

# Observación de perturbaciones en aire mediante técnicas de moiré y Schlieren\*

M. Manceñido<sup>(1)</sup>, G. Pozzi<sup>(1)</sup>, L. Zunino<sup>(1)</sup>, L. M. Zerbino<sup>(2)</sup>, L. Martorelli<sup>(3)</sup> y M. Garavaglia<sup>(4)</sup>

Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata (UNLP)  
CC 67, Correo Central (1900) - La Plata - Buenos Aires - Argentina.  
e-mail: lzerbino@volta.ing.unlp.edu.ar

El estudio de las perturbaciones en un medio, a partir de su influencia en la propagación de la luz, no es nuevo. Habitualmente se lleva a cabo por observación de imágenes, por la propagación rectilínea de un haz de láser de dimensiones transversales estrechas (~ 1-3 mm) o por métodos interferenciales. Por otra parte, es conocido el empleo de patrones de moiré para alineación, por su gran sensibilidad. En esta experiencia se propone determinar variaciones de fase debidas a perturbaciones en el camino óptico empleando dos grillas de Ronchi ubicadas a distancias del orden de los metros, tanto observando el moiré entre las grillas cruzadas, cuanto ubicándolas paralelas en la condición de Schlieren. Es conveniente ubicar la segunda grilla en la posición de autoimagen de la primera. Iluminando con luz láser colimada desde un extremo, se coloca una cámara CCD o una cámara de vídeo en el otro para registrar las imágenes, con el objeto de estudiar sus variaciones cuando se introduzcan perturbaciones en el espacio comprendido entre las grillas. Para verificar la sensibilidad del método se introducen perturbaciones controladas empleando placas plano paralelas inclinadas con ángulos variables

## 1. INTRODUCCIÓN

Como es bien sabido, la resolución de los telescopios terrestres está limitada por la difracción propia de su óptica y por las perturbaciones atmosféricas que afectan la propagación de los rayos de luz provenientes de objetos celestes. Sin embargo, el factor más importante es el de las perturbaciones atmosféricas. En efecto, la calidad de las imágenes astronómicas se degrada con la aparición del centelleo producido por las fluctuaciones aleatorias de la atmósfera.

Un modo de cuantificar la calidad de las imágenes de los telescopios terrestres es la *Razón de Strehl*:

$$S = \frac{\langle P \rangle}{P_0},$$

siendo  $P_0$  la potencia que recibiría el sistema sin ser afectado por la perturbación de la turbulencia atmosférica y  $\langle P \rangle$  la potencia media en presencia de ella [1].

El estudio de las perturbaciones atmosféricas sobre la calidad de las imágenes astronómicas se ha visto motivado en los últimos años por la cada vez mayor cantidad de telescopios de gran apertura que se instalan en distintas partes del mundo. La simulación experimental en laboratorio de tales perturbaciones permite reconocer la validez de modelos propuestos. Estos modelos, en general, tratan de resolver la cuestión que plantea la propagación de un haz estrecho de luz, cuyas dimensiones transversales son menores que  $l_0$  - la escala interior de la perturbación - del orden de unos pocos milímetros. Si  $z$  es la variable de propagación del haz, los desplazamientos fluctuantes y aleatorios de su posición en el plano  $(x,y)$  se

denotan con  $\langle \delta x \rangle$  y  $\langle \delta y \rangle$ , respectivamente. Sean  $\langle \delta x^2 \rangle$  y  $\langle \delta y^2 \rangle$  sus correspondientes varianzas. En el marco de la teoría de pequeñas fluctuaciones isotrópicas, dichas varianzas resultan expresadas por:

$$\langle \delta x^2 \rangle = \langle \delta y^2 \rangle = 0.011 \pi^2 C_n^2 \kappa_m^{1/3} L^3,$$

donde  $L$  es la longitud del camino afectado por la turbulencia,  $C_n^2$  es la constante de estructura del índice de refracción y  $\kappa = 5,92 / l_0$ . Esta expresión es válida cuando el camino  $L$  es mayor que la escala externa  $L_0$  de la perturbación, para la que se atribuye una dimensión del orden de los 20 cm, aunque la asignación de un valor seguro a  $L_0$  no está acreditada.

