(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 365 094**

(21) Número de solicitud: 201000291

(51) Int. Cl.:
***G01J 9/00*** (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A1

(22) Fecha de presentación: **09.03.2010**

(43) Fecha de publicación de la solicitud: **22.09.2011**

(43) Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **22.09.2011**

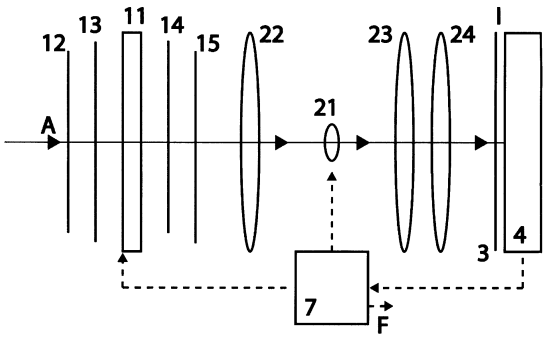
(71) Solicitante/s:
**Universidade de Santiago de Compostela**
**Edficio EMPRENDIA - Campus Sur**
**15782 Santiago de Compostela, A Coruña, ES**
**Universitat Jaume I**

(72) Inventor/es: **Ares García, Jorge;**
**Arines Piferrer, Justo;**
**Climent Jordà, Vicent;**
**Martínez Cuenca, Raúl:**
**Lancis Sáez, Jesús;**
**Tajahuerce Romera, Enrique Ataulfo;**
**Durán Bosch, Vicente Andrés y**
**Bará Viñas, Salvador X**

(74) Agente: **No consta**

(54) Título: **Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con rango y sensibilidad variables mediante dos elementos ópticos reconfigurables y dispositivo para su realización.**

(57) Resumen:
Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con rango y sensibilidad variables mediante dos elementos ópticos reconfigurables y dispositivo para su realización. El frente de onda a analizar (A) incide sobre un subsistema de muestreo (1), que incluye un elemento óptico reconfigurable (11) que proporciona un patrón de irradiancia (P) de posición y geometría controlables, adecuado para medir la aberración. Un subsistema (2), que contiene otro elemento óptico reconfigurable (21), forma una imagen (I) del patrón (P) sobre un plano fijo (3). Sobre dicho plano se ubica un detector (4), conectado a un subsistema de análisis (5), que calcula la aberración (F) del frente (A). Un subsistema (6) controla las propiedades de los elementos reconfigurables (11) y (21). No es así necesario efectuar desplazamientos mecánicos del detector para situarlo en la posición variable donde se forma el patrón (P).




ES 2 365 094 A1

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con rango y sensibilidad variables mediante dos elementos ópticos reconfigurables y dispositivo para su realización.

**Objeto de la invención**

La presente invención se refiere, tal y como su enunciado indica, a un procedimiento para la medida de aberraciones con elementos ópticos reconfigurables y a un dispositivo para su realización, pudiendo utilizar como elementos ópticos reconfigurables un modulador espacial de luz de cristal líquido y una lente líquida de potencia óptica controlable electrónicamente, o cualesquiera otros componentes ópticos capaces de realizar las mismas funciones.

La invención se dirige principalmente a los sectores de instrumentación óptica, optoelectrónica, optométrica y oftálmica, siendo de utilidad para aquellas aplicaciones en las que se requiera medir y compensar las aberraciones ópticas de los haces de luz, o de otra radiación electromagnética como puede ser el infrarrojo cercano, producidas por defectos de los instrumentos o por la propagación de la radiación a través de diferentes tipos de medios materiales, como son por ejemplo una atmósfera turbulenta o los medios que forman el ojo humano.

**Antecedentes de la invención**

La medida de aberraciones ópticas, es decir, de los defectos introducidos en los frentes de onda por las imperfecciones de los sistemas ópticos, o por el paso de la radiación electromagnética por medios no homogéneos, es una tarea clave para multitud de aplicaciones en diversos campos de la ciencia y la tecnología. En particular, los dispositivos para la medida de aberraciones ópticas, que fueron desarrollados en primer lugar para aplicaciones astronómicas, se han convertido en elementos de uso frecuente en optometría y oftalmología (J. Z. Liang, B. Grimm, S. Goelz y J. F. Bille, "Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor", J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949-1957 (1994)), especialmente para el diseño de sistemas de óptica adaptativa, siendo la finalidad de éstos la medida y compensación en tiempo real de las distorsiones de un frente de onda por medio de elementos reconfigurables (H. Babcock, "The Possibility of Compensating Astronomical Seeing", Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 65, No. 386, 229-236 (1953)), (V. P. Linnik, "On the possibility of reducing the influence of atmospheric seeing on the image quality of stars", Optika i Spektroskopiya, vol. 3, pp. 401, 1957), (J. Z. Liang, D. R. Williams y D. T. Miller, "Supernormal visión and high resolution retinal imaging through adaptive optics", J. Opt. Soc. Am. A 14, 2884-2892 (1997)).

