

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 365**

21 Número de solicitud: 201730584

51 Int. Cl.:

A61B 3/06 (2006.01)

G02B 5/20 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

31.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.09.2017

Fecha de concesión:

27.06.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:

04.07.2018

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
(100.0%)**

**Avda. de Séneca 2
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**SÁNCHEZ RAMOS, Celia y
BONNIN ARIAS, Cristina**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ RAMOS, Celia

54 Título: **DISPOSITIVO Y MÉTODO SIMULADOR DE ENTORNOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN VISUAL**

57 Resumen:

Dispositivo y método simulador de entornos de evaluación de la función visual que comprende un soporte que aloja un luxómetro medidor de la iluminación ambiente que comprende una pluralidad de dioptrios de densidad óptica neutra (DO); y donde la relación entre la densidad óptica y la transmitancia (T) del dioptrio viene dada por $DO = \log(1/T)$; y donde los dioptrios de densidad óptica neutra (DO) están dispuestos en el soporte en correspondencia con el sistema visual de un individuo y configurados para alcanzar distintos niveles de iluminación directamente en el sistema visual del individuo sin realizar una variación real de la iluminación ambiente.

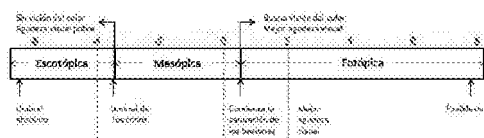


FIG. 1

ES 2 634 365 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP 11/1986.

DESCRIPCIÓN

DISPOSITIVO Y MÉTODO SIMULADOR DE ENTORNOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN VISUAL

5

El objeto de la presente invención es un dispositivo y un método que permita simular diferentes entornos ambientales con cambios de iluminación para evaluar la función visual. Más concretamente, es un objeto de la invención la simulación de un entorno de iluminación mesópico/escotópico, sin transformación del entorno real, pero con efectos fisiológicos semejantes a los obtenidos por modificaciones reales del nivel de iluminación para conocer el estado de la función visual.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA

15

En la presente invención, Tal y como se ha indicado, en la presente memoria descriptiva, por luz ambiente se considerará aquella que proceda de una fuente de luz que ha sido tan dispersada por el entorno que resulta imposible determinar su dirección. La luz ambiente difiere de la luz puntual, ya que ésta última posee un foco de emisión concreto y reducido respecto del área iluminada. La luz ambiente se distingue según sus diferentes niveles en tres rangos de valores en los cuales el sistema visual de un individuo presenta un comportamiento distinto debido a la activación del sistema de fotorreceptores conos o de bastones o bien los sistemas de conos y bastones en simultáneo (FIG.1).

20

25

En el estado de la técnica se identifican tres rangos de valores de iluminación ambiente, donde la visión humana tiene un comportamiento distinto. Así, en la presente invención, se tendrán en cuenta los siguientes valores de iluminación ambiente:

30

Condiciones de iluminación escotópicas: abarca el rango de luminancias comprendido entre 0 y 0,01 cd/m². Cuando el sistema visual se encuentra en un ambiente escotópico se activa únicamente el sistema de fotorreceptores bastones y se anula la acción de los conos; por tanto, la percepción del color se anula y la percepción del detalle disminuye considerablemente.

35

Condiciones de iluminación fotópica: la Comisión de Iluminación (CIE), organismo

encargado de fijar normas internacionales, establece el límite inferior del rango de luminancias fotópicas en 5 cd/m^2 . En este nivel de iluminación ambiente se activa el sistema de fotorreceptores conos y se anula el de los bastones, por tanto, la percepción visual se caracteriza por una buena discriminación de detalles y una correcta discriminación del color.

Condiciones de iluminación mesópicas: el rango de luminancia de este nivel de iluminación comprende 4 unidades logarítmicas. Existe un acuerdo general respecto al límite inferior de luminancia en $0,01 \text{ cd/m}^2$, sin embargo, la definición del límite superior presenta controversia. Con el fin de unificar criterios, la CIE establece el rango de iluminación mesópica entre $0,005 \text{ cd/m}^2$ y 5 cd/m^2 . En un ambiente con iluminación mesópica se activan los sistemas de fotorreceptores conos y bastones, y la implicación de cada uno de ellos difiere en función del nivel mesópico alcanzado. La función visual, en estos casos, presenta una disminución de la percepción del detalle y del color.

