre sí a través de una o más antenas. Las secciones pueden, por ejemplo, disponerse en un material biocompatible. Las antenas pueden incluir, por ejemplo, conductores formados en bobinas helicoidales e incrustados en silicona de grado médico y/o circuitos flexibles fabricados con materiales biocompatibles. Al proporcionar un acoplamiento inalámbrico entre las secciones, cada sección puede ser implantada en una zona diferente del ojo basándose en la función respectiva de la sección y el espacio necesario para la implantación. Adicionalmente, al proporcionar dos o más secciones físicamente separadas, las incisiones realizadas para las respectivas secciones implantables pueden reducirse en un tamaño comparable a la incisión requerida para un dispositivo monolítico.

En el presente documento se describen ciertas características de diversas realizaciones con referencia a un dispositivo oftálmico que proporciona diferentes niveles de acomodación para ayudar a la visión con un ojo. Sin embargo, algunas realizaciones no se limitan a proporcionar una acomodación automática, y dicha descripción puede ampliarse para aplicarse adicional o alternativamente a cualquiera de los diversos dispositivos oftálmicos implantables. Por ejemplo, un dispositivo de acuerdo con otra realización puede proporcionar solo un nivel de acomodación. En otra realización, un dispositivo implantable incluye uno o más sensores para detectar una condición (p. ej., un nivel de presión intraocular) en o sobre el ojo - p. ej., además de, o en lugar, del dispositivo que ayuda a la visión por el ojo. En otra realización, un dispositivo implantable incluye ensayos químicos reversibles para evaluar las concentraciones de analitos.

Los dispositivos oftálmicos que se tratan en el presente documento pueden comprender múltiples porciones o segmentos, lo que en el presente documento se denomina "componentes", que se acoplan entre sí a través de una o más antenas, p. ej., se acoplan de forma inalámbrica. El acoplamiento inalámbrico puede permitir que los diferentes componentes se coloquen en diferentes ubicaciones del ojo, que, en última instancia, puede facilitar la cirugía para la colocación y/o el reemplazo de ambos. Cada componente puede ser al menos una estructura semirrígida que está encerrada en un material biocompatible. Tales componentes pueden incluir un conjunto de circuitos, óptica, uno o más sensores y/o similares. Un recinto puede sellar herméticamente algunos o todos esos componentes.

Un exterior de un dispositivo oftálmico de acuerdo con una realización puede incluir superficies respectivas de múltiples componentes. Dichas superficies pueden estar formadas por uno o más materiales biocompatibles que se adaptan a la implantación del dispositivo oftálmico en un ojo humano (u otro). Entre los ejemplos de algunos materiales biocompatibles que pueden utilizarse se incluyen, pero no se limitan a, cualquiera de los diversos hidrogeles biocompatibles, siliconas, acrílicos hidrófobos, polimetacrilatos fluorados y/o similares. En una realización, uno o más componentes incluyen un revestimiento de material biocompatible que, por ejemplo, es formado por la deposición de capa atómica. Dichos materiales pueden adaptarse a los utilizados en los dispositivos intraoculares existentes, por ejemplo.

En la descripción que figura a continuación, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de las realizaciones. Un experto en la materia pertinente reconocerá, sin embargo, que las técnicas descritas en el presente documento se pueden poner en práctica sin uno o más de los detalles específicos, o con otros métodos, componentes, materiales, etc. En otros casos, no se muestran ni se describen en detalle estructuras, materiales u operaciones bien conocidos para evitar que se compliquen ciertos aspectos.

La referencia a lo largo de la presente memoria descriptiva a "una realización" significa que un rasgo, estructura o característica particular descrito en realización con la realización está incluido en al menos una realización de la presente invención. De este modo, las apariciones de la expresión "en una realización" en diversos lugares a lo largo de la presente memoria descriptiva no se refieren todas necesariamente a la misma realización. Es más, los rasgos, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier forma adecuada en una o más realizaciones.

Las lentes intraoculares acomodativas (LIOas) disponibles hoy en día pueden ser accionadas mecánicamente. Por ejemplo, un componente mecánico de una LIOa puede ser accionado por los músculos del ojo y los tejidos conectados, tales como el músculo ciliar, procesos ciliares y bolsa ciliar, para hacer que la LIOa se acomode, p. ej., cambie el enfoque. Por ejemplo, el accionamiento puede hacer que una óptica de la LIOa ajuste una potencia óptica acorde con el cambio muscular de los músculos del ojo. La intención general de la LIOa es replicar el enfoque natural del ojo utilizando lentes implantadas. Estas LIOas accionadas mecánicamente, sin embargo, no replican bien el enfoque natural debido a la integridad comprometida del sistema mecánico natural del ojo, que puede limitar el nivel de acomodación proporcionado por la LIOa.

Las LIOas controladas electrónicamente, pueden proporcionar resultados de acomodación más consistentes entre los pacientes. Las LIOas controladas electrónicamente, sin embargo, requieren una fuente de energía para operar la electrónica y el accionamiento de la óptica, entre otras cosas. Si bien la integración de la fuente de energía y la LIOa puede ser deseada, el volumen del ojo disponible para la colocación de la LIOa y el tamaño de la incisión que puede ser tolerado en varias ubicaciones son limitados, lo que restringe el tamaño de la LIOa. Una LIOa de tamaño limitado puede, a su vez, limitar el tamaño de la batería y la duración de la batería. Aunque la electrónica y los accionadores pueden funcionar a baja potencia, la longevidad y el tamaño de la batería es motivo de preocupación. Si la longevidad de la batería es limitada, la batería puede requerir un reemplazo periódico, cada 5 o 10 años, por ejemplo. De esta manera, si la batería está integrada con la LIOa, entonces puede que sea necesario reemplazar la LIOa al completo con el fin de reemplazar la batería. Reemplazo, como se podría entender, requeriría una cirugía adicional, que puede implicar incisiones en zonas delicadas del ojo.

Las LIOas, en general, pueden estar ubicadas en la bolsa capsular, en la cámara anterior, o en el surco, por ejemplo, lo cual puede afectar a la ubicación de la fuente de energía. Una complicación adicional a la colocación de la fuente de energía puede deberse a la conexión requerida entre ella y la LIOa. Por ejemplo, si la conexión es física, p. ej., un cable, es posible que se necesiten incisiones adicionales y que la ubicación de la fuente de energía tenga que estar cerca de la LIOa. De esta manera, si la LIOa es implantada en la cámara anterior, entonces es posible que la fuente de energía también tenga que estar ubicada de manera similar, lo cual puede afectar negativamente el tamaño de la fuente de energía. De esta manera, la invasividad de la cirugía inicial y de una cirugía de reemplazo de baterías puede reducirse si al menos una fuente de energía para la LIOa está físicamente separada de la LIOa (p. ej., no unida por una conexión física), e implantada en una región más accesible del ojo.

Adicionalmente, para que la LIOa funcione como está previsto, también se puede implantar en el ojo un sensor o una red de sensores para determinar cuándo y cuánto acomodar. El sensor, que puede usar más energía que la otra electrónica de la LIOa en algunos casos, también puede afectar el tamaño de la fuente de energía. Una técnica para determinar cuándo y cuánto acomodar puede ser el uso de un sensor capaz de realizar electromiografía (EMG) en los músculos que controlan el enfoque, p. ej., el músculo ciliar. El sensor puede medir la EMG del ciliar, p. ej., EMG ciliar, para determinar la intención de acomodación de un paciente. La información de EMG ciliar puede estar correlacionada con un cambio de enfoque, que puede utilizarse para determinar la cantidad de acomodación que se aplicará a la óptica de la LIOa. La LIOa, debido a la ubicación del implante, puede que no tenga un simple acceso al músculo ciliar, que puede requerir que el sensor se coloque en una ubicación diferente a la de la LIOa.

Por consiguiente, frente a las restricciones anteriores, puede ser deseable que se implante una fuente de energía en una ubicación más fácilmente accesible del ojo, y en una ubicación que permita un implante de fuente de energía más grande. Además, para superar el motivo de preocupación por la interconexión entre la LIOa y la fuente de energía, la fuente de energía puede suministrar energía a la LIOa de forma inalámbrica. Como resultado, la LIOa puede estar cargada de forma inalámbrica, y puede omitirse la conexión física entre los dos. La fuente de energía también puede estar cargada de forma inalámbrica, tal como, por ejemplo, por un dispositivo de carga externa. Además, un sensor puede acompañar a la fuente de energía y proporcionar datos del sensor de forma inalámbrica a la LIOa. En un ejemplo, el sensor puede detectar la EMG del músculo ciliar para determinar la intención de acomodación de un ojo. Como alternativa o de manera adicional, el sensor también puede detectar y utilizar deformaciones, fuerzas, deflexiones en la LIOa o el tejido circundante para determinar la intención de acomodación de un ojo.

