

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 781 794**

21 Número de solicitud: 201930198

51 Int. Cl.:

**A61B 3/028** (2006.01)

**A61B 3/10** (2006.01)

**G02C 7/08** (2006.01)

**G02C 7/02** (2006.01)

**G02C 7/06** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**04.03.2019**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**07.09.2020**

Fecha de concesión:

**07.04.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**14.04.2021**

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS (100.0%)**

**C/ Serrano, 117**

**28006 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**DORRONSORO DÍAZ, Carlos y  
RODRÍGUEZ LÓPEZ, Víctor**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

54 Título: **APARATO Y SISTEMA PARA REALIZAR MEDIDAS OPTOMÉTRICAS Y MÉTODO PARA AJUSTAR LA POTENCIA ÓPTICA DE UNALENTE AJUSTABLE**

57 Resumen:

La invención se refiere a un aparato (100) para realizar medidas optométricas, comprendiendo el aparato (100):

- una lente optoajustable (11) cuya potencia óptica es ajustable, estando dicha lente gobernada por una señal periódica configurada para producir una onda de potencia óptica periódica (200) en el tiempo;

- medios (12) para ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica (200);

caracterizado por que el aparato (100) además comprende

- un sistema óptico proyector (20) para proyectar un plano de la lente optoajustable (11) en un plano exterior al aparato (100);

y por que

- la señal periódica tiene una amplitud tal que produce una amplitud de la onda de potencia óptica periódica (200) correspondiente a una diferencia cromática de foco entre una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda de luz visible que atraviesa la lente optoajustable (11).

La invención también se refiere a un sistema para realizar medidas optométricas, y a un método para ajustar la potencia óptica de una lente ajustable

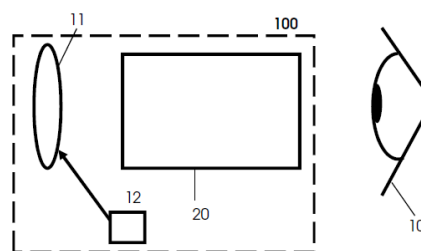


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 781 794 B2

## DESCRIPCIÓN

APARATO Y SISTEMA PARA REALIZAR MEDIDAS OPTOMÉTRICAS Y MÉTODO PARA AJUSTAR LA POTENCIA ÓPTICA DE UNALENTE AJUSTABLE

5

### SECTOR TÉCNICO

La presente invención se refiere al campo de la oftalmología. Más específicamente, se refiere a un aparato, un sistema y un método para determinar una lente que corrija la ametropía.

10

### ANTECEDENTES

La ametropía es un defecto ocular que ocasiona un enfoque inadecuado de una imagen sobre la retina, causando una disminución de la agudeza visual. La miopía y la hipermetropía se encuentran dentro de las principales ametropías. Se estima que la mitad de los adultos jóvenes en Estados Unidos y Europa y hasta el 90% de los adultos jóvenes en China padecen miopía. Se ha estimado que la mitad de la población padecerá miopía en 2050. La refracción subjetiva es un procedimiento para determinar una lente que corrija la ametropía de un paciente.

20

La refracción subjetiva convencional es un procedimiento rutinario en el campo del cuidado ocular que no ha evolucionado mucho y que, de hecho, aún es un proceso farragoso para pacientes y oftalmólogos. En este procedimiento, el paciente mira a través de diferentes lentes, evaluando si la imagen percibida es menos borrosa que con otras lentes que ha probado anteriormente. Posteriormente, el paciente comunica al oftalmólogo si la imagen percibida es más o menos borrosa y el oftalmólogo decide qué lente se debería probar a continuación. Este procedimiento se repite hasta que el oftalmólogo, en base a su interpretación de la información transmitida por el paciente, decide que se ha encontrado una lente óptima.

25

30

Normalmente este procedimiento se puede realizar utilizando diferentes dispositivos, como puede ser unas gafas de prueba, a las que se le van cambiando las lentes, o un foróptero, bien sea éste un foróptero manual, o bien su evolución al foróptero digital, en el que el movimiento de las lentes está automatizado y se realiza en combinación con un proyector también automatizado. También existen forópteros con lentes ajustables.

35

En cualquiera de los casos, la tarea que realiza el paciente es relativa al grado de emborronamiento que percibe de una imagen. Es una tarea difícil, puesto que el paciente debe recordar cómo de borrosa era la imagen percibida con las lentes anteriores y comparar este recuerdo con cómo de borrosa es la imagen percibida con la lente actual.

5 Esto se traduce en un nivel alto de incertidumbre en los resultados, además de generar cierta inseguridad al paciente; esto conlleva que se tarde tiempo, además de ser necesario que esté presente un optometrista u oftalmólogo.

Por otra parte, a priori no se conoce en qué sentido se debe realizar el salto de lente para que el paciente mejore su visión, por lo que el procedimiento de principio a fin se puede demorar aún más.

10

Además, el paciente a lo largo de la prueba puede estar acomodando (cambiando la potencia óptica de su propio ojo), interfiriendo esta acomodación en el resultado real de la prueba. Esto es especialmente importante en el caso de pacientes jóvenes hipermétropes los cuales compensan inconscientemente su ametropía, total o parcialmente, por medio de acomodación. La consecuencia de enfocar inconscientemente estímulos que de otra forma estarían desenfocados sobre su retina es que la refracción subjetiva resultante está falseada. Existen varias estrategias para reducir el efecto de la acomodación sobre la refracción subjetiva basadas en relajar la acomodación con distintos tipos de lentes, pero a menudo se recurre a gotas que paralizan la acomodación.

15

Esta paralización farmacológica de la acomodación es molesta para el paciente, ya que las gotas también dilatan la pupila y provocan molestias visuales tras el examen visual, a menudo durante varias horas.

20

25

Es decir, independientemente de qué dispositivo de los mencionados se use en la refracción subjetiva, el procedimiento convencional presenta los siguientes problemas:

- Es un procedimiento que necesita intervención y supervisión por parte de un optometrista u oftalmólogo.
- 30 - Puede haber interferencia de la acomodación por lo que a menudo se necesitan gotas para paralizar la acomodación la pupila.
- Se trata de un procedimiento difícil para el sujeto y para el optometrista u oftalmólogo.
- Se basa en prueba y error de distintas lentes.
- 35 - Se tarda tiempo en llevar a cabo el procedimiento completo.

- Pueden producirse disparidades en las respuestas.

El documento de patente US-2015/0216411-A1 presenta un método y un dispositivo para ajuste interactivo de una lente óptica variable de forma continua. Según este método, se modula un parámetro de la lente óptica variable alrededor y ajusta el valor medio de este parámetro de la lente óptica variable para minimizar el parpadeo percibido por el sujeto.

Si bien el método descrito en este documento de patente mejora la calidad de los resultados obtenidos respecto de los métodos de refracción subjetiva convencionales, puesto que es más fácil la tarea visual de juzgar o detectar parpadeo que la de juzgar o detectar emborronamiento, el método propuesto en US-2015/0216411-A1 sigue planteando muchos de los problemas del procedimiento de refracción subjetiva convencional; especialmente este método se basa en prueba y error de distintas condiciones ya que el sujeto no sabe en qué dirección hay que modificar el parámetro y, por tanto, tarda tiempo en llevar a cabo el procedimiento completo y pueden producirse disparidades en las respuestas.

Existe, por tanto, la necesidad de un procedimiento de refracción subjetiva que sea más preciso, sencillo y directo para el paciente y el oftalmólogo, y cuyos resultados estén mínimamente afectados por variabilidad en las respuestas subjetivas del paciente.

## **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

Para superar los inconvenientes del estado de la técnica, la presente invención propone un aparato y un sistema para realizar medidas optométricas, así como un método para ajustar una potencia óptica de una lente optoajustable que resuelven los problemas planteados por los sistemas existentes, puesto que permiten una evaluación más precisa, sencilla y directa y cuyos resultados estén mínimamente afectados por variabilidad en las respuestas subjetivas del paciente.

Según un primer aspecto de la invención, se propone un aparato para realizar medidas optométricas, que comprende:

- una lente optoajustable cuya potencia óptica es ajustable, estando dicha lente optoajustable gobernada por una señal periódica configurada para producir una onda de potencia óptica periódica; y
- medios para ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica.