En las últimas décadas se han desarrollado dispositivos que permiten medir las aberraciones ópticas con mayor velocidad y fiabilidad, destacando, entre otros, los de trazado de rayos con láser (R. Navarro y E. Moreno-Barriuso, "Laser ray-tracing method for optical testing" Opt. Lett. 24, 951-953 (1999)), los sensores de frente de onda basados en el sistema clásico de Hartmann (J. Hartmann, "Objektivuntersuchungen", Zeitschrift für Instrumentenkunde XXIV 1-21 (enero), 3 y 34-47 (febrero), 7 y 98-117 (abril) (1904)) y los dispositivos tipo Hartmann-Shack (B. C. Platt y Roland Shack, "History and Principles of Shack-Hartmann Wavefront Sensing", Journal of Refractive Surgery, vol 17, S573 S577 (September/October 2001)). En estos dos últimos sensores, el frente de onda se muestrea mediante una pantalla con subpupilas, que son orificios (en los sensores Hartmann) o microlentes esféricas (en los sensores Hartmann-Shack). La información sobre las aberraciones del frente de onda se obtiene procesando las distribuciones de irradiancia del haz que, tras propagarse una distancia en el espacio desde cada subpupila, se miden con un detector de radiación, habitualmente una cámara CCD.

Los sensores de Hartmann-Shack convencionales incluyen una red de microlentes de focal preestablecida. En los últimos años, se han desarrollado sensores Hartmann-Shack con una distancia focal variable, substituyendo las microlentes estáticas por microlentes líquidas (Y. Hongbin, Z. Guangya, C. F. Siong, L. Feiwen y W. Shouhua, "A tunable Shack-Hartmann wavefront sensor based on a liquid-filled microlens array", Journal of Micromechanics and Microengineering 18, 105017 (2008)), o por microlentes de Fresnel codificadas en un modulador espacial de luz de cristal líquido (L. Seifert, J. Liesener y H. J. Tiziani, "The adaptive Shack-Hartmann sensor", Opt. Commun. 216, 313-319 (2003)). En este último caso, el sensor es capaz, además, de cambiar la geometría de la red de microlentes, así como el tamaño y número de éstas, propiedad útil para optimizar las medidas dependiendo de las características del frente de onda incidente. Estos sensores de tipo Hartmann-Shack con parámetros variables permiten, por tanto, implementar sistemas de medida "adaptativos", cuyo rango dinámico y/o sensibilidad se pueden adecuar a la magnitud de las distorsiones incidentes, obteniendo así el mejor funcionamiento en cada situación concreta. Sin embargo, una modificación de la focal de las lentes del sensor Hartmann-Shack implica, en principio, un desplazamiento de la cámara CCD para recoger los patrones de intensidad en el plano adecuado. Este movimiento, que puede ser del orden de milímetros o centímetros, limita la velocidad de adquisición del aparato. Asimismo, los desplazamientos de la cámara pueden alterar la alineación del sistema, lo que resulta crítico a la hora de determinar la posición relativa de los focos en el plano de la CCD.

**Descripción de la invención**

El procedimiento adaptativo para la medida de aberraciones ópticas se basa en la posibilidad y conveniencia de combinar dos elementos reconfigurables para formar -en un primer subsistema- un elemento de muestreo de frente de onda de características controlables, en forma de pantalla con aberturas o microlentes de características asignables a voluntad y para, en un segundo subsistema, capturar adecuadamente la información proporcionada por el primero sobre un dispositivo sensible a la radiación, en adelante detector, como por ejemplo un CCD o un CMOS. El haz de radiación aberrado que atraviesa el sistema es muestreado por el primer subsistema, dando lugar a una distribución de irradiancia característica, que es trasladada hasta el detector por el segundo subsistema, utilizando para ello un sistema óptico que incluye al menos un elemento de potencia óptica variable.

El subsistema de muestreo puede incluir un conjunto de aberturas (sensor Hartmann) o un conjunto de microlentes esféricas (sensor de Hartmann-Shack). Este subsistema se puede implementar por medio de una pantalla TNLCD según cualquiera de los proce-

dimientos ya descritos en la patente P 2007 00870 o en la publicación de Justo Arines, Vicente Durán, Zbigniew Jaroszewicz, Jorge Ares, Enrique Tajahuerce, Paula Prado, Jesús Lancis, Salvador Bará and Vicent Climent, "Measurement and compensation of optical aberrations using a single spatial light modulator" (Optics Express, Vol. 15, No. 23, 15287-15292, 12 November 2007). Dicha pantalla puede funcionar en régimen de modulación de amplitud (sensor Hartmann) o esencialmente en régimen de modulación de fase (sensor Hartmann-Shack). Dentro del ámbito de esta invención, otros tipos de sensores, que en lo sucesivo denominaremos sensores Hartmann-Shack modificados, pueden construirse codificando, en vez de las microlentes esféricas del sensor Hartmann-Shack, microlentes cilíndricas, microaxicones o cualquier otro tipo de distribución de fase variable espacialmente que proporcione una distribución de radiación que permita, mediante medidas de irradiancia, la extracción de información sobre la aberración del haz por los procedimientos habituales o por los nuevos desarrollos que con el mismo fin puedan producirse en el futuro. El uso de elementos reconfigurables para formar matrices de microlentes para la medida de aberraciones, en vez de utilizar las tradicionales microlentes estáticas fabricadas en substratos de vidrio, permite entre otras cosas modificar con gran flexibilidad las características de la matriz (número de microlentes, focales de las mismas, distribución en la pupila, etc), adecuando estos parámetros a las peculiaridades del haz incidente en el sistema. Por tanto, es posible variar con estos elementos la posición en la que se forma el patrón de irradiancia necesario para el cálculo de la aberración del haz. Dicha variación permite el muestreo del frente de onda con rango dinámico y sensibilidad variables. Además de los elementos anteriormente mencionados, existen otros elementos capaces de proporcionar patrones de irradiancia en distintas posiciones, como por ejemplo matrices de microlentes líquidas o sistemas de espejos cuya forma es controlable mediante dispositivos electromecánicos.

