

Calibración del montaje óptico para determinación de desplazamientos en el espacio mediante Correlación Digital de Imágenes 2D y Proyección de Franjas

L. Felipe Sesé⁽¹⁾, F.A. Díaz Garrido⁽¹⁾, R. Dorado Vicente⁽¹⁾, P. Siegmann⁽²⁾,

(1)Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
lfelipe@ujaen.es

(2)Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Alcalá

Correlación Digital de Imágenes 2D es una técnica óptica ampliamente utilizada en el campo de la mecánica experimental para la determinación de desplazamientos en el plano mediante el uso de una sola cámara. Recientemente se han realizado trabajos sobre la unión de las técnicas DIC 2D y Proyección de Franjas, la cual aporta información de desplazamiento fuera de plano. Con ello se consigue determinar los desplazamientos en el espacio sin necesidad de recurrir a sistemas estereoscópicos, normalmente de mayor coste y complejidad.

La unión de las técnicas debe solventar el problema de la aberración que sufren los resultados de DIC 2D al experimentar un desplazamiento fuera de plano. Este trabajo trata de solucionar esta cuestión en base a la calibración del montaje óptico determinando la posición del eje óptico y la distancia de la cámara a la probeta.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las técnicas de correlación de imágenes, tanto en 2D como en 3D, y proyección de franjas son dos técnicas totalmente asentadas y utilizadas en ámbitos industriales. Los avances en materia informática y de la captura y procesado de imágenes digitales de las últimas décadas ha sido determinante para este hecho [1].

Correlación Digital de Imágenes 2D es una técnica que permite la determinación de los desplazamientos que sufre un elemento ensayado en el plano (x,y) [2]. Para ello recurre a la incorporación a la superficie del elemento de un patrón de pequeñas manchas aleatorias de alto contraste (denominado speckle) a la superficie del elemento. De esta manera, una pequeña porción de la imagen que posea ese patrón, con un nivel de gris medio característico, es difícilmente repetible en el resto de la imagen[2]. Por lo anterior, DIC 2D se basa en la captura una imagen de referencia del elemento y seguidamente se realiza el ensayo, el cual imprimirá sobre dicho elementos unos desplazamientos en el plano (x, y) . De cada estado durante el proceso del ensayo se capturarán imágenes. Posteriormente, en la etapa de correlado, la imagen de referencia se divide en pequeñas porciones llamadas facetas de mismo tamaño $(2M+1) \times (2M+1)$, las cuales están asociadas al pixel central de cada faceta $p_1(x_0,y_0)$. Estas facetas, poseen un nivel de intensidad de gris característico. A continuación, el algoritmo elegido realizará una búsqueda de esa faceta alrededor del punto de mismas coordenadas pero en la siguiente imagen capturada $p_2(x_0,y_0)$. Si ha experimentado un desplazamiento, el centro de la faceta buscada se encontrará en otras coordenadas $p_2(x_1,y_1)$ (figura 1).

De manera que se conocerá el desplazamiento en dirección X y en dirección Y :

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_2 - x_1 \\ \Delta y &= y_2 - y_1\end{aligned}\tag{1}$$