Proporcionando energía y datos de los sensores de forma inalámbrica a la LIOa, la combinación de una fuente de energía y un sensor, que puede denominarse en el presente documento "electrónica auxiliar", puede ser colocada en una zona del ojo capaz de sostener un implante más grande. En algunas realizaciones, el implante electrónico auxiliar puede estar anclado a, o parcialmente cubierto por la esclerótica. Debido a que la esclerótica puede acomodar un implante más grande que la cámara anterior, por ejemplo, el implante electrónico auxiliar puede ser de tamaño limitado, lo cual puede permitir una fuente de energía más grande. Una fuente de energía más grande, a su vez, puede permitir una mayor duración de la batería, que puede llevar a menos o ninguna cirugía de reemplazo. Adicionalmente, en caso de que la fuente de energía necesite ser reemplazada, la ubicación de la esclerótica puede hacer que la cirugía de reemplazo sea menos invasiva.

Procedimientos quirúrgicos similares a una trabeculectomía, que se realizan para aliviar la presión del ojo en pacientes con glaucoma, pueden utilizarse para implantar la fuente de energía/sensor en el ojo de un usuario. Por ejemplo, la electrónica auxiliar puede estar anclada a, o parcialmente implantada en la esclerótica. Por ejemplo, se puede crear un colgajo en la esclerótica (sin perforar la cámara anterior) y se puede colocar la electrónica auxiliar dentro del colgajo. Como alternativa o de manera adicional, la electrónica auxiliar puede estar anclada a la esclerótica utilizando lengüetas de anclaje. Localizar la fuente de energía en o sobre la esclerótica puede proporcionar varias ventajas, tales como ser accesible quirúrgicamente mediante un procedimiento conocido (p. ej., no se requieren nuevas técnicas quirúrgicas), es dispuesta de una zona razonablemente grande que está razonablemente cerca de la ubicación propuesta de la LIOa en la bolsa capsular o el surco, y ubicada muy cerca del cuerpo ciliar, proporcionando potencialmente una buena ubicación para monitorear la actividad ciliar como un medio para detectar la intención de acomodación de un paciente.

En general, la presente divulgación permite que las LIOas controladas electrónicamente tengan sus componentes ópticos y mecanismos de control, colocados en el camino óptico del ojo mientras que los componentes no ópticos más

voluminosos pueden ser colocados en una zona más accesible del ojo, tal como la esclerótica. Dicha colocación permite una cirugía de reemplazo de la fuente de energía menos invasiva. La colocación de la fuente de energía en la esclerótica también puede aumentar la cantidad de volumen disponible para la fuente de energía, que puede permitir una fuente de energía de mayor capacidad y un recinto hermético más robusto y tradicional. Adicionalmente, separar una fuente de energía principal de los componentes ópticos de la LIOa puede permitir tamaños de incisión más pequeños para la colocación de los componentes ópticos de la LIOa, que se realizan en regiones más delicadas del ojo. Asimismo, proporcionar acceso a la fuente de energía en la esclerótica puede simplificar la cirugía de reemplazo de la fuente de energía, y evita las complicaciones a causa de la cirugía intraocular, tales como las incisiones adicionales a través de la córnea, daño a la bolsa capsular, y movimiento de la LIOa, entre otras cosas.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema oftálmico 100 que incluye un componente auxiliar implantado, acoplado de forma inalámbrica de acuerdo con una realización de la presente divulgación. En la realización ilustrativa mostrada, el sistema 100 incluye un dispositivo oftálmico implantable 142 y un cargador externo 106. El dispositivo oftálmico implantable 142, que incluye una lente intraocular acomodativa (LIOa) 102 y electrónica auxiliar 104, puede acomodar la implantación en un ojo, humano o de otro tipo, y realizar la detección y la ayuda a la vista, p. ej., acomodación. La LIOa 102 y la electrónica auxiliar 104 pueden implantarse en diferentes ubicaciones de un ojo, mientras que el cargador externo 106 se ubica fuera del ojo. La LIOa 102, la electrónica auxiliar 104, y el cargador externo 106 pueden acoplarse de forma inalámbrica entre sí mediante una o más antenas incluidas en cada uno. El sistema 100 puede permitir la carga inalámbrica a través del acoplamiento inductivo, p. ej., carga inductiva, de la LIOa 102 y la electrónica auxiliar 104. Por ejemplo, la LIOa 102 puede ser cargada inductivamente por la electrónica auxiliar 104, que puede haber sido cargada inductivamente por el cargador externo 106. Adicionalmente, la LIOa 102 puede ser cargada inductivamente por el cargador externo 106.

La LIOa 102 puede ser capaz de ser implantada en una cámara anterior, cámara posterior, bolsa capsular, surco, u otra ubicación del ojo de un usuario. La LIOa 102 es una realización de ejemplo en la que los componentes (p. ej., incluyendo uno o más de los conjuntos de circuito, óptica, una batería, etc.) es dispuesta en un recinto 148 que está formado por un material biocompatible, que puede ser un recinto biocompatible. El material o materiales biocompatibles pueden sellar los componentes respectivos que es dispuesta en su interior, p. ej., para ofrecer protección al interior de un ojo en el que se va a implantar la LIOa 102. Algunos materiales del recinto pueden ser ópticamente transmisivos (p. ej., transparentes, claros, etc.), en una realización. Por ejemplo, parte o todo el material del recinto puede ser implementado como un recinto de silicio, o con cualquiera de los otros materiales herméticos. Por supuesto, pueden utilizarse otros materiales ópticamente transmisivos y biocompatibles. En algunas realizaciones, la LIOa 102 incluye una lógica de control 108, una antena 110, una alimentación eléctrica 112, y una óptica dinámica 114, todas o algunas de las cuales pueden ser dispuestas en una superficie de sustrato 144.

La óptica dinámica 114 puede ayudar a la visión del usuario que utiliza una o más lentes que incluyen mecanismos capaces de proporcionar acomodación. Algunos ejemplos de esos mecanismos son cristal líquido, fluidica, electrohumectación y/o similares. La óptica dinámica, que puede formar parte o estar incluida en el recinto 148, puede proporcionar una región de apertura alineada con la córnea del usuario que proporciona la acomodación. En algunas realizaciones, la óptica dinámica 114 puede proporcionar acomodación en respuesta a las señales de control proporcionadas por la lógica de control 108. En algunas realizaciones, las señales de control pueden originarse en la lógica de control 132 de la electrónica auxiliar 104. En cualquier realización, las señales de control pueden ser en respuesta a un intento de acomodación ocular detectado por el sensor 134 de la electrónica auxiliar 104.

La lógica de control 108, en respuesta a los datos de los sensores recibidos de la electrónica auxiliar 104, puede determinar un nuevo nivel de acomodación que será proporcionado por la óptica dinámica 114. El nuevo nivel de acomodación puede ser proporcionado a la óptica dinámica 114 a través de una conexión eléctrica alámbrica o inalámbrica. La lógica de control 108 puede incluir una lógica de circuito que coordina el funcionamiento de otros componentes de la LIOa 102, y puede implementarse como lógica de hardware (p. ej., circuito integrado de aplicación específica, matriz de puertas programables por campo, etc.), lógica de software/firmware ejecutada en un microcontrolador de uso general, o una combinación de ambos, lógica de hardware y software/firmware.

La alimentación eléctrica 112 puede implementarse utilizando varios dispositivos de almacenamiento de energía, incluyendo una batería recargable y/o elementos capacitivos, que pueden formar la batería 120. El conjunto de circuitos de carga 118, acoplado para proporcionar la carga de la batería 120, puede incluir un elemento de carga inductivo, tal como la antena de recolección de energía 116.

La alimentación eléctrica 112 incluye la batería 120 para alimentar los diversos aparatos electrónicos incorporados, incluyendo la lógica de control 108 y la óptica dinámica 114. La batería 120 puede cargarse inductivamente cargando el conjunto de circuitos 118 y la antena de recolección de energía 116. En una realización, la antena 110 y la antena de recolección de energía 116 son antenas independientes, que sirven para sus respectivas funciones de recolección de energía y comunicaciones. En otra realización, la antena de recolección de energía 116 y la antena 110 son las mismas antenas físicas que proporcionan las funciones respectivas de carga inductiva de tiempo compartido y comunicaciones inalámbricas con la electrónica auxiliar 104.

El conjunto circuitos de carga 118 puede incluir un rectificador/regulador para acondicionar la energía captada para

cargar la batería 120 o alimentar directamente la lógica de control 108 sin la batería 120. El conjunto de circuitos de carga 118 también puede incluir uno o más dispositivos de almacenamiento de energía para mitigar las variaciones de alta frecuencia en la antena de recolección de energía 116. Por ejemplo, uno o más dispositivos de almacenamiento de energía (p. ej., un condensador, un inductor, etc.) pueden ser conectados para funcionar como un filtro de paso bajo.

