

# ESTUDIO DE ROTACION DE DIFUSORES MEDIANTE TECNICAS DE SPECKLE EN TIEMPO REAL

M. Landau, E.N. Hogert

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

M. A. Rebollo\*

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Buenos Aires, Paseo Colón 850, 1063 Buenos Aires.

N. B. Gaggioli\*

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

Se realiza un registro fotográfico del *speckle* producido por una transparencia rugosa en reposo. Al repositonar el negativo obtenido, este se comporta como un filtro que obstruye la casi totalidad de la luz difundida.

Al rotar la superficie, el *speckle* sufre un desplazamiento no uniforme<sup>(1,2,3)</sup>. Proyectando sobre una pantalla la luz transmitida por el negativo, se observa una circunferencia de menor intensidad, cuyo diámetro y posición permite determinar diversos parámetros geométricos del dispositivo.

## INTRODUCCION

Se realiza un registro fotográfico del *speckle* producido por una transparencia rugosa en reposo. Al repositonar el negativo obtenido, este se comporta como un filtro que obstruye la casi totalidad de la luz difundida.

Cualquier movimiento del difusor introduce un desplazamiento en el *speckle* que produce un aumento de la luz transmitida por la placa.

Al rotar la superficie, el *speckle* sufre un desplazamiento no uniforme<sup>(1,2,3)</sup>. Proyectando sobre una pantalla la luz transmitida por el negativo, se observa una circunferencia de menor intensidad, que permite determinar diversos parámetros geométricos del dispositivo, con solo determinar sus dimensiones en un papel milimetrado traslúcido.

## REVISION DEL FUNDAMENTO TEORICO

Si se rota una transparencia difusora G (Figura 1) respecto de un eje perpendicular a su normal y al haz incidente, su *speckle* se deforma y se traslada de manera no uniforme.

Mendez y Roblin<sup>(1)</sup> fueron los primeros que analizaron parcialmente este fenómeno. Estos investigadores estudiaron, en un plano  $\Pi_0(\eta, \xi)$ , perpendicular al haz láser incidente, la relación entre las amplitudes complejas de la luz dispersada por el difusor, antes y después de haberlo rotado un pequeño ángulo  $\alpha$ .

\* Investigador CONICET

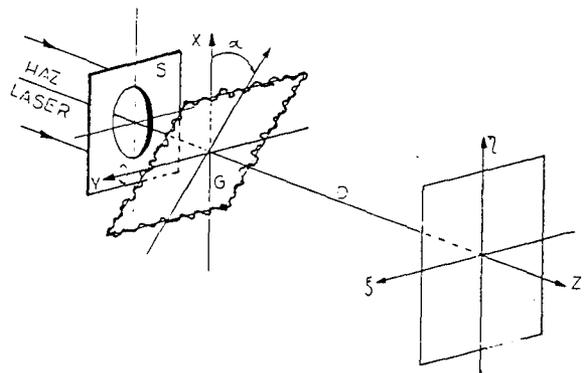


Figura 1: Diagrama esquemático del dispositivo de doble fotografía de *speckle*. Donde S es el diafragma; G es el difusor;  $\Pi(x,y)$  es el plano medio de G, y D es la distancia difusor-plano fotográfico  $\Pi(\eta, \xi)$ .

Se puede demostrar que, si el eje de giro está contenido en el plano medio del difusor, el corrimiento que sufre el *speckle* es en la dirección  $\eta$  (perpendicular al eje de giro) e igual a:

$$F_{\eta}(\eta, \xi) = \frac{-\alpha}{2D} (\eta^2 + \xi^2 - \alpha \eta D) \quad (1)$$

donde D es la distancia difusor-plano de observación.

Este corrimiento se anula sobre una circunferencia de centro C y radio R dados por:

$$C(\alpha, D) = \left[ \frac{D \alpha}{2}; 0 \right]; \quad (2)$$

$$R(\alpha, D) = \frac{D \alpha}{2}$$

En trabajos posteriores, M. R. Landau, E. N. Hogcit, M.A. Rebollo y N. G. Gaggioli<sup>(1,2,3,4,5,6)</sup>, estudiaron este fenómeno para diversas geometrías tanto para movimientos simples como complejos (rototraslación, etc.).

Para observar este fenómeno, dichos autores realizan una doble exposición sobre una misma placa fotográfica, de dos *speckles* generados antes y después de mover y rotar al difusor. Una vez revelado el negativo, se puede observar directamente sobre él una aureola de menor ennegrecimiento, correspondiente a la zona de desplazamiento nulo.

