

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 498 592**

21 Número de solicitud: 201330411

51 Int. Cl.:

**G01B 9/02** (2006.01)

**G01B 11/16** (2006.01)

**H04N 13/02** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**21.03.2013**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**24.09.2014**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (50.0%)**

**Plaza de San Diego, s/n**

**28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES y**

**UNIVERSIDAD DE JAÉN (50.0%)**

72 Inventor/es:

**SIEGMANN, Philip;**

**DÍAZ GARRIDO, Francisco A. y**

**FELIPE SESÉ, Luis**

74 Agente/Representante:

**GUTIÉRREZ DE MESA, José Antonio**

54 Título: **Dispositivo portátil para la medida de mapas de desplazamientos de superficies en las tres direcciones espaciales**

57 Resumen:

Dispositivo optoelectrónico portátil como el mostrado en la Figura 1, que permite realizar medidas de desplazamientos de campo completo de una superficie en las tres direcciones espaciales. Consiste en un subsistema de adquisición de imágenes que visualiza la superficie a medir, un subsistema de iluminación que proyecta luz estructurada sobre dicha superficie, un subsistema de alineación y calibración, y un subsistema de procesado y control que controla el dispositivo y realiza un procesado de las imágenes. El dispositivo se basa en la combinación de dos técnicas, una para obtener la deformación fuera de plano (por ejemplo proyección de franjas) y otra para obtener la deformación en el plano (por ejemplo correlación digital de imágenes 2D). La novedad del dispositivo es que permite hacer un alineamiento, una calibración y una corrección de los desplazamientos necesarios para obtener resultados cuantitativos y veraces.

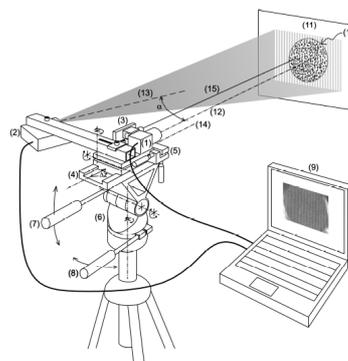


Figura 1

## **DESCRIPCIÓN**

### **DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA LA MEDIDA DE MAPAS DE DESPLAZAMIENTOS DE SUPERFICIES EN LAS TRES DIRECCIONES ESPACIALES**

#### **SECTOR DE LA TÉCNICA**

- 5 El dispositivo tiene aplicación en todos aquellos sectores que requieran del estudio del comportamiento mecánico de objetos, como en el sector aeroespacial y de la automoción, o en cualquier otro orientado hacia el desarrollo de nuevos materiales, análisis del comportamiento estructural y dimensional de piezas, o control de la calidad, entre otros. Otro campo potencial es el sector médico y la biomecánica al permitir, por ejemplo, evaluar
- 10 las deformaciones sufridas por tejidos o prótesis ante esfuerzos externos. Se destaca su aplicabilidad en el estudio de materiales que presentan una capacidad de deformación grande (plásticos, siliconas, caucho, tejidos elásticos, ...).

#### **ESTADO DE LA TÉCNICA**

- 15 Como medidas de “campo completo” o “mapas” de desplazamientos se entienden las medidas de los desplazamientos que experimenta cada elemento de superficie de un objeto visualizado por una cámara cuando éste es deformado. Esto es, para cada píxel de la imagen de la superficie se obtiene su valor de desplazamiento (en nuestro caso en cada una de las tres direcciones espaciales  $(x,y,z)$ ) cuando el material es sometido a un esfuerzo
- 20 externo. Este tipo de medidas permite, por ejemplo, localizar zonas de concentración de esfuerzo/deformación y, por lo tanto, de mayor probabilidad de rotura. El propósito del dispositivo de la presente patente no es pues sólo una reconstrucción tridimensional de un objeto como se presenta por ejemplo en [1] y [2].
- 25 Probablemente la técnica comercialmente disponible que actualmente más se está utilizando para medir cómo se deforma la superficie de un objeto es la de Correlación Digital de Imágenes (CDI) [3], pues permite medir rangos de desplazamientos muy grandes, con una resolución variable según el tipo de lente que se utilice y en tiempo real (a velocidad de captura de la cámara). La CDI sólo requiere que la superficie de estudio tenga o esté
- 30 pintada de un moteado aleatorio. Existen otras técnicas, también disponibles comercialmente, de mucha mayor resolución basadas en fenómenos de interferometría (por ejemplo “ESPI” o “Sherografía”) que, no obstante, no son tan versátiles como la de CDI al medir en un rango de unas décimas de micras a varias decenas de micras [4-6].

Otra gran ventaja de la técnica de correlación, es que permite medir deformaciones en las tres direcciones espaciales (no solamente las que se producen en el plano  $(x,y)$  o en dirección- $z$  fuera de plano). Ésta técnica se conoce como la de Correlación Digital de Imágenes 3D (CDI-3D). La técnica de CDI se basa en hacer un seguimiento de los píxeles de la imagen de la superficie del objeto de estudio a medida que esta superficie se deforma. Estos píxeles se identifican en cada imagen gracias a que su entorno presenta un patrón de intensidad aleatorio (debido al moteado aleatorio) que se puede reconocer y localizar en cada una de las imágenes del objeto en distintos estados de deformación mediante un proceso de correlación. En CDI-3D este seguimiento de los elementos de superficie se hace en 3D, por lo que se requiere además de una reconstrucción 3D del objeto en cada estado de deformación. Esta reconstrucción se realiza mediante una estéreo-triangulación a partir de las imágenes obtenidas por, al menos, dos cámaras que visualizan la misma superficie de estudio del objeto desde distintos puntos de vista. Las cámaras deben estar, por lo tanto, perfectamente calibradas [7,8] (se deben conocer sus parámetros intrínsecos y extrínsecos) y sincronizadas. La técnica de CDI-3D requiere pues de un mínimo de dos cámaras sincronizadas (que en el caso de alta velocidad es económicamente costoso), una calibración de las cámaras que requiere de un elevado número de imágenes de un objeto patrón y un complejo procesado para determinar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de las cámaras necesarias para la estéreo-triangulación, y otros tres procesados de correlación digital para cada estado de deformación (dos para la estéreo-triangulación y uno más para el seguimiento de los píxeles). En [9] se propone un aparato para la medida de la deformación 3D de tejidos a alta velocidad mediante una estereo-reconstrucción y correlación digital de imágenes.

Una técnica alternativa a la de CDI-3D es la que combina Correlación Digital de Imágenes 2D (CDI-2D) con Proyección de Franjas (PF) [10]. En este caso se utiliza una única cámara y un proyector que proyecta lateralmente franjas paralelas y equiespaciadas e ilumina la superficie de estudio. Con CDI-2D se determina la deformación del objeto (previamente pintado con un moteado aleatorio) en un plano  $(x,y)$  perpendicular al eje óptico de la cámara (eje- $z$ ), y con PF se determina la deformación fuera de plano, esto es, en dirección  $z$ .

