

## AUTOMATIZACIÓN DE UN EXPERIMENTO: DIFRACCIÓN POR UNA RENDIJA

Cubero O., Rodríguez E.

*Instituto de Investigaciones Físicas  
Universidad Mayor de San Andrés  
La Paz-Bolivia*

### RESUMEN

Se ha automatizado la toma de datos, y el movimiento del sensor correspondiente, para obtener cuantitativamente el patrón de difracción producido por una rendija. Las medidas experimentales se contrastan con las ecuaciones predichas por la teoría.

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo ha sido doble, por un lado, implementar el software y hardware necesarios para la adquisición de datos a través del puerto paralelo de una PC; y por otro, poner de manifiesto, cuantitativamente, un importante fenómeno físico que se conoce ya desde hace 200 años, el fenómeno de la difracción.

Este artículo, fruto del curso de Instrumentación (FIS 320) que se imparte en la Carrera de Física de la UMSA, pretende también poner de manifiesto cómo la "manoseada" dicotomía teoría-experimento se difumina en la educación universitaria. A este nivel, cualquier estudiante con interés, y buena bibliografía, puede llegar a entender y manejar, sin prolongados años de estudio, toda la magia (teórica y experimental) que encierra un fenómeno físico.

El artículo comienza con una breve introducción teórica, sin hacer énfasis en la deducción de la teoría, sino más bien recordando al lector los resultados más importantes del fenómeno de la difracción. A continuación se describe el montaje experimental utilizado y se muestran diferentes gráficas con los datos obtenidos. Finalmente se analizan dichos datos.

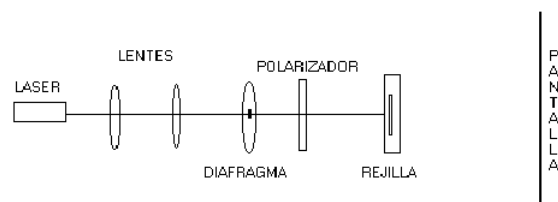
### 2. MARCO TEÓRICO

Alguna vez hemos experimentado cómo al interponer una cartulina, con un orificio, entre el haz de luz de una linterna y una pantalla, aparece proyectada en ésta un punto luminoso del mismo tamaño que el del orificio de la cartulina. Sin embargo, bajo ciertas condiciones que indicaremos más adelante, podemos hacer que la proyección sobre la pantalla de la luz que incide sobre un orificio no sea la que normalmente se espera, sino más bien una "proyección" que presenta dos características particulares:

- 1) En la pantalla hay más luz de la que correspondería teniendo en cuenta el tamaño del orificio, es decir, los rayos luminosos, al atravesar el orificio, sufren una desviación divergente respecto de la dirección rectilínea de incidencia.

- 2) Esa proyección presenta un cuadro de zonas claras y oscuras alternas (patrón de difracción).

Este fenómeno que acabamos de caracterizar recibe el nombre de *difracción*. Debemos aclarar que este fenómeno no se debe ni a la reflexión ni a la refracción que ocurre en la superficie que separa dos medios diferentes; ni tampoco a la variación en el espacio del índice de refracción, como ocurre en los medios no homogéneos. Tampoco se trata de la desviación causada por la presencia de partículas con un tamaño del orden de la longitud de onda del haz incidente (dispersión). Además, hay que destacar que el fenómeno de la difracción se da en cualquier tipo de onda, ya sea ésta longitudinal o transversal, electromagnética (por ejemplo luz visible) o mecánica (por ejemplo sonido). Un montaje típico para observar el patrón de difracción es el indicado en la siguiente figura.



Las dos primeras lentes sirven para que sobre la rejilla incida un haz de rayos paralelos (onda plana). Por otra parte, la pantalla debe estar lo suficientemente alejada como para poder considerar a los rayos divergentes que provienen de la rejilla, e interfieren en cada punto de la pantalla, paralelos (onda plana); bajo estas condiciones se tiene lo que se conoce con el nombre de *difracción de Fraunhofer* (1787-1866). El polarizador lo hemos puesto para disminuir la intensidad del haz de luz, pero su presencia no afecta la posición de los máximos y mínimos del patrón de difracción. La orientación de la rejilla, y un patrón de difracción típico, se pueden ver en la siguiente figura.



Young fue quien encontró, en 1800, una explicación a la desviación de los rayos luminosos de su trayectoria rectilínea al pasar por los bordes de un objeto, utilizando el principio de Huygens (1629-1695). Y Fresnel fue quien encontró, en 1815, una explicación a la aparición de franjas claras y oscuras. A continuación vamos simplemente a recordar cuatro resultados predichos por la teoría, y que nos servirán más adelante para contrastar las medidas experimentales. Naturalmente, el lector interesado puede recurrir a cualquier libro de óptica [1] para fundamentar los resultados que aquí simplemente vamos a mostrar.