Desde un punto de vista práctico, la fotometría como rama de la radiometría está basada en la descripción de las curvas de eficiencia luminosa escotópica, mesópica y fotópica, obtenidas a partir de experimentos fisiológicos relacionando las características espectrales del estímulo luminoso con la percepción visual. Estos estudios han servido, como, ya se ha comentado, para establecer el observador estándar CIE para la visión fotópica (CIE 1924), el observador estándar CIE para la visión escotópica (CIE 1951), y el observador estándar CIE para la visión mesópica en 2010).

Por otro lado, el sistema visual tiene la capacidad de adaptarse a un rango de iluminación de hasta doce unidades logarítmicas, desde la percepción del mínimo visible hasta la percepción en un ambiente de iluminación extremadamente alto. Las condiciones de iluminación ambiente son responsables de la activación del sistema de fotorreceptores conos (alta iluminación) o bastones (baja iluminación) de forma independiente, o conos y bastones simultáneamente (niveles medios de iluminación), y las diferencias producidas por la activación de unos sistemas u otro definen los niveles y umbrales de la percepción visual.

Actualmente, la simulación de un entorno de iluminación mesópico/escotópico, sin transformación del entorno real, pero con efectos fisiológicos semejantes a los obtenidos por modificaciones reales del nivel de iluminación es importante. Su trascendencia

radica en que es importante porque habitualmente y de manera globalizada se realizan tareas que implican conseguir el mejor rendimiento de la visión del individuo para lo cual es imprescindible una correcta evaluación de su sistema. Por lo tanto, se hace necesario conseguir dispositivos y métodos de evaluación estandarizados que permitan la valoración de los distintos aspectos de la función visual en distintas condiciones de iluminación ambiente de tal forma que permitan la comparación entre resultados y la actuación sobre los defectos visuales hallados. El sistema visual experimenta cambios fisiológicos en función del nivel de iluminación. Entre estos cambios se encuentran:

- 10 a) Variación del diámetro pupilar desde condiciones medias a condiciones mióticas (diámetro pupilar pequeño) a condiciones midriáticas (diámetro pupilar grande)
- b) Aumento de la cara anterior del cristalino dando lugar a un aumento del poder refractor de este y en consecuencia a miopía nocturna
- 15 c) Cambios en el procesamiento de la función visual; en condiciones fotópicas se activan los fotorreceptores conos, en condiciones escotópicas se activan los fotorreceptores bastones y en condiciones mesópicas se activan ambos sistemas.

20 La valoración de la función visual en condiciones de baja y muy baja iluminación (mesópica y escotópica) resulta de especial interés si se considera la miopía nocturna que se caracteriza principalmente por una deficiencia de enfoque de la imagen en condiciones de baja iluminación. Esta disfunción está causada por un cambio en las propiedades refractivas del ojo cuando se dilata la pupila (midriasis) debido a que la zona periférica del sistema óptico ocular produce un peor enfoque de la imagen que la zona óptica central.

Otras características a considerar en la visión en bajos niveles de iluminación son las aberraciones. Como se describe en el estado de la técnica conocido, la aberración cromática del ojo es el resultado de una mayor refracción de la luz de longitud de onda corta respecto a la refracción de las longitudes media y larga. Además, debe considerarse que cuando el ojo cambia de condiciones de iluminación fotópica a niveles escotópicos, el coeficiente de visibilidad espectral máximo pasa de situarse a 555 nm en condiciones fotópicas a valores máximos de 510 nm para condiciones escotópicas.

35 Este cambio de sensibilidad espectral, denominado *efecto Purkinje*, apoya la explicación

de la miopía nocturna, ya que, en condiciones de baja iluminación, el ojo es más sensible a las longitudes de onda corta y éstas son las que sufren mayor nivel de refracción y, por tanto, en esta situación, el ojo es *más miope* que en condiciones fotópicas.

- 5 Por otro lado, la aberración esférica se produce por la falta de coincidencia de enfoque entre los rayos centrales (próximos al eje) y los exteriores (alejados del eje). Los rayos periféricos no confluyen en el foco de los rayos centrales, sino en otros focos situados próximos a él, produciendo una ligera borrosidad simétrica. El efecto es de una mancha circular de determinado diámetro que produce un efecto similar al desenfoque. La
- 10 aberración esférica es considerada como la aberración óptica monocromática dominante del ojo humano. Distintos estudios han cuantificado la participación de la aberración esférica sobre el proceso de miopización en cantidades que oscilan en un intervalo comprendido entre $-0,5D$ y $-1D$. Es conocido en el estado de la técnica, igualmente, que las pérdidas de la percepción visual en condiciones de visión nocturna
- 15 son más graves en las personas mayores, como resultado de los cambios relacionados con la edad en los procesos ópticos y neurales.