El aparato además comprende un sistema óptico proyector para proyectar un plano de la lente optoajustable en un plano exterior al aparato. Según la invención, la señal periódica tiene una amplitud tal que produce una amplitud de la onda de potencia óptica periódica correspondiente a una diferencia cromática de foco entre una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda de luz visible que atraviesa la lente optoajustable.

A los efectos de esta invención por diferencia cromática de foco, referida a dos longitudes de onda de la luz incidente, se entiende como la diferencia en dioptrías entre las potencias ópticas correspondientes a dichas longitudes de onda.

El plano exterior al aparato en el cual se proyecta el plano de la lente optoajustable es fijo, no cambia al ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica.

En algunas realizaciones, el plano exterior al aparato es un plano en el que se sitúa una pupila del ojo de un sujeto, y la diferencia cromática de foco es la que se produce en el ojo del sujeto cuando el sujeto mira a través del aparato. De esta forma, el aparato permite medir la refracción subjetiva del ojo del sujeto de una forma rápida, más sencilla y precisa que con la refracción subjetiva convencional.

Según el aparato propuesto, el sistema óptico proyector proyecta un plano de la lente optoajustable en otro plano exterior al aparato, como puede ser la pupila del ojo del sujeto, y esta lente optoajustable está modulada según una señal periódica que se ajusta para producir una onda de potencia óptica periódica cuya amplitud corresponda con la diferencia cromática de foco entre dos longitudes de onda visibles por el sujeto; de esta forma, el aparato genera en una imagen con desenfoque oscilante a ambos lados de la retina. Cuando el sujeto mira a través del aparato de la invención, percibe una imagen con desenfoque oscilante, pero sin cambio de aumentos gracias al sistema óptico proyector. El aparato propuesto además comprende medios para ajustar el valor medio de la señal periódica, para poder modificar la oscilación y los efectos cromáticos de la imagen percibida por el sujeto.

La onda de potencia óptica periódica puede ser una onda cuadrada, haciendo que el cambio sea más brusco y enfatizando así los efectos cromáticos.

35

La onda de potencia óptica periódica tiene una frecuencia inferior a la frecuencia umbral del sistema visual humano o frecuencia umbral de fusión. Utilizando una frecuencia inferior a la frecuencia umbral de fusión el sujeto puede percibir el parpadeo. En algunas realizaciones la frecuencia está entre 10 y 30 Hz, pues en este rango de frecuencias y preferiblemente cuando la frecuencia es de 15 Hz, el parpadeo es visible al ojo humano. Estas frecuencias de la onda de potencia óptica periódica son suficientemente altas como para evitar la acomodación del ojo del sujeto, es decir, las variaciones de enfoque son demasiado rápidas para que el ojo las pueda seguir y suficientemente bajas como para encontrarse por debajo de la frecuencia umbral de fusión de parpadeo.

10

Uno de los al menos dos colores diferentes de un estímulo visual percibido por el ojo del sujeto es una combinación de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; en algunas realizaciones, otro de los al menos dos colores diferentes es negro (ausencia de luz).

15

El aparato además comprende medios para ajustar la amplitud de la onda de potencia óptica periódica a distintas combinaciones de valores de la primera longitud de onda y de la segunda longitud de onda visible.

20

La amplitud de la onda de potencia óptica periódica (medida de pico a valle) puede estar entre 0.25 dioptrías y 3 dioptrías. Amplitudes de potencia óptica de 0.25 dioptrías se corresponden con desviaciones de más menos 0.125 dioptrías respecto al valor medio, difíciles de percibir en la práctica clínica. Amplitudes de potencia óptica de 3 dioptrías se corresponden con desviaciones de más menos 1.5 dioptrías que también son difíciles de comparar, en este caso por exceso de emborronamiento.

25

La amplitud de la onda de potencia óptica periódica (medida de pico a valle) puede estar en un rango entre 0.75 y 1.5 dioptrías, que corresponde con la diferencia cromática de foco entre una primera longitud de onda visible roja y una segunda longitud de onda visible azul. En este caso, el estímulo visual que se muestra al sujeto contiene elementos con al menos dos colores diferentes, de los cuales uno es magenta (combinación de rojo y azul), y el otro es normalmente negro.

30

La amplitud de la onda de potencia óptica periódica (medida de pico a valle) puede estar en un rango entre 0.25 y 0.75 dioptrías, que corresponde con la diferencia cromática de

35

foco entre una primera longitud de onda visible verde y una segunda longitud de onda visible roja. En este caso, el estímulo visual que se muestra al sujeto contiene elementos con al menos dos colores diferentes, de los cuales uno es amarillo (combinación de verde y rojo). Este rango de dioptrías también corresponde con la diferencia cromática de foco  
5 entre una primera longitud de onda visible verde y una segunda longitud de onda visible azul. En este caso, el estímulo visual que se muestra al sujeto contiene elementos con al menos dos colores diferentes, de los cuales uno es verde azulado (combinación de verde y azul). En cualquiera de estas combinaciones -verde/rojo o verde/azul-, el otro color utilizado en el estímulo es negro.

10

El sistema óptico proyector mantiene constante el aumento y la posición de la imagen percibida por el sujeto ante diferentes valores de potencia óptica de la lente optoajutable.

15

El aparato puede además comprender medios de sujeción para fijarse a una cabeza del sujeto.

Los medios para ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica pueden ser accesibles al sujeto.

20

Según otro aspecto de la invención, esta se refiere a un sistema para realizar medidas optométricas de un ojo de un sujeto. Este sistema comprende:

- un estímulo visual con elementos en al menos dos colores diferentes; y
- un aparato para realizar medidas optométricas según cualquiera de las realizaciones descritas.

25

Uno de los al menos dos colores diferentes del estímulo visual es una combinación de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda que producen en el ojo del sujeto la diferencia cromática de foco. Las primera y segunda longitudes de onda pueden ser azul y rojo, y uno de los al menos dos colores de los elementos del estímulo visual puede  
30 ser magenta. Las primera y segunda longitudes de onda pueden ser verde y rojo, o verde y azul, y uno de los al menos dos colores de los elementos del estímulo visual puede ser amarillo o verde azulado; el otro de los al menos dos colores de los elementos del estímulo puede ser negro.

35

Según otro aspecto de la invención, esta se refiere a un método para ajustar una potencia

óptica de una lente optoajustable. El método comprende:

- hacer que un sujeto mire un estímulo visual a través de una lente optoajustable cuya potencia óptica es ajustable,
- proyectar un plano de la lente optoajustable en la pupila de un ojo del sujeto;
- 5 - gobernar la lente optoajustable mediante una señal periódica y producir una onda de potencia óptica periódica cuya amplitud corresponde a una diferencia cromática de foco que se produce en el ojo del sujeto entre una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda de luz visible, comprendiendo el estímulo visual elementos en al menos dos colores diferentes, siendo uno de los al menos dos colores una combinación de la  
10 primera longitud de onda y la segunda longitud de onda; y.
- ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica para eliminar efectos cromáticos y oscilación del estímulo visual percibidos por el sujeto, o reducir al mínimo el tamaño e intensidad de dichos efectos cromáticos.

15 Esta oscilación no es una oscilación espacial, ya que el estímulo visual se mantiene en la misma posición y con los mismos aumentos gracias al sistema óptico proyector; la oscilación se produce en el emborronamiento o desenfoque, o en tamaño e intensidad de los efectos cromáticos, o en todo a la vez.

20 El método para ajustar la potencia óptica de una lente optoajustable se puede realizar con el aparato para realizar medidas optométricas descrito en lo anterior, siendo la lente optoajustable la lente optoajustable de dicho aparato.

25 El paso de proyectar un plano de la lente optoajustable en la pupila de un ojo del sujeto se puede realizar mediante un sistema óptico proyector.

El método puede comprender medir el equivalente esférico óptimo usando un estímulo bicromático. Para ello la onda de desenfoque tiene valor medio variable y una amplitud fija. El método consiste en ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica  
30 hasta eliminar los efectos cromáticos percibidos por el sujeto en el estímulo visual, o reducir al mínimo su tamaño y su intensidad.