El subsistema de traslado (2) permite formar una imagen del patrón focal proporcionado por el primer subsistema (1) en la posición donde se sitúa un detector (4), cuya posición relativa al subsistema de muestreo puede ser fija en todo momento. Este traslado es realizado de manera óptica mediante el uso de uno o varios elementos ópticos, entre los que habrá al menos uno cuya potencia óptica sea variable. De esta manera, no será necesario mover el detector (4) para poder trabajar en distintos regímenes de sensibilidad rango dinámico, sino que bastará con variar adecuadamente la potencia de al menos uno de los elementos reconfigurables (21) del subsistema óptico de traslado (2).

En su implementación experimental, es conveniente utilizar sistemas de lentes en configuración afocal -es decir, acopladas foco a foco- o incluso telecéntrica en el espacio objeto -es decir, con la lucarna de entrada en el infinito-, y utilizar en estos sistemas de lentes el elemento de potencia óptica variable como diafragma de apertura, dado que de esa forma es posible la captura del patrón de irradiancia en el detector (4) manteniendo constante el aumento entre la distribución de irradiancia original, u objeto, y su imagen sobre el detector, y ello para todas las configuraciones posibles del primer subsistema (1). Asimismo, y como ocurre siempre que el subsistema de muestreo (1) contiene un elemento reconfigurable pixelado, resulta ventajoso utilizar un elemento de filtrado espacial para eliminar los haces de radiación difractados por la estructura periódica del pixelado. Este elemento de filtrado puede ser, por ejemplo, el elemento de potencia óptica variable (21) (o uno de los elementos de potencia variable en caso de haber varios) que está incluido en el subsistema de traslado (2).

Es asimismo claro que cualquier lente del sistema puede fabricarse como elemento refractivo, difractivo o híbrido; y que puede ser reemplazada por un elemento reflectante (espejo convencional o holográfico) de equivalentes características focales (estáticas o variables), plegando el camino óptico. La elección entre estas diferentes opciones representa variaciones obvias sobre la idea original y no varía el contenido esencial de la invención que se protege mediante esta patente.

**Descripción de los dibujos**

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con varios ejemplos preferentes de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques básico de un dispositivo que permite poner en práctica el procedimiento descrito en esta invención.

La Figura 2 es un diagrama que muestra una versión detallada de un dispositivo para poner en práctica el citado procedimiento, dispositivo que contiene como subsistema de muestreo (1) un elemento reconfigurable (11), constituido por una pantalla de cristal líquido, dos polarizadores (12) y (15) y dos láminas de retardo de fase (13) y (14), y como subsistema de traslado (2), una lente (22) en cuyo foco imagen se sitúa el elemento reconfigurable (21), un par de lentes (23) y (24) que forma la imagen (I) del patrón de irradiancia (P), con una escala adecuada, sobre un plano fijo (3) donde se localiza un detector CCD (4).

La Figura 3 muestra el uso secuencial del sistema para formar sobre el detector (4) la imagen de los patrones de irradiancia (I1 e I2) existentes en dos planos (P1 y P2, respectivamente) situados a diferentes distancias axiales del subsistema de muestreo (1). El sistema de traslado (2), mediante la configuración adecuada del elemento (21), forma las imágenes (I1) e (I2) de los patrones anteriores sobre un mismo plano fijo (3), que son registradas secuencialmente por el detector (4) sin necesidad de efectuar desplazamientos mecánicos de este último. Eso permite registrar las imágenes de los patrones de irradiancia formados en diferentes planos producidas por una única o por diferentes configuraciones del elemento reconfigurable (11). Esta información es utilizada por el sistema de procesamiento (5), que permite obtener la aberración del frente de onda (F) mediante una adecuada comparación entre los patrones (I1) y (I2) en aquellas situaciones en las que una única medida del patrón no permita obtener la aberración.

En estas figuras, las flechas de trazo continuo representan el camino seguido por los haces de luz, mientras que las flechas de trazo discontinuo corresponden a los enlaces electrónicos por los que se transmiten las señales de medida y control de los dispositivos.

**Modos de realización de la invención**

Con referencia a la Figura 1, se presenta el diagrama de bloques genérico de un dispositivo que permite poner en práctica el procedimiento descrito en esta invención. En él se muestra que el dispositivo contiene un módulo reconfigurable (1) para el muestreo del frente de onda (A), otro módulo reconfigurable (2) para formar la imagen (I) del patrón de irradiancia (P) siempre en un mismo plano fijo (3) sobre la posición del detector (4) con independencia de la distancia entre la posición del patrón (P) y el módulo (1), y medios para el análisis (5) del patrón y el control simultáneo (6) de los elementos reconfigurables contenidos en los subsistemas (1) y (2). El sistema puede incluir asimismo elementos (8) para copiar y/o trasladar el frente de onda incidente (A) hasta el elemento reconfigurable (1). Evidentemente, los elementos (5) y (6) pueden estar integrados en un mismo dispositivo de análisis, control y cálculo (7).