El dispositivo objeto de la presente patente se basa en esta técnica combinada de PF y CDI-2D (que designaremos abreviadamente como PF+CDI) tal y como se describe en [10]. Comparado con la técnica de CDI-3D, la técnica combinada PF+CDI sólo utiliza una única

cámara (sustituyendo la otra cámara por un proyector de franjas), la calibración que se plantea realizar con el dispositivo es más sencilla al requerir sólo de dos imágenes y el procesado de imágenes en general es mucho más simple y computacionalmente menos costoso. A cambio, FP+CDI requiere de una precisa alineación del dispositivo con respecto a una superficie de referencia (que puede ser la propia superficie del objeto de estudio sin 5 deformar) con respecto a la cual se miden los desplazamientos fuera de plano.

### **EXPLICACIÓN DE LA INVENCION**

Como se acaba de comentar, el dispositivo PF+CDI objeto de la presente patente se basa 10 en la técnica combinada de Proyección de Franjas (para obtener la información de los desplazamientos “fuera de plano” o dirección-z) y la de Correlación Digital de Imágenes 2D (para obtener los desplazamientos “en plano” o direcciones -x e -y). Si bien, otra posibilidad para obtener la deformación fuera de plano es mediante la técnica de proyección de luz estructurada (“Structured Light projection”) o aleatoria (“speckle projection”) [11,12]. En 15 cualquier caso, para obtener resultados cuantitativos y veraces, esta técnica combinada requiere de los siguientes tres procesos:

1. Una alineación con respecto al objeto de estudio
2. Un calibrado y
- 20 3. Una corrección de los desplazamientos (si la lente utilizada no es telecéntrica).

Estos tres procesos se resuelven con el dispositivo PF+CDI que se presenta de forma esquemática en la Figura 1. El dispositivo PF+CDI consta de las siguientes partes: Un 25 subsistema de adquisición de imágenes consistente en una cámara digital (1) con su correspondiente lente, un subsistema de iluminación consistente en un proyector (2) que proyecta luz estructurada (en el caso de la Figura 1, franjas paralelas y equiespaciadas) sobre la superficie del objeto de estudio, y un subsistema de alineación y calibración consistente en un láser (3), una plataforma deslizante a lo largo de un eje (4), una plataforma inclinable en torno a dos ejes (5) y un cabezal inclinable (6) que soporta al 30 conjunto del dispositivo con dos mandos (7) y (8) que permiten rotarlo en torno a dos ejes perpendiculares entre si y perpendiculares al eje óptico de la cámara digital. Finalmente, el dispositivo incluye también un subsistema de procesado de imágenes y control del dispositivo (9).

**DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

**Figura 1.** Esquema del dispositivo objeto de la presente patente en el que se muestran las distintas partes que lo componen.

5 **Figura 2.** a) y b) son las imágenes adquiridas por el dispositivo de la superficie de referencia (membrana de silicona plana sin deformar) a distancia  $z_0 + \Delta z$  y  $z_0$  respectivamente. De estas dos imágenes se obtienen las correspondientes imágenes de sólo franjas c) y d), y las imágenes de sólo moteado e) y f). La imagen g) muestra en la gráfica superior los perfiles horizontales trazados por la mitad de la imágenes de franjas c) y d), y en la parte inferior el desfase entre estos perfiles de franjas. En h) se muestra la imagen con los valores de la constante de franja obtenidos para cada píxel de la región de interés. i) Muestra el resultado de aplicar CDI-2D a las imágenes e) y f), obteniéndose el “cono de desplazamiento radial” (CDR).

15 **Figura 3.** Una vez alineado y calibrado el dispositivo se adquieren las imágenes de la membrana de silicona. a) Es la imagen sin deformar (la de referencia). b) Se muestra la forma en la que es deformada la membrana. De c) a f) son las imágenes adquiridas de la membrana en los distintos estados de deformación ( $\Delta z_{stick} = 5, 10, 15$  y  $20$  mm) que se utilizan junto con la imagen sin deformar para obtener los mapas de desplazamientos de las Figuras 4 y 5.

**Figura 4.** Mapas de desplazamientos fuera de plano ( $\Delta z$ ) para cada estado de deformación de la membrana. a)  $\Delta z_{stick} = 5$  mm, b)  $\Delta z_{stick} = 10$  mm, c)  $\Delta z_{stick} = 15$  mm, d)  $\Delta z_{stick} = 20$  mm.

25 **Figura 5.** Mapas de desplazamientos en el plano para cada estado de deformación de la membrana: a) y e)  $\Delta z_{stick} = 5$  mm, b) y f)  $\Delta z_{stick} = 10$  mm, c) y g)  $\Delta z_{stick} = 15$  mm, d) y h)  $\Delta z_{stick} = 20$  mm. La columna de la izquierda muestra los desplazamientos  $\Delta x$  y la de la derecha los desplazamientos  $\Delta y$ .

30 **MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION**

Según se muestra en el esquema de la Figura 1, los desplazamientos de la superficie de estudio (10) se miden con respecto a una superficie plana de referencia (11). La superficie del objeto de estudio puede ser la propia superficie de referencia (si antes de deformarse

es plana) o bien se puede usar como tal otra superficie plana y moteada. Para poder medir los desplazamientos, el eje óptico de la cámara (12) deberá estar perpendicular a la superficie de referencia y el proyector deberá emitir un haz de luz estructurada sobre la superficie de estudio de tal forma que el ángulo,  $\alpha$ , definido entre el eje óptico de la cámara digital y el eje óptico del proyector (13) sea distinto de cero. Esto supone, para el caso en que se proyecten franjas, que las franjas originadas por la intersección del haz de luz emitido por el proyector con la superficie plana de referencia, se deformen o desplacen de acuerdo con la deformación o desplazamiento en dirección fuera de plano de dicha superficie (que será la dirección del eje óptico de la cámara).

10

Esta orientación perpendicular del eje óptico de la cámara con respecto a la superficie de referencia se realiza a través de los mandos (7) y (8) del cabezal inclinable (6), que en el esquema de la Figura 1 está montado sobre un trípode. Este cabezal permite orientar de forma solidaria el conjunto del dispositivo formado por el proyector (2), la cámara (1), el láser (3), la plataforma deslizante (4) y la plataforma inclinable (5).

15

Sobre el cabezal inclinable está fijada la plataforma deslizante (4) que permite un desplazamiento preciso a lo largo de un eje y de forma solidaria la cámara digital (1), el láser (3) y el proyector (2). Este eje de desplazamiento debe ser perpendicular a los ejes de rotación del cabezal inclinable (6) y se designa como eje de desplazamiento-z (14).