De esta forma, se proporciona un método rápido para obtener una estimación del equivalente esférico óptimo, más precisa que el método convencional, y válido en  
35 presencia de astigmatismo y sin necesidad de paralizar la acomodación.



Los efectos cromáticos percibidos por el sujeto en el estímulo visual pueden incluir un viraje al azul o al rojo, en caso de que el estímulo visual incluya elementos en magenta. Si el estímulo visual incluye elementos en amarillo, los efectos cromáticos pueden incluir viraje al verde o al rojo; o si estímulo visual incluye elementos en verde azulado, los efectos cromáticos pueden incluir viraje al verde o al azul.

El método descrito se puede llevar a cabo con un aparato según se ha descrito en lo anterior.

10

El aparato, sistema y método propuesto en la presente descripción tiene las siguientes ventajas frente a los métodos y sistemas conocidos:

- La tarea de juzgar emborronamiento se transforma en una tarea de detección de oscilación y de efectos cromáticos en la imagen percibida. Es, por tanto, una tarea más sencilla e intuitiva, además de más precisa.

- Mediante la percepción de la oscilación y de los efectos cromáticos se tiene un indicio de la dirección del foco, por lo que el proceso de examen del paciente es más rápido.

- No está sujeto a acomodación, ya que al sistema de acomodación no le da tiempo a seguir la onda de potencia óptica. Se desactiva, por tanto, la acomodación inconsciente. Además, la tarea que se le pide al sujeto no se basa en la calidad de imagen, y por ello, el sujeto no se esfuerza conscientemente en acomodar.

- El procedimiento se puede llevar a cabo con una mínima (o incluso nula) supervisión por parte del oftalmólogo u optometrista: al sujeto se le explica el procedimiento y cómo usar el aparato, y se le indica que pare cuando no vea el estímulo visual con mínima oscilación y sin efectos cromáticos.

Los diferentes aspectos y realizaciones de la invención definidos anteriormente pueden combinarse entre sí, siempre que sean mutuamente compatibles.

30

Las ventajas y características adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y se señalarán particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

35

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con unos ejemplos de realización práctica de la invención, se acompaña como parte integrante de la descripción, un juego de figuras  
5 en el que con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 es una representación esquemática de un aparato para realizar medidas optométricas según una posible realización la invención en el que además se muestra dónde se ubica un ojo en la posición de uso.

10

En la Figura 2 se muestra una realización particular del sistema óptico proyector.

La Figura 3 muestra un ejemplo de una onda de potencia óptica cuya frecuencia es 15 Hz.

15

La Figura 4 ilustra la diferencia cromática de foco entre una primera y una segunda longitudes de onda roja y azul de la luz visible que atraviesa la lente optoajustable.

Las Figuras 5A y 5B muestran, respectivamente, los efectos de las dos ondas de potencia  
20 óptica mostradas en la Figura 6.

La Figura 7 muestra un ejemplo preferido de una imagen para ser utilizada como estímulo visual junto con el aparato de la presente invención.

25 Las Figuras 8 y 9 muestran los efectos cromáticos y de parpadeo percibidos por el sujeto durante el procedimiento de refracción subjetiva, utilizando el estímulo visual de la Figura 7.

### **DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERIDA DE LA INVENCIÓN**

30 En la descripción de las posibles realizaciones preferidas de la invención se precisa dar numerosos detalles para favorecer una mejor comprensión de la invención. Aun así, resultará aparente para el experto en la materia que la invención puede ser implementada sin estos detalles específicos. Por otra parte, las características bien conocidas no se han descrito en detalle para evitar complicar innecesariamente la descripción.

35

La Figura 1 muestra esquemáticamente un aparato para realizar medidas optométricas, según una posible realización la invención de la misma. En esta representación esquemática se muestra el aparato 100 para medidas optométricas de un sujeto, así como dónde se ubica el ojo 10 del paciente en la posición de uso del aparato 100.

5

Como se muestra en esta Figura 1, el aparato 100 comprende una lente optoajustable 11 cuya potencia óptica es ajustable, así como un actuador 12 para poder ajustar el valor medio VM de la onda de potencia óptica. El aparato 100 también incluye un sistema óptico proyector 20 que proyecta un plano de la lente optoajustable 11 en un plano exterior al aparato a una determinada distancia donde se sitúa la pupila del ojo 10 del paciente.

10

El aparato 100 presenta un camino óptico que conecta ópticamente la lente optoajustable 11 y una mirilla u anteojera tras la cual debe posicionarse el ojo 10 del paciente. Como se muestra en la Figura 1, el sistema óptico proyector 20 está situado en una ubicación intermedia de dicho camino óptico.

15

La lente optoajustable 11 es capaz de cambiar a una elevada velocidad la curvatura de al menos una de sus caras de material polimérico en respuesta a que le aplique una señal eléctrica. En cualquier caso, esta lente optoajustable 11 es capaz de recorrer un intervalo de potencias ópticas de varias dioptrías.

20

En la realización mostrada del aparato 100, la señal eléctrica que se aplica a la lente optoajustable 11 es una señal periódica, de forma que produce una onda de potencia óptica periódica en el tiempo. Aplicando esta señal periódica a la lente optoajustable 11, y mediante el sistema óptico proyector 20 se producen variaciones periódicas en el emborronamiento de la imagen en la retina del paciente.

25

En la realización mostrada, el aparato 100 incluye una única carcasa (representada esquemáticamente por la línea discontinua) dentro de la cual están la lente optoajustable 11 y el sistema óptico proyector 20. De hecho, el aparato 100 puede estar implementado en un dispositivo con tecnología Sim+Vis Technology®, comercializado por 2EyesVision. De esta forma, se proporciona un foróptero "all-in-one" compacto (puede pesar alrededor de 1 kg) y barato, con las ventajas frente a los métodos y sistemas conocidos descritas anteriormente.

30

35

En la Figura 2 se muestra una realización particular del sistema óptico proyector 20. El sistema proyector 20 comprende una primera lente 21, un grupo inversor de espejos 22 que invierte la imagen en vertical y en horizontal y una segunda lente 23. La primera lente 21 y la segunda lente 23 presentan una configuración similar a un sistema de Badal. La primera lente 21 se posiciona a una distancia focal de la lente optoajustable 11 y la segunda lente 23, que es idéntica a la primera lente 21, se posiciona a dos distancias focales de la primera lente 21. La pupila del ojo 10 se posiciona a una distancia focal de la segunda lente 23. Estas distancias se refieren a medidas a lo largo del eje óptico.

Como resultado, cuando cambia la potencia óptica de la lente optoajustable, el sistema óptico proyector proporciona imágenes en el ojo del paciente siempre en la misma posición y con los mismos aumentos, aunque cambie su grado de enfoque y, por tanto, su emborronamiento.

El grupo inversor de espejos 22 es similar a una pareja de prismas de Porro empleada en telescopios prismáticos de observación terrestre, aunque implementada con espejos; este grupo inversor compensa la inversión de la imagen, invirtiéndola tanto vertical como horizontalmente.

Como se ha explicado anteriormente, la lente optoajustable 11 está gobernada por una señal periódica con una frecuencia de 15 Hz, que produce una onda de potencia óptica periódica en el tiempo, que a su vez produce variaciones periódicas en el emborronamiento de la imagen producido en la retina del paciente. Es decir, esta onda de potencia óptica periódica puede ser considerada como una onda periódica de desenfoque.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de esta onda de potencia óptica 200 de desenfoque, cuya frecuencia es 15 Hz y cuya amplitud es de 0.75 dioptrías. En este ejemplo particular, el valor medio es cero, aunque este es un parámetro variable durante el uso del aparato.

Para que se produzcan efectos cromáticos en la imagen percibida por el sujeto, la amplitud de la onda de potencia óptica 200 debe corresponderse con la diferencia cromática de foco entre una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda de la luz visible que atraviesa la lente optoajustable 11. La amplitud de la onda de potencia óptica 200 mostrada en la Figura 3 es de 0.75 dioptrías, que corresponde con la diferencia

cromática de foco en el ojo del sujeto entre una primera longitud de onda visible roja R y una segunda longitud de onda visible azul A. Además, la diferencia entre la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda de la luz visible que atraviesa la lente optoajustable 11 debe ser suficiente para que el paciente, además de las oscilaciones en el emborronamiento, también perciba los efectos cromáticos.

