

ESTUDIO DE MOVIMIENTOS COMPUESTOS DE UNA SUPERFICIE DIFUSORA POR TECNICAS DE SPECKLE

M Landau, E.N. Hogert, M.A. Rebollo, y N.G. Gaggioli

Grupo de Optica, Instituto de Ensayos No Destructivos, Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Libertador 8250, 1429 Buenos Aires.

Se presenta un método simple para determinar el movimiento compuesto de rototraslación de una transparencia rugosa. La técnica se basa en el análisis directo del doble registro fotográfico de dos figuras de speckles producidos por la superficie en estudio, antes y después de haberlas trasladado (longitudinal o axialmente) y rotado un pequeño ángulo. Se demuestra que en el plano de observación se observa un anillo de desplazamiento nulo de la figura de speckles.

I. INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es presentar un método simple para determinar el movimiento compuesto de rototraslación de una transparencia rugosa. El mismo está basado en el análisis directo del doble registro fotográfico de dos figuras de speckles, que se obtienen antes y después de haber trasladado (axial o transversalmente) y rotado un pequeño ángulo α dicha superficie.

Bajo estas condiciones, el desplazamiento que sufre la figura de speckles no es uniforme. Se demuestra la existencia de un anillo de desplazamiento nulo, definido por parámetros que dependen de la geometría del sistema y de la posición del eje de rotación respecto de la superficie.

Este método permite determinar si la superficie sufre una rotación pura o un movimiento compuesto, pudiéndose medir la traslación.

II. CONSIDERACIONES TEORICAS

II.1 Caso 1: Traslación axial. Eje de rotación solidario a la superficie.

Se ilumina un difusor G (ver fig.1) con un haz laser, limitando la zona iluminada con un diafragma rectangular S. El plano de observación $\Pi(\eta, \xi)$ es perpendicular al haz incidente y paralelo al plano de referencia $\Pi_0(x, y)$, situado a una distancia D de ésta. Inicialmente, $\Pi_0(x, y)$ es el plano medio de G. Se registra una primera figura de speckles en estas condiciones. Luego, se traslada axialmente G una distancia " d_1 " (solidariamente al eje de giro), y se rota un pequeño

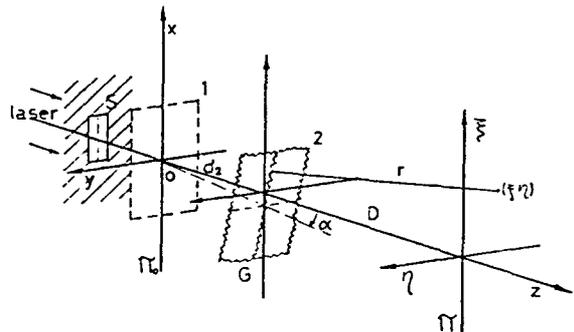


Figura 1: Diagrama esquemático caso I

ángulo α . En estas condiciones se registra una nueva figura de speckles en la misma placa fotográfica.

Cuando se traslada axialmente G, la figura de speckles por ella producida sufre un corrimiento radial y se decorrelaciona ^(1,2). Al rotar el difusor respecto del eje "y" (contenido en su plano medio), la figura de speckles se traslada no uniformemente ^(1,3,4,5).

Se puede demostrar que el corrimiento total de la figura de speckles en el plano P (h,x) es igual a

$$\Delta \eta(\eta, \xi) = - \frac{\alpha}{2D} \left\{ \eta^2 + \xi^2 - 2 \eta \left(\frac{D\alpha}{2} - \frac{d_1}{\alpha} \right) \right\} \quad (1)$$

$$\Delta \eta(\eta, \xi) = -\xi \frac{d_1}{D} \quad (2)$$

El corrimiento $\Delta \eta$ se anula sobre una circunferencia de centro C_1 y radio R_1 cuyas coordenadas y valor son, respectivamente:

$$C_1: \left\{ \frac{D\alpha}{2} - \frac{d_1}{\alpha}; 0 \right\} \quad \text{y} \quad R_1 = \frac{D\alpha}{2} \left\{ 1 - \frac{2d_1}{D\alpha} \right\} \quad (3)$$

II.2 Caso 2: Traslación axial. Eje de rotación no solidario al eje de giro.

En este caso, primero se traslada solamente G una distancia d_2 , en la dirección z, rotándola luego un pequeño ángulo α respecto al eje "y" contenido en el plano Π_0 , o sea respecto de un eje no contenido en su plano medio (ver fig.2).