### CIRCUNFERENCIA EN TIEMPO REAL. EXPERIENCIA

Se ilumina el difusor G (ver Fig. 2) con una haz láser de He-Ne, limitando la zona iluminada con una abertura circular de diámetro  $\phi$ . El plano  $\Pi_0(\eta, \xi)$  es perpendicular al haz incidente y se encuentra a una distancia D del plano medio de G,  $\Pi(x, y)$ . El eje de rotación "y" es perpendicular al haz incidente y está contenido en el plano  $\Pi(x, y)$ .

Una placa fotográfica, ubicada en  $\Pi_0(\eta, \xi)$ , registra el *speckle* producido por G.

Una vez revelado el negativo se lo coloca en el plano  $\Pi_0(\eta, \xi)$ , exactamente en su posición inicial. Este negativo iluminado por la misma distribución de intensidad que registró, actúa como una máscara. Si el reposicionamiento es perfecto, la coincidencia entre los dos diagramas de *speckles*, el real y el del negativo fotográfico, hacen que la luz transmitida por éste sea mínima. Cualquier movimiento del difusor introduce un desplazamiento del *speckle*, produciendo así un aumento de la

intensidad transmitida por el negativo en el plano  $\Pi_0(u, v)$ , ubicado a una distancia (D+S) de G.

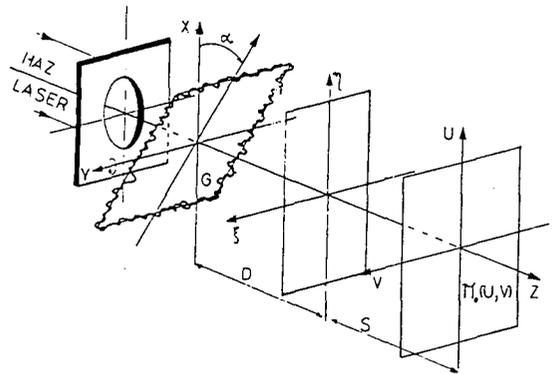


Figura 2: Diagrama experimental del dispositivo experimental de la técnica en tiempo real. Donde G es el difusor,  $\Pi(\eta, \xi)$  es el plano del registro fotográfico y  $\Pi(u, v)$  es el plano de observación.

Al rotar G un ángulo  $\alpha$  respecto del eje "y", los granos de *speckles* se trasladan de manera no uniforme, y solamente aquellos granos contenidos en la circunferencia (2) coincidirán con sus negativos. Por lo tanto, en el plano de observación  $\Pi_0(u, v)$ , se observa una circunferencia de menor intensidad, cuyo radio está dado por

$$R(\alpha, D, S) = \frac{D + S}{2} \alpha \quad (3)$$

Dado que el corrimiento del *speckle* es una función continua, éste no varía abruptamente, por ello lo que se observa es una aureola oscura correspondiente a la zona de desplazamiento muy pequeño del *speckle* (ver Fig. 3).

Para observar las aureolas de no desplazamiento se montó el dispositivo experimental esquematizado en la Fig. 2, siendo el diámetro del área iluminada  $\Phi = 9$  mm, la distancia  $D = (394 \pm 2)$  mm y la distancia  $S = (310 \pm 2)$  mm.

Un buen reposicionamiento de la placa fotográfica se logra mediante un porta-placa H del tipo descrito por Abramson<sup>(7)</sup>. Este porta-placa se montó sobre un dispositivo que permite realizar movimientos micrométricos en x, y, z. Una vez revelado el negativo (donde se registró un solo *speckle*), se lo reubica en H, allí desciende por gravedad hasta casi a su posición inicial, y se lo traslada luego mediante los movimientos xyz,

hasta que la intensidad observada en el plano  $\Pi_0$  (u.v) es mínima.

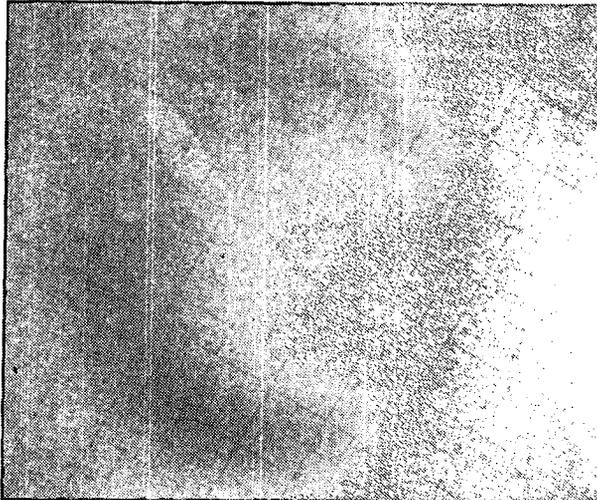


Figura 3: Fotografía de la circunferencia vista desde el plano de observación, para  $D = 394$  mm,  $S = 310$  mm y  $\alpha = 5^\circ$ .