En la Figura 4 se ilustra la diferencia cromática de foco entre la primera longitud de onda roja R y la segunda longitud de onda azul A de la luz visible que atraviesa la lente optoajustable 11; las rectas 1 a 7 representan posibles planos de la retina. Esta diferencia cromática de foco es la diferencia, en términos de potencia óptica, entre el punto de convergencia de la primera longitud de onda roja R y la segunda longitud de onda azul A de la luz visible. El punto de convergencia de la primera longitud de onda roja R representada se ubica sobre el plano vertical 6; el punto de convergencia de la segunda longitud de onda A representada se ubica sobre el plano vertical 2. La diferencia cromática de foco entre estas dos longitudes de onda es la diferencia entre las dioptrías correspondientes al plano 2 y las dioptrías correspondientes al plano 6. Esta diferencia cromática de foco se debe a que el ojo presenta un índice de refracción diferente para diferentes longitudes de onda; y causa efectos cromáticos en la imagen, resaltados por el aparato objeto de esta descripción, y utilizados para guiar al sujeto al ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica y para determinar en qué sentido ajustar el valor medio para que la potencia óptica de la lente optoajustable aumente o disminuya.

El valor medio VM de la onda de potencia óptica 200 está representado por la recta VM, y en el caso mostrado está inicialmente centrado en 0 dioptrías. Como se ha explicado anteriormente, el valor medio VM puede ajustarse empleando el actuador 12, siendo este valor medio VM de la onda de potencia óptica 200 variable en este caso entre -1 y +1 dioptrías, pero puede ser más. Como se explicará más adelante, la tarea a la que se somete al paciente (bien por sí solo o con ayuda del optometrista) es la de ajustar el valor medio VM de la onda de potencia óptica de desenfoque hasta que no se perciba la oscilación en el emborronamiento de la imagen o esta oscilación sea mínima, lo que ocurre cuando el desenfoque es simétrico a ambos lados de la mejor refracción subjetiva; para ello, el actuador permite un ajuste del valor medio VM en intervalos de 0.25 dioptrías de ajuste grueso y 0.1 dioptrías de ajuste fino.

El actuador 12 ajusta la geometría de la lente optoajustable 11 actuando sobre la señal

eléctrica, para lo que el aparato dispone de una interfaz. La interfaz, entre otros, puede ser una interfaz de usuario o una interfaz con un programa de ordenador.

5 La interfaz del actuador 12 puede estar situada en la carcasa o en sus proximidades, por ejemplo, para que el paciente pueda acceder cómodamente a ella para ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica mientras hace uso del aparato 100. También puede estar situada a distancia de la lente optoajustable 11 y del sistema óptico proyector 20, para que el oftalmólogo pueda acceder a ella y así ajustar cómodamente el valor medio de la onda de potencia óptica en función de la percepción del paciente. Puede haber  
10 varias interfaces de este actuador (e.g. una fija a distancia, dos portátiles, una fija próxima, una para cada uno de los dos ojos de un paciente, etc.). Típicamente esta interfaz es un teclado o una botonera que el paciente tiene delante o en las manos.

15 Las Figuras 5A y 5B muestran, respectivamente, los efectos de las ondas de potencia óptica 200B y 200A de la Figura 6. El valor marcado como Oopt en la Figura 6 se corresponde con las dioptrías óptimas de lente para un supuesto paciente.

En la Figura 5A se aprecia que la potencia óptica es inferior a la requerida por el paciente, ya que la primera longitud de onda  $\lambda_1$  y la segunda longitud de onda  $\lambda_2$  convergen detrás  
20 de la retina 101. Esto se corresponde con que el valor medio VMB de la onda 200B representada en la Figura 6 sea inferior a la potencia óptica Oopt requerida por el paciente. En el caso concreto en que la primera longitud de onda  $\lambda_1$  corresponda al rojo y la segunda longitud de onda  $\lambda_2$  corresponda al azul, en la retina, un disco iluminado con las dos longitudes de onda sobre un fondo negro se percibe como un disco magenta en  
25 la zona central, donde se suman ambas longitudes de onda, con efectos cromáticos en la zona de transición con el fondo. Dichos efectos cromáticos se producen por el esparcimiento de la luz roja debido al mayor emborronamiento en esta longitud de onda y comprenden una corona interior y una corona exterior. La corona exterior al disco es oscura y rojiza, y se debe a que la luz roja al emborronarse invade el fondo alrededor del  
30 disco. La corona interior al disco es brillante y azulada, ya que en esa zona el disco pierde luz roja. De forma inversa, para la misma situación representada en la Figura 5A, un disco negro sobre un fondo iluminado con las dos longitudes de onda será percibido en la retina como un disco negro central con una corona exterior brillante y azulada y una corona interior oscura y rojiza.

35

A la inversa, en la Figura 5B se aprecia que la potencia óptica es superior a la requerida por el sujeto, ya que la primera longitud de onda  $\lambda_1$  y la segunda longitud de onda  $\lambda_2$  convergen delante de la retina 101. Esto se corresponde con que el valor medio VMA de la onda 200A representada en Figura 6 sea superior a la potencia óptica Oopt requerida por el paciente. Los efectos cromáticos serían inversos a los de la figura 5A.

En la Figura 6 se muestran los efectos cromáticos 20A y 20B asociados, respectivamente, a las ondas de potencia óptica 200A y 200B para el caso en el que el estímulo es un disco negro sobre un fondo iluminado con la primera longitud de onda  $\lambda_1$  que es roja y la segunda longitud de onda  $\lambda_2$  que es azul. Los efectos cromáticos 20A comprenden una corona exterior con una mayor proporción de la longitud de onda menor, en este caso azul. Los efectos cromáticos 20B comprenden una corona exterior con una mayor proporción de la longitud de onda mayor, en este caso rojo. Los efectos cromáticos también comprenden una corona interior, que no se muestra en las figuras, en 20A con una mayor proporción de la longitud de onda mayor, en este caso rojo y en 20B con una mayor proporción de la longitud de onda menor, en este caso azul.

Los efectos cromáticos aparecen por la aberración cromática longitudinal del ojo, pero en condiciones estáticas el sistema visual está adaptado a ellos y apenas se perciben. Sin embargo, la onda de potencia óptica periódica de desenfoque interacciona con los efectos cromáticos y los resalta fuera de la mejor refracción subjetiva. Las coronas o halos cambian de tamaño e intensidad periódicamente y, por tanto, adquieren un gran protagonismo perceptual. Dependiendo de muchos factores, como por ejemplo la cantidad de potencia óptica, el estado de adaptación de la retina al nivel de luz promedio, o la frecuencia de la onda de potencia óptica, algunos sujetos percibirán solo la corona exterior o solo la corona interior, o una cierta combinación de ambas.

Para el caso de la Figura 6 en el que el estímulo es un disco negro sobre un fondo iluminado con la primera longitud de onda  $\lambda_1$  que es roja y la segunda longitud de onda  $\lambda_2$  que es azul, en el lado miope aparece una corona exterior oscilante que es azul y en el lado hipermetrope aparece una corona exterior oscilante que es roja, lo que proporciona una pista fuerte de la dirección del mejor foco.

Cuando el valor medio de la onda de potencia óptica periódica de desenfoque coincide con la potencia óptica Oopt requerida por el paciente se produce una circunstancia

excepcional. En ese caso en la retina los efectos cromáticos ya no cambian de intensidad y tamaño. Lo que sucede es que se alternan efectos cromáticos opuestos de la misma intensidad, perdiendo su relevancia perceptual y llegando en algunos casos, dependiendo de la frecuencia, a fundirse en una situación neutral carente de efectos cromáticos.

