



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 340 980**

② Número de solicitud: 200803498

⑤ Int. Cl.:  
**A61B 3/10** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **10.12.2008**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **11.06.2010**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **11.06.2010**

⑦ Solicitante/s: **Universidad de Murcia  
Avda. Teniente Flomesta, s/n  
Edificio Convalecencia  
30003 Murcia, ES**

⑦ Inventor/es:  
**Fernández Martínez, Enrique Joshua y  
Artal Soriano, Pablo**

⑦ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

⑤ Título: **Método para la medida de aberraciones del ojo mediante luz infrarroja invisible e instrumentos oftálmicos que emplean dicho método.**

⑤ Resumen:

Método para la medida de aberraciones del ojo mediante luz infrarroja invisible e instrumentos oftálmicos que emplean dicho método.

Método para la medida de aberraciones del ojo (2) mediante luz infrarroja invisible e instrumentos oftálmicos que emplean dicho método, llevándose a cabo en dicho método la iluminación de la retina del ojo (2) mediante radiación infrarroja fuera del espectro visible, de tal forma que la porción de iluminación incidente sobre la retina del ojo (2) difundida de vuelta al exterior por dicha retina es llevada a un sensor (1) en el cual se realiza, mediante comparación, la medida objetiva de las aberraciones del citado ojo (2), siendo la longitud de onda de la iluminación infrarroja incidente sobre la retina del ojo (2) de más de 900 nm y de menos de 1070 nm, y siendo el sensor (1) un sensor de frente de onda de tipo Hartmann-Shack, un sensor de frente de onda de tipo piramidal, un sensor de frente de onda del tipo basado en la medida de la curvatura o un sensor del tipo que emplea interferometría.

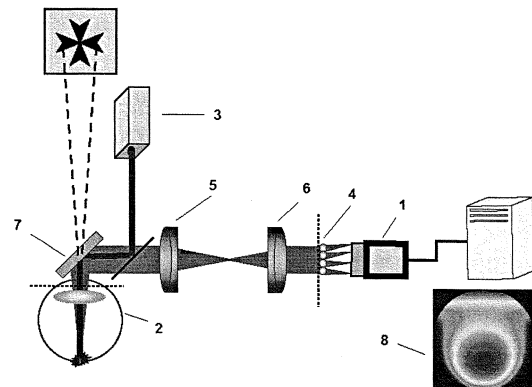


FIG. 1

ES 2 340 980 A1

## DESCRIPCIÓN

Método para la medida de aberraciones del ojo mediante luz infrarroja invisible e instrumentos oftálmicos que emplean dicho método.

### **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para la medida de las aberraciones del ojo utilizando luz infrarroja invisible para el ojo humano, así como a un instrumento oftálmico que emplea un método de medida tal.

### **Antecedentes de la invención**

En la primera etapa de la visión, la óptica del ojo determina y limita la calidad de las imágenes que se proyectan en la retina. Desde este punto de vista, entender y medir las características ópticas del ojo proporciona valiosa información sobre la calidad de la visión. Así, se conocen en el estado de la técnica numerosos métodos para determinar de una manera objetiva las aberraciones, es decir, las imperfecciones del ojo, que producen que la imagen sea defectuosa. Estas aberraciones son precisamente las que determinan la calidad óptica del ojo. Uno de los principales métodos empleados en la actualidad para medir las aberraciones del ojo es el que utiliza el sensor de frente de onda de Hartmann-Shack. Otros métodos objetivos conocidos para la medida de aberraciones son, por ejemplo el sensor de curvatura, el test de Focault y el sensor de pirámide.

Los sistemas de medida de aberraciones conocidos en la actualidad implican la introducción de luz visible en el ojo. Dicha luz, tras ser reflejada o difundida por la retina, atraviesa de vuelta el ojo completo, y es finalmente analizada a su salida. El inconveniente que plantean métodos tales es que, dado que emplean radiación en la franja visible o en la franja de infrarrojos cercana en la medida de las aberraciones, el sujeto percibe el haz de medida. Esto es de particular importancia cuando el sujeto está realizando alguna tarea visual, como test de sensibilidad al contraste, medidas de agudeza visual, etc, durante la medida de sus aberraciones. Así, el uso de luz visible para medir las aberraciones simultáneo a la realización de tareas visuales hace que el sujeto perciba ambos estímulos a la vez, el de la luz de medida y el que procede del test o estímulo visual. Esto tiene como consecuencia que algunos sujetos no sean capaces de fijar su atención completamente en el test o estímulo, por lo que, o bien no se puede llevar a cabo la medida, o bien los resultados no son fiables. Por otro lado, cuando se quiere presentar por ejemplo un test con baja irradiancia (i.e., en condiciones pobres de iluminación) para estudiar o medir la capacidad del sistema visual en dichas condiciones, la luz introducida en el ojo para medir las aberraciones es percibida más intensamente que el propio test visual. Esto hace imposible llevar a cabo estas medidas en la actualidad con el estado de la técnica disponible.