En la Figura 2 se muestra un modo de realización de este dispositivo, que contiene los siguientes componentes y subsistemas:

- Un subsistema (1) de muestreo que contiene un elemento óptico reconfigurable (11) que permita introducir a voluntad cambios controlados, variables en el espacio y en el tiempo, de amplitud, de fase o de ambas cosas del haz de luz, o de otra radiación electromagnética, que incide sobre él. Tal es el caso, por ejemplo, de un modulador espacial de luz basado en una pantalla de cristal líquido de tipo TNLCD (*Twisted-Nematic Liquid Crystal Display*) (11), localizada entre dos polarizadores (12) y (15) y dos láminas de retardo de fase (13) y (14).

- Un subsistema de traslado (2) que contiene un dispositivo óptico reconfigurable (21), y que permite formar la imagen (I) del patrón luminoso característico (P) sobre un plano fijo (3). Este subsistema puede estar constituido, por ejemplo, por una lente líquida basada en el efecto de *electrowetting* (21) situada en el foco imagen de una lente acromática (22), seguida de un par de lentes acromáticas (23) y (24) que controlan la escala de la imagen (I) del patrón luminoso característico. En lugar de una lente líquida basada en el efecto de *electrowetting* como la citada puede utilizarse como elemento reconfigurable (21) cualquier otro elemento o componente óptico capaz de focalizar con potencia variable, como por ejemplo un tambor de lentes de diferentes potencias o una lente de Álvarez, entre otras muchas posibilidades.

- Un elemento sensible a la radiación luminosa que actúa como detector (4), como por ejemplo una matriz CCD, CMOS o de fotodiodos.

- Una unidad de procesamiento (5), sea sobre un chip integrado o mediante el uso de un dispositivo informático.

- Una unidad de control (6) capaz de actuar simultáneamente, y de manera coordinada, sobre las características de los elementos reconfigurables de los dispositivos (1) y (2). Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante el uso de chips integrados o sistemas informáticos.

- La unión de los elementos (5) y (6) puede obtenerse, evidentemente, mediante sistemas informáticos (7), que permiten además el cálculo y visualización de la forma del frente de onda (F).

Otro ejemplo de realización es el indicado en la Figura 3, en la cual se representan las configuraciones del sistema en dos instantes distintos. En una primera configuración, determinada por el controlador (6), el frente de onda (A) es muestreado por el elemento (1) en una configuración determinada que proporciona el patrón de irradiancia (P1). El módulo (2), con el elemento reconfigurable (21) en la configuración adecuada, forma una imagen (I1) de este primer patrón de irradiancia sobre el detector (4). Cambiando mediante el controlador (6) la configuración del elemento reconfigurable (21) se forma una imagen (I2) del patrón de irradiancia (P2) existente en otro plano sobre el detector (4). Entre una y otra configuración del elemento (21), el elemento reconfigurable (11) del subsistema (1) puede permanecer constante o cambiar sus características. En cualquiera de los casos el sistema (5), a partir del análisis de los patrones I1 y/o I2, calcula la forma de la aberración (F) del frente de onda (A).

El análisis de los patrones de irradiancia I1 e I2 permite, entre otras ventajas, asignar unívocamente cada distribución focal presente en los mismos a la microlente o abertura del subsistema de muestreo (1) que la produce. Esto es así debido al hecho de que el centroide de la distribución de irradiancia producida por cualquier abertura o microlente se propaga en línea recta en medios homogéneos.

En este documento el término "lente" se entiende en su acepción amplia, que incluye no sólo los modelos de lentes simples, talladas en un mismo tipo de vidrio, sino también cualquier combinación de las mismas usual en diseño óptico para mejorar sus características de focalización y disminuir sus aberraciones, como por ejemplo a los dobletes acromáticos. Asimismo, se incluyen bajo la denominación genérica de "lente" las lentes difractivas, las de gradiente de índice y las fabricadas mediante cualquier combinación de esas tecnologías.

En una implementación particular de este dispositivo, a modo de ejemplo, se utilizan, con sus correspondientes soportes optomecánicos, componentes con las siguientes características técnicas.

(12) y (15): polarizadores lineales montados sobre soportes rotatorios de 2.54 cm de diámetro.

(13) y (14): láminas de retardo de fase de orden 0 para la longitud de onda central del haz que se desea corregir, montadas sobre soportes rotatorios de 2.54 cm de diámetro.

(11): pantalla de cristal líquido tipo TNLCD (Twisted-Nematic Liquid Crystal Display), que para operar con luz de longitud de onda 514 nm tendrá preferentemente unas características tales como un giro molecular $\alpha$ = -1.594 rad, birrefrigencia máxima a 514 nm $\beta$ = 2.92 radianes, orientación del director molecular respecto al eje vertical $\gamma$ = 0.792 rad, con 832 x 624 píxeles de 26.7 micras por 21.3 micras, siendo el periodo entre píxeles de 32 micras tanto en horizontal como en vertical, y un tamaño total de 2.8 cm por 2.1 cm, colocando los polarizadores lineales con sus ejes de transmisión orientados según los ángulos (12)= -25º, (15)= -51º; y las láminas de retardo de fase con sus ejes lentos orientados según los ángulos (13)= -28º, (14)= 17º, todos ellos medidos con respecto a un sistema de referencia que tiene su eje horizontal orientado en la dirección del director molecular a la entrada de la pantalla TNLCD, utilizando láminas de cuarto de onda de cuarzo, de orden 0 para la longitud de onda 514 nm.

(22), (23), (24): dobletes acromáticos de 5,08 cm

de diámetro y distancias focales 10, 15 y 10 cm, respectivamente.

(21): lente líquida basada en el efecto de *electrowetting* (modelo ARTIC 314 de Varioptics) de diámetro 2.50 mm, cuya potencia óptica puede variar entre -2 y 10 dioptrías mediante la aplicación de un voltaje en un rango de decenas de Voltio.