20

Sobre la plataforma deslizante está fijada la plataforma inclinable (5) sobre la que se encuentran fijadas la cámara (1) y, próximo a ésta, el láser (3) que emite un haz (15) paralelo al eje óptico (12). La plataforma inclinable (5) también se puede rotar en torno a dos ejes perpendiculares entre sí y perpendicular al eje óptico de la cámara (12), permitiendo orientar de forma precisa el eje óptico de la cámara (12) y el haz láser (15) paralelamente al eje de desplazamiento-z (14) de la plataforma deslizante (4).

25

El láser (3), por su parte, tiene su propio mecanismo de alineación que permite alinear el haz láser (15) paralelamente al eje óptico de la cámara (12).

30

El dispositivo permite, por lo tanto, alinear paralelamente entre sí el haz láser (15), el eje óptico y el eje de desplazamiento-z (14). Finalmente, la alineación perpendicular de estos dos ejes y el haz láser (15) con respecto a la superficie de referencia mediante los mandos

(7) y (8) del cabezal inclinable (6), se consigue cuando el haz láser reflejado especularmente desde un espejo adherido a la superficie de referencia coincide con el haz incidente.

5 Una vez que los dos ejes y el haz láser están alineados paralelamente entre sí y perpendicularmente a la superficie de referencia, el calibrado que realiza el dispositivo consiste en adquirir dos imágenes de la superficie de referencia (11), la cual presenta un moteado aleatorio sobre la que están proyectadas las franjas que tienen un perfil de intensidad sinusoidal. Una imagen se toma a distancia  $z_0 + \Delta z$  de la superficie de referencia  
 10 (11) y la otra a una distancia  $z_0$ , desplazando la plataforma deslizante (4) una distancia conocida  $\Delta z$  a lo largo del eje de desplazamiento-z (14). Un ejemplo de estas dos imágenes tomadas de una membrana de silicona circular inicialmente plana se muestran en la Figura 2(a) y (b). A continuación estas dos imágenes son sometidas a un filtrado con el que se extraen, por un lado, la información del moteado sin franjas (Figura 2(c) y (d)) y, por otro,  
 15 la información de las franjas sin el moteado (Figura 2(e) y (f)). Hay distintas formas de realizar este filtrado, un ejemplo es mediante una codificación en color [10].

La técnica de PF se basa en el hecho de que el desplazamiento  $\Delta z$  de la superficie produce un desplazamiento de las franjas proyectadas sobre la superficie de referencia (11) debido  
 20 a que inciden bajo un ángulo distinto de cero respecto al eje óptico de la cámara (12). Mediante un procesado de las dos imágenes de franjas desplazadas (por ejemplo utilizando [13]) se obtiene, para cada píxel de la región de interés de la superficie inspeccionada, el desfase,  $\Delta\phi_w$ , correspondiente a este desplazamiento de las franjas. Hay que tener en cuenta que en PF el desfase obtenido no considera el número entero de  
 25 franjas,  $N_f$ , que se han desplazado lateralmente durante este desplazamiento (lo que se indica con el subíndice "w"). Se obtiene así la constante de franja,  $K$ , para cada píxel ( $x_{CCD}$ ,  $y_{CCD}$ ) de la región de interés:

$$K(x_{CCD}, y_{CCD}) = \frac{\Delta z}{\Delta\phi_w(x_{CCD}, y_{CCD}) + 2\pi N_f}, \quad (1)$$

30

que relaciona el desplazamiento en dirección-z (mm) con el desplazamiento de las franjas (rad.), y depende del periodo de las franjas,  $P$ , y de su ángulo de incidencia,  $\alpha'$ , de la forma:  $K = P / (2\pi \tan \alpha')$ . Los desplazamientos fuera de plano de la superficie de un

objeto se obtienen multiplicando  $K$  por el desplazamiento  $\Delta\phi$  (sometido previamente a un despliegue o “unwrapping” de la fase) experimentado por las franjas proyectadas sobre la superficie:

$$\Delta z = K\Delta\phi. \quad (2)$$

En la Figura 2(g) se muestra los perfiles horizontales de las imágenes de las franjas de las Figuras 2(e) y (f), y debajo los perfiles del correspondiente desfase, y en la Figura 2(h) los valores de  $K$  obtenido para la región de interés, con un valor medio de 0,94 mm/rad. En este ejemplo  $\Delta z=20$  mm y  $N_f=3$  ( $N_f$  se obtiene contando el número de mínimos o máximos que pasan por un píxel durante el desplazamiento  $\Delta z$ ). Tal y como está montado el sistema de iluminación del dispositivo de la Figura 1 (proyectando las franjas desde la izquierda), las franjas se desplazan hacia la izquierda cuando se desplaza la plataforma deslizante (4) desde  $z_0+\Delta z$  hasta  $z_0$  (acercándola a la superficie de referencia). Igualmente, el sistema de iluminación podría estar montado al otro lado de la cámara (proyectando las franjas desde la derecha) lo que haría que las franjas se desplazaran hacia la derecha.

Aplicando correlación digital 2D a las dos imágenes de moteado de las dos imágenes desplazadas entre sí  $\Delta z$ , se obtiene un mapa de desplazamiento radial de los píxeles llamado “cono de desplazamiento radial” como el mostrado en la Figura 2(i). La posición del vértice de dicho cono,  $\mathbf{P}_V = (x_V, y_V)$ , da la posición del único píxel que no se desplaza cuando se acerca la cámara desde  $z_0+\Delta z$  hasta la distancia  $z_0$  de la superficie de referencia. Además, de la pendiente del cono de desplazamiento radial,  $m$ , se obtiene el valor de  $z_0$ :

$$z_0 = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \Delta z. \quad (3)$$

Estos dos parámetros,  $\mathbf{P}_V$  y  $z_0$ , son necesarios para realizar la corrección de los desplazamientos en el plano obtenidos directamente aplicando CDI-2D,  $(\Delta x_{CCD}, \Delta y_{CCD})$ , debido a que estos desplazamientos divergen desde el punto  $\mathbf{P}_V$  tanto más cuanto más alejados están de él y a medida que se desplazan fuera del plano de referencia (desde  $\Delta z_1$  hasta  $\Delta z_2$ ). Esto no sucede, no obstante, con una lente telecéntrica. Los desplazamientos en el plano corregidos se obtienen de la siguiente formulación:

$$\begin{cases} \Delta x = L \left\{ \Delta x_{CCD} - \left[ (x_{2,CCD} - x_V) \frac{\Delta z_2}{z_0} - (x_{1,CCD} - x_V) \frac{\Delta z_1}{z_0} \right] \right\} \\ \Delta y = L \left\{ \Delta y_{CCD} - \left[ (y_{2,CCD} - y_V) \frac{\Delta z_2}{z_0} - (y_{1,CCD} - y_V) \frac{\Delta z_1}{z_0} \right] \right\} \end{cases}, \quad (4)$$

donde  $L$  es el aumento lateral de la lente de la cámara en la superficie de referencia (con unidades mm/píxeles),  $(x_{1,CCD}, y_{1,CCD})$  y  $(x_{2,CCD}, y_{2,CCD})$  son respectivamente las posiciones de los píxeles de la imagen de la superficie del objeto antes y después de la deformación. En el ejemplo de la Figura 2, se obtiene del cono de desplazamiento radial mostrado en la Figura 2(i) un valor de  $z_0=782$  mm, y  $\mathbf{P}_V=(324, 242)$  píxeles.