La presente invención está orientada a la solución de los inconvenientes planteados anteriormente.

### **Sumario de la invención**

Así, la presente invención se refiere a un método para la medida de las aberraciones del ojo, así como para la caracterización de la calidad óptica del mismo, mediante el uso de iluminación infrarroja fuera del espectro visible. El citado método emplea así radiación infrarroja fuera del espectro visible para el ojo humano, en particular de una longitud de onda mayor de 900 nm. De esta manera se consigue que el sujeto no perciba el haz de medida en los rangos de irradiancia necesarios para la obtención de las aberraciones. Esto ocurre debido al limitado rango espectral de respuesta de los fotorreceptores en la retina, abarcando estos únicamente el espectro visible.

El uso de luz infrarroja es de gran interés práctico en términos de comodidad para el sujeto, permitiéndole realizar tareas visuales mientras que sus aberraciones están siendo medidas sin ningún tipo de interferencia. Por otro lado, el uso de luz infrarroja es también de gran interés por motivos de seguridad, pues permite introducir más flujo radiante en el ojo, sin riesgo de daño en la retina, en comparación con las longitudes de onda del espectro visible.

El empleo de luz infrarroja fuera del espectro visible no se ha demostrado hasta el momento en la medida de aberraciones oculares.

Por otro lado, la invención se refiere también a una variedad de instrumentos oftálmicos para la medida objetiva de las aberraciones del ojo que emplean el método anterior.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue de una realización ilustrativa de su objeto en relación con las figuras que se acompañan.

### **Descripción de las figuras**

La Figura 1 muestra en esquema los componentes para la puesta en práctica de la realización el método de medida de aberraciones oculares según la presente invención.

La Figura 2 muestra una gráfica de la variación de la  $PP_R$  en el ojo humano, o razón pedestal/pico de la imagen de Hartmann-Shack, en función de la longitud de onda de la iluminación empleada, para la medida de aberraciones mediante el uso del método de la presente invención.

La Figura 3 muestra las imágenes de Hartmann-Shack en diferentes longitudes de onda y para diferentes sujetos, mostrándose el efecto de la longitud de onda sobre la calidad de las imágenes en la medida de aberraciones mediante el uso del método de la presente invención.

5 La Figura 4 muestra una gráfica de los mapas de aberración obtenidos mediante el uso del método de la presente invención en ojos reales.

La Figura 5 muestra una gráfica de la media cuadrática (RMS) del frente de onda para diferentes sujetos testados, en la medida comparada de aberraciones mediante el uso del método de la presente invención.

10 La Figura 6 muestra una gráfica de la variación del desenfoque cromático o aberración cromática longitudinal desde el espectro visible hasta el infrarrojo empleado para la medida de aberraciones mediante el uso del método de la presente invención.

15 La Figura 7 muestra en esquema el procedimiento para la obtención de la  $PP_R$ , o razón pedestal/pico a partir la imagen de Hartmann-Shack mediante el uso del método de la presente invención.

### Descripción detallada de la invención

20 Las aberraciones del ojo 2 obtenidas con el método de la invención emplean un sensor 1 de frente de onda de Hartmann-Shack en la franja infrarroja, fuera del espectro visible, de una longitud de onda mayor de 900 nm, preferiblemente hasta 1070 nm. El empleo de iluminación infrarroja invisible presenta un enorme potencial en el mejor entendimiento del impacto e influencia de las aberraciones en la visión, en particular cuando se usa combinado con óptica adaptativa. El método de la invención permite así medir, y eventualmente controlar, las aberraciones mientras que el sujeto está, por ejemplo, sometido a un test de visión, sin que dicho sujeto tenga interferencias de la fuente de luz de medida.