La electrónica auxiliar 104 también puede ser un dispositivo que se presta a ser implantado en el ojo de un usuario. La electrónica auxiliar 104 puede estar encerrada en el recinto 150, que puede ser un material biocompatible. La electrónica auxiliar 104 puede ser implantada en el ojo de un usuario junto con la LIOa 102, pero la ubicación del implante puede ser diferente. Por ejemplo, la LIOa 102 puede ser implantada en la cámara anterior o posterior, mientras que la electrónica auxiliar 104 puede ser (al menos parcialmente) implantada en o anclada a la esclerótica. Localizar la electrónica auxiliar 104 en la esclerótica puede proporcionar varios beneficios, tales como una cirugía menos invasiva si la electrónica auxiliar requiere ser reemplazada, una zona más grande que permite una fuente de energía más grande, que puede proporcionar una mayor duración de la batería, lo que conlleva a menos o ninguna cirugía de reemplazo. Adicionalmente, la ubicación de la esclerótica puede permitir un sensor, tal como el sensor 134, para detectar los intentos de acomodación de un ojo mediante la monitorización del músculo ciliar usando EMG, presión, temperatura, deformación u otros biomarcadores. La electrónica auxiliar 104 puede acoplarse de forma inalámbrica a la LIOa 102 a través del acoplamiento inalámbrico 136 para cargar inductivamente la batería 120 de la LIOa 102 y/o para transmitir de forma inalámbrica los datos relativos a los intentos de acomodación del usuario.

La realización ilustrada de la electrónica auxiliar 104 incluye una alimentación eléctrica 122, una lógica de control 132, una antena 130 y un sensor 134, todos o algunos de los cuales pueden ser dispuestos en una superficie de sustrato 146. La alimentación eléctrica 122 incluye una antena de recolección de energía 128, un conjunto de circuitos de carga 126, y células de almacenamiento de energía 124. La electrónica auxiliar 104 puede transmitir energía de forma inalámbrica a la batería 120 de la LIOa 102 mediante el acoplamiento inductivo de la antena de recolección de energía 128 con la antena de recolección de energía 116 de la LIOa 102. Adicionalmente, la electrónica auxiliar 104 puede transmitir de forma inalámbrica la información detectada por el sensor 134 a la LIOa 102 a través de la antena 130. La información detectada por el sensor puede incluir los intentos de acomodación realizados por el ojo en el que se implanta el dispositivo oftálmico 142.

La lógica de control 132 puede incluir una lógica de circuito que coordina el funcionamiento de otros componentes de la electrónica auxiliar 104, y puede implementarse como lógica de hardware (p. ej., circuito integrado de aplicación específica, matriz de puertas programables por campo, etc.), lógica de software/firmware ejecutada en un microcontrolador de uso general, o una combinación de ambos, lógica de hardware y software/firmware. La lógica de control 132 puede recibir la información procedente de EMG ciliar del sensor 134 y transmitir la información a la LIOa 102 a través de la antena 130, por ejemplo. Adicionalmente, la lógica de control 132 puede controlar la alimentación eléctrica 122 para hacer que la alimentación eléctrica 122 cargue inductivamente la batería 120 de la LIOa 102. Además, la lógica de control 132 puede incluir protocolos de comunicación que rigen la transmisión y recepción de información de la LIOa 102 a través de una o más de las antenas 130 y 128.

En la realización ilustrada de la alimentación eléctrica 122, las células de almacenamiento de energía 124 alimentan las diversas electrónicas incorporadas, incluyendo la lógica de control 132 y el sensor 134. Las células de almacenamiento de energía 124 pueden comprender una pluralidad de baterías o supercondensadores. Por ejemplo, las células de almacenamiento de energía 124 pueden ser una pluralidad de baterías de iones de litio o de polímeros de litio. Las células de almacenamiento de energía 124 pueden cargarse inductivamente cargando el conjunto de circuitos 126 y la antena de recolección de energía 128. Adicionalmente, las células de almacenamiento de energía 124 pueden proporcionar energía para la carga de la batería 120 de LIOa 102 a través de un acoplamiento inductivo. Por ejemplo, las antenas de recolección de energía 128 y 116 pueden acoplarse inductivamente para que la carga de las células de almacenamiento de energía 124 pueda transmitirse de forma inalámbrica a la batería 120. Periódicamente o en momentos de necesidad, p. ej., la batería 120 tiene poca energía, la lógica de control 108 puede iniciar la carga de la batería 120 transmitiendo una señal que lo indique a la lógica de control 132. En respuesta, la lógica de control 132 puede ordenar a la alimentación eléctrica 122 que cargue la batería 120 de forma inalámbrica a través de un acoplamiento inductivo.

En una realización, la antena 130 y la antena de recolección de energía 128 son antenas independientes, que sirven para sus respectivas funciones de recolección de energía y comunicaciones. En otra realización, la antena de recolección de energía 128 y la antena 130 son las mismas antenas físicas que son de tiempo compartido para sus respectivas funciones de carga inductiva y comunicaciones inalámbricas con LIOa 102. De forma adicional o como alternativa, la alimentación eléctrica 122 puede incluir una célula solar ("célula fotovoltaica") para capturar la energía de la radiación ultravioleta, visible y/o infrarroja entrante. Es más, se puede incluir un sistema de depuración de potencia inercial para capturar la energía de las vibraciones ambientales.

El conjunto de circuitos de carga 126 puede incluir un rectificador/regulador para acondicionar la energía captada para cargar las células de almacenamiento de energía 124 o alimentar directamente la lógica de control 132 sin las células de almacenamiento de energía 124. El conjunto de circuitos de carga 126 también puede incluir uno o más dispositivos de almacenamiento de energía para mitigar las variaciones de alta frecuencia en la antena de recolección de energía

128. Por ejemplo, uno o más dispositivos de almacenamiento de energía (p. ej., un condensador, un inductor, etc.) pueden conectarse para funcionar como un filtro de paso bajo.

5 El sensor 134 puede detectar actividad ciliar para determinar cuándo el ojo de un usuario está intentando acomodarse y en qué medida. La información de la actividad ciliar detectada por el sensor 134 puede ser proporcionada a la lógica de control 132. En algunas realizaciones, la lógica de control 132 proporciona la información de la actividad ciliar a la lógica de control 108 de la LIOa 102 a través de la antena 130. La lógica de control 108 puede determinar una cantidad de acomodación basada en la información ciliar y hacer que la óptica dinámica 114 responda en consecuencia. En dicha realización, la correlación de la información de la actividad ciliar con una cantidad de acomodación es realizada por la lógica de control 108 de la LIOa 102. En algunas realizaciones, la correlación de la información de EMG ciliar con una cantidad de acomodación puede ser realizada por la lógica de control 132, y la cantidad de acomodación es transmitida a la LIOa 102 por la lógica de control 132.

15 Como alternativa o de manera adicional, el sensor 134 puede monitorear el movimiento de la bolsa capsular. La cantidad, o movimiento relativo de la bolsa capsular puede ser detectado por el sensor 134, que puede ser proporcionado a la lógica de control 132. La lógica de control 132 puede convertir el movimiento detectado de la bolsa capsular en una cantidad de intento de acomodación, o el movimiento detectado, o un valor indicativo del movimiento detectado, puede transmitirse a la lógica de control 108 para su conversión. La cantidad de acomodación puede entonces ser proporcionada a la óptica dinámica 114.

20 El cargador externo 106 puede ser una antena de cuadro, p. ej., una antena de transmisión de energía, para cargar inductivamente la electrónica auxiliar 104 y/o la LIOa 102 a través de las conexiones 140 y 138, respectivamente. En algunas realizaciones, el cargador externo puede estar incluido en una montura de gafas que un paciente puede usar cómodamente mientras carga la electrónica auxiliar 104 y/o la LIOa 102. En algunas realizaciones, el cargador externo 25 106 puede ser una varilla que el usuario coloca en proximidad cercana de su ojo para cargar inductivamente la electrónica auxiliar 104 y/o la LIOa 102.

30 En funcionamiento, la LIOa 102 puede proporcionar acomodación a un usuario a través de la óptica dinámica 114. La LIOa 102, como se ha comentado, puede funcionar normalmente con la energía almacenada en la batería 120. De manera ocasional o periódica, sin embargo, la batería 120 puede ser recargada, en cuyo caso, puede producirse una carga inductiva de la batería 120 por la electrónica auxiliar 104. La carga inductiva puede ocurrir basándose en un programa y/o basándose en la necesidad. Por ejemplo, la batería 120 puede ser cargada una o dos veces al día. De forma adicional o como alternativa, la batería 120 puede cargarse al inicio de la lógica 108 si la energía almacenada en la batería 120 cae por debajo de un umbral mínimo.