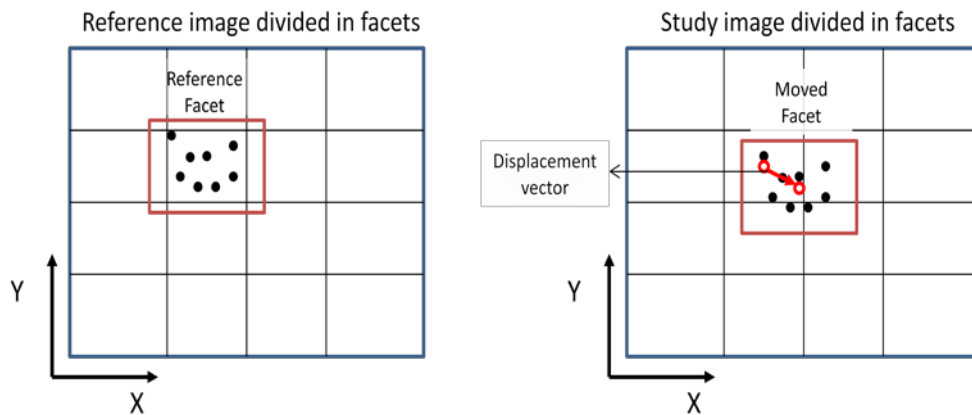


Figura 1. Procedimiento de procesamiento DIC 2D

Correlación digital de imágenes en 3D se basa en el mismo principio que DIC 2D pero además permite determinar los desplazamientos en el eje Z mediante un sistema de visión estereoscópica [3]. Esto requiere de la utilización de varias cámaras, su sincronización, y de un software de calibración y procesados complejos.

En este aspecto es donde la técnica de proyección de franjas ha sido aplicada en anteriores trabajos para simplificar la detección de esos desplazamientos fuera de plano (dirección z).

Proyección de franjas es una técnica óptica interferométrica de campo completo que permite determinar desplazamientos fuera de plano con la utilización de un proyector y una cámara[4]. Para ello recurre a la proyección de un patrón de franjas con una distribución senoidal. El principio básico es la proyección de un patrón de franjas sobre una superficie de referencia o rejilla de paso p mediante un proyector. Estas franjas variarán senoidalmente en la dirección perpendicular a la franja proyectada, por lo que la distribución de intensidad (i,j) puede describirse de la siguiente manera[5]:

$$I(i,j) = A(i,j) + B(i,j)\cos(2\pi f + \phi(i,j)) \quad (2)$$

Donde A es la iluminación de fondo o ruido, B es la amplitud de la rejilla, f es la frecuencia del patrón proyectado y ϕ es la fase de la onda senoidal. Si se obtiene una imagen en la que el objeto de referencia haya variado su forma, la fase habrá variado, por lo que determinando la diferencia de fase se podrá conocer el desplazamiento fuera de plano desplazamiento que existe en ese pixel respecto a la imagen de referencia como muestra la figura 2.

Este desfase puede ser calculado por dos métodos principalmente, el método de variación de fase o phase-shifting [5] y el análisis de las imágenes en dominio de la frecuencia mediante Fourier [4]. En ambos casos la fase extraída se presenta envuelta entre los valores $-\pi$ y π por lo que necesita un procesamiento de desenvolvimiento de fase conocido como unwrapping.

Combinando las dos técnicas comentadas (DIC y proyección) es posible obtener información de los desplazamientos en el plano (Δx y Δy) mediante DIC 2D y los desplazamientos fuera de plano (Δz) mediante Proyección de Franjas. Esta unión de técnicas se puede realizar mediante la utilización de varias cámaras, una para cada técnica [6][7][8][9], o con una sola cámara aplicando filtros físicos [10] o filtros digitales [11][12]. El objetivo es poder obtener imágenes sólo con patrones de franjas o sólo con patrones de speckle para la utilización de ambas técnicas correspondientes instantáneamente.

La unión de los datos de las dos técnicas no es directa, ya que los datos de DIC 2D se ven afectados por los desplazamientos fuera de plano que experimenta el elemento estudiado [13]. Esto es, si un elemento se acerca a la cámara sin tener desplazamientos en el plano, DIC lo interpretará como un estiramiento del elemento, al aparentar ser de mayor tamaño. Es por ello que en esta comunicación se plantea un método para determinar la distancia elemento-objetivo de cámara basado en el modelo óptico pin-hole. Con esto se pretende referenciar los desplazamientos fuera de plano a esa distancia, pudiendo a continuación corregir los desplazamientos ficticios observadas.

