

# RANURAS FOTOGRAFICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA OPTICA\*

A.A. Tagliaferri

Instituto de Física  
Universidade Federal Fluminense  
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

(recibido julio 31, 1984; aceptado mayo 8, 1985)

## RESUMEN

Se presenta un método para construir, de manera simple, ranuras de diversas características para su utilización en la enseñanza de interferencia y difracción de la luz. Se muestran algunos resultados obtenidos utilizando un láser de He-Ne como fuente luminosa.

## ABSTRACT

We present a simple method to make different apertures to be used in teaching light interference and diffraction. We show some results obtained using a He-Ne laser as light source.

---

\* Trabajo parcialmente financiado por "FINEP" y CNPq.

## 1. INTRODUCCION

La enseñanza de la óptica física en los cursos universitarios básicos se ve, muchas veces, perturbada por la dificultad de disponer en los laboratorios de enseñanza de elementos que puedan ser manejados por los alumnos. Esto se debe fundamentalmente al hecho de que, por ejemplo, materiales como ranuras simples de ancho variable, ranuras múltiples, agujeros circulares, triangulares, etc, no son de fácil adquisición en el mercado interno y su precio en general es alto. Así, cuando se deben realizar experiencias de interferencia y difracción con grupos de 25-30 alumnos, generalmente no se dispone ni de la cantidad ni de la variedad suficiente de elementos.

Nos encontramos entonces con el problema, gravísimo en mi entender, de alumnos que acaban sus cursos de óptica básica habiendo "aprendido" los fenómenos de interferencia y difracción por medio de las fotografías que aparecen en los libros de texto<sup>(1,2,3,4)</sup>, o, en el mejor de los casos, habiendo asistido a alguna demostración general, realizada por el profesor.

Con la finalidad de contribuir a la solución de estos problemas, comenzamos a buscar maneras de construir, de forma simple y económica y con materiales de fácil adquisición en el mercado nacional, una serie de ranuras destinadas al estudio de los fenómenos ópticos citados. Estos elementos pueden ser contruidos disponiendo de una cámara fotográfica y un cuarto oscuro apropiado para el tratamiento de películas fotográficas.

## 2. OBTENCION DE LAS RANURAS

Para que una ranura utilizada para difractar la luz lo haga adecuadamente, es necesario que cumpla con las siguientes condiciones:

- a) debe ser lo más transparente posible y estar montada en un soporte lo más opaco posible;
- b) debe tener dimensiones apropiadas (ancho =  $10^{-1}$  -  $10^{-3}$  mm);
- c) debe tener sus bordes lo más regulares posible.

La condición a) hace que la mayor parte de la radiación luminosa

que incide en la ranura sea transmitida, mientras que la incidente fuera de ella no lo sea. Esto permite obtener figuras de difracción libres de "ruido de fondo", aun cuando se trabaje con haces luminosos intensos como los producidos, por ejemplo, por láseres de He-Ne.

La condición b) hace que el fenómeno estudiado sea fácilmente observado. Así, por ejemplo, en una experiencia de difracción por una ranura, la distancia entre mínimos de luz está dada por<sup>(1,2,3)</sup>

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot D}{a} ,$$

donde  $\Delta x$  = distancia entre mínimos consecutivos,

$\lambda$  = longitud de onda de la luz utilizada,

$a$  = ancho de la ranura difractante,

$D$  = distancia de la ranura al punto de observación.

Si realizamos la experiencia con luz monocromática de longitud de onda 632 nm (láser de He-Ne) y tomamos  $D = 1000$  mm, que es una distancia razonable para un laboratorio de enseñanza, precisamos de una ranura de ancho  $10^{-1}$  mm para tener los mínimos separados por 5 mm, o sea fácilmente observables.

Por último, la condición c) permite obtener figuras de difracción con simetría espacial correspondiente a la ranura utilizada y libre de difracciones espúreas producidas por bordes irregulares. En la Fig. 1 se ve la figura de difracción producida por una ranura rectangular, de altura mucho mayor que su ancho, de bordes irregulares a) y, por una de bordes regulares, b).