35 Cabe señalar que el diagrama de bloques que se muestra en la FIG. 1 se describe en relación con los módulos funcionales para comodidad de descripción, pero no necesariamente connota organización física. Por el contrario, las realizaciones del dispositivo 142 pueden disponerse con uno o más de los módulos funcionales ("subsistemas") implementados en una sola pastilla, múltiples pastillas, en uno o más circuitos integrados, o de otra manera.

40 La Figura 2A es una vista en planta ilustrativa de una electrónica auxiliar 200 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La electrónica auxiliar 200 puede ser un ejemplo de la electrónica auxiliar 104. La electrónica auxiliar 200 puede ser capaz de implantarse en un ojo. Por ejemplo, la electrónica auxiliar 200 puede ser al menos parcialmente implantada en y/o anclada a la esclerótica del ojo de un usuario. La electrónica auxiliar 200 puede al menos cargar inductivamente una batería de un dispositivo oftálmico implantado adjunto (no se muestra), tal como una lente intraocular. De forma adicional o como alternativa, la electrónica auxiliar 200 puede incluir un sensor capaz de detectar actividad del músculo ciliar a través de EMG y proporcionar de forma inalámbrica la información de la actividad ciliar al dispositivo oftálmico implantado adjunto. Si bien la información de la actividad ciliar se comenta en el presente documento, otros datos relativos a los ojos pueden ser recopilados por varios sensores y proporcionados al dispositivo oftálmico adjunto. En la realización ilustrativa de la Figura 2A, la electrónica auxiliar 200 incluye un sustrato 202, una antena 204, y un recinto 206 que encapsula el sustrato 202 y la antena 204.

50 El recinto 206 puede estar formado por un material biocompatible que permite la implantación en un ojo. En algunas realizaciones, el recinto 206 puede sellar herméticamente la antena 204 y el sustrato 202. Por ejemplo, el recinto 206 puede ser una cerámica biocompatible. Otros materiales biocompatibles, tales como el hidrogel biocompatible, silicona, acrílico hidrófobo, polimetacrilato fluorado y/o similares, también se pueden usar para formar el recinto 206. Si bien hay muchos materiales biocompatibles que pueden ser utilizados para implementar el recinto 206, el material biocompatible es un aspecto no limitante de la presente divulgación y se puede utilizar cualquier material biocompatible.

60 La antena 204 puede formarse en un círculo a partir de una o más bobinas helicoidales. En general, la antena 204 puede ser una antena de cuadro de cualquier forma, tal como circular, ovalada, etc. La antena 204 puede ser un conductor formado en un bucle helicoidal y capaz de acoplarse inductivamente a una o más antenas. En algunas realizaciones, la antena 204 puede formarse a partir de un cable con forma de una o más bobinas helicoidales, en el que el cable puede ser un metal, p. ej., oro, plata, aluminio, etc., o un conductor transparente o semitransparente, p. ej., óxido de indio y estaño. Si bien que la antena 204 se muestra como dispuesta fuera del sustrato 202, la antena

204 puede disponerse en una superficie del sustrato 202, tal como una superficie trasera o frontal. En algunas realizaciones, la electrónica auxiliar 200 puede incluir dos antenas físicamente separadas, con una antena que se encarga de la recolección y transmisión de energía y la otra que se encarga de la transmisión y recepción de datos. Por ejemplo, la antena 204 puede incluir dos antenas, una de las cuales es similar a la antena de recolección de energía 128 y la otra es similar a la antena 130 de la electrónica auxiliar 104 de la Figura 1.

El sustrato 202 incluye una o más superficies adecuadas para el montaje de los circuitos lógicos, fuentes de alimentación, antena(s), y un sensor. Por ejemplo, el sustrato 202 puede utilizarse para el sustrato 146 de la Figura 1. El sustrato 202 puede ser empleado tanto como plataforma de montaje para circuitos basados en pastillas (p. ej., mediante el montaje invertido de pastillas) y/o como plataforma para el patrón de materiales conductores (p. ej., oro, platino, paladio, titanio, cobre, aluminio, plata, metales, otros materiales conductores, combinaciones de estos, etc.) para crear electrodos, interconexiones, antenas, etc. En algunas realizaciones, los materiales conductores sustancialmente transparentes (p. ej., óxido de indio y estaño) pueden tener un patrón en el sustrato 202 para formar un conjunto de circuitos, electrodos, etc. Por ejemplo, la antena 204 puede formarse depositando un patrón de oro u otro material conductor en el sustrato 204. De manera similar, las interconexiones entre los diversos circuitos incluidos en el sustrato 202 pueden formarse depositando en él patrones adecuados de materiales conductores. Una combinación de resistencias, máscaras, y técnicas de deposición pueden emplearse para modelar materiales en el sustrato 202. El sustrato 202 puede ser un material relativamente rígido, tal como el tereftalato de polietileno ("PET") u otro material suficiente para soportar estructuralmente el conjunto de circuitos y/o la electrónica dentro del recinto 206. El recinto 206 puede incluir alternativamente una disposición de múltiples sustratos en lugar de un solo sustrato. Por ejemplo, la lógica de control 132 y la alimentación eléctrica 122 pueden ser montadas en un sustrato, mientras que la antena 204 y el sensor 134 están montados en otro sustrato y los dos pueden estar conectados eléctricamente a través de interconexiones.

Debido a que la electrónica auxiliar 200 está destinada a ser implantada en un ojo, el tamaño, p. ej., volumen y área, de la electrónica auxiliar 200 puede restringirse. Sin embargo, debido a que la electrónica auxiliar 200 está acoplada de forma inalámbrica con un dispositivo oftálmico adjunto, puede haber más flexibilidad en cuanto a su ubicación y, por lo tanto, a su tamaño. Por ejemplo, si la electrónica auxiliar 200 es implantada en o anclada a la esclerótica, un tamaño máximo de la electrónica auxiliar 200 puede ser mayor que si se implantara en la cámara anterior, por ejemplo. Un ejemplo de intervalo de tamaños para la electrónica auxiliar 200, que puede ser influenciado por la disposición de la antena, puede ser de  $5,0 \times 5,0 \times 0,4 \text{ mm}^3$  a  $5,6 \times 5,6 \times 0,8 \text{ mm}^3$ . El recinto 206 puede tener un espesor de alrededor de 0,1 mm, por ejemplo. Aunque la vida de las baterías también es motivo de preocupación, el tamaño total de la electrónica auxiliar 200 puede permitir células de almacenamiento de energía más grandes o más numerosas, que pueden en combinación extender la vida de una batería incluida en la electrónica auxiliar 200. En algunas realizaciones, las células de almacenamiento de energía pueden consumir entre un 25 y un 50 % del volumen de la fuente de energía 200.

La Figura 2B es una vista en planta ilustrativa de una electrónica auxiliar 250 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La electrónica auxiliar 250 incluye características similares a la electrónica auxiliar 200, tal como un sustrato 252, una antena 254 y el material de encapsulado 256. De esta manera, no se repetirá una discusión detallada de las características similares en aras de la brevedad. Aunque la electrónica auxiliar 250 y 200 se parecen de varias maneras, la antena 254 se muestra en forma ovalada, en lugar de la forma circular de la antena 204. Debido a que un ancho de la electrónica auxiliar 250 puede ser más estrecho que un ancho de la electrónica auxiliar 200 debido a la forma ovalada de la antena 254, se puede realizar una incisión más pequeña en un ojo con el fin de implantar la electrónica auxiliar 250 que la necesaria para implantar la electrónica auxiliar 200.

En algunas realizaciones, la electrónica auxiliar 200 y 250 puede ser plegable. La plegabilidad puede permitir a un cirujano hacer una incisión aún más pequeña para implantar la fuente de energía en el ojo. Después de que la fuente de energía se inserte a través de la incisión, la fuente de energía puede desplegarse antes de implantarse en o anclarse en la esclerótica, por ejemplo.

La Figura 3A es una vista lateral de ejemplo de un dispositivo oftálmico 300 implantado en un ojo 314 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El dispositivo oftálmico puede ser una implantación de ejemplo del dispositivo oftálmico 142 de la Figura 1. El dispositivo oftálmico 300 puede incluir una LIOa 304 y la electrónica auxiliar 302, que puede ser implantada en diferentes ubicaciones del ojo 314. La LIOa 304 y la electrónica auxiliar 302 pueden acoplarse de forma inalámbrica para la transmisión y recepción de energía y datos, por ejemplo.

La LIOa 304 puede ser implantada en la cámara anterior, cámara posterior, surco de un ojo, etc., y puede utilizarse para proporcionar acomodación a un usuario. La LIOa 304 puede implantarse con un eje óptico normal a y en paralelo con un eje visual del ojo. Por ejemplo, una óptica dinámica de la LIOa 304 (no se muestra), puede encontrarse en el eje visual del ojo 314.