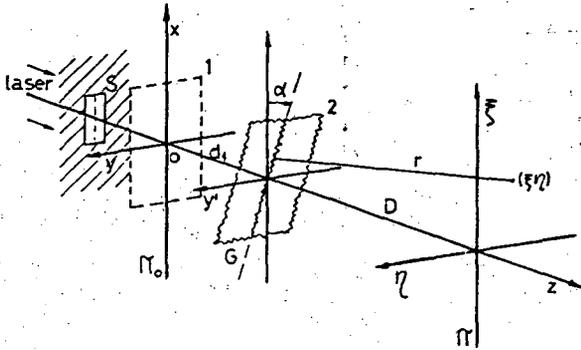


Figura 2: Diagrama esquemático caso 2:

Por lo tanto, se puede demostrar ^(1,2,3,4,5) que el corrimiento total de la figura de speckles es igual a:

$$\Delta\eta = -\frac{\alpha}{2D} \left\{ \eta^2 + \xi^2 - 2\eta \left(\frac{D\alpha}{2} - \frac{d_2}{\alpha} \right) - 2Dd_1 + d_1^2 \right\} \quad (4)$$

$$\Delta\xi = -\xi \frac{d_2}{D} \left\{ 1 + \frac{\alpha}{D} \left(\eta - \frac{D\alpha}{2} \right) \right\} \quad (5)$$

Se puede ver de la ecuación (4) que el desplazamiento según η se anula sobre una circunferencia de centro C_2 y radio R_2 cuyas coordenadas y valor son respectivamente

$$C_2: \left(\frac{D\alpha}{2} - \frac{d_2}{\alpha}; 0 \right) \text{ y } R_2 = \frac{D\alpha}{2} \left(1 + \frac{2d_2}{D\alpha^2} \right) \quad (6)$$

II.3 Caso 3: Traslación transversal. Eje de rotación contenido en el plano medio del difusor.

Se traslada G una distancia x_1 en la dirección x, rotándolo luego un pequeño ángulo α , respecto al eje "y" contenido en su plano medio (ver fig.3).

Cuando se traslada transversalmente un difusor figura de su speckles también se traslada en la misma dirección una distancia x_1 ^(6,7).

Por lo tanto, teniendo en cuenta los dos corrimientos que sufre la figura de speckles, su desplazamiento

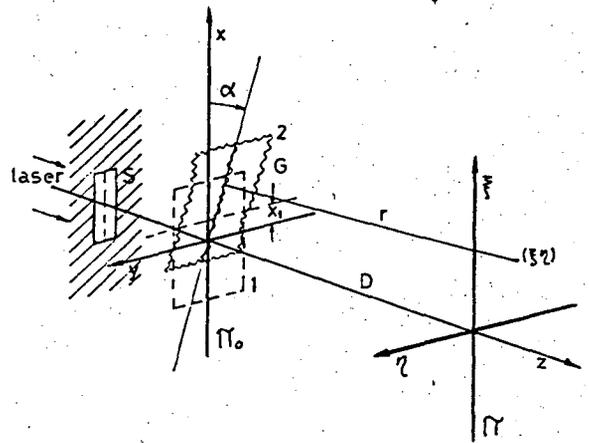


Figura 3: Diagrama esquemático caso 3:

total es igual a:

$$\Delta\eta = -\frac{\alpha}{2D} \left\{ \eta^2 + \xi^2 - 2\eta \left(\frac{D\alpha}{2} + x_1 \right) + D x_1 \left(\alpha - \frac{2}{\alpha} \right) \right\} \quad (7)$$

$$\Delta\xi = \xi \frac{x_1 \alpha}{D} \quad (8)$$

De (7) puede verse que el corrimiento en la dirección η se anula sobre una circunferencia de centro C_3 y radio R_3 de coordenadas y valor dados respectivamente por:

$$C_3: \left(\frac{D\alpha}{2} + x_1; 0 \right) \text{ y } R_3 = \frac{D\alpha}{2} \left(1 + \frac{8x_1}{\alpha^3 D} \right)^{1/2} \quad (9)$$

II.4 Caso 4: Traslación transversal. Eje de rotación no contenido en su plano medio.

La experiencia realizada es igual al caso anterior, pero el plano medio del difusor G está separado una distancia " d_3 " del plano de referencia Π_0 . El eje de giro es entonces " v "; que pertenece al plano Π_0 (ver fig.4).