Hay una serie de factores que hacen muy ventajoso el empleo de este rango de espectro en la medida de aberraciones del ojo humano: en primer lugar, la respuesta de la retina es muy débil en la zona de infrarrojos cercanos, por lo que sería necesario aplicar grandes irradiancias para que el sujeto percibiera el estímulo; por otro lado, la porción de la radiación incidente sobre la retina que es difundida de vuelta al exterior por ésta aumenta conforme se aumenta la longitud de onda de la radiación empleada. Esto permite utilizar la zona de infrarrojos cercanos obteniéndose una alta señal en el sensor. Por otro lado, el conocimiento de la aberración cromática longitudinal, o desenfoque cromático, permite estimar con gran precisión la calidad óptica del ojo en el espectro visible a partir de las medidas realizadas en el rango del infrarrojo cercano. Así, según el método de la invención, el rango del espectro para el estudio de la óptica ocular se ha realizado en longitudes de onda de más de 900 nm. El uso de longitudes de onda en el infrarrojo hace que la fuente de luz 3 empleada sea en la práctica invisible para el ojo humano, debido a los niveles de irradiancia necesarios para llevar a cabo las medidas, presentando además el método de la invención ventajas añadidas, como es el poder realizar el control de las aberraciones mediante el uso de óptica adaptativa, de tal forma que los sujetos no noten la fuente de luz de medida. El método de la invención permite también el estudio de la visión en niveles bajos de iluminación, bajo condiciones escotópicas y mesópicas. El método de la invención emplea radiación infrarroja de hasta 1070 nm.

El aparato experimental (Figura 1) para realizar la medida de aberraciones del ojo 1 comprende un sensor 1 de frente de onda de Hartmann-Shack, una fuente de luz 3 infrarroja en el espectro no visible, y sistemas ópticos 4 para adaptar la salida del ojo 2 al sensor 1. Según se muestra en la Figura 1, el sensor 1 de frente de onda está dispuesto en la longitud focal de una disposición de micro lentes 5, 6. El citado aparato comprende también un telescopio 7 que conjuga ópticamente la salida de la pupila del ojo 2 con el plano de las microlentes 5, 6 del sensor. Las citadas microlentes 5, 6 estarán preferiblemente recubiertas de un revestimiento antirreflectante que reduzca las pérdidas en el espectro de radiación de infrarrojos.

Según medidas experimentales del método de la invención, tal y como se representa en la Figura 3, se comparan imágenes de Hartmann-Shack para diferentes sujetos en los cuales se ha medido la aberración con el método de la invención y empleando radiación infrarroja en longitudes de onda de 633 y 1050 nm, a modo de comparación. A partir de un análisis de las imágenes se llega a la conclusión de que, de modo cualitativo, ocurre un aumento en la dispersión ocular a medida que se emplean radiaciones infrarrojas de mayor longitud de onda. Además, para la mayoría de los casos medidos, a 1050 nm la luz difusa rellena por completo el espacio existente entre los puntos de las imágenes de Hartmann-Shack, como aparece reflejado en La Figura 3. La sistematización del método de medida de aberraciones se describe a continuación.

60 Así, se realizan medidas para obtener dos valores por cada imagen 8 de Hartmann-Shack: el valor pico y el valor medio de la base o pedestal (ver Figura 7) Se define, como estimador de la dispersión o difusión relativa 9 de la retina, en función de la longitud de onda de la luz infrarroja 3 empleada, la ratio  $PP_R$ , como cociente entre el pedestal y el pico. La ratio  $PP_R$  proporciona un método simplificado para comparar de forma numérica el nivel de dispersión de las imágenes de Hartmann-Shack. Este método se aplica a varios sujetos y en varias longitudes de onda, dando como resultado el que se muestra en las Figuras 2 y 3. Las barras de error en la Figura 2 representan la desviación estándar de todos los sujetos. Así, se muestra en la Figura 2 que la dispersión relativa 9 para valores de radiación en longitudes de onda de 1030, 1050 y 1070 nm es muy similar entre sí (y muy similar a la obtenida para 780 nm). Estos resultados

## ES 2 340 980 A1

son de gran importancia para modelar la reflexión y la difusión de la retina. Según la citada Figura 2, por encima de 780 nm de longitud de onda de iluminación sobre la retina, no se produce un aumento significativo de la difusión 9.