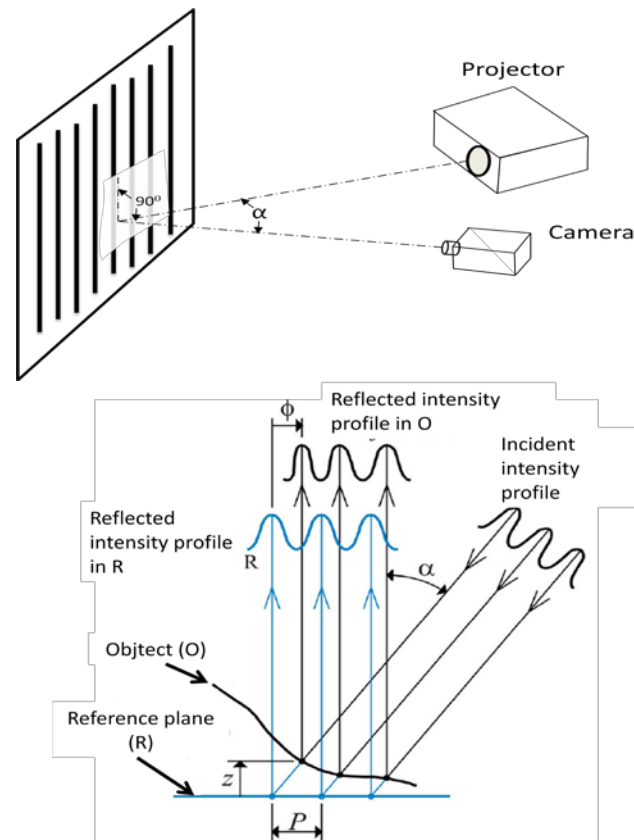


Figura 2. Diagrama de la técnica de proyección de franjas

Seguidamente se mostrarán los resultados y finalmente se concluirá con un análisis de resultados y conclusión.

2. PROCEDIMIENTO TEÓRICO CALIBRACIÓN

El modelo pin-hole estudia el sistema óptico considerando que un elemento real es visto por una cámara de sensor CCD de manera que cualquier punto del elemento traza una línea recta desde dicho punto hasta el CCD pasando por un centro óptico, coincidente con el plano focal de la lente, como muestra la figura 3.

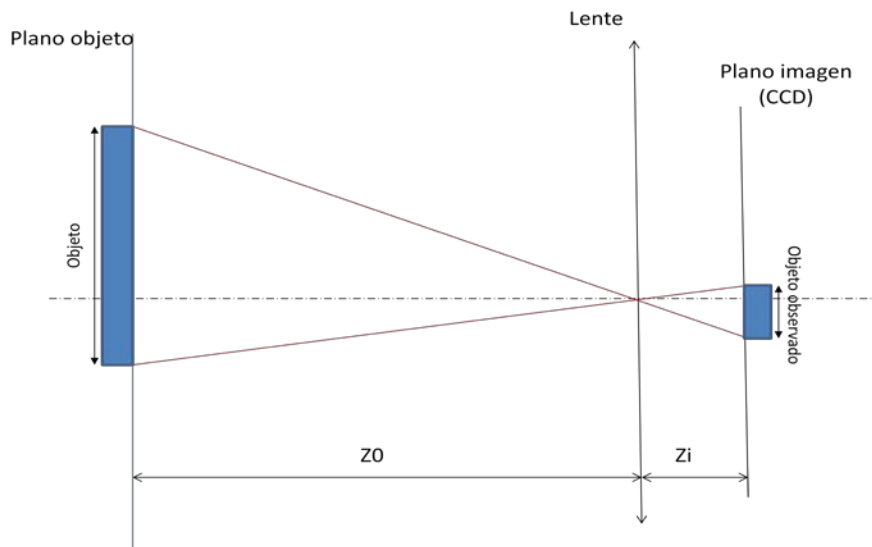


Figura 3. Modelo de pin-hole

En base a este modelo se puede estudiar la situación en la que un elemento plano se acerca hacia la lente un desplazamiento Δz de manera perpendicular a la cámara, como muestra la figura 4.