Como ejemplo de aplicación, se determinan los mapas de deformaciones sufridas por la membrana de silicona inicialmente plana con respecto a la cual se ha alineado y calibrado el dispositivo de PF+CDI siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior y utilizando estos mismos resultados de la calibración mostrados en la Figura 2. Ésta membrana está fijada en su contorno circular a la superficie de referencia y es empujada por su parte central y posterior con una varilla con punta semicircular que se desplaza en  $\Delta z_{stick}= 5, 10, 15$  y  $20$  mm, tal y como se muestra en la Figura 3. Habiendo alineado y calibrado el dispositivo, se toman las imágenes mostradas en la Figura 3, siendo la Figura 3(a) la de referencia, y las restantes mostradas en la Figura 2(c-e) correspondientes a cada estado de desplazamiento de la membrana. En la Figura 4 y 5 se muestran los correspondientes mapas de desplazamientos que experimenta la membrana, obtenidos con el dispositivo objeto de la patente. La Figura 4 muestra los mapas de desplazamientos fuera de plano ( $\Delta z$ ) y Figura 5 los mapas de deformación en el plano ( $\Delta x, \Delta y$ ).

## REFERENCIAS

- [1] US006788210B1, P. Huang, Q. Hu, F Chiang, "Method and apparatus for three dimensional surface contouring and ranging using a digital video projection system", (2004).
- [2] US2012/0229816A1, S. Rodrigue, F. Busque, "Device and method for obtaining three-dimensional object surface data", (2012).
- [3] M.A. Sutton, J.J. Ortu, and H.W. Schreier. "Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements: Basic Concepts, Theory and Applications", Springer, (2009).

- [4] US00618082A. G.L. Cloud, "Technique and apparatus for performing Electronic Speckle Pattern Interferometry". (2000).
- [5] US6188482B1, G.L. Cloud, "Apparatus for Electronic Speckle Pattern Interferometry". (2001).
- 5 [6] US20040057054A1, S. Toyooka, H. Kadono. "Deformation measuring method and apparatus using Electronic Speckle Pattern Interferometry". (2004).
- [7] US20100079598A1, X. Ke and M.A. Sutton, "Robust Stereo Calibration System and method for accurate digital image correlation measurements", (2010).
- [8] US20120032946A1, W. Wang, B. Chen, Y. Ho, "New calibration procedure for three-  
10 dimensional digital image correlation", (2012).
- [9] US20100016711A1. A. Kheradvar, M.A. Sutton, "Membrane-Deformation Mapping Technique", (2010).
- [10] P. Siegmann, V. Álvarez-Fernández, F. Díaz-Garrido, Eann A. Patterson. "A  
15 simultaneous in- and out-of-plane displacement measurement method", Opt. Lett.  
36.1, 10-12, (2011).
- [11] J. Salvi, J. Page`s, and J. Battle, "Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems," Pattern Recognition, 37(4), 827-849, (2004).
- [12] B. Pan, H. Xie, J. Gao, A. Asundi, "Improved Speckle projection profilometry for out-of-plane shape measurement", Appl. Opt. 47(29), 5527-5533, (2008).
- 20 [13] M. Heredia-Ortiz and E.A. Patterson. "Location and Shape Measurement Using a Portable Fringe Projection System", Exp. Mech. 45, 197-204 (2005).

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo portátil para la medida de mapas de desplazamientos de superficies en las tres direcciones espaciales que permite llevar a cabo una alineación y una calibración de un sistema optoelectrónico que combina dos técnicas para obtener respectivamente los mapas de desplazamiento en el plano y fuera de plano de la superficie de un objeto. Este dispositivo comprende:
- a. Un subsistema de adquisición de imágenes formado por una cámara digital y su correspondiente lente que visualiza la superficie del objeto de estudio.
  - b. Un subsistema de iluminación formado por un proyector que emite luz estructurada o aleatoria sobre la superficie del objeto de estudio de tal forma que el ángulo de incidencia definido entre el eje óptico de la cámara digital del subsistema de adquisición de imágenes y el eje óptico del proyector, es distinto de cero.
  - c. Un subsistema de alineación y calibración. Este subsistema permite: i) Desplazar a lo largo de un eje, que denominamos eje de desplazamiento-z, de forma solidaria la cámara y el proyector de franjas pertenecientes respectivamente al subsistema de adquisición de imágenes y de iluminación. ii) Alinear el eje óptico de la cámara del subsistema de adquisición de imágenes con el eje de desplazamiento-z. iii) Alinear el conjunto del dispositivo de forma que el eje óptico de la cámara del subsistema de adquisición de imágenes quede perpendicular a una superficie plana de referencia (desde la cual se miden los desplazamientos fuera de plano).
  - d. Un subsistema de procesado y control que controla, al menos, el subsistema de adquisición de imágenes para guardar y procesar las imágenes adquiridas, y obtener los parámetros necesarios para la calibración y corrección de los mapas de desplazamientos.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por utilizar un subsistema de iluminación formado por un proyector que emite luz estructurada en forma de franjas paralelas con el fin de aplicar la técnica de proyección de franjas para obtener los desplazamientos fuera de plano.

3. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por utilizar un subsistema de iluminación formado por un proyector que emite luz con intensidad distribuida espacialmente de forma aleatoria con el fin de aplicar la técnica de “speckle projection” para obtener los desplazamientos fuera de plano.
- 5
4. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por utilizar la técnica de correlación digital de imágenes 2D para obtener los desplazamientos en el plano, para lo cual la superficie de estudio debe presentar un moteado aleatorio bien sea porque se ha pintado o por la propia naturaleza rugosa que presente.
- 10
5. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por utilizar un *láser* para alinear con respecto a la superficie plana de referencia el conjunto del dispositivo, tal que el eje óptico del subsistema de adquisición de imágenes y el eje de desplazamiento-z del subsistema de alineación y calibración estén perpendiculares a dicha superficie de referencia. El láser está fijado a la cámara del subsistema de adquisición de imágenes de tal forma que el haz láser emitido por él queda paralelo al eje óptico de dicha cámara.
- 15
6. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por utilizar una *plataforma deslizante* en el subsistema de alineación y calibración que permite desplazar manual o automáticamente y de forma solidaria el subsistema de adquisición de imágenes y el proyector de franjas del subsistema de iluminación en la dirección del eje de desplazamiento-z, y también medir el desplazamiento realizado por dicha plataforma.
- 20
7. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por utilizar una *plataforma inclinable* en el subsistema de alineación y calibración que permite rotar el subsistema de adquisición de imágenes manualmente o de forma automatizada en torno a, al menos, dos ejes perpendiculares entre sí, con uno de ellos perpendicular al plano de incidencia definido en el subsistema de iluminación y el otro perpendicular al eje óptico de la cámara del subsistema de adquisición de imágenes, con el fin de alinear paralelamente entre sí dicho eje óptico y el eje de desplazamiento-z de la plataforma deslizante.
- 25
- 30

- 5
8. Dispositivo según la reivindicación **1**, caracterizado por utilizar un *cabezal inclinable* en el subsistema de alineación y calibración que soporta el conjunto del dispositivo y que permite rotarlo manualmente o de forma automatizada en torno a, al menos, dos ejes perpendiculares entre sí con uno de ellos perpendicular al plano de incidencia definido en el subsistema de iluminación y el otro perpendicular al eje de desplazamiento-z de la plataforma deslizante del subsistema de alineación y calibración. Dicho cabezal inclinable permite alinear dicho eje de desplazamiento-z perpendicularmente a una superficie plana de referencia.
- 10
9. Dispositivo según las reivindicaciones **1 y 7**, en el que el proyector de luz estructurada del subsistema de iluminación es también inclinado por la plataforma inclinable del subsistema de alineación y calibración.
- 15
10. Dispositivo según las reivindicaciones **1 y 6**, caracterizado por utilizar un subsistema de procesado y control que también controla de forma automatizada el desplazamiento de la plataforma deslizante.
- 20
11. Dispositivo según las reivindicaciones **1 y 7**, caracterizado por utilizar un subsistema de procesado y control que también controla la rotación en torno a los ejes de la plataforma inclinable.
12. Dispositivo según las reivindicaciones **1 y 8**, caracterizado por utilizar un subsistema de procesado y control que también controla la rotación en torno a los ejes del cabezal inclinable.