El propósito de este trabajo es el de introducir una variante experimental que pueda eventualmente dar cuenta del análisis de las fluctuaciones atmosféricas dentro del rango de la escala externa de la turbulencia. Para ello, se procedió a estudiar un sistema óptico abierto tipo Schlieren, en el que la propagación libre de una onda plana monocromática obstruida por una grilla de Ronchi es interceptada por otra grilla de Ronchi geoméricamente semejante a la primera y desplazada transversalmente con respecto a ella medio periodo. En la región abierta entre las grillas se introdujeron perturbaciones al índice de refracción para caracterizar la sensibilidad del sistema óptico.

## 2. EL FENÓMENO Y LA TÉCNICA SCHLIEREN

Sistemas ópticos Schlieren bidimensionales permiten obtener imágenes en dos dimensiones del campo que contiene la inhomogeneidad y determinar la magnitud o

\* Parcialmente financiado por PIB-CONICET-BID 1116/91 y parcialmente ejecutado en el Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, y en el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp)

1 Trabajo realizado como exigencia parcial de la materia optativa *Óptica de Fourier* de la Licenciatura en Física

2 Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, UNLP e Investigador del CONICET

3 Profesor Titular, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP

4 Profesor Titular, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP e Investigador del CONICET

dirección del gradiente de índice de refracción que la conforma.

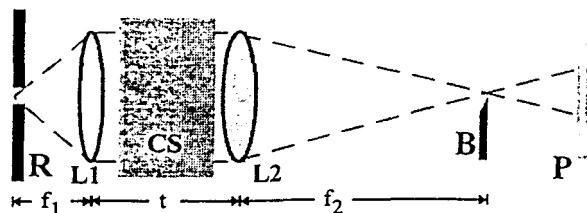


Figura 1.

Un haz de luz colimado que atraviesa una ranura y posteriormente una grilla es un ejemplo de estos sistemas. Si la ranura es rotada manteniendo su plano paralelo al de la grilla, la imagen que se observa consiste en una serie de líneas paralelas equidistantes superpuestas. Sin la inhomogeneidad presente estas líneas son rectas. Cualquier cambio de camino óptico o gradiente de índice de refracción entre la ranura y la grilla (CS) causará distorsiones características. Por lo tanto, un caso típico del fenómeno Schlieren puede ser la determinación de gradientes de índices de refracción en la atmósfera terrestre. Las Figuras 1 y 2 muestran esquemáticamente los sistemas Schlieren clásicos, con cuchilla y grilla, respectivamente.

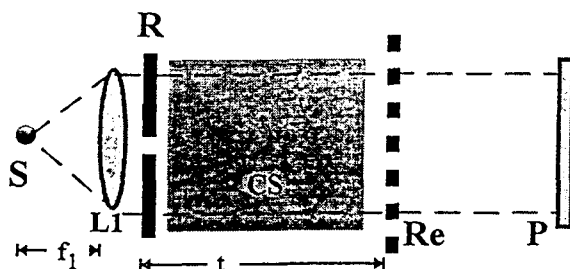


Figura 2.

### 3. AUTOIMÁGENES

Al iluminar un objeto periódico con una onda plana, monocromática y coherente, el campo de radiación más allá del objeto presenta una periodicidad a lo largo del eje de propagación.

Existe entonces un conjunto de planos equiespaciados, normales a la dirección de propagación, sobre los cuales la distribución de irradiancia es idéntica a aquella inmediatamente después del objeto; es decir, la imagen formada en estos planos, y sólo en estos planos, es una réplica del objeto, y se llama autoimagen.

En el caso de una grilla (en general, objeto de periodicidad unidimensional) de período espacial  $d$ , la separación entre planos de autoimagen consecutivos es

$$\Delta z = 2d^2/\lambda$$

En el presente trabajo se utilizaron dos grillas de Ronchi dispuestas en oposición de fase de manera que la

luz que atraviesa una de ellas es obstruida por la segunda, por lo que, si las grillas son del mismo espaciado, es necesario que esta última esté en algún plano de autoimagen de la primera.

### 4. SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto se basa en ubicar dos grillas de Ronchi idénticas a una distancia igual a la de autoimagen. En esta posición, se las puede alinear de forma que al iluminarlas con un láser las franjas oscuras de la segunda coincidan con las regiones iluminadas de la autoimagen de la primera (condición Schlieren). Para alcanzar esta condición, resulta ser una ayuda inestimable el seguimiento del moiré producido entre ellas. En ausencia de perturbaciones, el campo detrás de la segunda grilla será completamente oscuro, por lo que una cámara ubicada detrás de ella detectará un mínimo de luz, lo que se denomina "crear el negro". Al introducir una perturbación o variación del camino óptico entre las grillas, la autoimagen se distorsiona, y algo de luz atraviesa la segunda grilla.