(4): cámara CCD de barrido progresivo.

(5), (6) y (7): ordenador personal.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables que utiliza un elemento óptico reconfigurable (11) como parte de un subsistema de muestreo (1), de tipo Hartmann o Hartmann-Shack, otro elemento óptico reconfigurable (21) como parte de un subsistema óptico de traslado (2), y un detector de radiación (4) como parte del subsistema de detección y control, **caracterizado** porque las propiedades de sensibilidad y rango dinámico del sistema de medida se pueden modificar de forma dinámica sin necesidad de desplazar el detector (4).

2. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según la reivindicación 1, **caracterizado** por medir las aberraciones haciendo uso de un subsistema óptico de muestreo (1) que comprende medios para hacer pasar el haz de luz u otra radiación electromagnética por el elemento reconfigurable (11) que muestrea el frente de onda incidente y forma un patrón de irradiancia (P), adecuado para la medida de aberraciones, a una distancia axial variable y controlable.

3. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por medir las aberraciones haciendo uso de un subsistema óptico de traslado (2) que comprende un elemento óptico reconfigurable (21) que varía sus propiedades ópticas, y medios para hacer pasar la radiación a través del elemento reconfigurable, a fin de trasladar los patrones de irradiancia (P) generados por el sistema anterior (1) formando una imagen (I) sobre un detector (4) cuya posición es fija.

4. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por medir las aberraciones haciendo uso de un subsistema de detección y control que comprende medios (4) para detectar la radiación procedente de la zona de muestreo a través del sistema de traslado, y medios (5) para el procesado de estos datos y para el control (6) de los elementos reconfigurables (11) y (21).

5. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el elemento reconfigurable (11) contiene subpupilas para el muestreo del haz y funciona como un sensor de gradiente del frente de onda tipo Hartmann, en el que las subpupilas de muestreo son aberturas, o como un sensor Hartmann-Shack, en el que las subpupilas de muestreo son microlentes, obteniéndose la medida de la aberración (F) del haz incidente (A) a partir de las modificaciones sufridas por las distribuciones de irradiancia producidas por las subpupilas de muestreo del haz.

6. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según la reivindicación 5, **caracterizado** por que las propiedades de las subpupilas de muestreo se modifican para adaptar su posición, tamaño, número, geometría, distancia focal y eficiencia difractiva a las particulares características del frente de onda cuya aberración se desea medir.

7. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el dispositivo reconfigurable (2) contiene una lente (21) que modifica su distancia focal de tal forma que el subsistema de traslado siempre forma una imagen (I) de la distribución de irradiancia (P) producida por el subsistema de muestreo (1) sobre el detector (4), independientemente de las modificaciones introducidas en el módulo reconfigurable (11) y sin necesidad de desplazar el detector (4).

8. Procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la variación de la potencia de la lente variable (21) en el sistema reconfigurable (2), acompañada o no de la variación de las distancias focales de las microlentes del sistema reconfigurable (1), permite asignar cada uno de los focos del patrón de irradiancia a la microlente o abertura correspondiente, eliminando de este modo ambigüedades, mediante una adecuada comparación de los dos patrones de irradiancia (I1) e (I2) formados en dos planos (P1) y (P2) situados a diferente distancia del módulo de muestreo (1), cuyas imágenes se forman sobre el detector (4) mediante el cambio de potencia de la lente variable (21).

9. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, descrito en las reivindicaciones anteriores, que comprende un elemento óptico reconfigurable (11) como parte de un subsistema de muestreo (1), de tipo Hartmann o Hartmann-Shack, otro elemento óptico reconfigurable (21) como parte de un subsistema óptico de traslado (2), y un detector (4) como parte del subsistema de detección y control, **caracterizado** porque las propiedades de sensibilidad y rango dinámico del sistema de medida se pueden modificar de forma dinámica sin necesidad de desplazar el detector (4).

10. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según la reivindicación 9, **caracterizado** por que en el elemento reconfigurable (11) se codifican las microlentes de un sensor Hartmann-Shack con distancia focal variable de forma controlada.

11. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones 9 y 10, **caracterizado** por que el elemento óptico reconfigurable (21) del sistema de traslado (2) está constituido por una lente variable que modifica su distancia focal, a fin de trasladar los patrones de irradiancia (P) generados por las microlentes y formar su imagen (I) sobre un plano (3) cuya posición es fija.

12. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado** por que comprende medios (4) para detectar la distribución de irradiancia generada por las microlentes y el sistema de traslado sobre el plano fijo (3), y medios (5) para procesar los datos de la citada distribución de irradiancia, a fin de determinar la aberración del haz (F).

13. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las

reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el elemento reconfigurable (11) que se utiliza para el muestreo del frente de onda comprende una pantalla de cristal líquido.

14. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según la reivindicación 13, **caracterizado** por que la pantalla de cristal líquido es del tipo TNLCD (*Twisted-Nematic Liquid Crystal Display*).

15. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones 13 o 14, **caracterizado** por que se aplica a cada píxel de la pantalla de cristal líquido el nivel de voltaje adecuado para modificar su birrefringencia de forma tal que en cada píxel se induce un cambio del estado de polarización de la onda incidente, cambio de estado que da lugar, en combinación con un polarizador (12) y una lámina de cuarto de onda (13) situados delante de la pantalla y otra lámina de cuarto de onda (14) y polarizador (15) situados después de ella al cambio de fase adecuado en cada píxel para codificar las subpupilas del sensor Hartmann-Shack.

16. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se emplean medios ópticos (8) que comprenden lentes y/o espejos para formar una imagen del frente de onda que se pretende **caracterizar** sobre el elemento reconfigurable (11) para la medida de la aberración.

17. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el dispositivo reconfigurable (2) que se utiliza para adaptar el sistema óptico de traslado incluye al menos una lente de focal variable (21).

18. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que los medios ópticos (2) para formar el subsistema de traslado comprenden una lente de focal variable (21) en el foco imagen de una lente (22), seguida de un par de lentes (23) y (24) que controlan la escala de la imagen (I) del patrón de irradiancia característico.

19. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que los medios (4) para detectar la distribución de irradiancia comprenden un detector de radiación tipo CCD (Charge coupled device) o CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).

20. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento de óptica adaptativa para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 19, **caracterizado** por que comprende medios ópticos adecuados para eliminar o atenuar los órdenes de difracción no deseados producidos por la estructura pixelada del elemento reconfigurable (11), si la tuviere, y por el procedimiento utilizado para codificar la fase en dicho elemento.

21. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento de óptica adaptativa para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según la reivindicación 20, **caracterizado** por que la propia lente variable (21) del sistema óptico de traslado (2) elimina o atenúa los órdenes de difracción no deseados producidos por la estructura pixelada del elemento reconfigurable (11), si la tuviere, y por el procedimiento utilizado para codificar la fase en dicho elemento.

22. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar un elemento reconfigurable (11) que funciona por reflexión en vez de por transmisión y por utilizar adicionalmente un divisor de haz que posibilita el redireccionamiento de los haces de radiación para adaptar el sistema a esta geometría.

23. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según la reivindicación 22, **caracterizado** por hacer incidir el haz con una pequeña inclinación sobre el elemento reconfigurable (11), aprovechando la separación espacial producida por su diferente dirección de propagación y evitando así el uso del divisor de haz.

24. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que una o más de las lentes que contiene el mismo se sustituyen por espejos de la misma distancia focal que aquéllas.

26. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la adquisición secuencial de dos patrones de irradiancia existentes en dos planos situados a diferente distancia axial del subsistema de muestreo (1), mediante la correspondiente variación de la distancia focal de la lente variable (21) del subsistema de traslado para mantener el mismo plano de salida (3), y acompañada o no de una variación de la distancia focal de las microlentes en el elemento reconfigurable (11), permite asignar cada uno de los focos del patrón de irradiancia a la microlente o abertura de la que procede mediante una adecuada comparación de los dos patrones obtenidos y a partir de ello calcular la aberración.