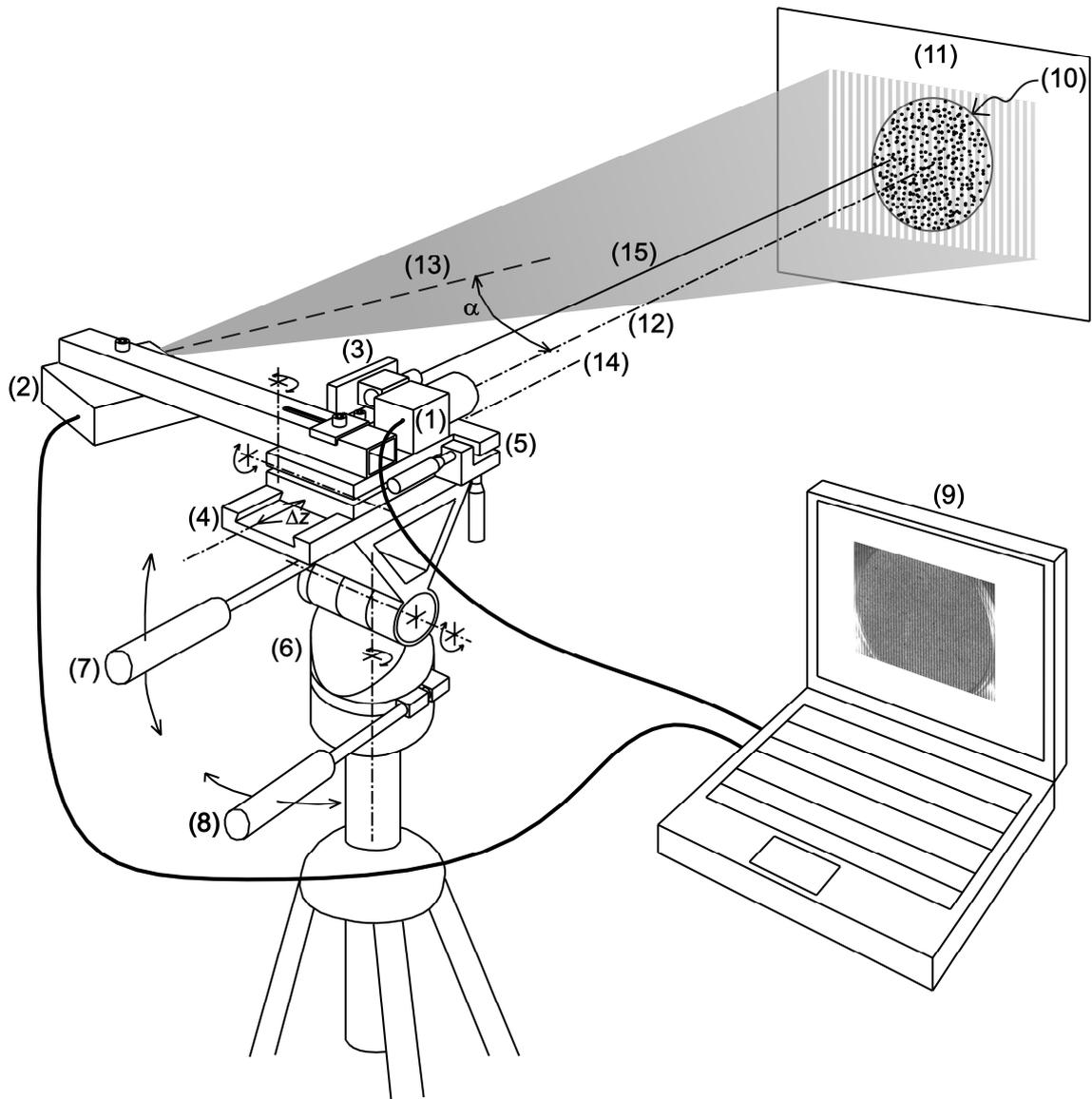


Figura 1

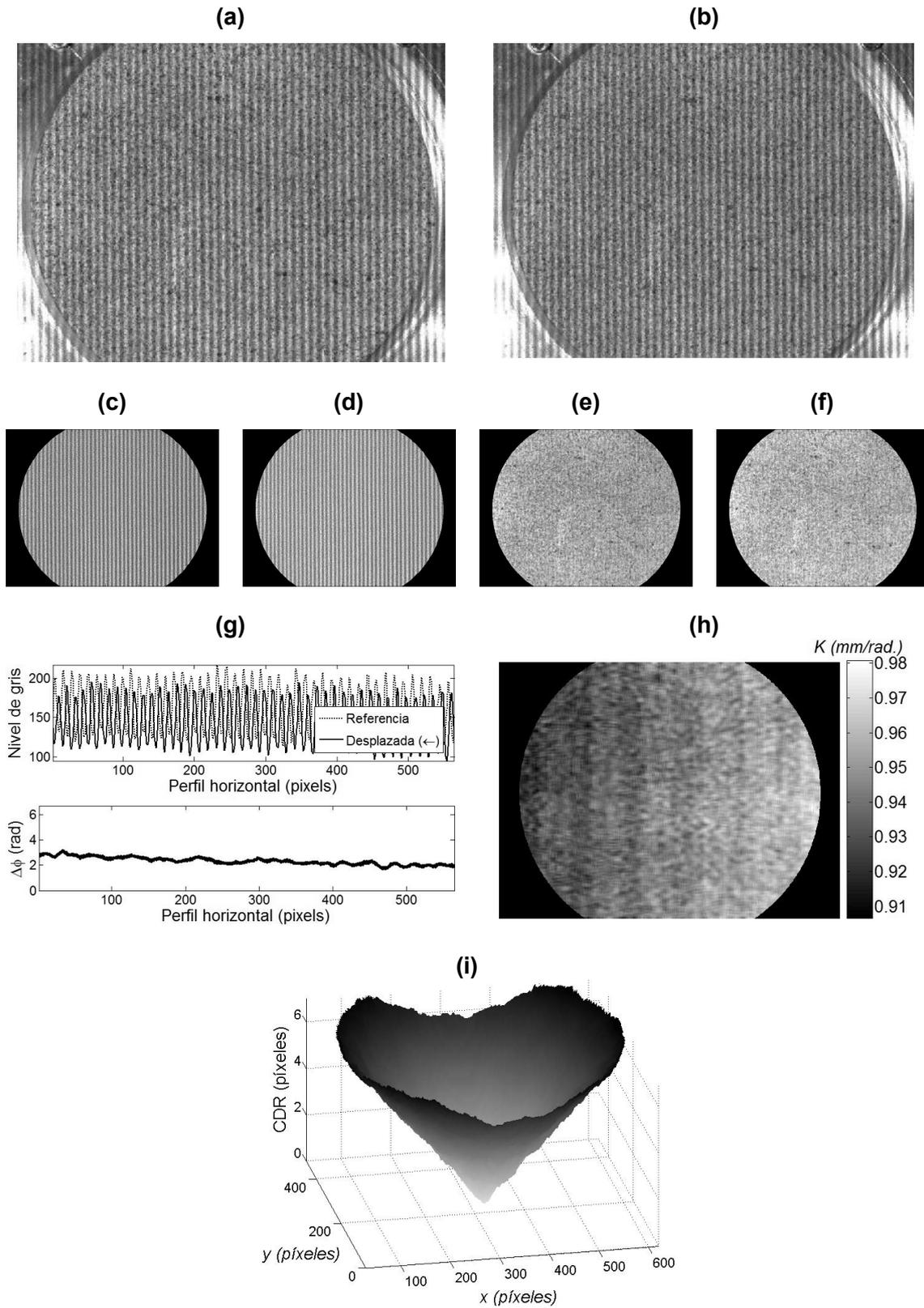


Figura 2

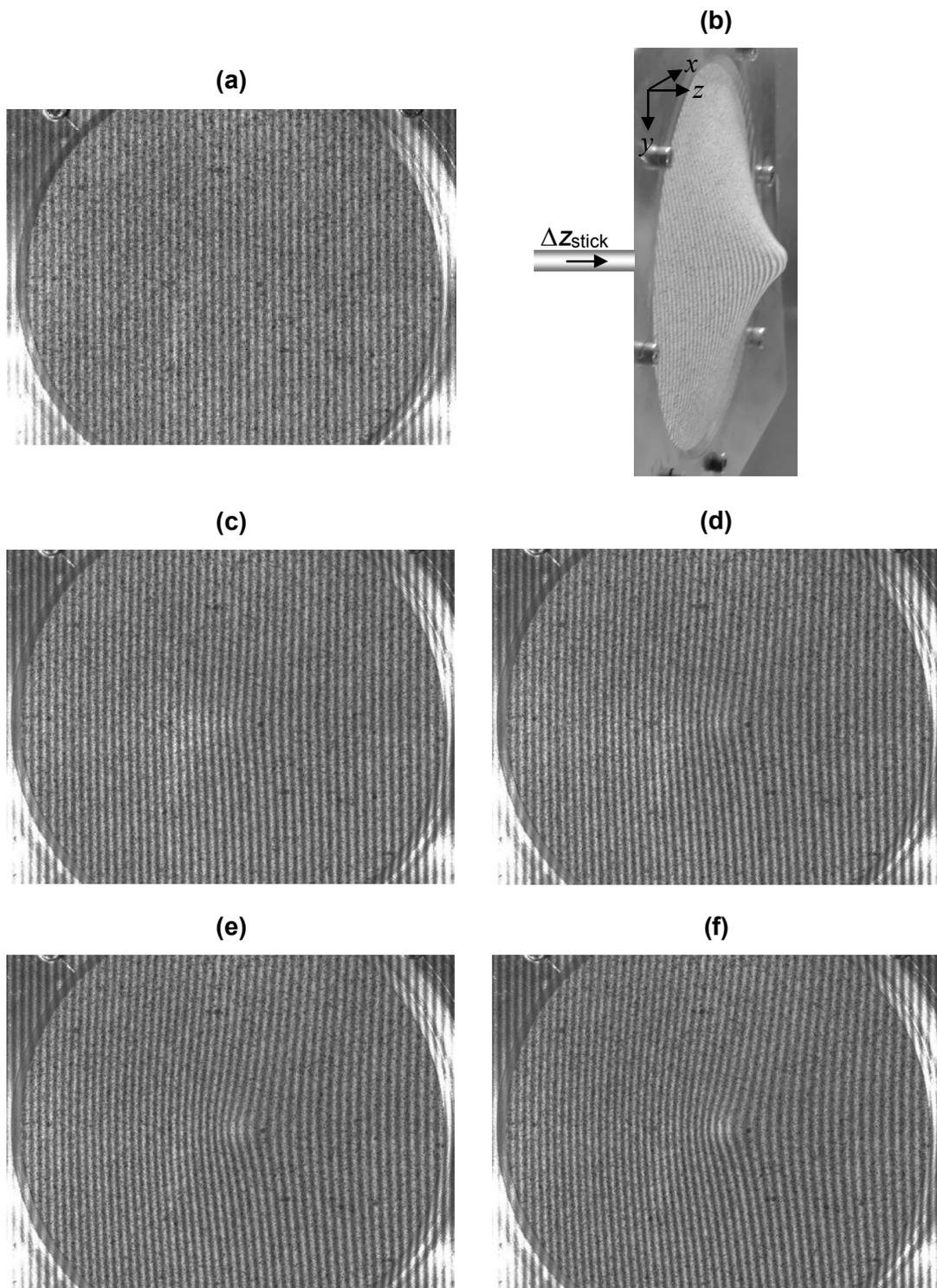


Figura 3

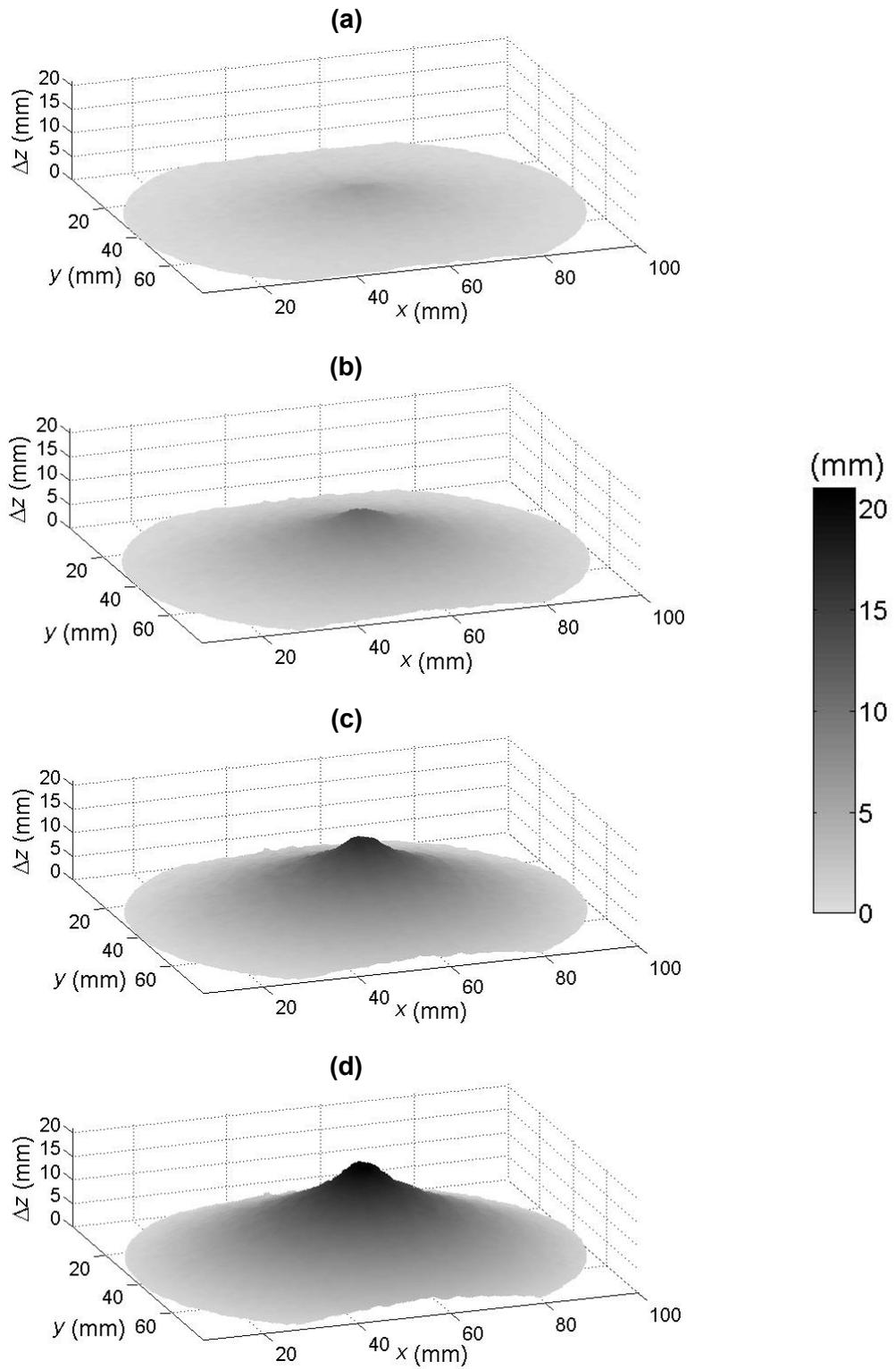


Figura 4

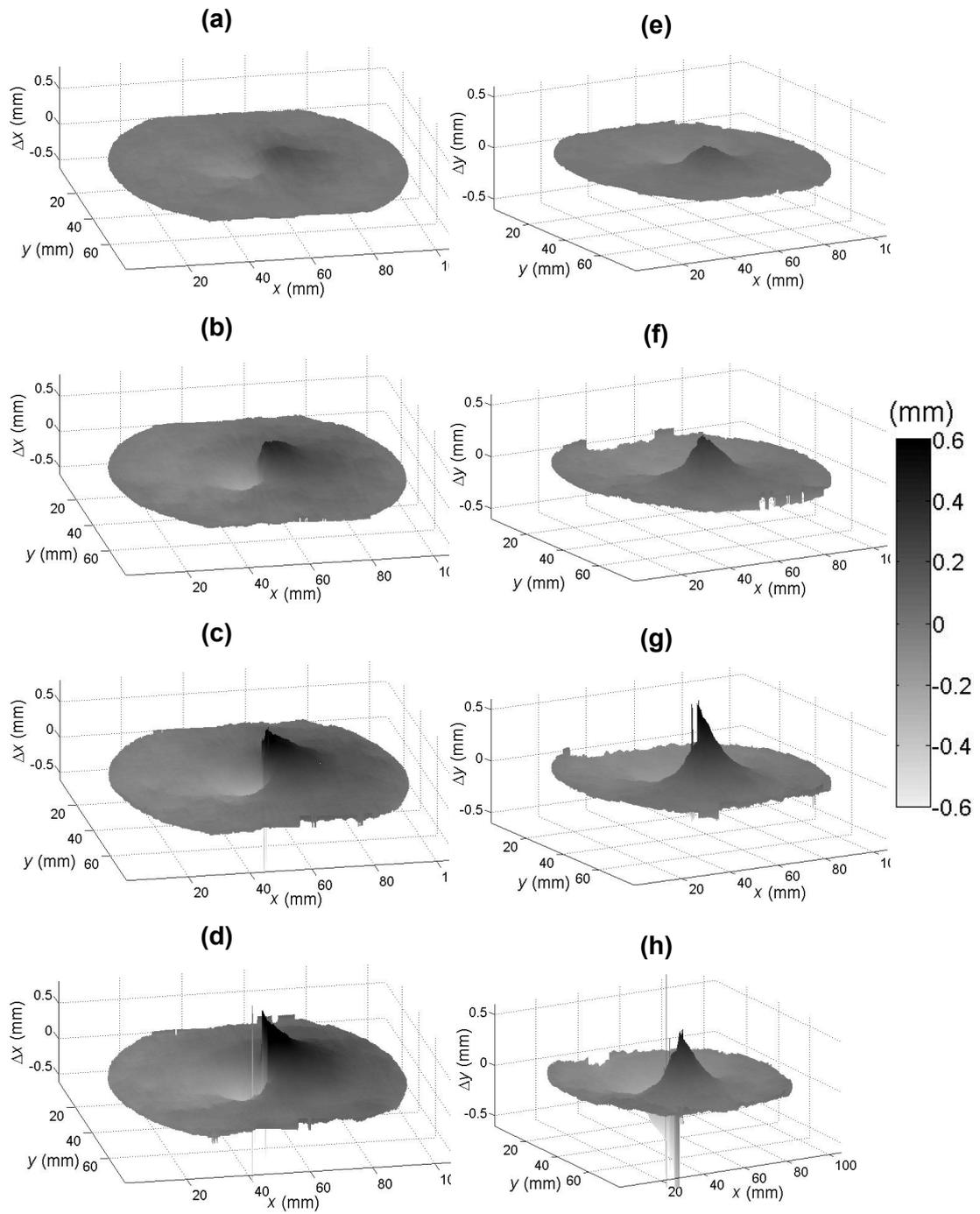


Figura 5



- ②① N.º solicitud: 201330411  
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 21.03.2013  
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 6128082 A (CLOUD GARY L) 03.10.2000	1
A	US 6097477 A (SARRAFZADEH-KHOEE ADEL K) 01.08.2000	1
A	US 4765189 A (PREATER RICHARD W T) 23.08.1988	1
A	US 2010016711 A1 (KHERADVAR ARASH et al.) 21.01.2010	1

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  
05.06.2014

Examinador  
M. C. González Vasserot

Página  
1/5

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**G01B9/02** (2006.01)

**G01B11/16** (2006.01)

**H04N13/02** (2006.01)

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

G01B, H04N

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

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 05.06.2014

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-12	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-12	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<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 se publica.

**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	US 6128082 A (CLOUD GARY L)	03.10.2000
D02	US 6097477 A (SARRAFZADEH-KHOEE ADEL K)	01.08.2000
D03	US 4765189 A (PREATER RICHARD W T)	23.08.1988
D04	US 2010016711 A1 (KHERADVAR ARASH et al.)	21.01.2010

**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**

Los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Así, la invención reivindicada se considera que cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial.

1.- El objeto de la presente solicitud de patente consiste en realizar medidas de desplazamientos de campo completo de una superficie en las tres direcciones espaciales. Consiste en un subsistema de adquisición de imágenes que visualiza la superficie a medir, un subsistema de iluminación que proyecta luz estructurada sobre dicha superficie, un subsistema de alineación y calibración, y un subsistema de procesamiento y control que