5 La Figura 5 muestra así, para la medida de aberraciones monocromáticas con el método de la invención, el cambio de estas aberraciones con la longitud de onda de la radiación infrarroja empleada, con el cálculo de la media cuadrática (RMS) del frente de onda, en distintos sujetos. Se desprende de esta Figura 5 la ausencia de tendencia o comportamiento alguno en la variación del RMS con la longitud de onda.

10 La Figura 6 muestra la medida de aberraciones cromáticas con el método de la invención. Existe un cambio en el desenfoque cromático 10 conectado con 31 la variación del índice de refracción de los diferentes medios infraoculares. La curva modelada teórica sería la marcada por la ecuación de Cauchy, 11, marcándose también los puntos 12 de resultados experimentales, en la Figura 6. En dicha Figura se observa que los puntos correspondientes a 1030, 1050 y 1070 nm están situados fuera de la citada curva teórica 11. Al ser el desenfoque cromático 10 conocido y medido, puede obtenerse su valor en el rango visible a partir de las medidas realizadas en el rango de infrarrojos.

15 Otras realizaciones o características de la invención son:

- 20 - las aberraciones del ojo medidas con el método de la invención pueden medirse monocular o binocularmente;
- las aberraciones del ojo se miden de forma objetiva;
- 25 - el sensor 1 de frente de onda empleado puede ser del tipo Hartmann-Shack, de tipo piramidal o del tipo basado en la medida de la curvatura, o segunda derivada, del frente de onda a partir de la ecuación de transporte radiactivo;
- las aberraciones del ojo se miden por medio de imágenes retinianas de doble paso, o por interferometría;
- 30 - la fuente 3 para la iluminación de la retina en el método de la invención se realiza mediante una fuente emisora de láser o mediante una fuente térmica de iluminación.

En las realizaciones que acabamos de describir pueden introducirse aquellas modificaciones comprendidas dentro del alcance definido por las siguientes reivindicaciones.

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) **caracterizado** porque la iluminación de la retina del ojo (2) se lleva a cabo mediante radiación infrarroja fuera del espectro visible, de tal forma que la porción de iluminación incidente sobre la retina del ojo (2) difundida de vuelta al exterior por dicha retina es llevada a un sensor (1) en el cual se realiza, mediante comparación, la medida objetiva de las aberraciones del citado ojo (2).
- 10 2. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la iluminación infrarroja es emitida por una fuente de luz (3) infrarroja en el espectro no visible.
3. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la fuente de luz (3) es una fuente emisora de láser.
- 15 4. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la fuente de luz (3) es una fuente térmica de iluminación.
- 20 5. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque la longitud de onda de la iluminación infrarroja incidente sobre la retina del ojo (2) es de más de 900 nm.
- 25 6. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque la longitud de onda de la iluminación infrarroja incidente sobre la retina del ojo (2) es de menos de 1070 nm.
- 30 7. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque el sensor (1) es un sensor de frente de onda de tipo Hartmann-Shack.
8. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-6 **caracterizado** porque el sensor (1) es un sensor de frente de onda de tipo piramidal.
- 35 9. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-6 **caracterizado** porque el sensor (1) es un sensor de frente de onda del tipo basado en la medida de la curvatura.
- 40 10. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de V las reivindicaciones 1-6 **caracterizado** porque el sensor (1) es del tipo que emplea interferometría.
11. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque el sensor (1) realiza la medida de las aberraciones del ojo (2) mediante un sensor (1) monocular.
- 45 12. Método para la medida de aberraciones del ojo (2) según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 anteriores **caracterizado** porque el sensor (1) realiza la medida de las aberraciones del ojo (2) mediante un sensor (1) binocular.
13. Instrumento oftálmico que emplea un método para la medida de aberraciones del ojo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