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para distintos valores de  $\alpha$ , donde  $R_p$  es el radio medio a la aureola,  $A_u$  es su ancho y  $R_{pt}$  es el radio teórico de la circunferencia de no desplazamiento.

Con el objeto de comparar este método con el de doble exposición fotográfica, se efectuó un doble registro fotográfico de dos *speckles* obtenidos antes y después de rotar el difusor un  $\alpha = 5^\circ \pm 2'$ . La aureola determinada de este modo tiene un radio medio igual a  $(17,6 \pm 0,5)$  mm.

$\alpha$ ( $\pm 2'$ )	$R_{pt}$ ( $\pm 0,4$ ) mm	$R_p$ ( $\pm 0,5$ ) mm	$A_u$ ( $\pm 0,5$ ) mm
$3^\circ$	18,4	17,9	16,4
$3^\circ 30'$	21,0	19,7	14,0
$4^\circ$	24,6	23,7	12,2
$5^\circ$	30,7	30,2	10,4
$6^\circ$	36,8	36,5	9,0
$7^\circ$	43,0	42,5	7,7

Tabla I: Variación del radio de la aureola de no desplazamiento con  $\alpha$ . Donde  $R_{pt}$  es el radio teórico de la circunferencia de no desplazamiento,  $R_p$  es el radio medio de la aureola de no desplazamiento y  $A_u$  es el ancho de dicha aureola.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De la Tabla 1 se puede observar:

# la concordancia entre los resultados teóricos y experimentales,

## que al aumentar  $\alpha$  disminuye el ancho de la aureola de no desplazamiento. La ecuación (1) muestra que para  $\eta$  y  $\xi$  constantes, el desplazamiento del *speckle* aumenta con  $\alpha$ , disminuyendo así la zona de corrimiento muy pequeño del *speckle* alrededor de la circunferencia, y por lo tanto disminuyendo el ancho de aureola.

### que para  $\alpha = 5^\circ \pm 2'$ , el radio medio de la aureola es igual a  $R_p = (30,2 \pm 0,5)$  mm. mientras que de la experiencia de Mendez y Roblin se obtuvo un radio medio igual a  $R_h (17,2 \pm 0,5)$  mm. Al comparar la Fig. 1 y la 2, y las ecuaciones (1) y (3), se puede ver que:

$$R_p = \frac{(D + S)}{D} R_h$$

demonstrando la igualdad de los dos resultados obtenidos como era de esperar.

Luego, se puede concluir que la nueva técnica desarrollada es más sencilla y tiene la conveniencia de ser aplicable en tiempo real, lo que permite obtener los mismos resultados hallados anteriormente, pero con las siguientes ventajas:

\* se realiza un solo registro fotográfico;

\*\* se puede observar en forma continua la variación del radio de la circunferencia de desplazamiento nulo al variar lentamente  $\alpha$ . Por lo tanto, una pequeña variación del ángulo de incidencia es rápidamente detectada.

\*\*\* Cuando se realiza la experiencia de Mendez y col. el máximo ángulo que se puede rotar está limitado por el tamaño de la placa fotográfica. En este caso, al observar la circunferencia de no desplazamiento sobre una pantalla, se pueden observar circunferencias de diámetros mayores, aumentando el límite superior del ángulo girado.

\*\*\*\* Se pueden estudiar movimientos complejos con gran sencillez y versatilidad.

Dada la alta sensibilidad observada, se puede utilizar esta técnica para evaluar pequeños desplazamientos del difusor, como así también, movimientos compuestos de rototraslación

## REFERENCIAS

- 1- J. A. Mendez and M.L. Roblin, *Opt. Commun.* 15, 226 (1975).
- 2- E. N. Hogert and N.G. Gaggioli, *J. Optics (Paris)* 17,4, 203(1986).
- 3- E.N. Hogert, J.J. Lunazzi y N.G. Gaggioli, *Revista de Fisica Aplicada e Instrumentacao*, vol.3, 132 (1988).
- 4- E. N. Hogert, J.J. Lunazzi y N.G. Gaggioli; *Appl. Opt.* 28, 4, 722 /1989).
- 5- M.R. Landau, E. N. Hogert, M.A. Rebollo y N.G. Gaggioli; *Anales AFA*, Vol. 2 , 155 (1990)
- 6- M. R. Landau, E. N. Hogert, M.A. Rebollo y N.G. Gaggioli, *Anal AFA*, Vol. 2, 152 (1990)
- 7- N. Abramson, *Appl. Optics* 16, 2521 (1977).