La electrónica auxiliar 302 puede estar implantada en, o parcialmente en, la esclerótica. La implantación de la electrónica auxiliar 302 en la esclerótica puede causar que la electrónica auxiliar 302 esté en un ángulo con respecto a la LIOa 304. El ángulo respectivo puede ser de 48 a 52 grados, en algunas realizaciones. La electrónica auxiliar 302 también puede ser desplazada lateralmente (en la dirección x como se muestra en la Figura 3A) de la LIOa 304. El

desplazamiento lateral puede variar de 0 a 4 mm, en algunas realizaciones. El ángulo respectivo y el desplazamiento lateral entre la LIOa 304 y la electrónica auxiliar 302 pueden afectar la conversión de energía de la transferencia de energía inductiva de la electrónica auxiliar 302 a la LIOa 304, en algunas realizaciones.

5 La FIG. 3B es una vista frontal ilustrativa del dispositivo oftálmico 300 implantado en el ojo 314 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La vista frontal del dispositivo oftálmico 300 muestra los diversos componentes que pueden ser incluidos en la electrónica auxiliar 302 y la LIOa 304. La electrónica auxiliar 302, por ejemplo, puede ser una implementación de la electrónica auxiliar 104, 200 o 250. Además, la LIOa 304 puede ser una implementación de la LIOa 102.

10 La realización ilustrativa de la electrónica auxiliar 302 incluye un sustrato 312, una o más antenas 310, y un recinto 316. El sustrato 312 puede incluir una o más superficies para disponer la electrónica sobre él, tal como la lógica de control, un sensor, y una alimentación eléctrica. En algunas realizaciones, la una o más antenas 310 pueden ser dispuestas en el sustrato 312. La una o más antenas 310 pueden permitir el acoplamiento inalámbrico entre la electrónica auxiliar 302 y la LIOa 304. El acoplamiento inalámbrico puede incluir tanto la transmisión y recepción de datos, como la carga inductiva de una o más baterías, por ejemplo. El recinto 316 puede ser un material biocompatible que es inerte con respecto al ojo, y puede ser (parcialmente) deformable o rígido. En algunas realizaciones, el recinto 316 puede ser una cerámica biocompatible que sella herméticamente la una o más antenas 310 y el sustrato 312.

15 Similar a la LIOa 102, el ejemplo ilustrativo de la LIOa 304 incluye un sustrato 308, una o más antenas 306, y un recinto 318. La una o más antenas 306 pueden ser sustancialmente similares a la una o más antenas 310, y pueden acoplar de forma inalámbrica la electrónica auxiliar 302 y la LIOa 304. El recinto 318 puede ser transmisor, p. ej., sustancialmente transparente, para que el usuario pueda ver a través de él puesto que la LIOa 304 puede estar en el eje visual del ojo. Además, el sustrato 308 puede incluir una óptica dinámica, una lógica de control, y una alimentación eléctrica. Puesto que la óptica dinámica proporciona acomodación para el usuario, la óptica dinámica puede estar ubicada centralmente en el sustrato 308, y puede incluir accionadores para proporcionar la acomodación. La lógica de control y la alimentación eléctrica pueden estar ubicadas en un borde del sustrato 308, por ejemplo, para no interferir con la visión de un usuario.

20 El ángulo relativo y el desplazamiento lateral entre la electrónica auxiliar 302 y la LIOa 304 pueden deberse a varios factores del ojo. Por ejemplo, colocar la electrónica auxiliar 302 en o sobre la esclerótica puede causar el ángulo relativo y el desplazamiento lateral con respecto a la LIOa 304. Adicionalmente, el tamaño y la forma del ojo de un usuario pueden afectar el ángulo y el desplazamiento lateral entre la LIOa 304 y la electrónica auxiliar 302. De esta manera, el desplazamiento lateral y el ángulo relativo entre los componentes del dispositivo oftálmico 300 pueden variar de un usuario a otro. En algunas realizaciones, el ángulo relativo y el desplazamiento lateral pueden afectar la eficiencia de la conversión energética, que puede cambiar de un usuario a otro. En algunas realizaciones, la variable en la conversión energética puede afectar el número de veces o el tiempo transcurrido para que una batería de LIOa 304 pueda ser cargada inductivamente por la electrónica auxiliar 302.

25 Mientras que tanto el ángulo relativo como el desplazamiento lateral pueden afectar la eficiencia de la conversión, una disminución de la eficiencia debido al desplazamiento lateral puede ser contrarrestada por el ángulo relativo. Sin embargo, en general, cuanto más pequeño sea el ángulo relativo, mayor es la eficiencia de conversión de energía. Por ejemplo, con un desplazamiento lateral de 2 mm y un ángulo relativo de 48 grados, la eficiencia de conversión de energía utilizando una antena circular de recolección de energía puede ser mayor del 20 %.

30 La FIG. 4A es una ilustración en sección transversal de un ojo 406 con un dispositivo oftálmico 400 implantado que incluye estructuras acopladas de forma inalámbrica de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El dispositivo oftálmico 400 puede incluir algunas o todas las características del dispositivo 142, por ejemplo. En la realización ilustrativa mostrada, el dispositivo 400 incluye una LIOa 404 acoplada de forma inalámbrica a la electrónica auxiliar 402. La disposición particular de la LIOa 404 y de la electrónica auxiliar 402 en relación con la otra es meramente ilustrativa, y no limita algunas de las realizaciones. La LIOa 404 se ilustra como implantada dentro de la cámara posterior 408 detrás del iris 410. Sin embargo, la LIOa 404 puede ser implantada en otras ubicaciones, también, tal como la cámara anterior 412 dispuesta entre el iris 410 y la córnea 414.

35 La electrónica auxiliar 402 se ilustra para ser implantada en la esclerótica 416. En algunas realizaciones, la electrónica auxiliar 402 puede ser al menos parcialmente implantada en la esclerótica bajo un colgajo formado en la esclerótica, tal y como se muestra en la Figura 4B. Adicionalmente, la electrónica auxiliar 402 puede ser posicionada cerca del músculo ciliar 418 de manera que un sensor incluido pueda detectar cambios musculares por el ciliar que indican intentos de acomodación. La ilustración de la sección transversal del implante en la esclerótica de la electrónica auxiliar 402 se muestra en la Figura 4B de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La ilustración de la Figura 4B muestra la electrónica auxiliar 402 colocada bajo un colgajo 420 formado en la esclerótica 416. Debido a que la esclerótica es delgada, p. ej., alrededor de 2 mm de espesor, la formación del colgajo puede ser un procedimiento delicado y puede no encerrar completamente la electrónica auxiliar 402. De esta manera, una técnica alternativa, o adicional, puede utilizarse para anclar la electrónica auxiliar 402 a la esclerótica 416 utilizando una o más lengüetas 422.

La Figura 4C es una vista frontal ilustrativa de la electrónica auxiliar 402 anclada a la esclerótica 416 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La electrónica auxiliar 402 puede tener una o más lengüetas 422 formadas en o como parte de un recinto. Una o más lengüetas 422 pueden ser insertadas en la esclerótica 416 para anclar la fuente de energía. La electrónica auxiliar 402 puede ser mantenida de forma estable en su lugar por una o más lengüetas 422. El anclaje de la electrónica auxiliar 402 por las lengüetas 422 puede aliviar la necesidad de formar el colgajo 420 en la esclerótica 416, por ejemplo. Adicionalmente, sin embargo, implantar la electrónica auxiliar 402 puede incluir tanto el colgajo 420 como la una o más lengüetas 422.

La Figura 5 es un método de ejemplo 500 para transmitir de forma inalámbrica energía a partir de una electrónica auxiliar implantada a una LIOa implantada de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El método 500 puede implementarse, por ejemplo, por el sistema oftálmico 100. En dicho ejemplo, la LIOa 102 y la electrónica auxiliar 104 pueden implantarse en diferentes ubicaciones del ojo de un usuario, y los dos componentes del sistema pueden ser capaces de acoplarse de forma inalámbrica para que la electrónica auxiliar pueda cargar inductivamente una batería de la LIOa 102. En algunas realizaciones, la electrónica auxiliar 104 puede ser implantada en o anclada a la esclerótica del ojo de un usuario, mientras que la LIOa 102 puede ser implantada en la cámara anterior, en la cámara posterior, o en la bolsa capsular del mismo ojo.

El método 500 puede comenzar en el bloque 502 con la transmisión inalámbrica de energía por un cargador externo. El cargador externo 106 puede ser una antena de cuadro de ejemplo. En general, el cargador externo puede ser externo al ojo del usuario, y colocado en la proximidad del ojo del usuario para efectuar la transmisión inalámbrica de energía. El bloque 502 puede ser seguido por el bloque 504, que incluye recibir energía transmitida de forma inalámbrica por la electrónica auxiliar para cargar una célula de almacenamiento de energía de la electrónica auxiliar. La electrónica auxiliar puede cargar una o más células de almacenamiento de energía incluidas en su interior utilizando la energía transmitida de forma inalámbrica por el cargador externo. La electrónica auxiliar y el cargador externo pueden utilizar un acoplamiento inductivo para implementar la carga inalámbrica. Por ejemplo, una antena del cargador externo puede ser acoplada inductivamente a una antena de la electrónica auxiliar.

