DESPLAZAMIENTO DEL SPECKLE POR LA ROTACION DE UNA SUPERFICIE Y EL FENOMENO DE DIFRACCION CONICA

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.

Cuando se rota una superficie rugosa alrededor de un eje contenido en su plano medio, se observa, en un plano perpendicular al haz incidente, la existencia de una circunferencia de desplazamiento nulo de la figura de speckles. Se demuestra que este fenómeno está íntimamente relacionado con el fenómeno de difracción cónica de las redes de difracción en un montaje no paraxial.

INTRODUCCION

Cuando se rota una superficie rugosa respecto de un eje perpendicular al haz coherente incidente , la figura de speckles, por ella generado, se decorrelaciona y se desplaza en forma no uniforme [1,2,3].

En este trabajo se muestra que, cuando se rota un difusor, la circunferencia de no desplazamiento de la figura de speckles, está íntimamente relacionada con el fenómeno de difracción cónica de las redes, [4,5].

CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE EL DESPLAZAMIENTO DEL SPECKLE.

Se ilumina un difusor G (ver Fig.1) con una haz laser, limitando la zona iluminada con un diafragma circular de diámetro F. El plano de observación $\Pi(\eta,\xi)$ es perpendicular al al haz incidente y paralelo al plano de referencia $\Pi_0(x,y)$, situado a una distancia D de éste. El eje de rotación "y" está contenido en el plano $\Pi_0(x,y)$ y en el plano medio del difusor, además intersecta al haz incidente (coincidente con el eje z).

Cuando se rota el difusor respecto del eje y, un pequeño ángulo $\Delta\alpha$, la figura de speckles se traslada. En el plano de observación $\Pi(\eta,\xi)$, el corrimiento es igual a [1].

$$\Delta\eta(\eta,\xi) = -\frac{\Delta\alpha}{2D} \cdot (\eta^2 + \xi^2 - D\,\eta\,\Delta\alpha) \qquad (1)$$

donde se asume que η, $\xi << D$.

Este desplazamiento se anula sobre una circunferencia definida por:

$$\eta^2 + \xi^2 - D\,\eta\,\Delta\alpha = 0 \qquad (2)$$

las coordenadas de cuyo centro C y cuyo radio R están dados por:

$$C: (D\,\Delta\alpha/2\,;\,0) \quad ; \quad R = D\,\Delta\alpha/2 \qquad (3)$$

CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE LA DIFRACCION CONICA

Con la misma geometría de la Fig. 1, se reemplaza el difusor G por una red de difracción. Los surcos de la red forman un ángulo Φ con el eje y (Fig. 2).

Para $\alpha = 0$, los órdenes de difracción se encuentran sobre un cono cuyo eje es paralelo a los surcos y cuyo ángulo medio es el ángulo entre el vector de onda incidente y la dirección de los surcos (difracción cónica) [4,5].

Las coordenadas del m -ésimo orden, en el plano $\Pi(\eta,\xi)$ son :

$$\eta_m = -\frac{D}{C}\ \{\pm M\,[\mathrm{sen}\,\alpha + (m\lambda/d)\cos\phi] + \mathrm{sen}\,\alpha\cos\alpha\,[1-(m\lambda/d)^2\,\mathrm{sen}^2\phi]\}$$

$$\xi_m = -\frac{D}{C}\,(m\lambda/d)\,\mathrm{sen}\,\varphi\,[\pm\cos\alpha\,M + (m\lambda/d)\cos\phi\,\mathrm{sen}\,\alpha + \mathrm{sen}^2\alpha] \qquad (4)$$

* M.A. Rebollo pertenece a la FIUBA.