- Otro aspecto importante de la función visual a considerar en función de la iluminación ambiente corresponde a la percepción del color. La visión del color se deteriora con la
- 20 reducción de la iluminación ambiente como resultado de una disminución de las señales de los conos (fotorreceptores capaces de percibir el color) ya que se activa el sistema de bastones que contiene un único tipo de fotorreceptor (rodopsina). La convergencia estructural y funcional del sistema de bastones da lugar a la mejor sensibilidad a la luz del sistema visual. Otra variable a considerar corresponde al mínimo ángulo de
- 25 resolución y a todos los aspectos que están relacionados con la resolución espacial que son muy variables en función del nivel de iluminación. Con respecto a la frecuencia crítica de fusión y a la suma espacial y temporal de los estímulos, es necesario resaltar la variabilidad entre el sistema de conos y bastones y, por tanto, entre la función visual fotópica, mesópica y escotópica. La percepción de la profundidad y el relieve requiere
- 30 que los dos campos visuales se solapen en un campo visual binocular, donde las imágenes obtenidas por ambos ojos y procesadas a través de las vías ópticas puedan ser fusionadas por estimulación de áreas correspondientes de ambas retinas, permitiendo la percepción de profundidad y relieve que es valorada mediante la disparidad binocular y la estereoagudeza. Todos los aspectos anteriormente citados se
- 35 pueden valorar en las distintas áreas del campo visual (central, paracentral y periférica)

tanto en ojos sanos como en ojos con cualquier patología.

Así pues, se ha de tener en cuenta que una correcta valoración de las capacidades visuales permite conocer el estado de la función visual en diferentes ambientes, de vital importancia para individuos que realicen actividades y trabajos de precisión en entornos con visibilidad reducida por disminución de los niveles de iluminación como pueden ser los bomberos, los cuerpos de seguridad del Estado, Ejércitos, equipos de rescate y salvamento, los guardias de seguridad, sanitarios, mineros, tripulación de barcos, aviones, entre otros. Teniendo en cuenta que las capacidades visuales difieren drásticamente en diferentes condiciones de iluminación, la evaluación completa y correcta del sistema visual debe realizarse teniendo en cuenta los niveles de luminancia del entorno (fotópico, mesópico, escotópico). Sin embargo, las condiciones de iluminación de las salas de evaluación de la función visual son muy variables. Este hecho impide la estandarización del protocolo de medida dificultando la correcta valoración de las capacidades visuales tales como de la agudeza visual, la sensibilidad al contraste, la percepción del color, la percepción del movimiento, ente otros aspectos, imposibilitando la comparación de los valores obtenidos en diferentes lugares.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En aras de solucionar los problemas mencionados en el estado de la técnica, la presente invención describe un método y un dispositivo simulador de entornos de evaluación de la función visual de acuerdo con las reivindicaciones independientes que acompañan a la presente memoria descriptiva. En las reivindicaciones dependientes, por otro lado, se describen distintas realizaciones particulares tanto del dispositivo como del método objeto de la presente invención.

Así pues, el objeto de la presente invención es proporcionar una simulación de un entorno de iluminación mesópico/escotópico, sin transformación del entorno real, pero con efectos fisiológicos semejantes a los obtenidos por modificaciones reales del nivel de iluminación. Es también un objeto de la presente invención un dispositivo y un método de evaluación estandarizado que permita la valoración de los distintos aspectos de la función visual en distintas condiciones de iluminación ambiente de tal forma que permitan la comparación entre resultados y proveer soluciones a los defectos detectados (quirúrgicas, farmacológicas, clínicas, ópticas, psicológicas o de cualquier

otro orden). Entre estos aspectos de la función visual se incluyen, al menos, la percepción del detalle, el color, la forma, la profundidad, el relieve, el contraste y la frecuencia crítica de fusión.