Sobre un banco óptico se montó un láser de He-Ne de  $\lambda=632,8$  nm. El haz se colimó con un telescopio invertido dotado de filtro espacial. El haz colimado tiene unos 50 mm de diámetro. Colocando una grilla G1 de unas dos líneas por milímetro en un plano perpendicular al haz, se encontraron las tres primeras posiciones de autoimagen moviendo una cámara CCD a lo largo del eje z de propagación. Dichas imágenes se registraron y analizaron mediante la cámara CCD y un procesador digital de imágenes. También se registró la distribución de irradiancia emergente de la primera grilla ubicando la cámara sin lentes en el plano inmediatamente posterior a G1. Luego, ubicando la segunda grilla G2 en la posición de la primera autoimagen, y la cámara en la de la segunda, se ajustó la posición de G2 hasta que ésta quedara en oposición de fase a la distribución de luminosidad de la autoimagen de la primera. Un esquema del sistema óptico se muestra en la Figura 3.

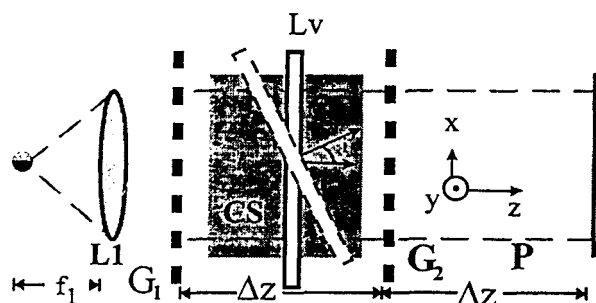
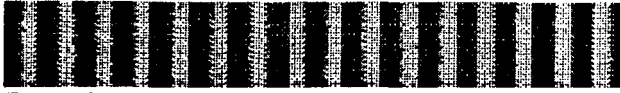


Figura 3

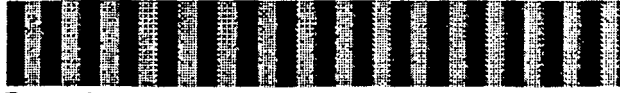
En estas condiciones se colocaron primero una placa planoparalela de vidrio de  $n=1,5183$  en  $\lambda=630$  nm. y 1,4 mm de espesor y luego dos placas yuxtapuestas, alcanzando un espesor de 2,65 mm. Estas placas fueron rotadas alrededor del eje y vertical (paralelo a las líneas de las grillas) y del horizontal x, ambos perpendiculares al eje de propagación z, tomándose imágenes a la salida del sistema para varias inclinaciones de las placas de vidrio.

## 5. RESULTADOS

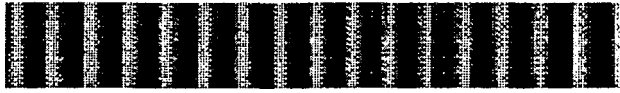
De entre las imágenes obtenidas y procesadas pueden apreciarse en las Fotografías 1, 2 y 3, reproducciones de la grilla G1 y dos de sus autoimágenes.



Fotografía 1: Grilla Original  $G_1$



Fotografía 2: Primera autoimagen



Fotografía 3: Segunda autoimagen

La Figura 4 muestra los perfiles de irradiancia correspondientes a la grilla G2 totalmente superpuesta a la autoimagen de G1 y a los observados cuando se introducen en el campo Schlieren una o dos láminas de vidrio perpendicularmente al eje z. El incremento de luminosidad y contraste en el último caso puede deberse a las perturbaciones introducidas por el material, que desplaza el plano de autoimagen.

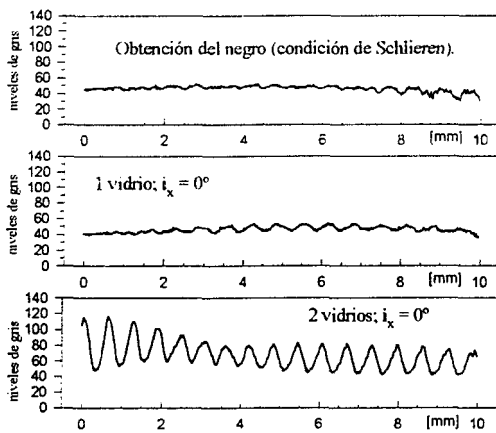


Figura 4.