El bloque 504 puede ser seguido por el bloque 506, que incluye transmitir de forma inalámbrica energía por la electrónica auxiliar. La electrónica auxiliar puede incluir una antena para transmitir la energía de forma inalámbrica, que puede ser la misma antena utilizada para recibir la energía del cargador externo, y la lente intraocular acomodativa puede incluir una antena para recibir la energía. En algunas realizaciones, la energía transmitida por la electrónica auxiliar puede ser energía almacenada en una célula de almacenamiento de energía de la electrónica auxiliar. El bloque 509 puede ser seguido por el bloque 508, que incluye recibir la energía transmitida de forma inalámbrica por una lente intraocular acomodativa (LIOa). La electrónica auxiliar y la LIOa, como se ha comentado, pueden ser susceptibles de implantación en un ojo, y pueden implantarse en el mismo ojo del usuario. Por ejemplo, tanto la electrónica auxiliar como la LIOa pueden estar encerradas en un material biocompatible, y la electrónica auxiliar puede ser implantada en, o al menos anclada a, la esclerótica del ojo del usuario, con la LIOa implantada en algún lugar del camino óptico del ojo para ayudar a la vista.

Por último, el bloque 508 puede ser seguido por el bloque 510, que incluye cargar una batería incluida en la lente intraocular acomodativa con la energía transmitida de forma inalámbrica. La carga de la batería puede realizarse con la ayuda del conjunto de circuitos de control de carga, tal como el conjunto de circuitos de carga 118. La batería puede ser cargada periódicamente para asegurar que la batería de la lente intraocular acomodativa sea capaz de alimentar la electrónica y una óptica dinámica incluida en su interior, por ejemplo.

El orden en que algunos o todos los bloques de procedimiento aparecen en el método 500 no debe considerarse limitante. Por el contrario, un experto en la materia que tiene el beneficio de la presente divulgación comprenderá que algunos de los bloques de procedimiento pueden ser ejecutados en varias órdenes no ilustradas, o incluso en paralelo. Por ejemplo, los bloques 502 y 504 pueden realizarse en paralelo con la realización de los bloques 506-510. Adicionalmente, algunos de los bloques pueden ser opcionales. Por ejemplo, los bloques 502 y 504 pueden incluirse opcionalmente en el método 500.

La Figura 6 es un método de ejemplo 600 para transmitir de forma inalámbrica una información del sensor a partir de una electrónica auxiliar implantada en una LIOa implantada de acuerdo con la presente divulgación. El método 600 puede implementarse, por ejemplo, por el sistema oftálmico 100. Similar al método 500, el método 600 puede ser implementado por la LIOa 102 y la electrónica auxiliar 104, que puede implementarse en diferentes regiones del ojo de un usuario.

El método 600 puede comenzar en el bloque 602 con la detección de un intento de acomodación por un sensor incluido en la electrónica auxiliar. La electrónica auxiliar, por ejemplo, puede implantarse en o anclarse a una esclerótica del ojo del usuario, e incluye un sensor para detectar los intentos de acomodación del ojo del usuario. El sensor, que puede ser el sensor 134, puede detectar movimientos del cilial o de la bolsa capsular, por ejemplo. Los movimientos pueden estar relacionados con una cantidad de acomodación. En algunas realizaciones, los movimientos detectados pueden ser convertidos en una cantidad correspondiente de acomodación por la electrónica auxiliar. El bloque 602 puede ser seguido por el bloque 604, que incluye transmitir de forma inalámbrica el intento de acomodación detectado por la electrónica auxiliar. La transmisión inalámbrica puede incluir los movimientos detectados (reales o relativos), los

movimientos detectados convertidos, o ambos.

5 El bloque 604 puede ser seguido por el bloque 606, que incluye recibir el intento de acomodación detectado transmitido de forma inalámbrica por una lente intraocular acomodativa (LIOa). La lente intraocular acomodativa puede recibir el intento detectado, ya sea detectado o ya convertido en una cantidad de acomodación. Si se reciben los movimientos detectados, la lógica de control de la LIOa, tal como la lógica de control 108, puede convertir la cantidad o la cantidad relativa de movimiento detectado en una cantidad correlacionada de acomodación, que puede determinar la cantidad de potencia óptica a ajustar. El bloque 606 puede ser seguido por el bloque 608, que puede incluir ajustar una óptica incluida en la lente intraocular acomodativa en respuesta al intento de acomodación detectado. Por ejemplo, la lógica de control 108 de la LIOa 102 puede proporcionar señales de control a la óptica dinámica 114 para hacer que la óptica dinámica 114 ajuste una potencia óptica con el fin de proporcionar la cantidad de acomodación detectada.

15 El orden en que algunos o todos los bloques de procedimiento aparecen en el método 600 no debe considerarse limitante. Por el contrario, un experto en la materia que tiene el beneficio de la presente divulgación comprenderá que algunos de los bloques de procedimiento pueden ser ejecutados en varias órdenes no ilustradas, o incluso en paralelo.

20 La descripción anterior de las realizaciones ilustradas de la invención, incluyendo lo que se describe en el Resumen, no pretende ser exhaustiva o limitar la invención a las formas precisas desveladas. Mientras que las realizaciones específicas de, y los ejemplos para, la invención se describen en el presente documento con fines ilustrativos, varias modificaciones son posibles dentro del ámbito de la invención, como un experto en la materia pertinente reconocerá. Estas modificaciones pueden realizarse en la invención a tenor de la descripción detallada anterior. Los términos utilizados en las siguientes reivindicaciones no deben interpretarse en el sentido de que limitan la invención a las realizaciones específicas desveladas en la memoria descriptiva. Por el contrario, el alcance de la invención se determinará completamente por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema oftálmico (100), que comprende:
  - 5 una lente intraocular (102) para ayudar a un ojo en materia de acomodación, incluyendo la lente intraocular (102) una primera antena (110), acoplada a una alimentación eléctrica (112); y una electrónica auxiliar (104), físicamente separada de la lente intraocular (102), **caracterizado por que** las electrónicas auxiliares están dispuestas dentro de un recinto biocompatible (150), adaptado para su implantación en el ojo o cerca del mismo, incluyendo la electrónica auxiliar (104) una segunda
    - 10 antena (130), acoplada a una célula de almacenamiento de energía (124), la segunda antena (130) para un acoplamiento de forma inalámbrica a la primera antena (110) con el fin de cargar inductivamente la alimentación eléctrica (112) de la lente intraocular (102).
  2. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 1, en el que la alimentación eléctrica (112) comprende una batería
    - 15 120.
  3. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, en el que la electrónica auxiliar (104) comprende, además:
    - 20 un sensor (134) para detectar el intento de acomodación del ojo; y una lógica de control (132), acoplada eléctricamente al sensor (134) y a la segunda antena (130), la lógica de control (132) para transmitir de forma inalámbrica la detección del intento de acomodación del ojo a la lente intraocular (102).
  4. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 3, en el que la detección del intento de acomodación del ojo se
    - 25 transmite a la lente intraocular (102) con la segunda antena (130), y en donde la lente intraocular (102) recibe la detección del intento de acomodación del ojo con la primera antena (110), o en donde la electrónica auxiliar comprende además una tercera antena, en donde la segunda lógica de control transmite de forma inalámbrica el intento de acomodación detectado con la tercera antena.
  5. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, que comprende además un cargador externo (106), que comprende
    - 30 una antena de transmisión de energía para transmitir de forma inalámbrica energía eléctrica a la electrónica auxiliar (104) a través de un acoplamiento inductivo entre la antena de transmisión de energía y la segunda antena (130).
  6. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 5, en el que el cargador externo (106) transmite de forma inalámbrica
    - 35 energía eléctrica a la lente intraocular (102) a través de un acoplamiento inductivo entre la antena de transmisión de energía y la primera antena (110).
  7. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, en el que la lente intraocular (102) está implantada en una de una
    - 40 cámara anterior, de una cámara posterior, de surco, o de una bolsa capsular, y en donde la electrónica auxiliar (104) se implanta en o se ancla a una esclerótica.
  8. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, en el que el recinto biocompatible (150) sella herméticamente la
    - 45 electrónica auxiliar (104).
  9. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, en el que la lente intraocular (102) comprende, además:
    - 50 una óptica dinámica (114) para proporcionar acomodación al ojo, en donde la batería (120) está acoplada eléctricamente a la óptica dinámica (114) para alimentar la óptica dinámica (114); y una lógica de control (108) para controlar la óptica dinámica (114), basada en la detección del intento de acomodación de un usuario detectado por un sensor (134), dispuesto en la electrónica auxiliar (104).
  10. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, en el que la lente intraocular (102) está dispuesta en un recinto
    - (148) formado por un material biocompatible.
  11. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 3, en el que el sensor (134) detecta un intento de acomodación
    - 55 monitoreando un músculo ciliar del ojo, monitoreando el movimiento de una bolsa capsular del ojo o monitoreando el movimiento relativo de la bolsa capsular.
  12. El sistema oftálmico (100) de la reivindicación 2, en el que las antenas primera y segunda (110, 130) son una
    - 60 antena de bobina helicoidal de forma circular, o en donde la segunda antena (130) es una antena de bobina helicoidal de forma ovalada.
  13. Un método para alimentar la lente intraocular (102) del sistema oftálmico (100) de cualquiera de las reivindicaciones
    - 65 2 a 12, comprendiendo el método:
      - transmitir de forma inalámbrica energía por la electrónica auxiliar (104); y

recibir la energía transmitida de forma inalámbrica por una lente intraocular (102).