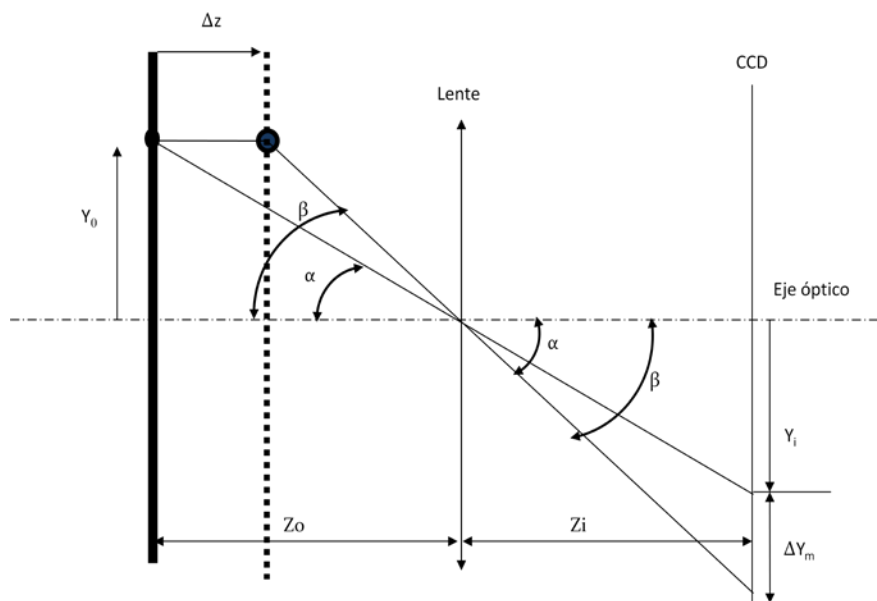


Figura 4. Esquema pin-hole proceso calibración

Observando la figura 4, cuando un objeto es dispuesto a una distancia del eje óptico Y_0 la imagen se forma en el CCD de la cámara a una distancia del eje óptico Y_i dependiente de la relación de aumento del objetivo. Si este objeto es acercado a la lente una distancia Δz , en el CCD de la imagen, se registrará el objeto a una distancia $Y_i + \Delta Y_m$, cuando en realidad no ha existido un desplazamiento en dirección y . Por lo que se puede relacionar geométricamente el plano objeto y el plano CCD, quedando:

$$\Delta Y_m = \frac{\Delta z}{z_0 - \Delta z} Y_0 \quad (3)$$

Y si el desplazamiento Δz es mucho más pequeño que z_0 , se puede reescribir de la forma:

$$z_0 = \frac{\Delta z}{\Delta Y_m} Y_0 \quad (4)$$

Tras lo expuesto, el proceso DIC 2D dos imágenes de un plano desplazado un valor Δz conocido mediante DIC 2D dará como resultado el desplazamiento ΔY_m , por lo que se puede extraer el valor z_0 .

Cabe destacar que el método de calibración anterior se basa en la suposición de objetos planos para la cual el valor de z_0 es una constante

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El set up utilizado para realizar este ensayo está compuesto por una cámara en color uEye CCD 640x480 dotada con una lente de 25mm de distancia focal y una estructura que permite el deslizamiento de un plano en un eje perpendicular al mismo, como se muestra en el esquema de la figura 5.

Para comprobar la metodología mostrada anteriormente se recurre a tomar una imagen de referencia de un plano con un patrón de speckle. Seguidamente este plano se le imprime un desplazamiento $\Delta z = 30mm$ hacia la cámara y se captura una segunda imagen. A continuación, se realizará la correlación entre las dos imágenes.

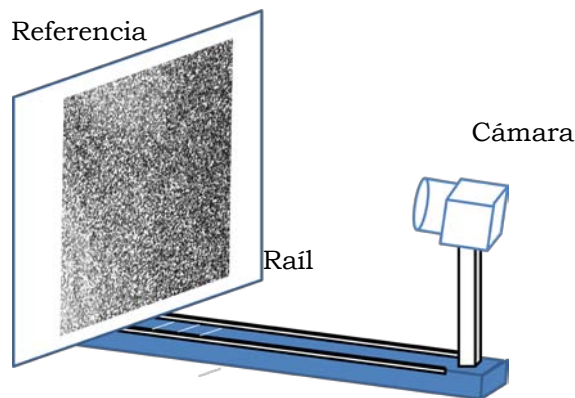


Figura 5. Esquema del set up utilizado

El resultado se interpreta como que el objeto se ha desplazado tanto más hacia el exterior de la imagen cuanto más lejos del eje óptico se encuentre como se observa en la figura 6.c.