- 5 Más concretamente, el dispositivo se configura como un soporte que aloja un luxómetro
medidor de iluminación ambiente, así como una pluralidad de dioptrios de densidad
óptica neutra configurados para conseguir distintos niveles de iluminación directamente
en el sistema visual del usuario sin realizar una variación real de la iluminación ambiente.
En distintas realizaciones prácticas del dispositivo, este puede adoptar una
10 configuración de casco, máscara, visor o cualquier sistema que permita la interposición
de dioptrios (elementos transparentes de densidad óptica variable) de forma manual,
mecánica o digital (por ejemplo, mediante el empleo de un vidrio electrocrómico).

La metodología es muy sencilla y puede realizarse para simular diferentes niveles de
15 iluminación. En primer lugar, se establece el nivel de iluminación en el que se quiere
evaluar al individuo. En segundo lugar, se mide mediante el luxómetro la iluminación
ambiente real del habitáculo. En tercer lugar, se interponen los dioptrios necesarios para
conseguir emular las condiciones de iluminación del entorno, por ejemplo, mediante un
material electrocrómico o cambiando y/o superponiendo los dioptrios por otros con
20 diferentes densidades ópticas. Finalmente, se valorarán los aspectos de la función que
se requiera evaluar mediante la metodología habitual utilizada en clínica, de manera
subjetiva u objetiva.

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra «comprende» y sus
25 variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o
pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la
invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la
invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y
no se pretende que restrinjan la presente invención. Además, la presente invención
30 cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí
indicadas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

35 A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que

ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

5 En la FIG.1 se muestran esquemáticamente las condiciones de iluminación y rango de funcionamiento de los fotorreceptores.

En la FIG.2 se muestra la gráfica entre sensibilidad relativa y longitud de onda, para visiones escotópicas y fotópicas.

10 En la FIG.3 se muestran las gráficas representativas de aberración esférica (FIG.3a) y aberración cromática (FIG.3b).

15 En la FIG.4 se muestran distintas posibles realizaciones físicas no limitativas del dispositivo simulador de entornos para la evaluación de la función visual objeto de la presente invención.

EXPOSICIÓN DE UN MODO DETALLADO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

20 Tal y como se ha indicado, en la presente memoria descriptiva, la luz ambiente se distingue según sus diferentes niveles en tres rangos de valores en los cuales el sistema visual de un individuo presenta un comportamiento distinto debido a la activación del sistema de fotorreceptores conos o de bastones o bien los sistemas de conos y bastones en simultáneo (FIG.1). Estos niveles de iluminación pueden ser escotópicos, mesópicos y fotópicos.

25 Los cambios de las condiciones de iluminación se pueden llevar a cabo modificando la iluminación del ambiente de forma real o bien, simulando niveles de iluminación más bajos que el real mediante dioptrios de densidad óptica (DO) variable. La relación entre la densidad óptica y la transmitancia del dioptrio viene dada por:

30

$$DO = \log (1/T)$$

Cuando toda la luz es transmitida $T = 1$ y $DO = 0,0$.

35 La luminancia del test visto a través del dioptrio de densidad óptica puede calcularse

según la expresión:

$$L = L_o * T$$

- 5 donde L_o es el valor de la luminancia sin interposición de dioptrios (a ojo desnudo) y T es la transmitancia del dioptrio.

Teniendo en cuenta que $DO = \log (1/T)$ la luminancia (L) con interposición de dioptrios de densidad óptica se puede calcular según la siguiente expresión:

10

$$L = \frac{L_o}{10^{DO}}$$

A modo de ejemplo se expone a continuación la tabla de diferentes densidades ópticas y la luminancia resultante de su interposición, para una luminancia real (sin interposición de dioptrios de densidad óptica) de $L_o = 80 \text{ cd/m}^2$

15

Densidad óptica del dioptrio	Luminancia resultante (cd/m^2)
Ojo desnudo	80
0,05	71,30
0,1	63,55
0,2	50,47
0,5	25,29
0,74	14,56
0,8	12,68

La modificación de los niveles de luminancia se puede conseguir tanto con interposición de dioptrios independientes como por superposición de dioptrios de igual o distintas densidades ópticas. También pueden utilizarse dioptrios que modifiquen su densidad óptica mediante otros estímulos tipo eléctricos, de radiación UV, entre otros.