5

La frecuencia de la onda de potencia óptica 200 de desenfoque es inferior a la frecuencia umbral de fusión de parpadeo para que se aprecien las oscilaciones de intensidad y tamaño de los efectos cromáticos en la zona miópica o hipermetrópica, donde no cambian de color. Además, la frecuencia de la onda de potencia óptica 200 de desenfoque es lo  
10 suficientemente elevada como para evitar la acomodación del ojo del paciente. Además, la frecuencia de la onda de potencia óptica 200 de desenfoque favorece la fusión de los colores cuando el valor medio de la onda de potencia óptica periódica de desenfoque coincide con la potencia óptica Oopt requerida por el paciente. La frecuencia de la onda de potencia óptica 200 de desenfoque se puede encontrar en el rango entre 1 y 50 Hz,  
15 más preferiblemente entre 10 y 40 Hz; en el ejemplo mostrado se ha utilizado una frecuencia de 15 Hz.

La Figura 7 muestra un ejemplo preferido de una posible imagen para ser utilizada como estímulo visual 300 junto con el aparato 100 de la presente invención. La imagen está  
20 formada por una serie de círculos de color negro N; aunque en la Figura 7 el fondo de la imagen sea blanco, el fondo del estímulo visual en el ejemplo mostrado es de color magenta M. El uso de este estímulo visual basado en agrupaciones círculos negros sobre fondo magenta (azul + rojo) resalta los efectos cromáticos. Aunque no esté mostrado en la Figura 7, podría incluirse un contorno o una línea envolviendo cada agrupación de  
25 círculos para potenciar aún más los efectos cromáticos al provocar la ilusión óptica de acuarela ("watercolor illusion"). La línea puede ser una circunferencia, un hexágono o una línea irregular.

Todas las tareas, la reducción de la intensidad y el tamaño de los efectos cromáticos, y  
30 su oscilación, se realizan a la vez, se refuerzan mutuamente y son intuitivas para el paciente, y no se ven afectadas por una posible acomodación del ojo, que es interrumpida por la onda de desenfoque sin necesidad de drogas ciclopéjicas.

El procedimiento para medir la refracción subjetiva de un paciente incluye los siguientes  
35 pasos:



- i. Se sitúa al paciente ante el aparato 100 que genera esta onda periódica de desenfoque, con una determinada amplitud de desenfoque respecto a un nivel medio, y una determinada frecuencia temporal.
- ii. El paciente observa el estímulo visual con varios elementos (como el mostrado en la Figura 7) a través del aparato, con un determinado valor medio VM en la onda periódica de desenfoque.
- iii. Basándose en la percepción de oscilación de los efectos cromáticos (tanto su tamaño como su intensidad) de uno o varios elementos del estímulo visual y dependiendo del color del halo percibido por el paciente, se tiene un indicio de la dirección del foco.
- iv. Se reajusta el valor medio VM de la onda de potencia óptica periódica de desenfoque a partir del efecto cromático percibido por el paciente.
- v. Se repiten los pasos iii a iv hasta que la oscilación de los efectos cromáticos percibida por el paciente desaparece o es sea mínimo, y en dicho momento el valor medio VM correspondiente a la onda de desenfoque pasa a ser el valor medio VM final.
- vi. La obtención de la refracción subjetiva a partir del valor del valor medio VM final en la onda de desenfoque.

La onda de potencia óptica periódica 200 de desenfoque, produce oscilación de los efectos cromáticos en todos los valores medios VM menos en aquel que coincide con la refracción subjetiva. Cuando el valor medio VM cae sobre la retina y la onda de desenfoque produce emborronamientos simétricos a ambos lados de la retina, la oscilación es mínima o nula.

Las Figuras 8 y 9 muestran algunos efectos cromáticos (coronas exteriores) percibidos por el sujeto durante el procedimiento de refracción subjetiva, utilizando el estímulo visual de la Figura 7. En estas dos figuras el color magenta M (el del fondo) se ha representado con un punteado, mientras que el color negro N (el de los círculos) se ha representado mediante rayado. Los efectos cromáticos se han representado en negro, siendo la corona negra R que rodea cada círculo el efecto cromático rojo, y los “dientes” negros A que sobresalen sobre la corona representan el efecto cromático azul.

En la imagen de la Figura 8 el sujeto está más lejos de la refracción subjetiva óptima, y percibe una mayor oscilación y efecto cromático. En la Figura 9, tras realizar el ajuste del paso iv, está más cerca de la mejor refracción subjetiva, y percibe menor oscilación y menores efectos cromáticos, y la imagen percibida por el sujeto es más próxima a la

imagen real del estímulo visual mostrado en la Figura 7.

En el ejemplo descrito, se ha utilizado un estímulo bicromático rojo-azul, pero también puede utilizarse otras combinaciones bicromáticas, como, por ejemplo, rojo-verde y verde-azul. Igualmente, el estímulo mostrado está formado por un conjunto de círculos o puntos, pero puede comprender letras, números, otras formas poligonales o dibujos, o combinaciones de estos elementos.

El aparato 100 puede comprender en particular dos lentes optoajustables 11, una para cada ojo 10 del paciente. En tal caso, el aparato 100 también comprende dos sistemas ópticos proyectores.

La onda de potencia óptica periódica 200 de desenfoque puede tener un perfil de onda cuadrada (como el mostrado en la Figura 3), o sinusoidal (como el mostrado en la Figura 6). El valor medio de la onda de potencia óptica periódica puede variar en función de las respuestas del paciente siguiendo distintos métodos: un método de ajuste, una escalera, un método de elección forzosa entre varias alternativas, un método adaptativo, o un método de estímulos constantes.

Aunque la descripción detallada se ha centrado en la aplicación a un procedimiento de refracción subjetiva, se entiende que el experto en la materia podría usar el aparato, sistema y método descritos en otras aplicaciones.

Por ejemplo, el sistema propuesto puede ser utilizado para entrenamiento visual. Además, teniendo en cuenta que el aparato, sistema y método propuestos no están afectados por la acomodación del sujeto, también puede utilizarse para entrenar la acomodación consciente y así retrasar los efectos de la presbicia.

También puede ser utilizada para ajustar el enfoque de una lente optoajustable a una distancia X, colocando un estímulo visual en esa posición X y ajustando la onda de potencia óptica de la lente optoajustable, de modo que los efectos cromáticos y de oscilación se minimizan o hacen nulos.

También podría emplearse para alterar los efectos gráficos que percibe un usuario cuando mira una pantalla a través del aparato, permitiendo ajustar los efectos cromáticos y

oscilaciones percibidos por el sujeto; esta alteración puede ser utilizada, por ejemplo, para videojuegos en los que el sujeto consigue puntos o superar niveles establecidos cuando desaparecen los efectos cromáticos y las oscilaciones.

- 5 A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin salir del objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.
- 10 En este texto, el término “comprende” y sus derivaciones (como “comprendiendo”, etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente. Es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

## REIVINDICACIONES

1. Aparato (100) para realizar medidas optométricas, comprendiendo el aparato  
5 (100):
- una lente optoajustable (11) cuya potencia óptica es ajustable, estando dicha lente gobernada por una señal periódica configurada para producir una onda de potencia óptica periódica (200) en el tiempo;
  - medios (12) para ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica  
10 (200);
- caracterizado por que el aparato (100) además comprende
- un sistema óptico proyector (20) para proyectar un plano de la lente optoajustable (11) en un plano exterior al aparato (100);
- y por que
- la señal periódica tiene una amplitud tal que produce una amplitud de la onda  
15 de potencia óptica periódica (200) correspondiente a una diferencia cromática de foco entre una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda de luz visible que atraviesa la lente optoajustable (11).
- 20 2. Aparato (100) según la reivindicación 1, en el que el plano exterior al aparato es un plano de una pupila del ojo (10) de un sujeto, y la diferencia cromática de foco es la que se produce en el ojo (10) del sujeto cuando el sujeto mira a través del aparato (100).
3. Aparato (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que  
25 además comprende medios para ajustar la amplitud de la onda de potencia óptica periódica (200) a distintas combinaciones de valores de la primera longitud de onda y de la segunda longitud de onda visibles.
4. Aparato (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que  
30 la onda de potencia óptica periódica (200) tiene una frecuencia inferior a una frecuencia umbral de fusión.
5. Aparato (100) según la reivindicación 4, donde la frecuencia está entre 10 y 40 Hz.
- 35 6. Aparato según la reivindicación 5, donde la frecuencia es de 15 Hz.

7. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la amplitud de la onda de potencia óptica periódica (200) está entre 0.25 dioptrías y 3 dioptrías.

5

8. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la amplitud de la onda de potencia óptica periódica (200) está entre 0.75 y 1.5 dioptrías, o entre 0.25 dioptrías y 0.75 dioptrías.

10

9. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la amplitud de la onda de potencia óptica periódica (200) es de 0.75 dioptrías.

10. Sistema para realizar medidas optométricas de un ojo (10) de un sujeto, comprendiendo el sistema:

15

- un estímulo visual (300) con elementos en al menos dos colores diferentes; y
- un aparato (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

11. Sistema según la reivindicación 10, en el que uno de los al menos dos colores diferentes del estímulo visual (300) es una combinación de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda.

20

12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10-11, en el que las primera y segunda longitudes de onda son azul y roja, y uno de los al menos dos colores de los elementos del estímulo visual (300) es magenta.

25

13. Sistema según la reivindicación 12, en el que uno de los al menos dos colores de los elementos del estímulo es negro.

14. Método para ajustar una potencia óptica de una lente optoajustable (11), comprendiendo el método:

30

- hacer que un sujeto mire un estímulo visual (300) a través de una lente optoajustable (11) cuya potencia óptica es ajustable,
- proyectar el plano de la lente de optoajustable (11) en una pupila de un ojo (10) del sujeto;

35

- gobernar la lente optoajustable (11) mediante una señal periódica y producir una

onda de potencia óptica periódica (200) cuya amplitud corresponde a una diferencia cromática de foco que se produce en el ojo (10) del sujeto entre una primera longitud de onda y una segunda longitud de onda de luz visible, comprendiendo el estímulo visual (300) elementos en al menos dos colores diferentes, siendo uno de los al menos dos  
5 colores una combinación de la primera longitud de onda y la segunda longitud de onda;  
y

- ajustar el valor medio de la onda de potencia óptica periódica (200) para reducir o eliminar efectos cromáticos y oscilación del estímulo visual (300) percibidos por el sujeto.

10 15. Método según la reivindicación 14, llevándose a cabo el método con un aparato (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

16. Método según la una cualquiera de las reivindicaciones 14-15, en el que los efectos cromáticos percibidos por el sujeto en el estímulo visual (300) incluyen un viraje  
15 al azul o al rojo.

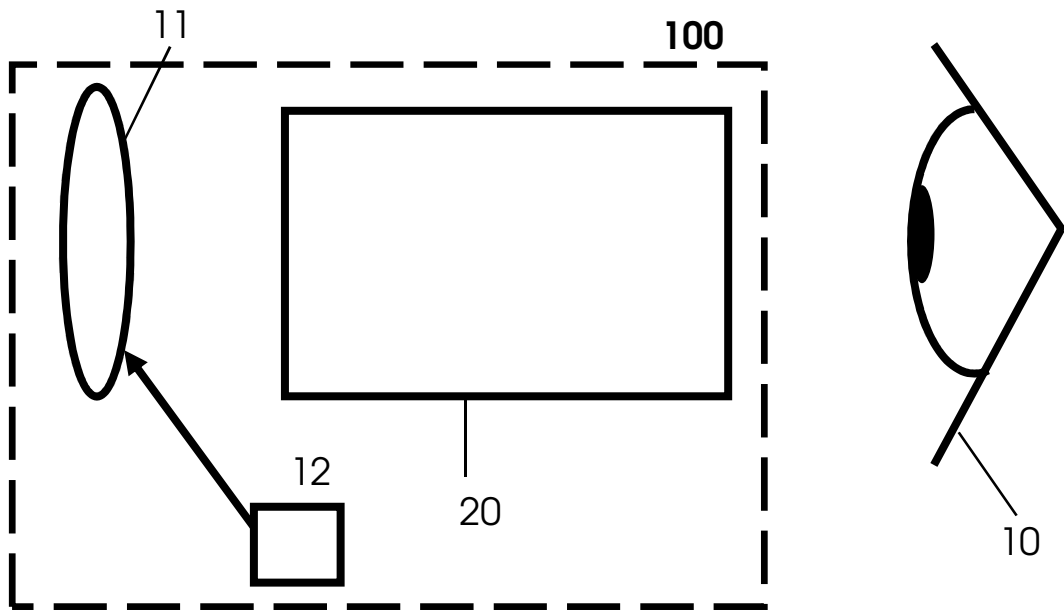


FIG. 1

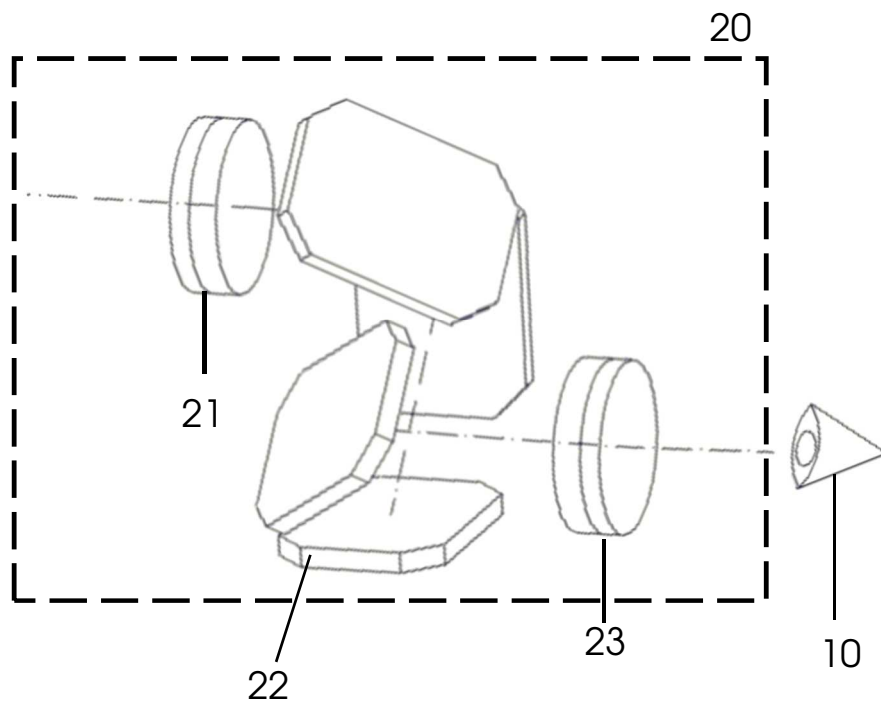
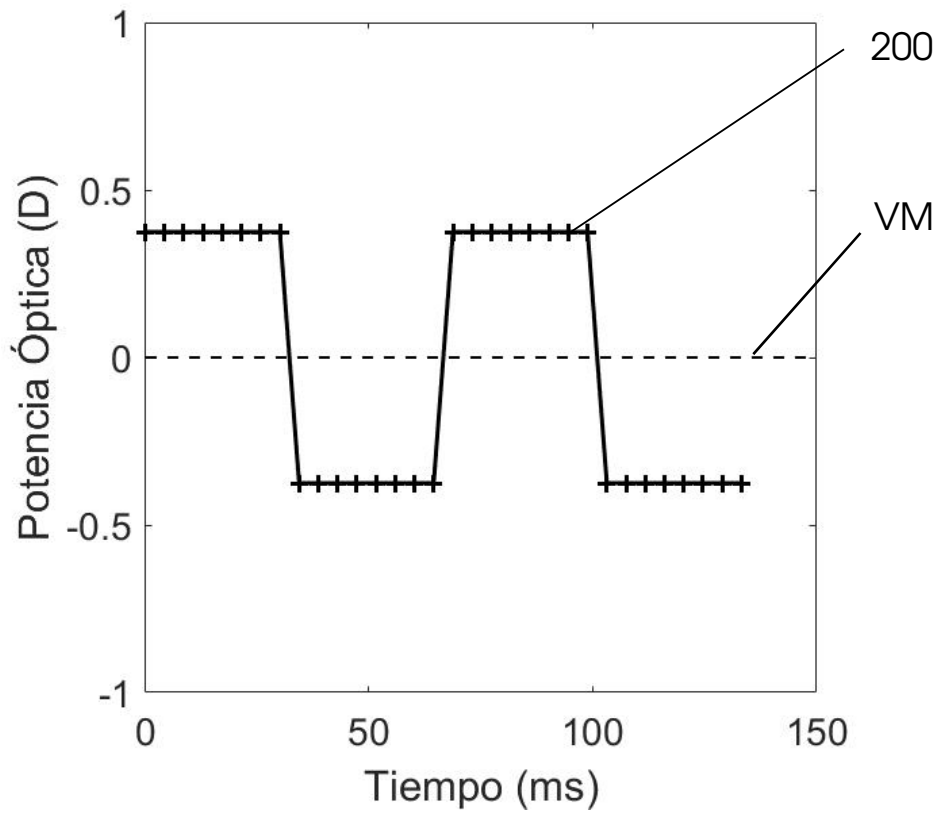
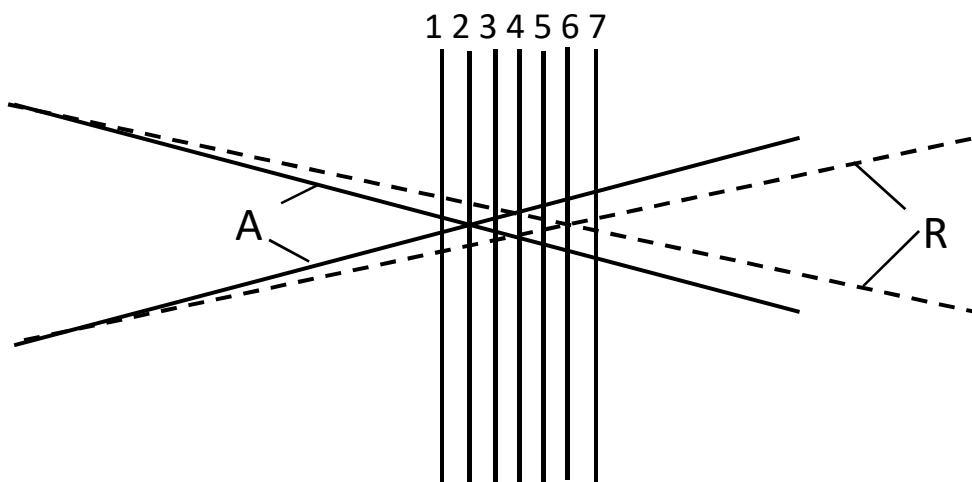


