

MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS TRIDIMENSIONALES MEDIANTE INTERFEROMETRIA SPECKLE

R. Henao, F. Medina

Departamento de Física, Universidad de Antioquía
Apartado Aéreo 1226, Medellín, COLOMBIA.

H. J. Rabal, M. Trivi*

Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp)
Casilla de Correo 124, 1900 La Plata.

Se propone un método para medir desplazamientos tridimensionales a través de una técnica de *speckle*. Esto es posible con el empleo de una red de difracción en un esquema experimental clásico de la metrología *speckle*. Se describe el principio de funcionamiento y se discuten los resultados obtenidos.

La experiencia de Burch^[1] ha sido el inicio de un importante conjunto de aplicaciones del *speckle* a la metrología, perpendicular al eje óptico. Para mediciones de desplazamientos a lo largo del eje óptico las geometrías son más complicadas^[2,3] Lohmann y Weigelt usan un método de correlación de *speckle*, el cual se restringe a movimientos rígidos^[4]. Para medir deformaciones en 3 dimensiones se necesitan por lo menos dos cámaras ubicadas para observar distintos puntos de vista del movimiento.

Por otra parte, se ha reportado recientemente la posibilidad de usar redes de difracción para generar pares estereoscópicos de objetos iluminados con luz coherente^[5].

En este trabajo se muestra la posibilidad de medir desplazamientos tridimensionales agregando una red de difracción al esquema experimental modificado de Burch.

En una de las aplicaciones de Burch se registra la imagen de un objeto difuso iluminado con luz coherente, sobre una placa de alta resolución antes y después de haber sufrido una deformación. El registro ya revelado consiste en una imagen del objeto, modulado por pares de puntos de *speckle* cuya separación provee la información sobre la deformación local sufrida. Iluminando el registro fotográfico con un haz láser sin expandir se produce, en el campo lejano, un conjunto de franjas de Young cuyo espaciado y orientación da una medida de la deformación local. No es posible de esta manera medir desplazamientos a lo largo del eje óptico.

Para medir este tipo de deformaciones, es necesario registrar más de un punto de vista.

Como se ha demostrado en la Ref.^[5] la imagen de un punto fuente a través de una lente y una red de difracción consiste en el orden cero de difracción y un conjunto de réplicas situadas a ambos lados del orden cero.

La posición de estas réplicas (ver figura 1) para el primer orden de difracción son:

$$d = \lambda f_0 z_{34} \frac{z_{12} / z_{23}}{(1 + z_{12} / z_{23})} \quad (1)$$

donde:

λ es la longitud de onda de la luz.

f_0 es la frecuencia de la red.

$z_{ij} = z_j - z_i$ son las distancias definidas en la figura 1.

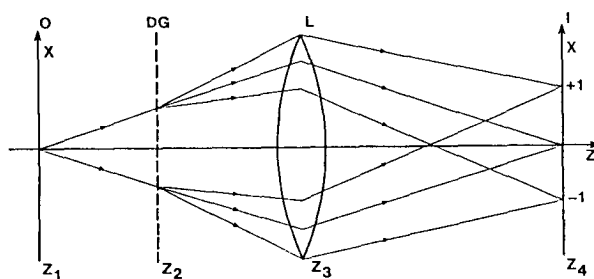


Figura 1: Imagen de un punto fuente a través de una lente y una red de difracción.

* Investigador de la Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires - (CICPBA).

Cuando se registra la imagen de un objeto a través de este sistema óptico, las réplicas cons-

tituyen pares estereoscópicos del objeto (ver referencia 5).

En la figura 2 se considera que el objeto sufre una deformación. El efecto de la red es proveer puntos de vista adicionales. Por simplicidad se presume magnificación unidad. En cada réplica se obtiene el experimento de Burch para la misma deformación. Cada una de ellas tendrá información sobre la componente de la deformación perpendicular a su dirección de observación. El análisis combinado de por lo menos dos réplicas provee la descripción completa del vector deformación a menos del signo de las componentes, el cual se pierde como en el experimento clásico de Burch.

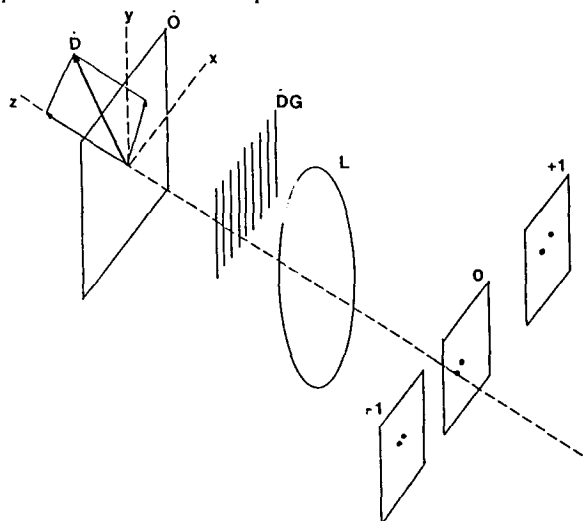


Figura 2: Dispositivo experimental: O: Objeto, D: Vector desplazamiento, DG: Red de difracción, L: Lente, $\pm 1, 0$: Ordenes difractados.