Los resultados de la calibración arrojan que la distancia Z_0 es de 765,35 mm. No puede compararse midiendo realmente ya que el objetivo se encuentra desde el una distancia de 760mm hasta los 800mm. Por lo tanto entra dentro de la distancia esperada.

4. CONCLUSIÓN

El procediendo experimental muestra unos datos que entran dentro de los límites esperados por lo que una determinación de la cota Z_0 para una calibración adecuada del sistema. No obstante, el procedimiento de calibración acercando el plano a la cámara puede ser complicado de llevar a cabo en ciertos ambientes industriales. Es por esto por lo que el grupo de investigación continúa estudiando otras alternativas, si bien los resultados muestran el potencial del método propuesto.

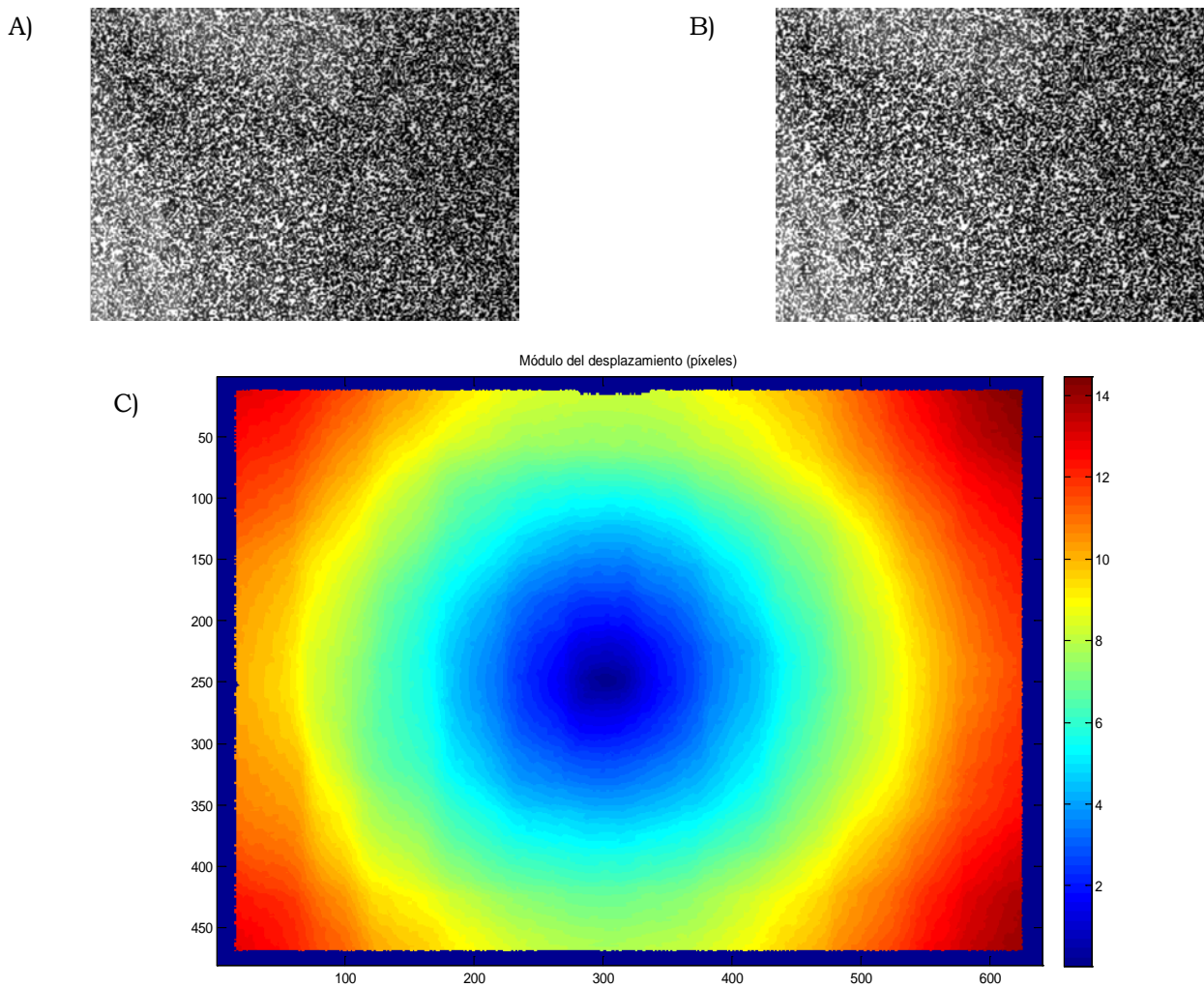


Figura 6. A) Imagen de referencia. B) Imagen de probeta acercada 3 cm para calibración. C) Modulo de desplazamientos $desp = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ en píxeles

5. REFERENCIAS

- [1] G. Cloud. *Optical Methods in Experimental Mechanics*, Experimental Technique, (2002).
- [2] Bing Pan^{1,4}, Kemao Qian², Huimin Xie³ and Anand Asundi¹ "Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: A review" *Meas. Sci. Technol.* 20 (2009) 062001
- [3] Sutton M.A., McNeill S.R., Helm J.D, Chao Y.J. "Advances in two-dimensional and three-dimensional computer vision". *Topics in Applied Physics* .2000.Vol 77.Pp: 323-72.
- [4] M. Takeda, H. Ina, and S. Kobayashi. *Fourier-transform method of fringe pattern analysis for computer-based topography and interferometry*, *J.Opt. Soc. Am* 72 (1982) 156-160.