Los métodos más simples comúnmente empleados para construir ranuras no cumplen en general con todas estas condiciones. Así, por ejemplo, cuando se las construye pegando dos pedacitos de cinta adhesiva negra sobre una lámina de vidrio, es difícil obtener las condiciones requeridas y también es difícil pegar las cintas en forma paralela. Si se pinta un vidrio con pintura negra y luego hacemos un trazo con la punta de un alfiler, los bordes quedan muy irregulares (Fig. 1).

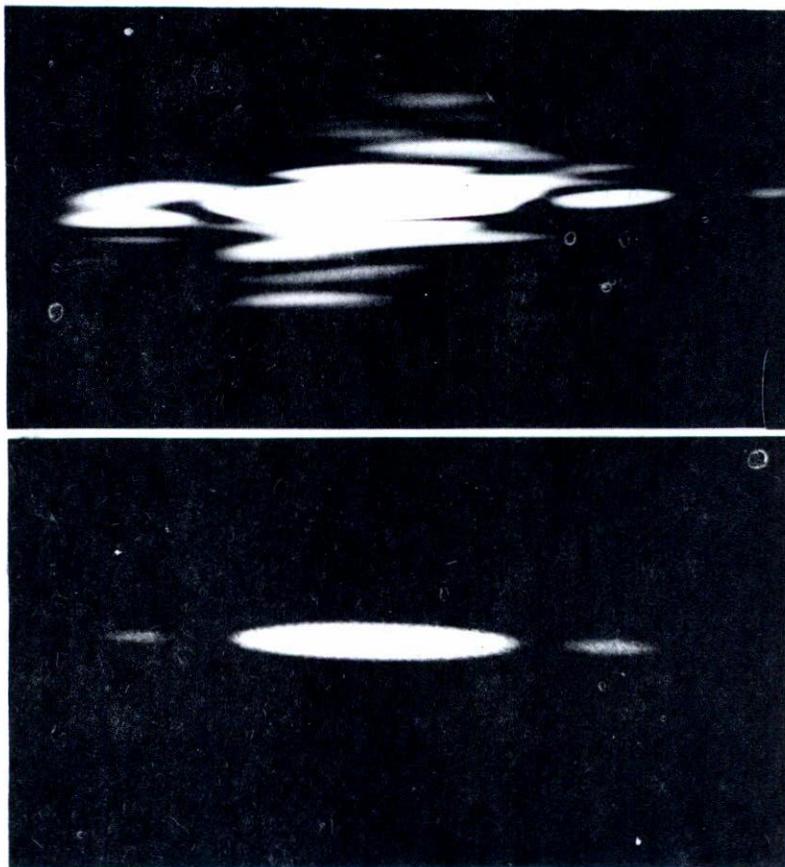


Fig. 1. Figura de difracción producida por una ranura única, rectangular, de altura mucho mayor que su ancho;  
a) de bordes irregulares  
b) de bordes regulares

Estos problemas se ven aumentados cuando se trata de construir una ranura doble para estudiar el fenómeno de interferencia de Young, o cuando se quiere aumentar el número de ranuras para ver el surgimiento de los máximos secundarios y el estrechamiento de los máximos principales<sup>(1,2,3,4)</sup>, y ni pensar en construir una "red" de 30, 40 o más líneas.

Para minimizar los problemas mencionados, partimos para la construcción de ranuras por un método fotográfico simple. El objetivo normal

de una cámara fotográfica ( $f = 50$  mm) produce en el negativo una imagen reducida del objeto fotografiado. Esta reducción esta dada por<sup>(1,2)</sup>

$$y' = \frac{y \cdot s'}{s} \quad ,$$

donde  $y'$  = tamaño transversal de la imagen,

$y$  = tamaño transversal del objeto,

$s'$  = distancia lente-imagen (en el caso considerado,  $s' = 50$  mm),

$s$  = distancia lente-objeto.