En la figura 2 la deformación está representada por el vector D cuyas componentes son D_z y D_{xy} . Luego la imagen en el orden cero se comporta como el experimento clásico de Burch y provee información de la componente D_{xy} . El espaciado de las franjas de Young producidas en el campo lejano cuando el registro es iluminado por un láser puntual será:

$$e_0 = \lambda L/D_{xy} \quad (2)$$

donde L es la distancia desde el registro fotográfico a la pantalla.

En la réplica señalada como orden +1, por ejemplo, los pares de *speckles* estarán separados una distancia que tiene en cuenta tanto la deformación en el plano D_{xy} como la componente D_z a lo largo del eje óptico z , esta última a través de la dependencia funcional de la Ecuación (1).

Es fácil demostrar que D_z afecta solamente los órdenes distintos al orden cero, y cambia solo la componente x del espaciado de las franjas de Young, es decir, el espaciado en la dirección perpendicular a la orientación de la red.

El espaciado en el orden cero en las direcciones x, y , respectivamente

$$e_{0x} = \lambda L/D_x \quad (3.a)$$

$$e_{0y} = \lambda L/D_y \quad (3.b)$$

De estas expresiones pueden ser deducidas las componentes x e y , D_x y D_y de D_{xy} .

El espaciado de las franjas corresponde al orden +1, será:

$$e_{1x} = \lambda L/D_x^* \quad (4.a)$$

$$e_{1y} = \lambda L/D_y \quad (4.b)$$

De esta expresión puede ser obtenida la componente x , D_x^* .

El valor D_x^* está compuesto de dos términos:

$$D_x^* = D_x + d_z \quad (5)$$

donde d_z es la contribución de la separación de los *speckles* (siempre en la dirección x), debida a la componente de deformación D_z .

De las anteriores expresiones puede inferirse que si la deformación es una traslación pura en z , no habrá franjas en el orden cero y las réplicas simétricas mostrarán el mismo espaciado de franjas.

El valor de D_z se obtiene de d_z usando la Ecuación (1).

$$D_z = \frac{d_z}{\lambda f_0 z_{34} z_{29}} \frac{(z_{12} + z_{23})^2}{\left[1 - \frac{d_z(z_{12} + z_{23})}{\lambda f_0 z_{34} z_{29}} \right]} \quad (6)$$

Para los siguientes valores experimentales típicos:

$$\begin{aligned} d_z &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ mm.} \\ z_{12} = z_{23} = z_{34}/2 &= 50 \text{ mm.} \\ \lambda &= 0.632 \cdot 10^{-3} \text{ mm.} \\ f_0 &= 300 \text{ 1/mm.} \end{aligned}$$

El resultado de D_z es $5 \cdot 10^{-2}$ mm.

Usualmente el último término entre corchetes de la Ecuación (6) es muy pequeño ($\approx 10^{-2}$) y puede ser despreciado. Entonces, la Ecuación (6) se reduce a:

$$D_z = \frac{d_z (z_{12} + z_{23})^2}{\lambda f_0 z_{34} z_{23}} \quad (7)$$

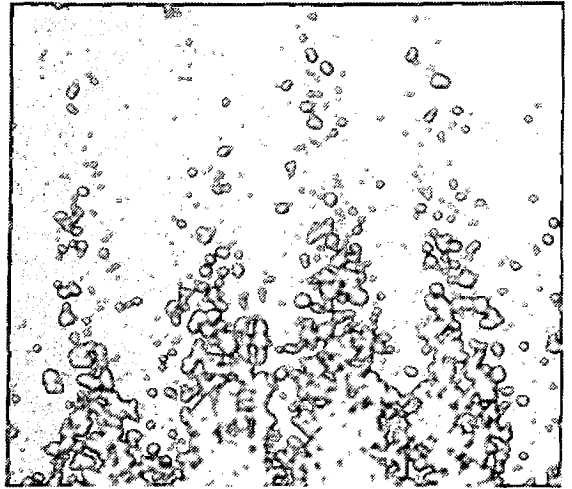
Como es natural, en Burch d_z debe ser mayor que el tamaño de un *speckle* y menor que la distancia de correlación, para que aparezcan franjas de Young en el campo lejano.

De esta manera usando las Ecuaciones (3) y (7) las tres componentes del vector pueden ser calculadas.