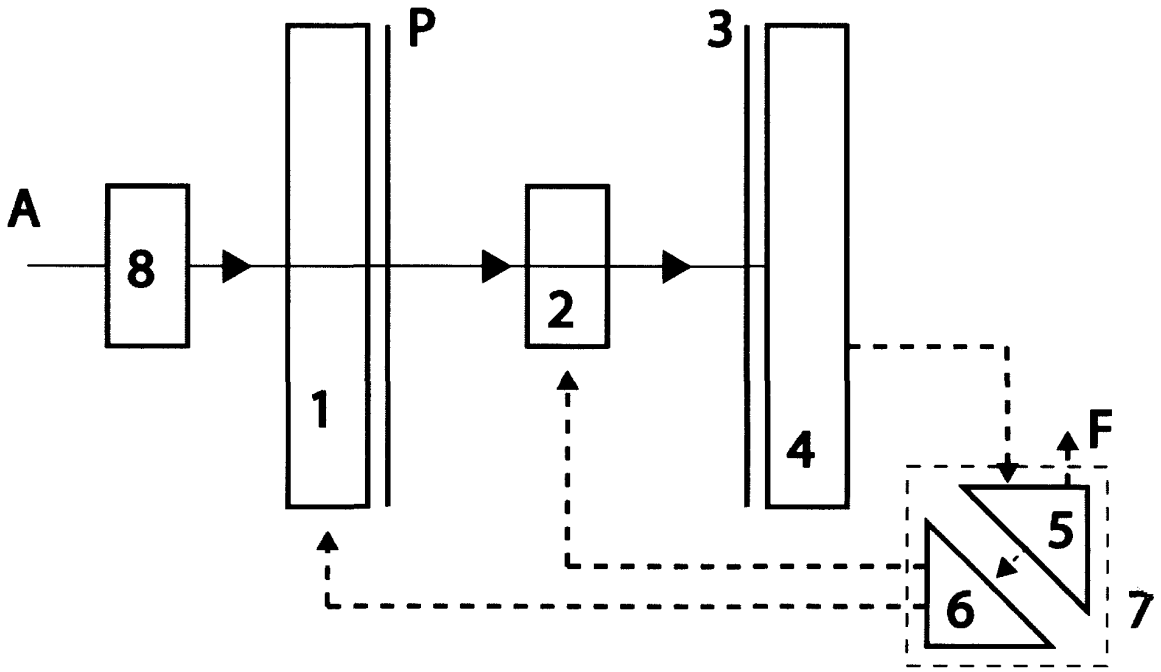



**FIG. 1**

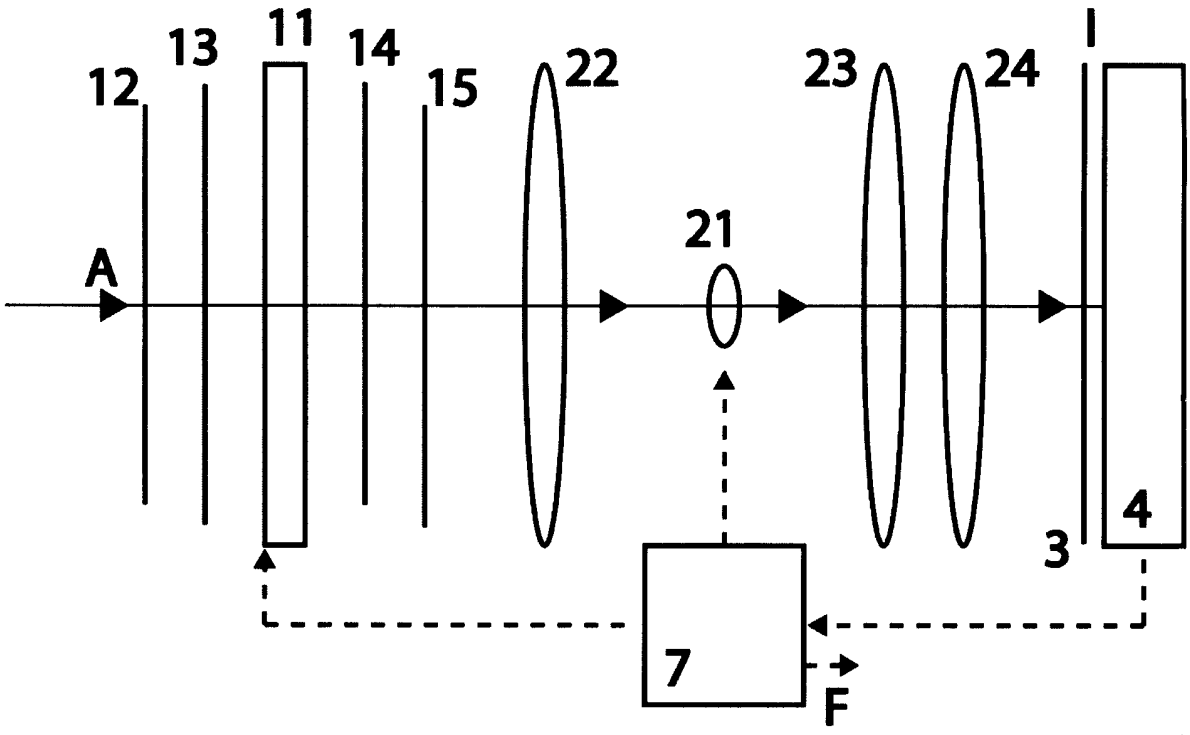



**FIG. 2**

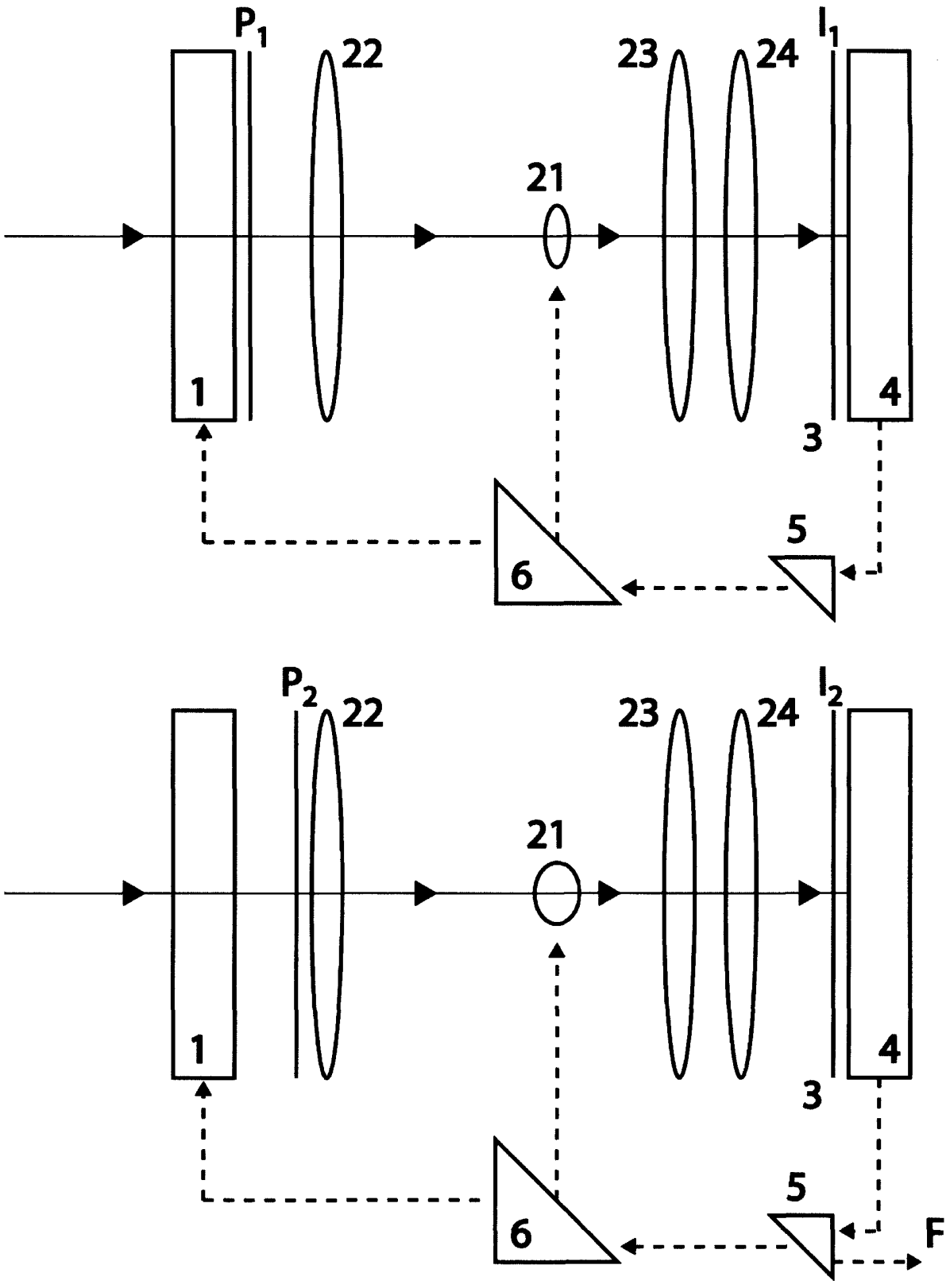



**FIG. 3**

OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201000291

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 09.03.2010

(32) Fecha de prioridad:

# INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) **Int. Cl. :** ***G01J9/00*** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | Documentos citados | Reivindicaciones afectadas |
|---|---|---|
| A | WO 2008116960 A2 (UNIVERSIDADE DE SANTIGO DE COMPOSTELA et al.) 02.10.2008, todo el documento. | 1-6,9,10,12-16, 19-25 |
| A | WO 2007147921 A1 (UNIVERSITAT JAUME I et al.) 27.12.2007, todo el documento. | 1-6,9,10,12-16, 19-25 |
| A | US 5535029 A (CLARK, N.) 09.07.1996, todo el documento. | 1-25 |
| A | US 20030107814 A1 (ALTMANN, G.) 12.06.2003 | |

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 | Examinador | Página |
|---|---|---|
| 02.08.2011 | Ó. González Peñalba | 1/4 |

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

G01J, G02F, G01M

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, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 02.08.2011

**Declaración**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)** | Reivindicaciones | 1-25 | **SI** |
| | Reivindicaciones | | **NO** |
| **Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)** | Reivindicaciones | 1-25 | **SI** |
| | Reivindicaciones | | **NO** |

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 se publica.

**Consideraciones:**

La presente Solicitud se refiere, respectivamente en sus reivindicaciones independientes 1 y 9, a un método y un dispositivo para la medida de aberraciones ópticas con sensibilidad y rango dinámico variables, que utiliza un elemento óptico reconfigurable como parte de un subsistema de muestreo, de tipo Hartmann o Hartmann-Shack, otro elemento óptico reconfigurable como parte de un subsistema óptico de traslado, y un detector de radiación como parte de un subsistema de detección y control, de tal modo que la sensibilidad y el rango dinámico se pueden modificar dinámicamente mediante la reconfiguración del segundo elemento reconfigurable, sin necesidad de desplazar el detector.

Las restantes reivindicaciones, dependientes directa o indirectamente de la 1 y la 9, especifican y detallan, respectivamente en sus aspectos de método y de dispositivo, diversas disposiciones estructurales y elementos del sistema de medición, tanto en sus características físicas como en su funcionamiento.