50

55

60

65

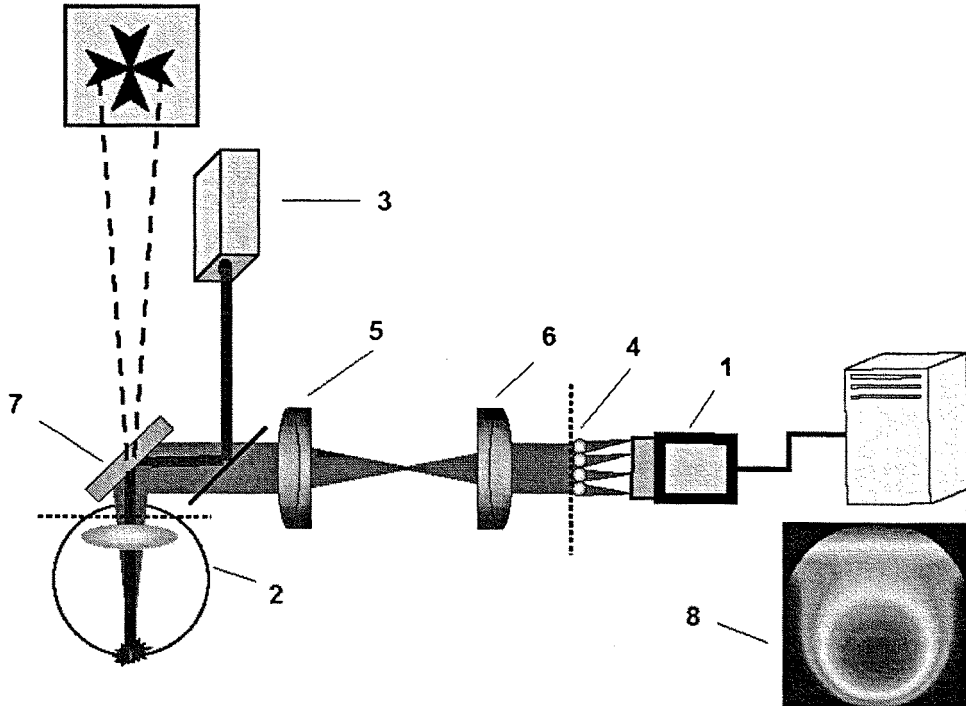


FIG. 1

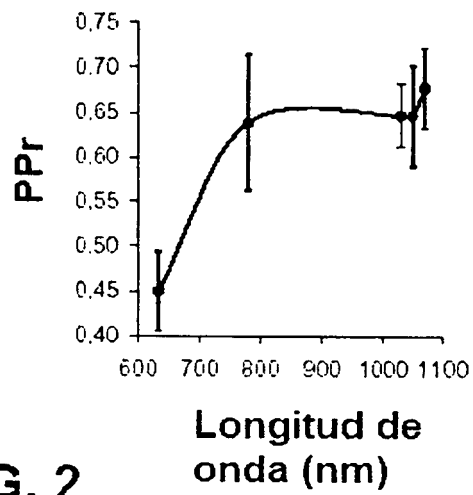


FIG. 2