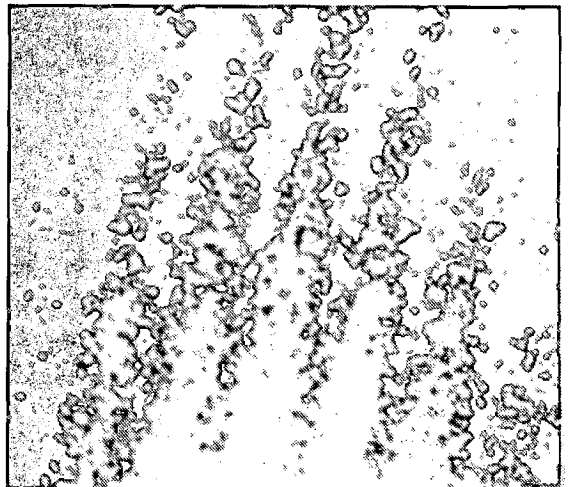
Esto requiere una medición precisa de las distancias z involucradas. Algunas de ellas necesitan la ubicación de los planos principales del sistema óptico. Una alternativa es determinar de una sola vez todas las constantes instrumentales aplicando el método a un movimiento bien calibrado.

En la figura 3 se muestran los resultados experimentales típicos ya descritos, el sistema de franjas correspondientes al orden -1 muestra un espaciado mayor que los otros. Esto indica que de todos los posibles vectores D , la dirección real de movimiento está más alineada con el punto de vista del orden -1 que con los otros.

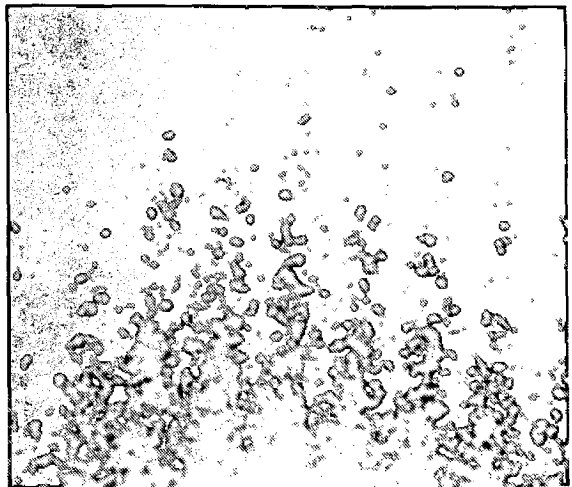
En conclusión, se ha propuesto y demostrado experimentalmente una modificación al método clásico de Burch y Tokarski que permite la determinación de las tres componentes del desplazamiento de un objeto difuso. Los puntos de vista adicionales son provistos por la inclusión de una red de difracción en el sistema óptico clásico.



ORDER -1



ORDER 0



ORDER +1

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Programa ICFES-BID (Colombia) y por el PID N° 3-071800/88 del CONICET (Argentina).

M.T. agradece la hospitalidad de los miembros del Departamento de Física de la Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia.

REFERENCIAS

1. J.M.Burch and J.M.J.Tokarski, *Optica Acta*, 15, 101, (1968).
H.Tiziani, "*Speckle Metrology*" R.K.Erf Editor, Academic Press 1978. Cap.5.
2. E.Archbold and A.E.Ennos, *Optica Acta*, 19, 253, (1972).
3. A.Lifchitz et M.May, *Optica Acta*, 19, 187, (1972).
4. A.W.Lohmann and G.P.Weigelt, *Optics Communications*, 17, 47, (1976).
5. M.Trivi, H.J.Rabal, *Applied Optics*, 27, 1007, (1988).
6. J.A.Mendez et M.L. Roblin, *Optics Communications*, 11, 245, (1975).
7. J.A. Mendez et M.L. Roblin, *Optics Communications*, 13, 142, (1975).
8. J.A.Mendez and M.L.Roblin, *Optics Communications*, 15, 226, (1975).
9. Y.Dzialowski and M.May, *Optics Communications*, 16, 334, (1976).
10. Y.Dzialowski and M.May, *Optics Communications*, 18, 321, (1976).
11. Y.Dzialowski, M.May and R.Shaw, *Optics Communications*, 21, 282, (1977).
12. J.Hagopian and M.May, *Journal of Optics*, 9, 217, (1978).
13. K.A.Stetson, "*Speckle Metrology*", R.K.Erf, Editor, Academic Press, 1978, Cap.10. Ver además referencias aquí citadas.
14. R.Z.Pryputniewicz, *Proc.SPIE*, 243, 158, (1980).
15. I.V.Markhida and L.V.Tanin, *Optik*, 72, 168, (1986).
16. C.S.Narayanamurthy and C.Joenathan, *Optics Communications*, 65, 179, (1988).
17. C.Joenathan, C.S.Narayanamurthy and R.Sirohi, *Journal of Optical Society of America A*, 5, 1035, (1988).
18. E.N.Hogert, J.J.Lunazzi and N.Gaggioli, *Applied Optics*, 28, 722, (1989).
19. M.Landau, M.A.Rebollo, E.N.Hogert y N.G.Gaggioli, *Anales de la AFA*, 2, 155, (1990).
20. A.Kumar and K.Singh, *Journal of Optics*, 21, 19, (1990).
21. M.Françon, "*Laser speckle and Related Phenomena*", J.C.Dainty, Editor, Springer Verlag, 1975. Cap. 5 Ver además referencias aquí citadas.
22. A.E.Ennos, "*Laser speckle and Related Phenomena*", J.C.Dainty, Editor, Springer Verlag, 1975. Cap.6. Ver además referencias aquí citadas.