14. El método de la reivindicación 13, que comprende además cargar la batería (120), incluida en la lente intraocular (102), con la energía transmitida de forma inalámbrica.

- 5
15. El método de las reivindicaciones 13 o 14, que comprende, además:
- 10
- detectar un intento de acomodación por el ojo con un sensor (134), incluido en la electrónica auxiliar (104);
  - transmitir de forma inalámbrica el intento de acomodación detectado por la electrónica auxiliar (104);
  - recibir el intento de acomodación detectado, transmitido de forma inalámbrica por la lente intraocular (102); y
  - ajustar una óptica (114), incluida en la lente intraocular (102), en respuesta al intento de acomodación detectado.
16. El método de cualquiera de las reivindicaciones 13-15, que comprende, además:
- 15
- transmitir energía de forma inalámbrica por el cargador externo (106); y
  - recibir la energía transmitida de forma inalámbrica por la electrónica auxiliar (104) para cargar la célula de almacenamiento de energía (124), incluida en la electrónica auxiliar (104).

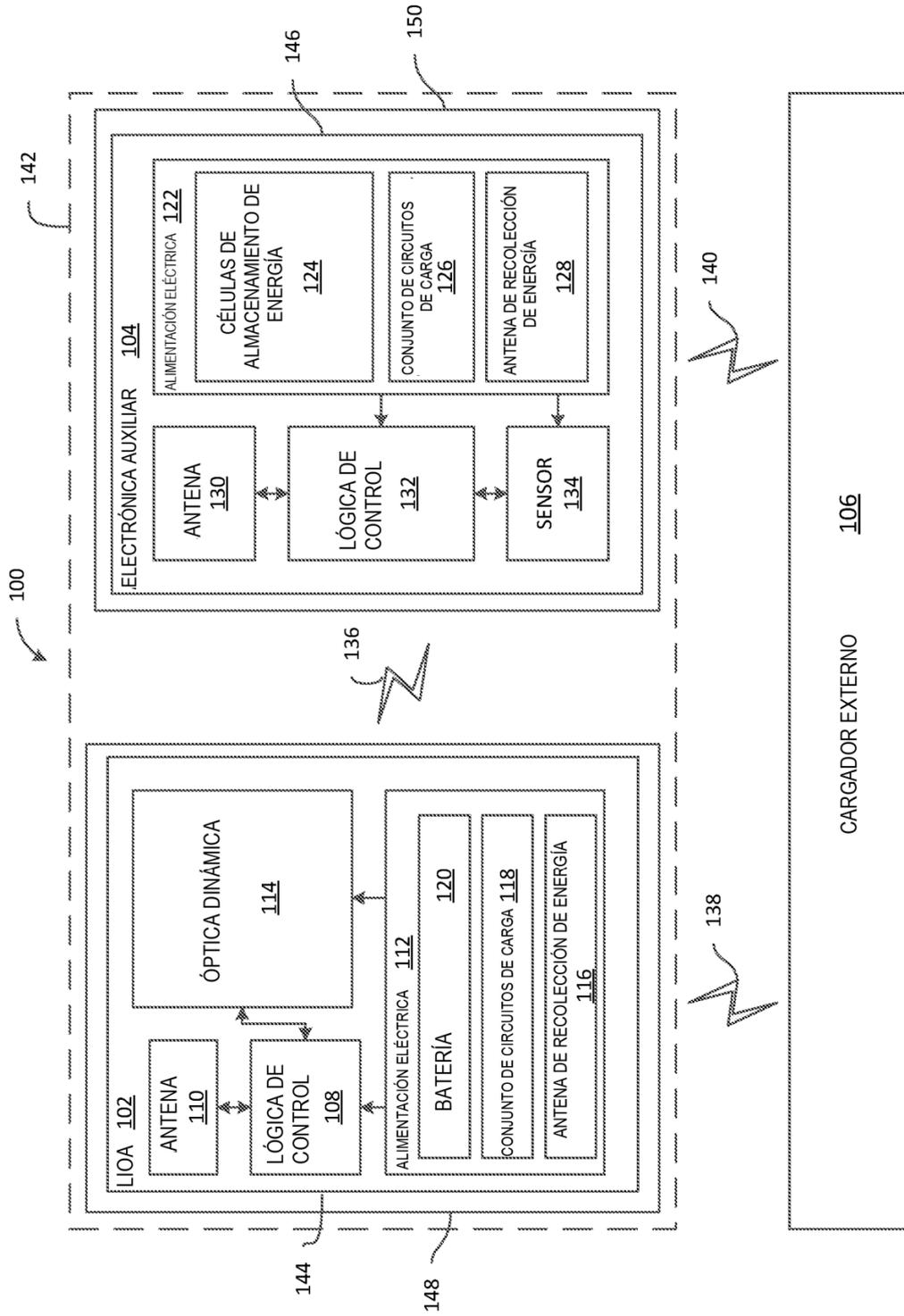


FIG. 1

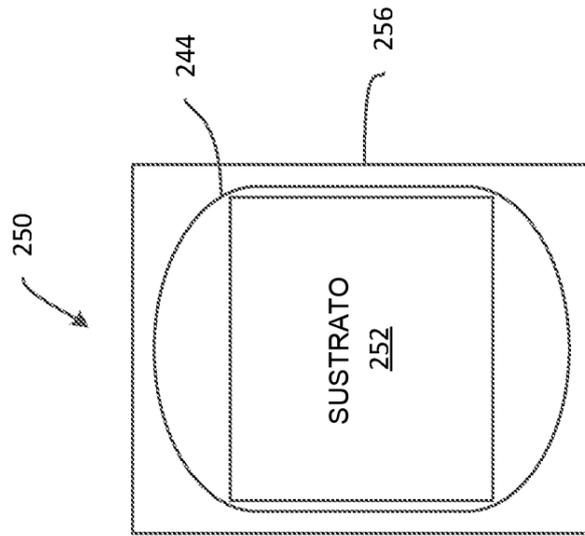


FIG. 2A

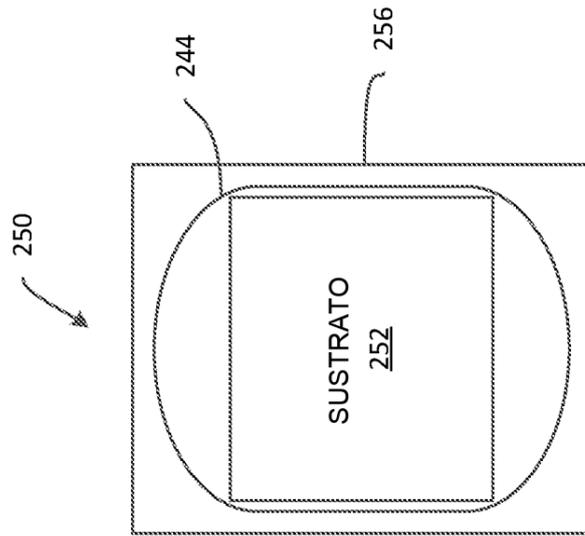


FIG. 2B

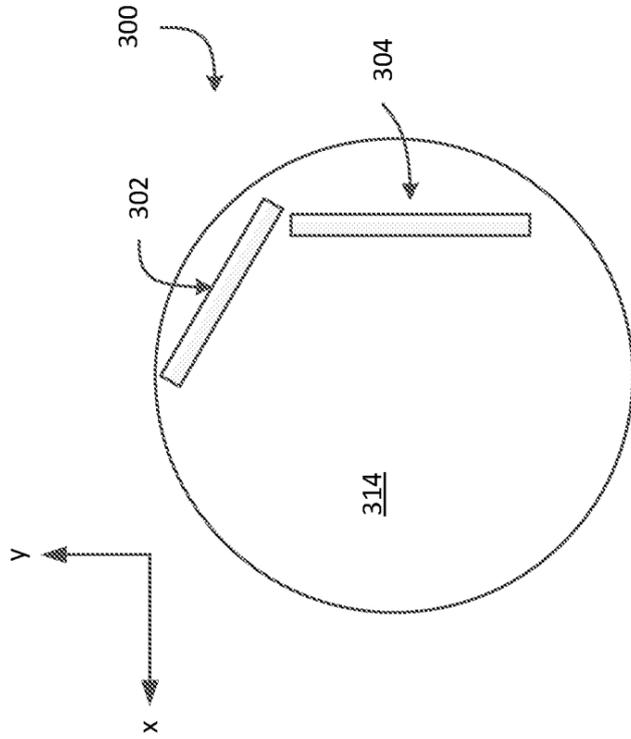


FIG. 3A

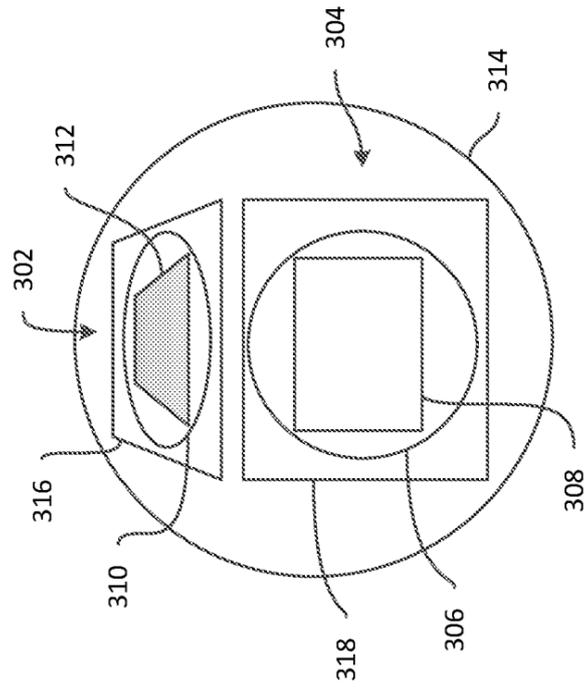


FIG. 3B

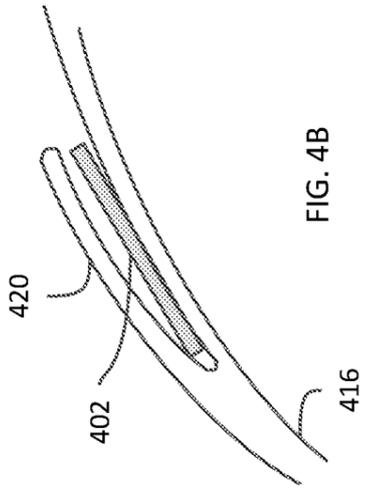


FIG. 4B

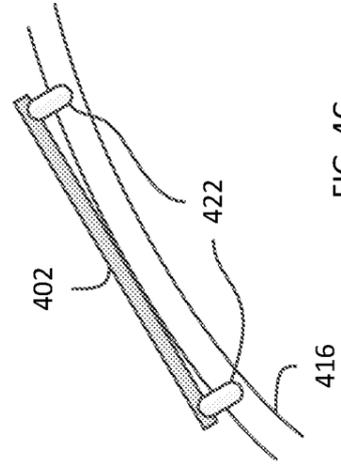


FIG. 4C

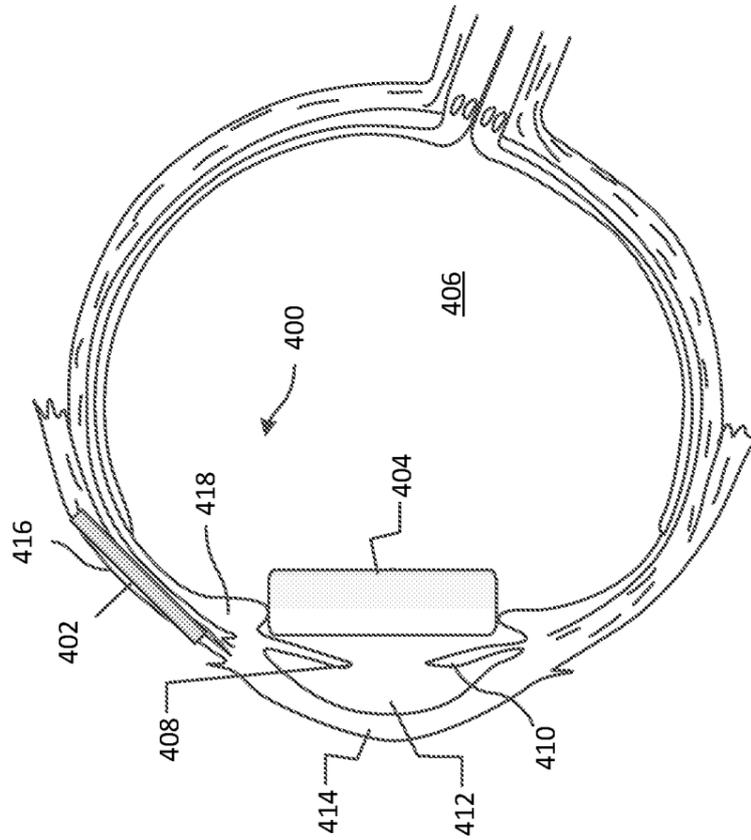


FIG. 4A

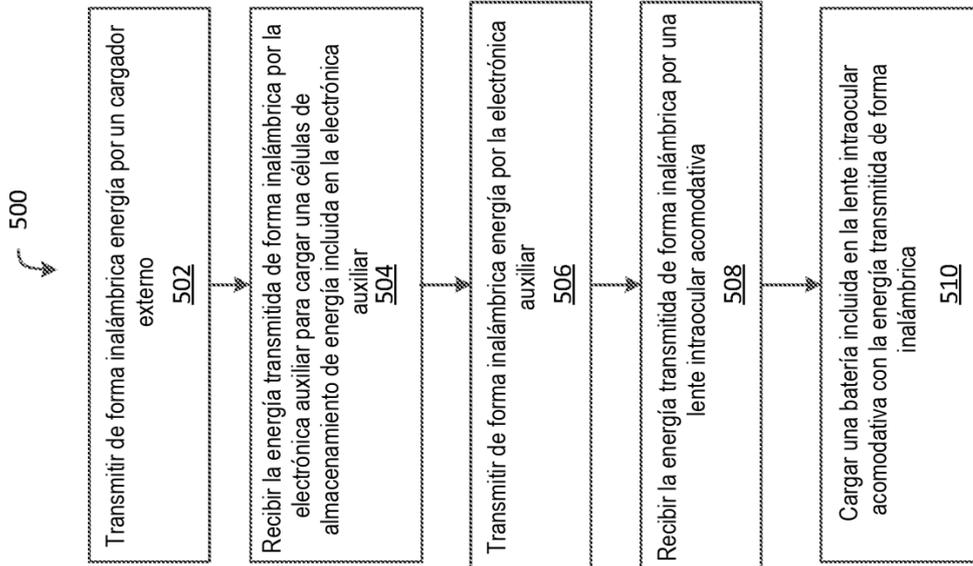


FIG. 5

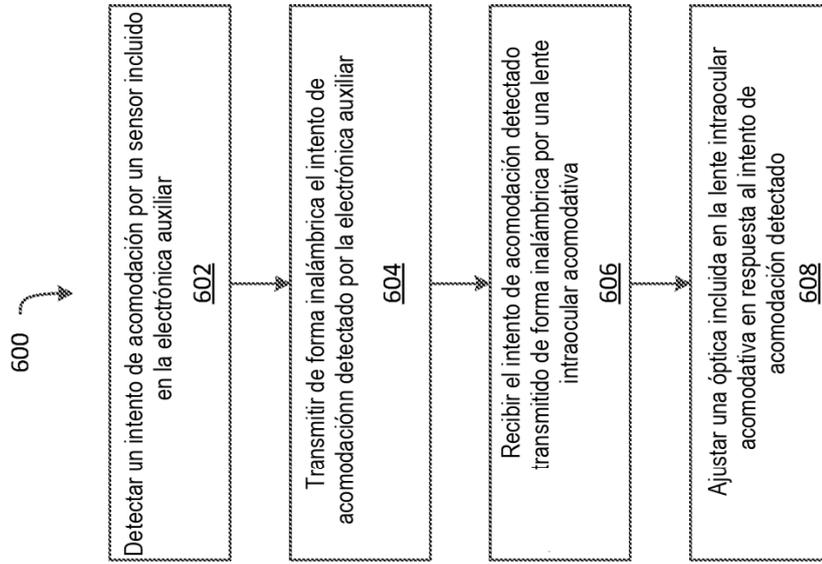


FIG. 6