La Figura 5 muestra las variaciones de luminosidad y contraste observadas cuando las dos láminas yuxtapuestas son rotadas respecto del eje y paralelo a las líneas de  $G_1$  y  $G_2$  según ángulos de incidencia  $i=25^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $64^\circ$  y  $84^\circ$ .

Dichas variaciones concuerdan satisfactoriamente con los desplazamientos provocados por la inclinación de la lámina planoparalela según la conocida expresión:

$$d = e \frac{\sin(i-t)}{\cos(t)}$$

donde  $e$  es el espesor de la lámina y  $t$  el ángulo de transmisión del haz refractado hacia su interior.

Por último, la Figura 6 muestra el caso de la inclusión de una lámina rotada  $8^\circ$  según el eje y, y rotada  $8^\circ$  y  $15^\circ$  según el eje x. Se observa claramente que la luminosidad

y el contraste a la salida del sistema Schlieren son difícilmente diferenciables, resultando independientes de la rotación según el eje x

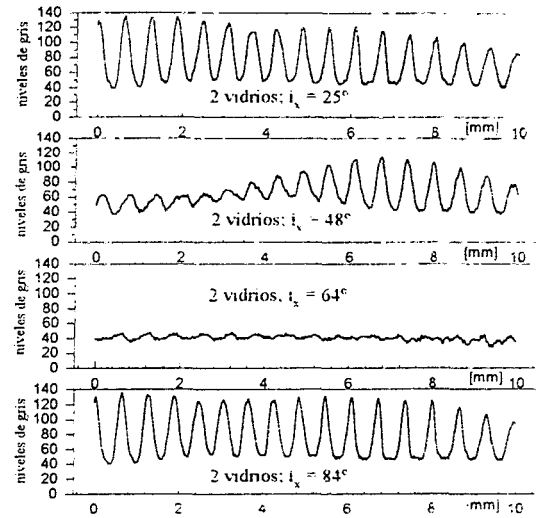


Figura 5.

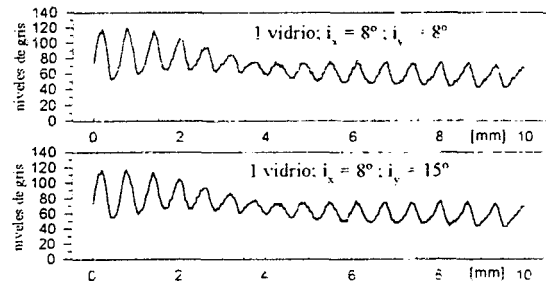


Figura 6.

## 6. CONCLUSIONES

Dentro de las exigencias y limitaciones experimentales impuestas, el sistema óptico analizado posee suficiente sensibilidad como para dar cuenta de perturbaciones fluctuantes y aleatorias introducidas en la región abierta de propagación libre del campo Schlieren. Esto implica que en el futuro podrán conducirse con él experiencias comparativas a las de la propagación de un haz estrecho. No obstante, será imprescindible contar con grillas de gran calidad, por cuanto pequeñas alteraciones producidas en su replicación afectan las observaciones.

## REFERENCIAS

- [1] *Efectos temporales de la amplitud de onda turbulenta sobre la función de estructura en un modelo atmosférico estratificado*. D. G. Pérez y M. Garavaglia. RNF'96, Tandil. 16 a 20 de septiembre de 1996.
- [2] *Experiment of thin beam propagation through atmospheric turbulence in the laboratory*. A. Consortini, G. Fusco, F. Rigal, A. Agabi and Y. Y. Sun. ICO'17, Taejeon, Corea, 19 a 23 de agosto de 1996. Proceedings, SPIE, Vol. 2778, 1012-1013, 1996.
- [3] *Double passage enhancement measurement of the thin beam wandering due to atmospheric turbulence*. A. Consortini, G. Fusco, F. Rigal and Y. Y. Sun. ICO'17, Taejeon, Corea, 19 a 23 de agosto de 1996. Proceedings, SPIE, Vol. 2778, 1015-1016, 1996.