De esta manera, un objeto fotografiado a 1m de distancia producirá en el negativo, una imagen reducida aproximadamente 20 veces; un objeto fotografiado a 3m producirá una imagen reducida 60 veces, y así sucesivamente. Aprovechando esta reducción, fueron fotografiadas ranuras previamente dibujadas sobre cartulina blanca (lo más blanca posible) con tinta negra (lo más negra posible). El ancho de las ranuras dibujadas fue de 3 mm y su altura, 250 mm. Esto es fácil de ser realizado utilizando elementos apropiados para el dibujo y teniendo un poco de cuidado.

Fotografiando el dibujo de una ranura de 3 mm de ancho a 3m de distancia, se obtiene en el negativo una ranura de  $5 \cdot 10^{-2}$  mm. Si fotografiamos el dibujo de dos ranuras de 3 mm de ancho, separadas por 5 mm, a 3m de distancia, tendremos en el negativo dos ranuras de  $5 \cdot 10^{-2}$  mm separadas por  $8 \cdot 10^{-2}$  mm. El mismo dibujo fotografiado a 6m produce en el negativo dos ranuras de  $2,5 \cdot 10^{-2}$  mm.

Estos valores muestran claramente que la condición b) es fácilmente accesible, si se emplea una película con resolución adecuada.

Si se utiliza para hacer los dibujos el material apropiado, los bordes de las figuras quedan suficientemente perfectos, obteniéndose ranuras de bordes bien regulares; se cumple así la condición c).

La condición a) es, tal vez, la más difícil de conseguir; precisamos una película de alto contraste con un sustrato muy transparente. De las diferentes películas utilizadas, la que mejor resultado dio fue la KODALITH ORTO FILM - 6556 Type 3, producida por la Compañía Kodak, de fácil adquisición en el comercio especializado. Esta película, comúnmente empleada en artes gráficas, revelada en revelador D-11 a 20°C durante 2½ minutos

y fijada durante 4 minutos en fijador F-5, da el alto contraste y transparencia deseados. Se cumple así la condición a).

## RESULTADOS

Utilizando el método descrito, fueron hechas varias ranuras que permiten visualizar cómo varía la distribución de intensidad en los fenómenos de interferencia y difracción, en función del ancho, separación, geometría y número de ranuras<sup>(1,2,3,4)</sup>.

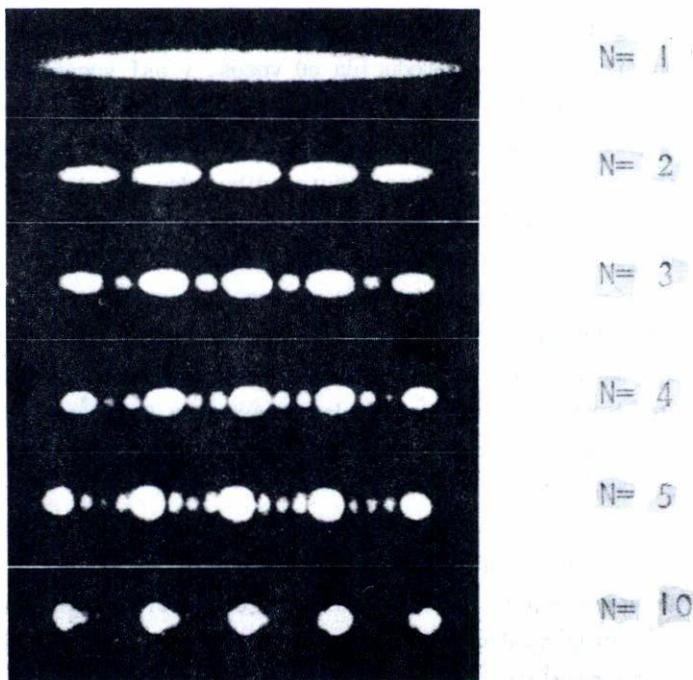


Fig. 2. Distribución de intensidad producida por diferente número de ranuras (N), todas de igual ancho e igualmente espaciadas. Las ranuras son rectangulares y de ancho mucho menor que su altura.