20

En un primer aspecto de la invención, se describe un dispositivo simulador de entornos de evaluación de la función visual que comprende un soporte que aloja un luxómetro medidor de la iluminación ambiente en el habitáculo donde se evalúa al individuo. El
5 dispositivo comprende una pluralidad de dioptrios de densidad óptica neutra (DO), en donde la relación entre la densidad óptica y la transmitancia (T) del dioptrio viene dada por $DO = \log(1/T)$. Los dioptrios de densidad óptica neutra (DO) están dispuestos en el soporte en correspondencia con el sistema visual de un individuo, para lo que es necesario un soporte que disponga los dioptrios lógicamente enfrente del sistema visual
10 (ojos) del individuo. El soporte, por tanto, es uno cualquiera seleccionado entre un casco, una máscara, un visor o una combinación de los anteriores (FIG.4) siendo el único requisito, precisamente, que soporte a los dioptrios de densidad óptica variable enfrente de los ojos del individuo de tal forma que se puedan alcanzar distintos niveles de iluminación directamente en el sistema visual del individuo sin realizar una variación
15 real de la iluminación ambiente.

Para la variación de los distintos niveles de iluminación se utilizan dioptrios que son elementos transparentes con una densidad óptica determinada. Así pues, en el soporte, para variar los niveles de iluminación simplemente sería necesario variar los dioptrios,
20 bien por acumulación (superponiendo dioptrios), bien por cambio de uno por otro con otra densidad óptica, de manera manual o automatizada. También sería posible variar la densidad óptica del dioptrio de forma informatizada, mediante un dioptrio electrocrómico con densidad óptica variable, de tal forma que, aplicando los impulsos eléctricos necesarios, sea posible variar la densidad óptica del dioptrio para obtener las
25 condiciones de iluminación requeridas en la evaluación del individuo.

Finalmente, el método simulador de entornos de evaluación de la función visual estará implementado en un dispositivo de acuerdo con la descripción anterior, y que estando configurado para la valoración de distintos aspectos de la función visual de un individuo
30 con la misma metodología que se utiliza actualmente en la medicina clínica comprende las etapas de: (i) definir el nivel de iluminación en el que se requiere evaluar al individuo; (ii) medir mediante un luxómetro la iluminación ambiente real de un habitáculo en donde esté situado el individuo; y (iii) interponer los dioptrios (DO) necesarios para emular las condiciones de iluminación definidas en la etapa (i) sin una variación real de la
35 iluminación ambiente.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo simulador de entornos de evaluación de la función visual que comprende un soporte que aloja un luxómetro medidor de la iluminación ambiente que se **caracteriza** porque comprende una pluralidad de dioptrios de densidad óptica neutra (DO); y donde la relación entre la densidad óptica y la transmitancia (T) del dioptrio viene dada por $DO = \log(1/T)$; y donde los dioptrios de densidad óptica neutra (DO) están dispuestos en el soporte en correspondencia con el sistema visual de un individuo y configurados para 10 alcanzar distintos niveles de iluminación directamente en el sistema visual del individuo sin realizar una variación real de la iluminación ambiente.
- 15 2. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 donde el soporte es uno seleccionado entre un casco, una máscara, un visor o una combinación de los anteriores.
3. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 donde los dioptrios son elementos transparentes con densidades ópticas determinadas.
- 20 4. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 donde el dioptrio es un vidrio, polímeros plásticos u otras superficies de separación entre medios con propiedades electrocrómicas de densidad óptica variable.
- 25 5. Un método simulador de entornos de evaluación de la función visual implementado en un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 que estando configurado para la valoración de distintos aspectos de la función visual de un individuo se **caracteriza** porque comprende las etapas de: (i) definir el nivel de iluminación en el que se requiere evaluar al individuo; (ii) medir mediante un luxómetro la iluminación ambiente real de un habitáculo en donde esté situado el individuo; y (iii) interponer los dioptrios (DO) necesarios para emular las condiciones de iluminación definidas en la etapa (i) sin una variación real de la iluminación ambiente.
- 30 6. El método de la reivindicación 5 que comprende una etapa de acumular una pluralidad de dioptrios (DO) de distintas densidades ópticas para obtener las condiciones de iluminación requeridas en la evaluación del individuo.
- 35 7. El método de la reivindicación 5 que comprende una etapa de variar la densidad óptica de un material electrocrómico para obtener las condiciones de iluminación requeridas en la evaluación del individuo.