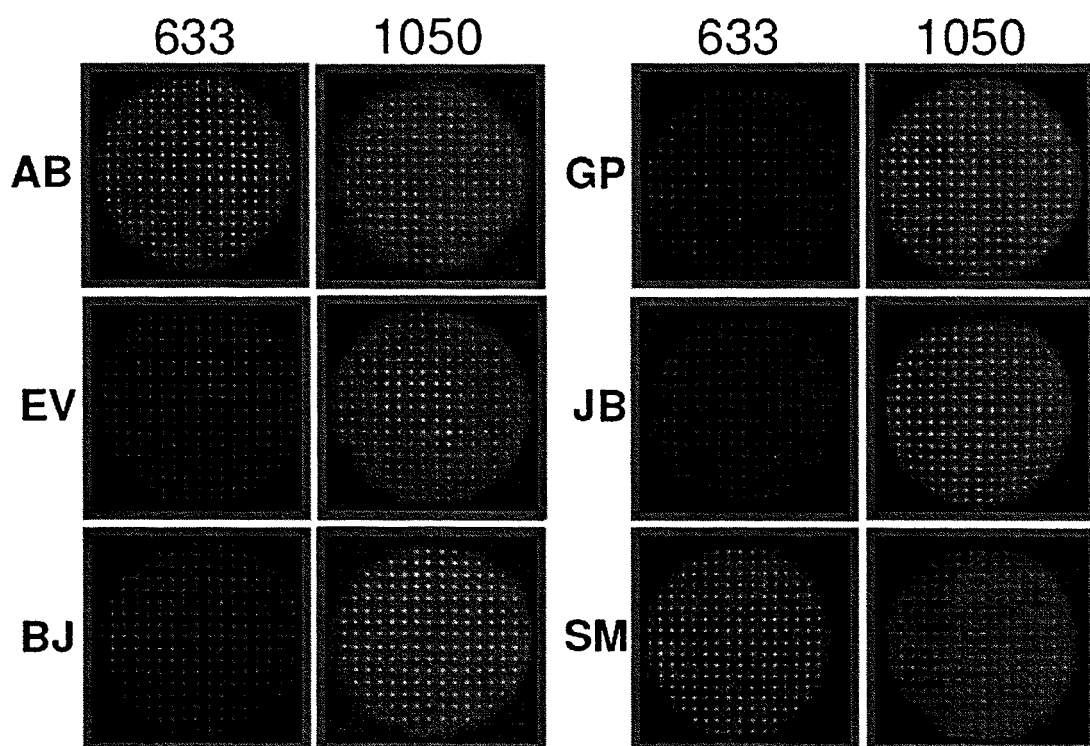


FIG. 3

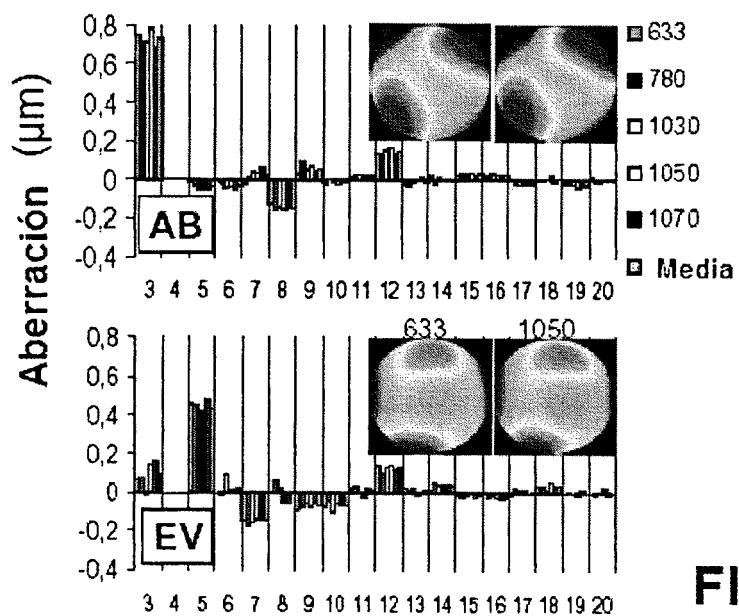


FIG. 4