controla el dispositivo y realiza un procesamiento de las imágenes. El dispositivo se basa en la combinación de dos técnicas, una para obtener la deformación fuera de plano (por ejemplo proyección de franjas) y otra para obtener la deformación en el plano (por ejemplo correlación digital de imágenes 2D). El dispositivo permite hacer un alineamiento, una calibración y una corrección de los desplazamientos necesarios para obtener resultados cuantitativos y veraces.

2.- El problema planteado por el solicitante es una técnica alternativa a la de CDI-3D (correlación Digital de imágenes 3D) y es la que combina Correlación Digital de Imágenes

2D (CDI-2D) con Proyección de Franjas (PF). En este caso se utiliza una única cámara y un proyector que proyecta lateralmente franjas paralelas y equiespaciadas e ilumina la superficie de estudio. Con CDI-2D se determina la deformación del objeto (previamente pintado con un moteado aleatorio) en un plano (x,y) perpendicular al eje óptico de la cámara (eje-z), y con PF se determina la deformación fuera de plano, esto es, en dirección z.

El dispositivo de la presente solicitud de patente se basa en esta técnica combinada de PF y CDI-2D (que se designa abreviadamente como PF+CDI). Comparado con la técnica de CDI-3D, la técnica combinada PF+CDI sólo utiliza una única cámara (sustituyendo la otra cámara por un proyector de franjas), la calibración que se plantea realizar con el dispositivo es más sencilla al requerir sólo de dos imágenes y el procesamiento de imágenes en general es mucho más simple y computacionalmente menos costoso. A cambio, PF+CDI requiere de una precisa alineación del dispositivo con respecto a una superficie de referencia (que puede ser la propia superficie del objeto de estudio sin deformar) con respecto a la cual se miden los desplazamientos fuera de plano.

El documento D1 puede considerarse como el representante del estado de la técnica más cercano ya que en este documento confluyen la mayoría de las características técnicas reivindicadas.

**Análisis de las reivindicaciones independientes****Reivindicación 1**

El estado de la técnica más cercano al objeto de la invención está representado por el documento