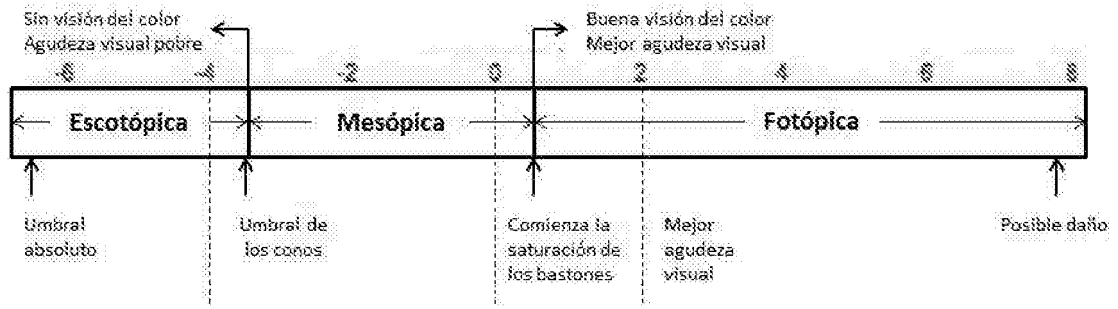


FIG.1

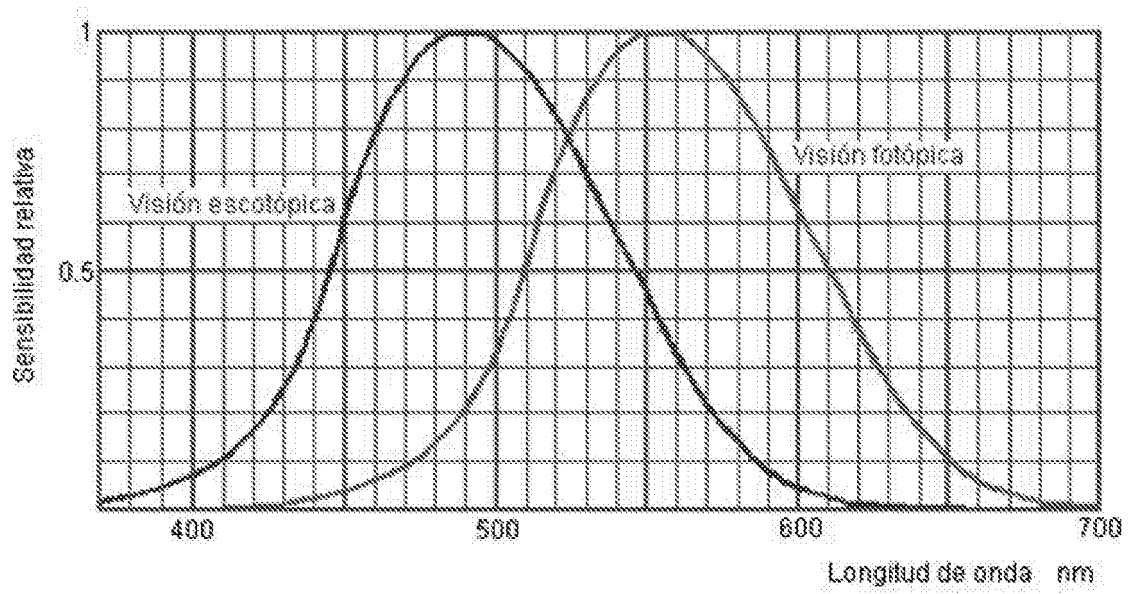


FIG.2

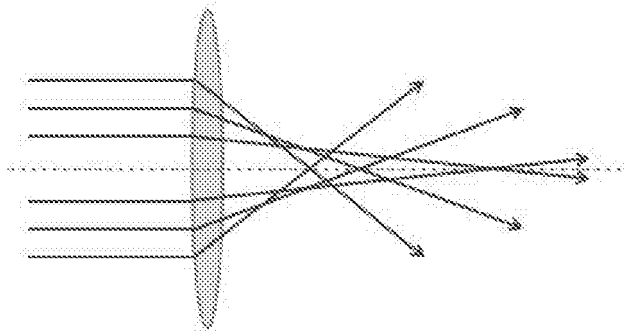
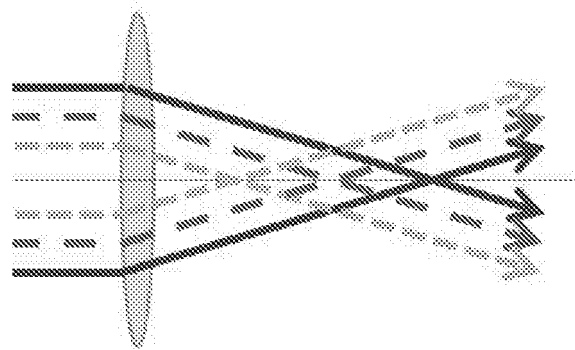