En la Fig. 2. se muestra una serie de fotografías de la distribución de intensidad producida por 1,2,3,4,5 y 10 ranuras fotográficas de ancho y separación constante, cuando son iluminadas con un láser de He-Ne.

En la fotografía superior se ve el máximo central de difracción producido por una ranura única, en la siguiente fotografía aparecen los máximos de interferencia de una ranura doble, dentro del máximo central de difracción de cada ranura. En la 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup> fotografías se observa la aparición de los máximos secundarios, en número  $N - 2$  (donde  $N$  es el número de ranuras) y el estrechamiento de los máximos principales a medida que  $N$  aumenta.

En la Fig. 3 se muestra una fotografía de la distribución de intensidad producidas por ranuras dobles, de ancho constante y separación diferente. Puede observarse cómo el patrón de difracción es constante, mientras que el número de máximos de interferencia cambia, cambiando también el ancho de cada uno.

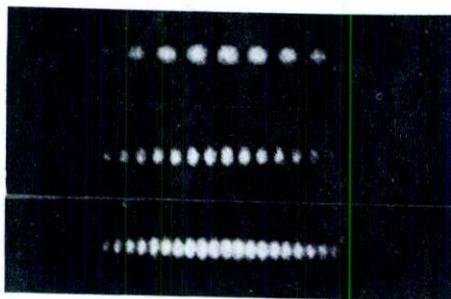


Fig. 3. Distribución de intensidad producida por ranuras dobles, de igual ancho y separación variable. La separación de las ranuras aumenta de a) para c). Las ranuras son rectangulares y de altura mucho mayor que su ancho.

#### CONCLUSIONES

El mayor problema de este método es que la reducción en el negativo ocurre también en el eje vertical, y por lo tanto los 250 mm de altura de las ranuras se convierten en 4.2 mm cuando se fotografía a 3m, o en 2 mm cuando se fotografía a 6m. Esto no es demasiado molesto cuando se utiliza un láser, pero es incómodo cuando se ilumina con una fuente de luz convencional. Es claro que el problema puede resolverse aumentando la altura de los dibujos (por ejemplo, haciéndolos de 1000 mm), pero entonces éstos no son tan fáciles de hacer, sobre todo si se quiere un número grande de

ranuras.

Utilizando un láser de He-Ne como fuente de luz, debido a su alta intensidad luminosa y coherencia, las figuras son fácilmente proyectables sobre una pantalla colocada a 1m de distancia de las ranuras; cuando se utiliza una fuente convencional es preferible observar directamente a través de las ranuras.

Los patrones de distribución de intensidad obtenidos, presentando algunas imperfecciones (tal como se ve en la fotografías), permiten al alumno obtener información experimental de cómo cada parámetro modifica la distribución de intensidad.

Podemos concluir que, con material razonablemente barato y utilizando técnicas simples podemos disponer de la cantidad y variedad de elementos necesarios para que grupos numerosos de alumnos realicen, ellos mismos, una serie de experiencias importantes de óptica<sup>(5)</sup>.

La película utilizada para la realización de este trabajo fue la que mejor se adaptó a nuestras necesidades, pero ciertamente existen en el mercado otras que pueden usarse con buenos resultados.

#### ACRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. José E. Ure por la colaboración prestada en la realización de este trabajo.

#### REFERENCIAS

1. Hecht, Zajac, *Optics* Addison Wesley - 3<sup>a</sup> Edición (1976).
2. Jenkins, White, *Fundamentals of Optics* Mc Graw Hill/Novaro, 3<sup>a</sup> Ed. (1965).
3. Mathieu, *Optics* Pergamon Press (1975).
4. Rossi, *Fundamentos de Optica*, Reverté (1973).
5. A.A. Tagliaferri, M.C. Dibar Ure y J.E. Ure, "De Interferencia y Difracción, una experiencia activa de óptica". A ser publicado en *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, España.