D01, que divulga:

Dispositivo portátil para la medida de mapas de desplazamientos de superficies en las tres direcciones espaciales que permite llevar a cabo una alineación y una calibración de un sistema optoelectrónico que combina dos técnicas para obtener respectivamente los mapas de desplazamiento en el plano y fuera de plano de la superficie de un objeto. Este dispositivo comprende:

- Un subsistema de adquisición de imágenes formado por una cámara digital y su correspondiente lente que visualiza la superficie del objeto de estudio.
- Un subsistema de iluminación formado por un proyector que emite luz estructurada o aleatoria sobre la superficie del objeto de estudio

No divulga y se diferencia en que:

c. Un subsistema de alineación y calibración. Este subsistema permite:

- Desplazar a lo largo de un eje, que denominamos eje de desplazamiento-z, de forma solidaria la cámara y el proyector de franjas pertenecientes respectivamente al subsistema de adquisición de imágenes y de iluminación.
- Alinear el eje óptico de la cámara del subsistema de adquisición de imágenes con el eje de desplazamiento-z.
- Alinear el conjunto del dispositivo de forma que el eje óptico de la cámara del subsistema de adquisición de imágenes quede perpendicular a una superficie plana de referencia (desde la cual se miden los desplazamientos fuera de plano).

La reivindicación 1 es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986) y tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986).

**Análisis del resto de los documentos**

De este modo, ni el documento D1, ni ninguno del resto de los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, tomados solos o en combinación, revelan la invención en estudio tal y como es definida en las reivindicaciones independientes, de modo que los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Además, en los documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia a una combinación que pudiera hacer evidente la invención definida por estas reivindicaciones y no se considera obvio para una persona experta en la materia aplicar las características incluidas en los documentos citados y llegar a la invención como se revela en la misma.