**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 | WO 2008116960 A2 (UNIVERSIDADE DE SANTIGO DE COMPOSTELA et al.) | 02.10.2008 |
| D02 | WO 2007147921 A1 (UNIVERSITAT JAUME I et al.) | 27.12.2007 |

**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**

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-25 de esta Solicitud tiene novedad y actividad inventiva por no estar comprendida en el estado de la técnica ni poder ser deducida de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Así, por ejemplo, en el documento D01 de los presentes Solicitantes, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A y considerado como el estado de la técnica más próximo al objeto definido en dichas reivindicaciones, se describe un sistema corrector de frente de ondas con un único elemento óptico reconfigurable que actúa de forma alterna en el tiempo como sensor y como compensador del frente de ondas. Al igual que la presente invención, el elemento óptico puede materializarse como una pantalla de TNLCD que actúa a modo de sensor de Hartmann o de Hartmann-Shack, con idéntica codificación de las subpupilas de muestreo, y el sistema, en su conjunto, reúne muchas de las características recogidas en las diversas reivindicaciones, como los sistemas auxiliares de polarización, retardo de onda y filtrado espacial, o el detector de radiación. Sin embargo, el sistema de D01 no hace uso del segundo elemento óptico reconfigurable en un subsistema para el traslado del haz muestreado al subsistema detección y control, diferencia esencial con la presente invención que aporta ventajas inexistentes en D01 (como es la posibilidad de dejar el elemento detector fijo, ahorrando así elementos secundarios de desplazamiento) y confiere a esta novedad y actividad inventiva según los Artículos 6 y 8 de la LP.

Aún otro documento, el D02, de los mismos Solicitantes y también citado con la categoría A en el IET como mero reflejo del estado de la técnica, recoge características secundarias similares a las de la invención, pero igualmente carece del segundo elemento óptico reconfigurable para el traslado del haz muestreado al subsistema de detección y control, por lo que tampoco afecta a la novedad ni a la actividad inventiva de la invención de acuerdo con los mencionados Art. 6 y 8 LP.