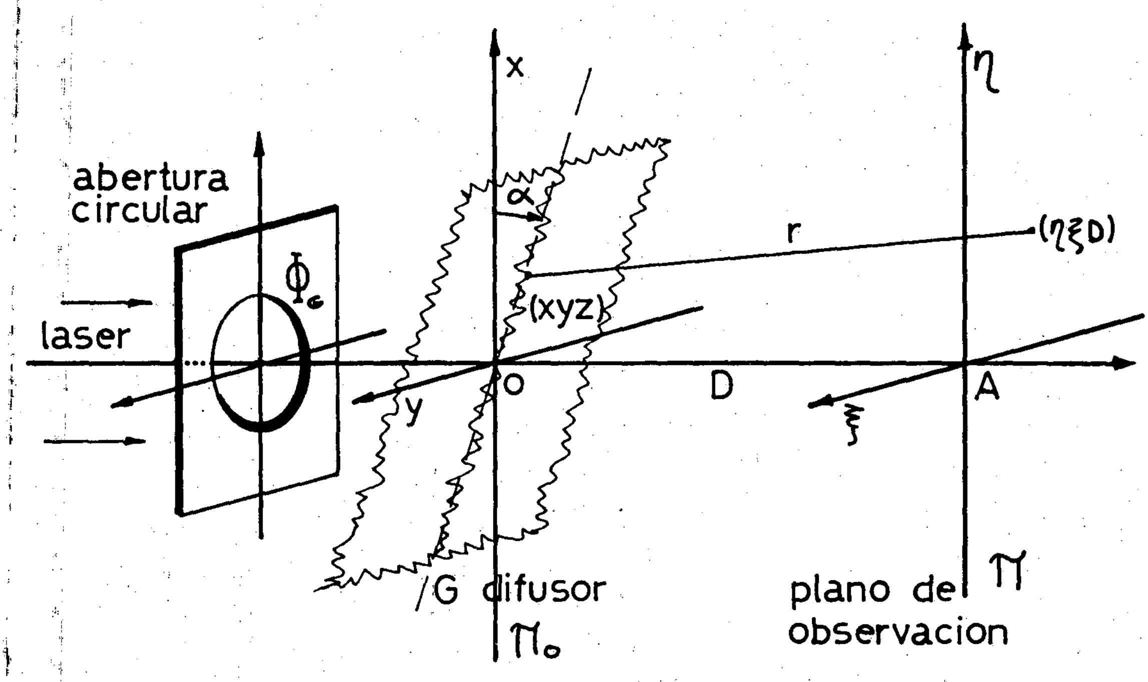

Figura 1: Diagrama esquemático del estudio del desplazamiento del speckle.

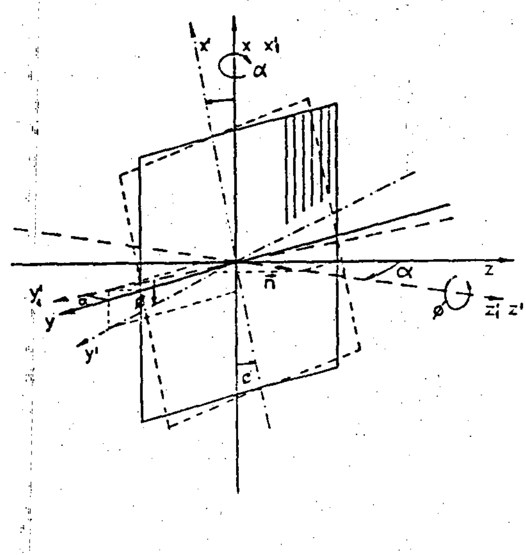

Figura 2: El dibujo en líneas llenas representa la posición de la red (montaje no paraxial). Esta posición es equivalente a la posición del difusor.

donde: m = m-ésimo orden de difracción
λ = longitud de onda
d= período de la red
$C= 1-2\,\mathrm{sen}^2\alpha - (m\lambda/d)^2\ (1-\mathrm{sen}^2\alpha\ \mathrm{sen}^2\phi) -$
$-2\ (m\lambda/d)\cos\phi\ \mathrm{sen}\ \alpha.$
$M=[\cos^2\alpha - m\lambda/d)^2 - 2(m\lambda/d)\mathrm{sen}\ \alpha\cos\phi]^{1/2}$

Por lo tanto, al rotar la red un pequeño ángulo $\Delta\alpha$, el corrimiento del m-ésimo orden de difracción está dado por:

$$\Delta\eta_m \cong -\frac{\Delta\alpha}{2d}(\eta^2_{m_0} + \xi^2_{m_0} - \eta_{m_0}\, D\,\Delta\alpha) \qquad (5)$$

$$\Delta\xi_m \cong 0$$

donde η_{m_0} y ξ_{m_0} son las coordenadas del m-ésimo orden para $\alpha=0$.