I) *Condición de difracción:*

$$L \gg \frac{\Delta_r^2}{\lambda} \quad (1)$$

donde L es la distancia de la rendija a la pantalla,  $\Delta_r$  es la anchura de la rendija y  $\lambda$  es la longitud de onda del haz incidente.

II) *Distribución de intensidad:*

$$I = I_o \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \quad (2)$$

donde,

$$\alpha = \frac{\pi \Delta_r}{\lambda L} x$$

siendo x la posición del sensor respecto del máximo central.

III) *Relación entre parámetros característicos:*

$$\Delta_r \Delta = \lambda L \quad (3)$$

donde  $\Delta$  es la distancia entre el máximo central y el primer mínimo del patrón de difracción (ver figuras 1 y 2).

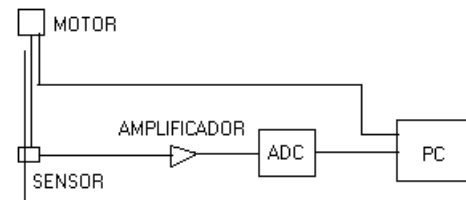
IV) *Intensidades relativas:*

$$\frac{I_{max}^{(1)}}{I_o} = 0,0472 \quad \frac{I_{max}^{(2)}}{I_o} = 0,0165 \quad \frac{I_{max}^{(3)}}{I_o} = 0,0083 \quad (4)$$

La iluminación de la primera franja brillante no llega al 5% de la iluminación que presenta la franja central; la de la segunda no llega ni al 2%, y la de la tercera ni al 1%; por lo tanto, existe una atenuación muy fuerte a medida que nos vamos alejando del máximo central.

### 3. MONTAJE EXPERIMENTAL

La novedad de este montaje es que permite medir de forma cuantitativa el patrón de difracción. Para ello se ha dispuesto de un sensor (fototransistor) cuya señal, previamente amplificada, se introduce en un conversor analógico-digital, para así poder pasar, a través del puerto paralelo, a la PC. Por otro lado, como es necesario llevar un registro de la posición del sensor, se sincroniza el comienzo y final de la toma de datos con el encendido y apagado del motor que va moviendo el sensor; todo esto también a través del puerto paralelo de la PC. El software, escrito en su totalidad en C, además de controlar los distintos dispositivos entrega un archivo con dos pares de datos (posición del sensor en mm, intensidad medida en voltios), que puede ser graficado con cualquiera de los paquetes usuales. En cuanto al hardware, la tarjeta de adquisición de datos es la misma que la descrita en [2], y el circuito para el encendido y apagado del motor es el circuito de control de potencia descrito en [3].



### 4. RESULTADOS

Como un primer paso para contrastar teoría y experimento nos hemos centrado en comprobar las relaciones 2, 3 y 4. Para ello se han realizado medidas, en igualdad de condiciones, sobre dos rendijas de 0,2 y 0,1 mm. En los patrones que se muestran en las figuras 1 y 2 se refleja claramente las dos características propias del fenómeno de la difracción: más luz de la que correspondería según el ancho de la rejilla y zonas claro-oscuras.

$\Delta_r (\pm 0.01) mm$	$\Delta (\pm 0.5) mm$	$\lambda (nm)$
0.1	10.0	$623 \pm 70$
0.2	5.6	$698 \pm 71$

$I_o (\pm 0.01) V$	$I_{max}^{(1)} (\pm 0.01) V$	$\frac{I_{max}^{(1)}}{I_o}$
0.57	0.03	$0.053 \pm 0.018$
2.34	0.11	$0.047 \pm 0.005$

En la primera tabla se ha determinado la longitud de onda del haz emitido (valor nominal: 633 nm) usando la ecuación 3. En ambos casos la distancia L entre la

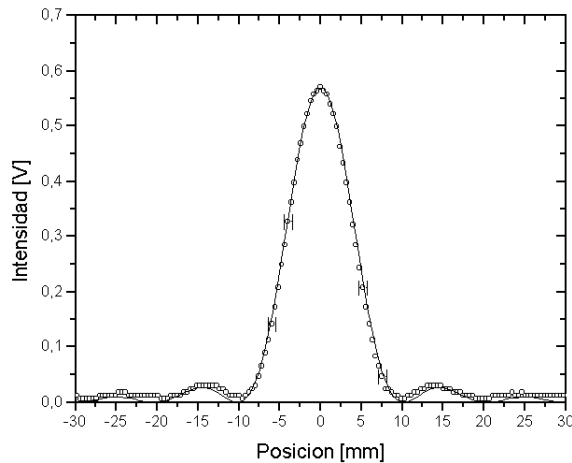


Figura 1. Patrón de difracción para una rendija de anchura  $\Delta_r = 0,1 \text{ mm}$ . Los círculos son los datos experimentales y la línea continua es lo predicho por la teoría según la ecuación 2, con  $\lambda = 633 \text{ nm}$  y  $L=1605 \text{ mm}$