FIG. 2

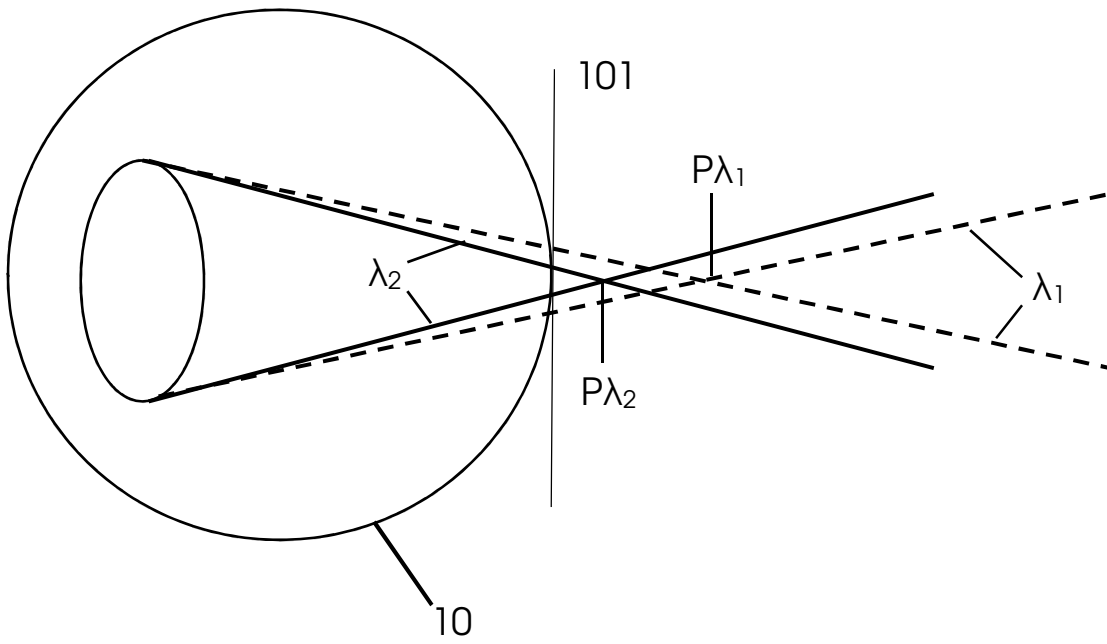


**FIG. 3**

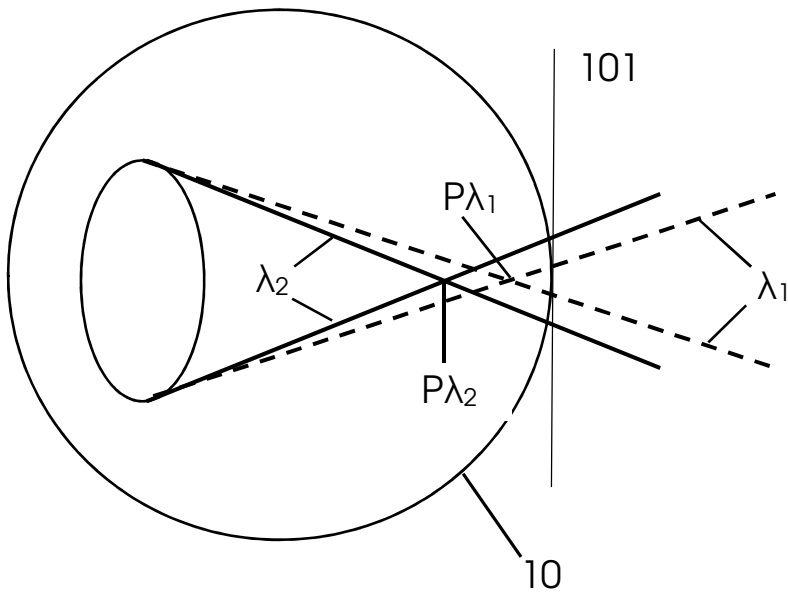


**FIG. 4**





**FIG. 5A**



**FIG. 5B**

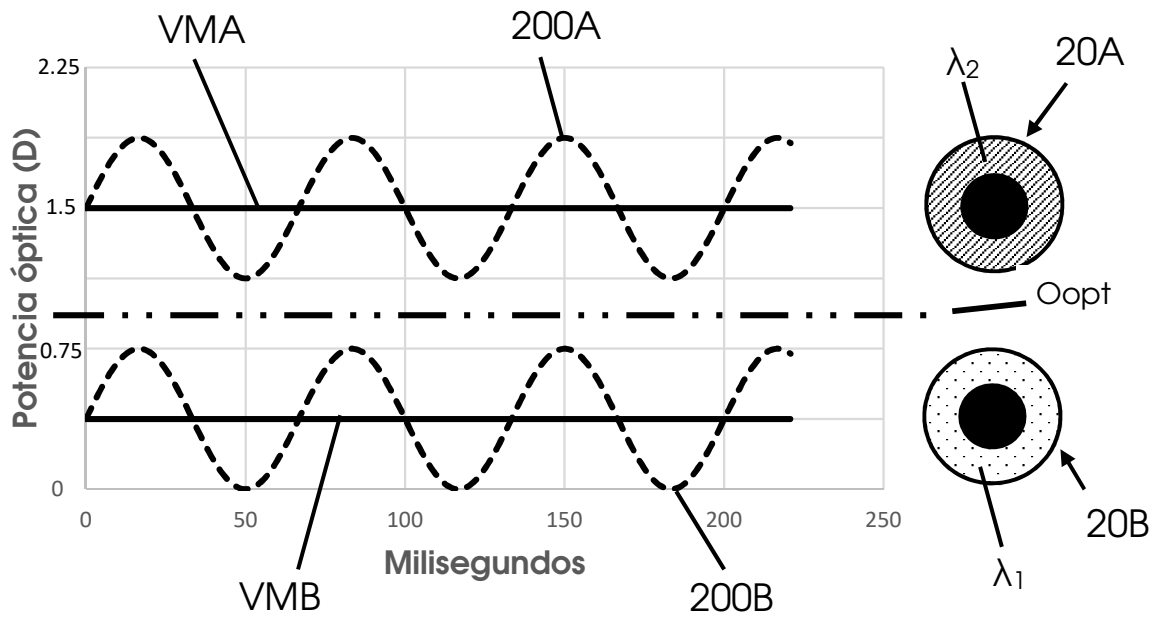