De la (5) se ve que dicho corrimiento se anula si el orden pertenece a la circunferencia definida por

$$\xi^2_{m_0} + \eta_{m_0} - \left(\frac{D\,\Delta\alpha}{2}\right)^2 = \left(\frac{D\,\Delta\alpha}{2}\right)^2 \qquad (6)$$

Reemplazando η_{m_0} y ξ_{m_0} por su expresión (Ec.3 para $\alpha=0$) en la ecuación (5) , se obtiene que los órdenes que retoman a su posición inicial al rotar, la red un ángulo $\Delta\alpha$, son aquellos que cumplen:

$$\Delta\alpha = \frac{m\lambda}{d \cos \phi} \qquad (7)$$

Para diferentes distancias D, la ecuación (5) determina un cono cuyo eje es perpendicular al plano de la red y cuya apertura media es $\Delta\alpha$. Por lo tanto, los órdenes que retornan a su posición inicial son aquellos que pertenecen a dicho cono.

RELACION ENTRE EL DESPLAZAMIENTO DE LA FIGURA DE SPECKLES Y EL MOVIMIENTO DE LOS ORDENES DE DIFRACCION EN UN MONTAJE NO PARAXIAL

A partir de las ecuaciones (2) y (6), se puede ver que el desplazamiento de la figura de speckles en un plano perpendicular al haz incidente, es igual al corrimiento del m-ésimo orden de difracción en un montaje no paraxial.

Una superficie ópticamente rugosa puede ser descripta por su espectro de Fourier. Por lo tanto, ella puede pensarse como la superposición de un infinito número de redes de difracción sinusoidales, con todos los posibles períodos d y orientaciones ϕ. Las ondas planas que emergen de cada una de estas redes tienen asociado un vector de onda **k** (d, φ). cuyas coordenadas en el plano $\Pi(\eta,\xi)$ están dadas por la ecuación (4), para $m = \pm 1$.

Al rotar el conjunto de redes sinusoidales un ángulo $\Delta\alpha$, existirá siempre un gran número de ellas que cumplan con la ecuación (7),de manera que un gran número de órdenes de difracción retoman a su posición inicial. Estos órdenes corresponden al anillo de desplazamiento nulo (2).

Esto prueba que las componentes de Fourier de la superficie rugosa cuyas frecuencias espaciales son iguales a:

$$\frac{1}{d \cos \phi} = \frac{\Delta\alpha}{m\lambda} \qquad (8)$$

vuelven a su posición inicial cuando se rota la superficie en $\Delta\alpha$.

Por lo tanto, el desplazamiento de la figura de speckles producido por una rotación del difusor está íntimamente relacionado con el fenómeno de difracción cónica.

CONCLUSIONES

A partir del fenómeno de difracción cónica se estudió el desplazamiento de los órdenes de difracción de la red en un plano perpendicular al haz incidente, cuando se rota la red un pequeño ángulo $\Delta\alpha$, obteniéndose igual resultado que en el estudio del desplazamiento de figuras de speckles.

REFERENCIAS

1. J.A. Mendes and M.L. Roblin, Opt. Commun. 15 (2), 226-230(1975).
2. E.N. Hogert and N.G. Gaggioli, J. Optics(Paris), 17(4), 203-207 (1986).
3. E. N. Hogert, J. J. Lunazzi and N.G: Gaggioli, Appl.Opt., 28(4) 722-725 (1989).
4. R. Petit, "A Tutorial Introduction" and D. Maystre, "Integral Methods"; in "Electromagnetic" theory of gratings", R. Petit Ed., pp 85-89, Spring-Verlag Berlin Heidelberg, 1980.
5. D. Maystre, M.Neviare and W.R. Hunter, Appl.Opt. 24(2), 215-216 (1985).