De las referencias 1,6 y 7 se tiene que el corrimiento total de la figura de speckles en el plano $\Pi(h,x)$ es igual a:

$$\Delta\eta = -\frac{\alpha}{2D} \left\{ \eta^2 + \xi^2 - 2\eta \left(\frac{D\alpha}{2} + x_1 \right) - 2x_1 \frac{D}{\alpha} \left(1 + \frac{\alpha d_3}{x_1} - 2\alpha^2 \right) \right\} \quad (10)$$

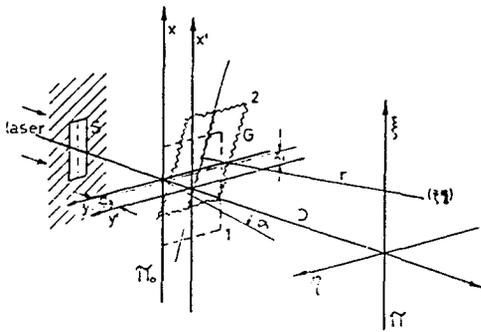


Figura 4: Diagrama esquemático caso 4.

$$\Delta \xi = \xi \frac{\alpha}{D} \left(x_1 + \frac{d_2 \alpha}{2} \right) \quad (11)$$

Nuevamente, el corrimiento en la dirección η es nulo sobre una circunferencia cuyo parámetros son

$$C_1: \left(\frac{D\alpha}{2} + x_1; 0 \right) \text{ y } R_4 = \left(1 + \frac{8d^3}{D\alpha^2} + \frac{8x_1}{D\alpha^3} \right)^{1/2} \quad (12)$$

III. EXPERIENCIA Y RESULTADOS

Sobre una misma plaza fotográfica ubicada en el plano $\Pi(\eta, \xi)$, se registran las dos figuras de speckles obtenidas antes y después de trasladar y rotar el difusor G. Una vez revelado el negativo, se observa una aureola de menor densidad, correspondiente a la zona de no desplazamiento de la figura. Midiendo el radio medio de dicha zona puede determinarse si la superficie en estudio sufrió una rotación pura. Si además hubo una traslación, ésta puede ser estimada.

Para poder observar nítidamente el anillo de no desplazamiento es necesario que el corrimiento $\Delta \xi$ sea mucho menor que la longitud de correlación de la figura de speckles en esa dirección. Para ello se diafragma a G con una ranura rectangular con su lado menor paralelo al eje y.

Las Tablas 1, 2, 3 y 4 muestran los resultados experimentales obtenidos para cada caso.

R_1 (exp) ($\pm .5$) mm	d_1 (teórico) ($\pm .01$) mm	d_1 (exp) ($\pm .02$) mm
16.0	.00	.00
15.0	.10	.08
13.5	.20	.22
17.5	-0.10	-0.13
18.5	-0.20	-0.20
19.5	-0.30	-0.32

Tabla 1: caso 1: $D = (366 \pm 1)$ mm, $\alpha = 5^\circ \pm 1'$

d_2 (teórico) ($\pm .01$) mm	R_2 (exp) ($\pm .5$) mm	d_2 (exp) ($\pm .02$) mm
.00	16.0	.00
.20	18.5	.20
-.20	13.5	-.20

Tabla 2: Caso 2; $D = (366 \pm 1)$ mm; $\alpha = 5^\circ \pm 1'$

x_1 (teórico) (± 0.005) mm	R_3 (exp) ($\pm .5$) mm	x_1 (exp) ($\pm .003$) mm
.000	16.0	.000
.050	25.0	.045
.030	22.5	.031
.020	20.5	.020
-.010	13.0	-.010
-.020	8.5	-.022

Tabla 3 Caso 3; $D = (366 \pm 1)$ mm $\alpha = 5 \pm 1^\circ$

x_1 (teórico) ($\pm .005$) mm	d_3 (teórico) ($\pm .01$) mm	R_4 (exp) ($\pm .5$) mm	x_1 (exp) ($\pm .003$) mm
.030	.00	19.0	.030
.030	.10	20.5	.030
.030	.20	22.5	.034
.030	-.20	15.0	.026
.030	-.30	13.5	.027
-.010	-.40	11.0	-.015
-.010	-.80	19.0	-.010

Tabla 4 Caso 4: $D = (366 \pm 1)$ mm, $\alpha = 5^\circ \pm 1'$

REFERENCIAS

1. J.A. Mendez; "Variaciones del speckle producidas por el movimiento de la superficie difusora". Tesis Doctoral U.Navarra, 1976.
2. Y. Dizilowski, "Etude par granularité laser des faibles déplacements d'un objet diffusant", These Docteur, U. Pierre and Marie Curie, 1977.
3. J. A. Mendez et M. L. Roblin, Opt. Commun. 15 (2) (1975).
4. E.N. Hogert and N.G. Gaggioli, J. Opt. (Paris) 17, 203(1986).
5. E. N. Hogert, J. J. Lunazzi and N. G. Gaggioli, Appl. Opt. 28 (4) (1989).
6. J. M. Burch and J. M. Tokarski, Opt. Acta 15, 101 (1968).
7. J.A. Leendertz; J. Phys. E. 3, 214(1970)