FIG. 6

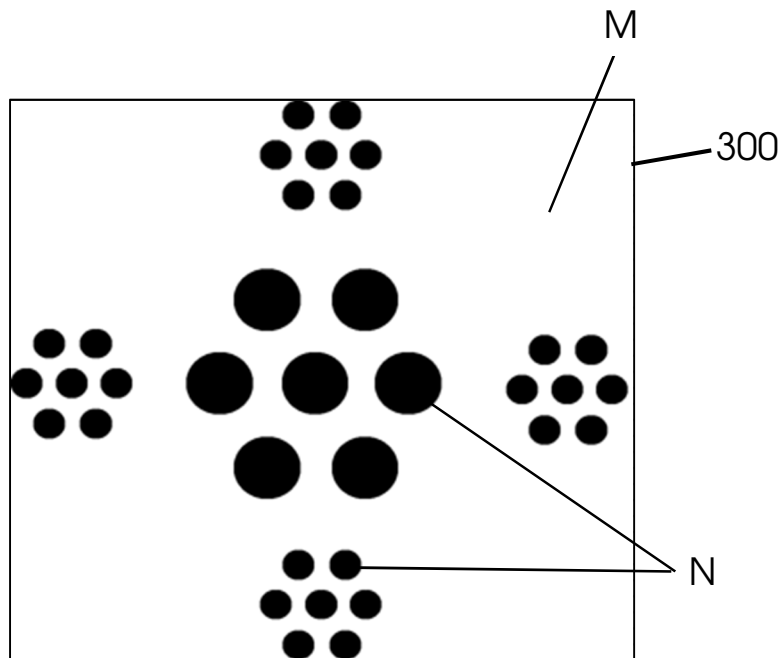


FIG. 7

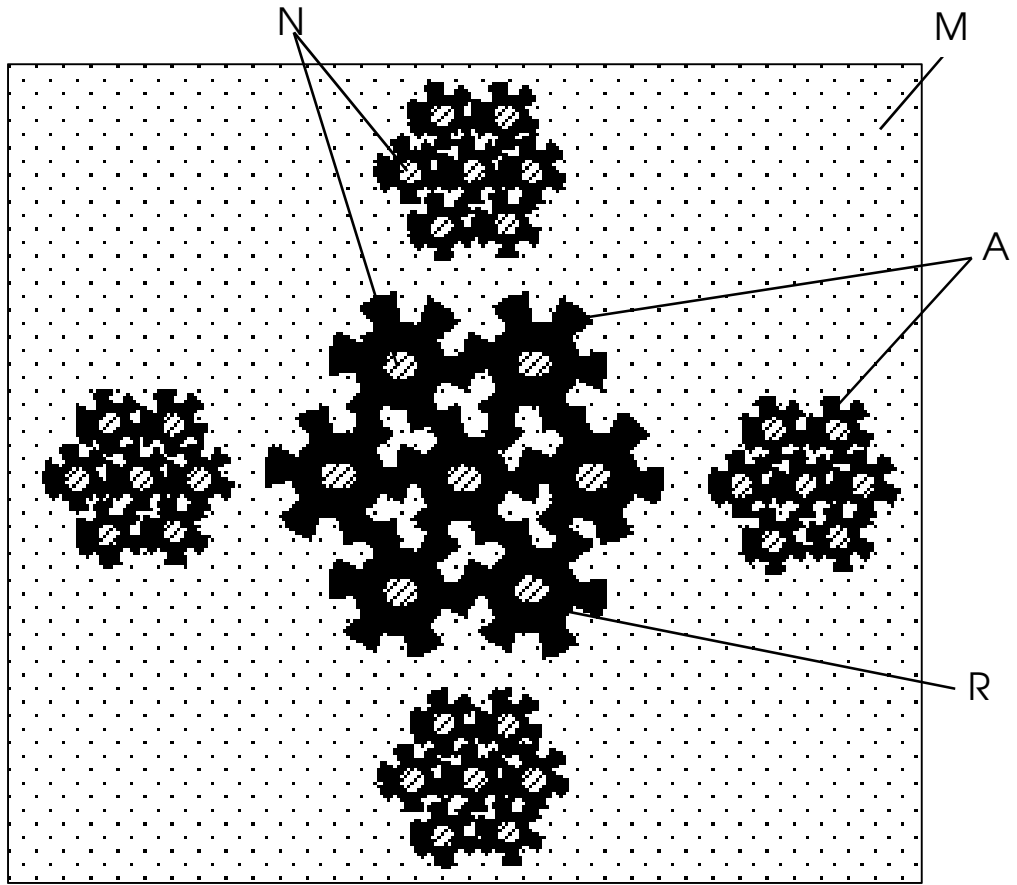


FIG. 8

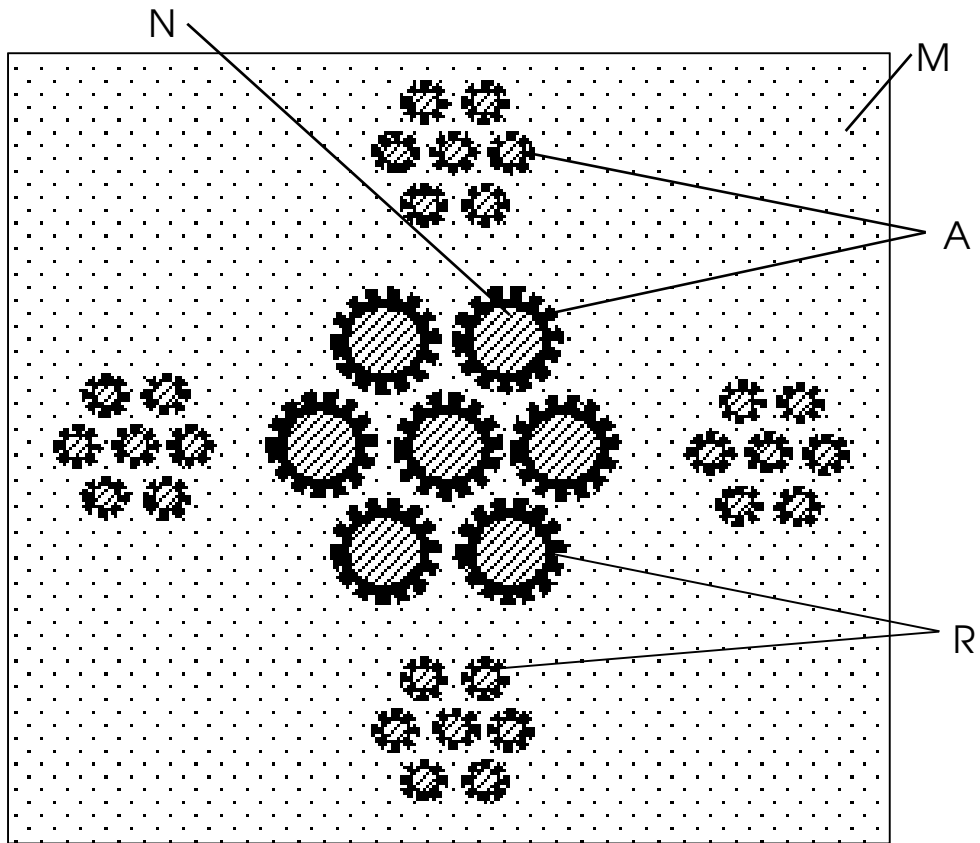


FIG. 9