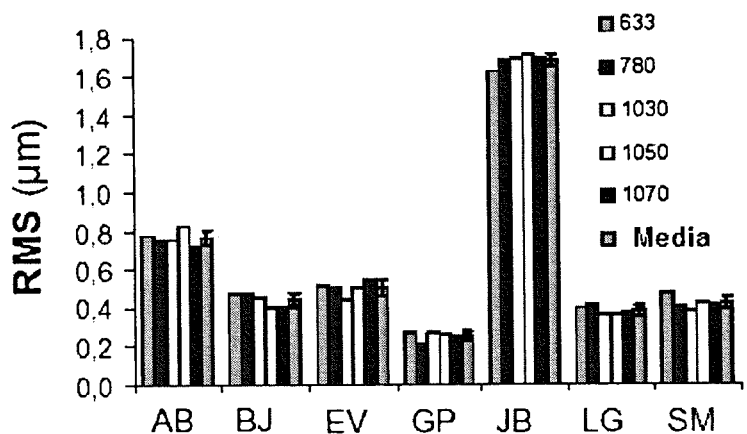


FIG. 5

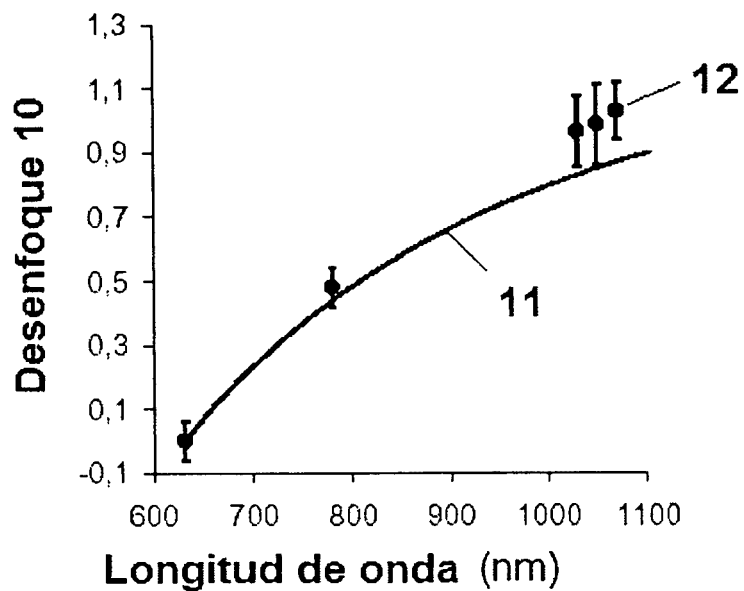
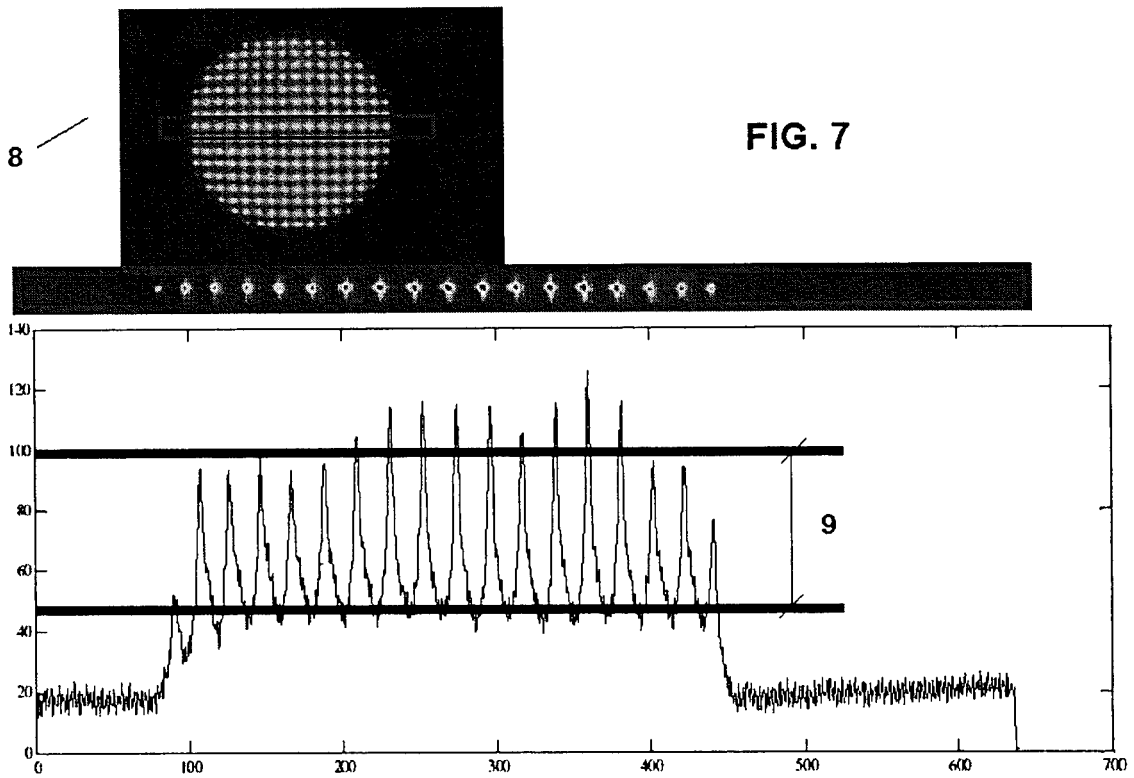