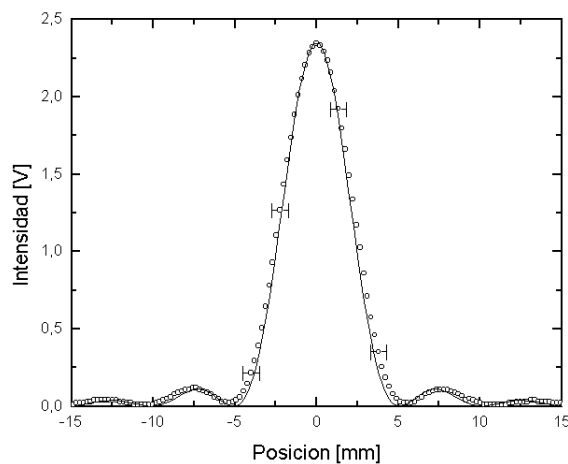


Figura 2. Patrón de difracción para una rendija de anchura  $\Delta_r = 0,2 \text{ mm}$ . Los círculos son los datos experimentales y la línea continua es lo predicho por la teoría según la ecuación 2, con  $\lambda = 633 \text{ nm}$  y  $L=1605 \text{ mm}$

rendija y la pantalla se mantuvo en  $1605 \pm 2 \text{ mm}$ . El error relativo se ha calculado usando la suma en cuadraturas.

En la segunda tabla se ha determinado la intensidad del primer máximo con relación al máximo central (valor esperado: 0.0472). La primera fila corresponde a la rendija de 0.1 mm de anchura, y la segunda a la de 0.2 mm. El error relativo se ha calculado sin usar la suma en cuadraturas.

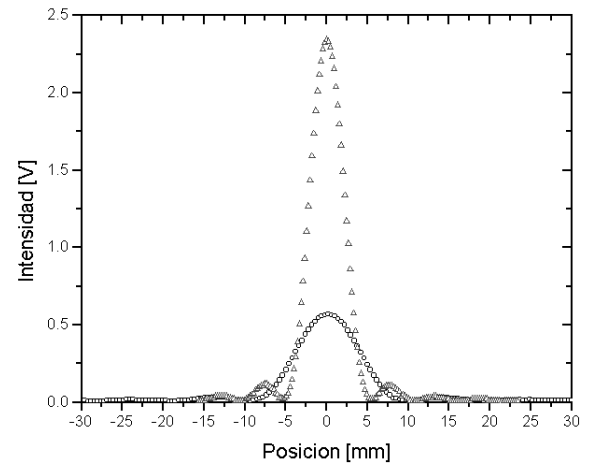


Figura 3. Los dos patrones de difracción anteriores superpuestos. Se observa como a medida que aumenta el tamaño de la rejilla el máximo central se hace más estrecho, además de aumentar su valor.

## 5. CONCLUSIONES Y RESULTADOS FINALES

El análisis de errores nos muestra que las medidas realizadas son bastante groseras (11% de error relativo en la determinación de  $\lambda$ ). Sin embargo, es preciso señalar que este error relativo no proviene de la electrónica usada, sino de las incertidumbres en la determinación de  $\Delta_r$ ,  $\Delta$  y  $L$ . Para rendijas de anchura menor que 0.1 mm la mayor contribución al error viene de la incertidumbre en la determinación del ancho de la rendija; mientras que a medida que va aumentando el ancho de ésta empieza a ser más importante la contribución debida a la incertidumbre en la determinación de  $\Delta$ . Por lo tanto, si queremos utilizar este montaje para determinar el ancho de una rendija es conveniente aumentar la precisión de la escala de medida del banco sobre el que se mueve el sensor.

Por otro lado, y como un trabajo futuro, se podrían estudiar teórica y experimentalmente, patrones de difracción de orificios con diferentes simetrías; para ello bastaría simplemente con añadir un segundo motor que moviese el sensor en la dirección vertical, y poder tener así un rastreo bidimensional.

## REFERENCIAS

- [1] Díaz R., León H., *Optica Ondulatoria*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1987.
- [2] Cubero O., *Adquisición de datos por el puerto paralelo de una PC: aplicación a un espectrofotómetro*, Revista Boliviana de Física, número 7, 2001.
- [3] Cubero O., *Control de temperatura mediante una PC*, Revista Boliviana de Física, número 8, 2002.