- [5] M. Heredia Ortiz and E.A. Patterson. *Location and Shape Measurement Using a Portable Fringe Projection System*, Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield, Sheffield, S1 3JD, UK (2005)

- [6] T. N. Nguyen, J. M. Huntley, R. L. Burguete, C. R. Coggrave. *Multiple-view Shape and Deformation Measurement by Combining Fringe Projection and Digital Image Correlation*, Strain (2011)
- [7] T. Nam Nguyen, Jonathan M. Huntley, Richard L. Burguete , C. Russell Coggrave. *Shape and displacement measurement of discontinuous surfaces by combining fringe projection and digital image correlation*, Optical Engineering 50 (2011).
- [8] C. Quan, C. J. Tay, Y. H. Huang. *3-D deformation measurement using fringe projection and digital image correlation*, Optik 115, No. 4 (2004) 164-168
- [9] C. J. Tay, C. Quan, T. Wu, Y. H. Huang . *Integrated method for 3-D rigid-body displacement measurement using fringe projection*, Opt. Eng. 43 (2004), 1152–1159
- [10] H. Weber, R. Lichtenberger, T. Wolf. *The Combination of Speckle Correlation and Fringe Projection for the Measurement of Dynamic 3-D Deformations of Airbag Caps*, Solid Mechanics and Its Applications, Volume 82 (2002), 619-626.
- [11] P. Siegmann., V. Álvarez-Fernández, F. Diaz-Garrido, E. Patterson. *A simultaneous in- and out-of-plane displacement measurement method*, Optics Letters, Vol 36, No 1 (2011), 10-12.
- [12] C. Mares, B. Barrientos, A. Blanco. *Measurement of transient deformation by color encoding*, Optics Express, Vol. 19, No. 25 (2011)
- [13] C.J. Tay, C. Quan , Y.H. Huang, Y. Fu. *Digital image correlation for whole field out-of-plane displacement measurement using a single camera*. Optics Communications. 251 (2005) 23–36