FIG. 6





OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 340 980

② Nº de solicitud: 200803498

③ Fecha de presentación de la solicitud: 10.12.2008

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **A61B 3/10** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EP 1295559 A2 (CARL ZEISS OPHTHALMIC SYSTEMS, INC.) 26.03.2003, resumen; párrafos [12-16,18].	1-13
X	WO 9927334 A1 (AUTONOMOUS TECHNOLOGIES CORPORATION) 03.06.1999, página 6, líneas 2-32; página 13, línea 23 - página 14, línea 8; página 15, líneas 10-19.	1-13
X	US 2005030474 A1 (SUMIYA) 10.02.2005, resumen; párrafos [16,20].	1-13
X	US 2007216867 A1 (CAMPBELL et al.) 20.09.2007, resumen; párrafos [49-50].	1-13
X	US 20080174734 A1 (SHIMIZU et al.) 24.07.2008, párrafos [7-8,17].	1-13
X	US 2002097376 A1 (APPLEGATE et al.) 25.07.2002, resumen; párrafo [57].	1-13

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

26.02.2010

Examinador

A. Cardenas Villar

Página

1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

A61B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC,WPI,NPL,INSPEC,MEDLINE,BIOSIS

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.02.2010

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1 - 13	<b>SÍ</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SÍ</b>
	Reivindicaciones 1 - 13	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión:**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

**1. Documentos considerados:**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 1295559 A2	26-03-2003
D02	WO 9927334 A1	03-06-1999
D03	US 2005030474 A1	10-02-2005
D04	US 2007216867 A1	20-09-2007
D05	US 20080174734 A1	24-07-2008
D06	US 2002097376 A1	25-07-2002

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La solicitud de patente en estudio tiene una reivindicación independiente, la nº 1, cuyo objeto técnico es un método para la medida de aberraciones del ojo caracterizado porque utiliza radiación infrarroja para la iluminación de la retina y emplea un sensor que capta la porción de iluminación difundida de vuelta al exterior por dicha retina. El resto de reivindicaciones dependientes se refieren a características adicionales y al instrumento que utiliza el método reivindicado. Así, las reivindicaciones 2 - 4 se refieren a las posibles fuentes de luz de la radiación infrarroja; las reivindicaciones 5 - 6 a la longitud de onda utilizada; las reivindicaciones 7 - 12 al tipo de sensor empleado y la reivindicación 13 al instrumento que emplea el método reivindicado.

Tal y como aparecen redactadas actualmente las reivindicaciones la actividad inventiva de la presente solicitud se vería afectada por los documentos citados D01 - D06 según lo especificado en el artículo 8 de la Ley de Patentes.

En efecto, siguiendo la redacción de la reivindicación independiente de esta solicitud (se considera que los elementos y características recogidos en las reivindicaciones dependientes son ampliamente conocidos en el estado de la técnica), que recoge los aspectos esenciales de la solución técnica al problema técnico planteado en la solicitud

encontramos que el documento D01 también reivindica un método y un aparato para la medida de las aberraciones ópticas del ojo, que utiliza para la iluminación radiación infrarroja (ver especialmente el párrafo 18) y que dispone de sensor de frente de onda (ver párrafos 12 - 16 donde menciona específicamente el sensor de tipo Hartmann-Shack).

El documento D02 reivindica un método y un sistema para la medida objetiva y la corrección de sistema ópticos basándose en el análisis del frente de onda; en él encontramos una mención específica a la utilización de radiación con longitud de onda entre 710 - 1000 nanómetros (ver especialmente el fragmento de texto de la página 13, línea 23 a la página 14, línea 8) y al empleo de un analizador de frente de onda de tipo Hartmann-Shack (pg 15, línea 19).

El documento D03 reivindica un aparato oftálmico que reúne un sistema de medida de aberración óptica y un sistema de corrección de la aberración detectada. Al describir el sistema de medida menciona los posibles emisores de luz infrarroja (ver párrafo 16) y el uso de un sensor de frente de onda Hartmann-Shack (ver párrafo 20).

El documento D04 se refiere a un sistema de medida de frente de onda que dispone de varios sensores Shack-Hartmann y que especifica que la fuente de iluminación de la retina del ojo objeto de la medida produce radiación infrarroja (ver especialmente el párrafo 49).

El documento D05, que también reivindica un aparato de medida oftálmico para la detección de aberraciones basado en la medida del frente de onda, especifica igualmente la utilización de luz infrarroja (ver párrafo 17).

Finalmente, el documento D06, que reivindica de forma más amplia métodos y sistemas de medida de aberraciones, especifica el empleo de iluminación con radiación infrarroja y la utilización de sensor de tipo Hartmann-Shack (ver párrafos 56 y 57).