FIG.3a



- Longitudes de onda corta
- - - - - Longitudes de onda media
- Longitudes de onda larga

FIG.3b

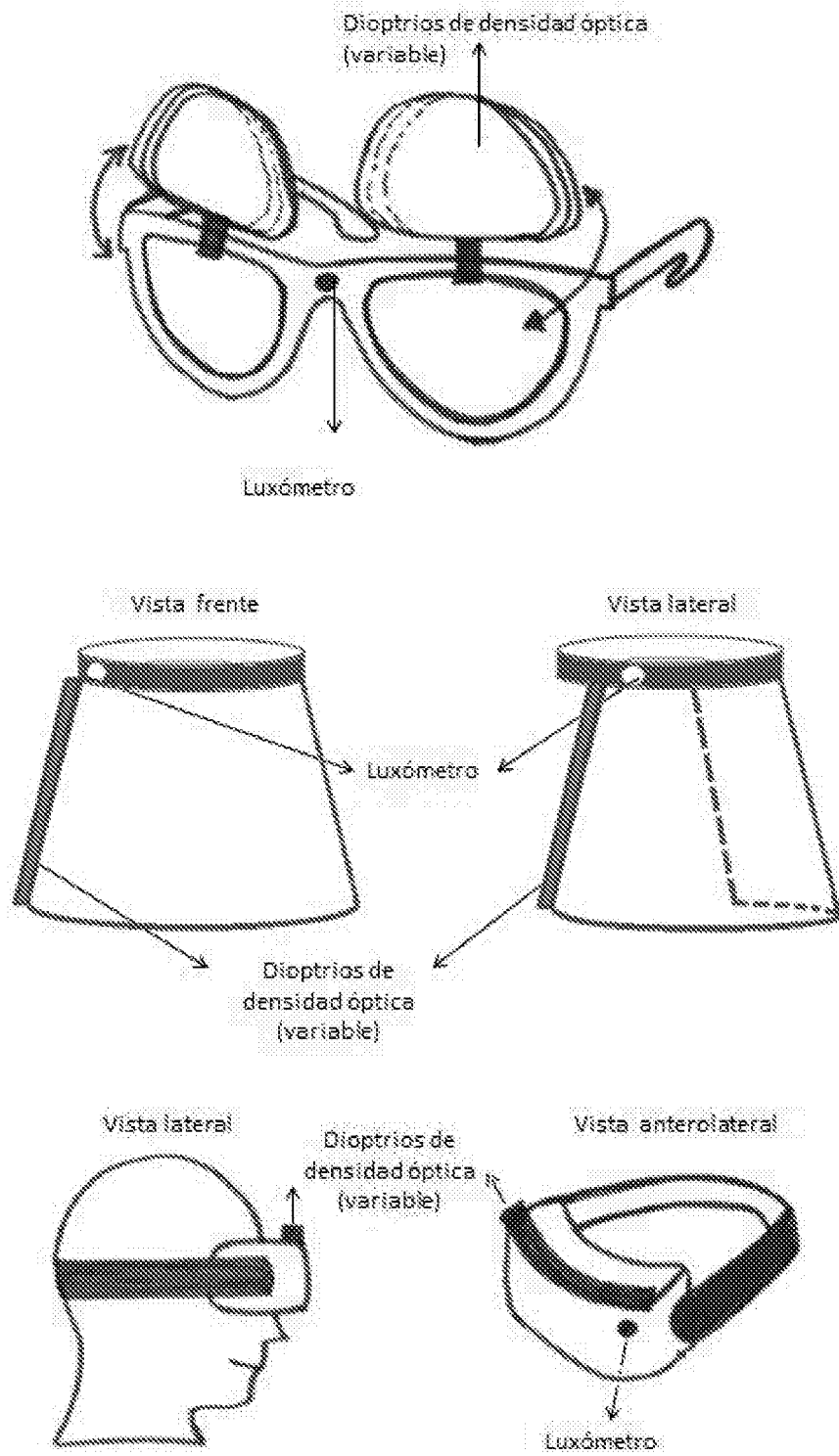


FIG.4