

## INTERFERENCIA Y DIFRACCION

### OBJETIVOS

- Estudiar los fenómenos de interferencia y difracción en ranuras y redes.
- Determinar la longitud de onda del láser He-Ne.
- Determinar del espesor de un cabello.
- Determinar del número de surcos por mm en un disco compacto (CD).

### MATERIALES

1. Láser continuo de helio -neón ( $\lambda=632,8$  nm).
2. Mosaicos de difracción conteniendo ranuras y redes.
3. Banco óptico.
4. Fotómetro (circuito con fotodiodo).
5. Voltímetro.
6. Pantalla.
7. Soportes para pantalla, láser y ranuras.

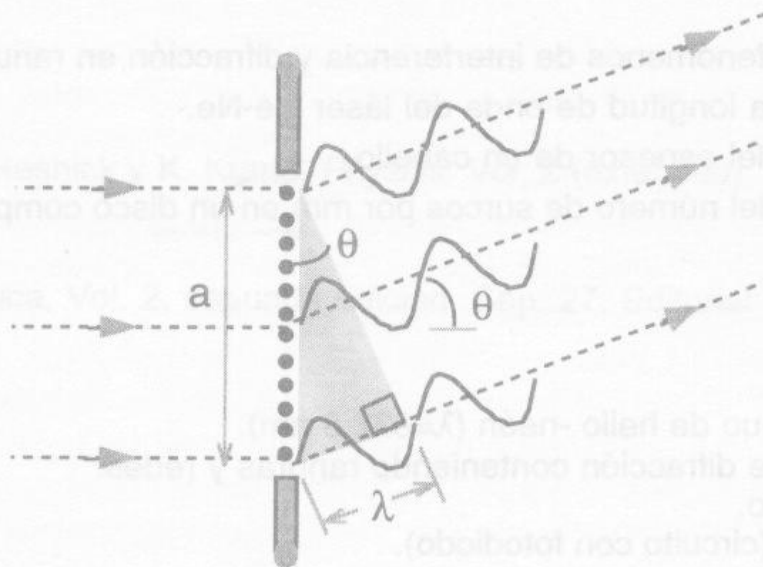
### TEORIA

La difracción se refiere a la propiedad que tienen todas las ondas de bordear obstáculos, es decir, de desviarse hacia una nueva dirección cuando encuentran un objeto (barrera o abertura) en su camino. La difracción de las ondas sonoras es un fenómeno que percibimos constantemente en la vida cotidiana. Podemos escuchar sonidos aun cuando no estemos en línea directa a su fuente. Para que se presente la difracción, el tamaño del objeto debe ser del mismo orden de la longitud de onda. Usualmente no nos percatamos de la difracción de la luz debido a la pequeñez de la longitud de estas ondas.

Entre la interferencia y la difracción no existe una diferencia física esencial, ya que ambos resultan del mismo fenómeno de redistribución de la energía luminosa debido a la superposición de ondas coherentes. Se utiliza el término interferencia para referirnos al resultado de la superposición de un número finito (usualmente pequeño) de ondas y el término difracción para la superposición de un número grande de fuentes infinitesimales y casi siempre contiguas.

### A) Difracción de una ranura.

La difracción se puede entender por medio del principio de Huygens, según el cual cada elemento de un frente de onda sirve como fuente de una onda esférica secundaria. Sea una ranura muy estrecha de ancho "a" sobre la cual incide un haz paralelo de luz monocromática de longitud de onda  $\lambda$  (siendo  $\lambda < a$ ). Consideremos el caso en que la pantalla se encuentra tan lejos del obstáculo que los rayos que llegan al punto de observación son prácticamente paralelos (difracción de Fraunhofer).



**Fig. 1:** Difracción de una ranura

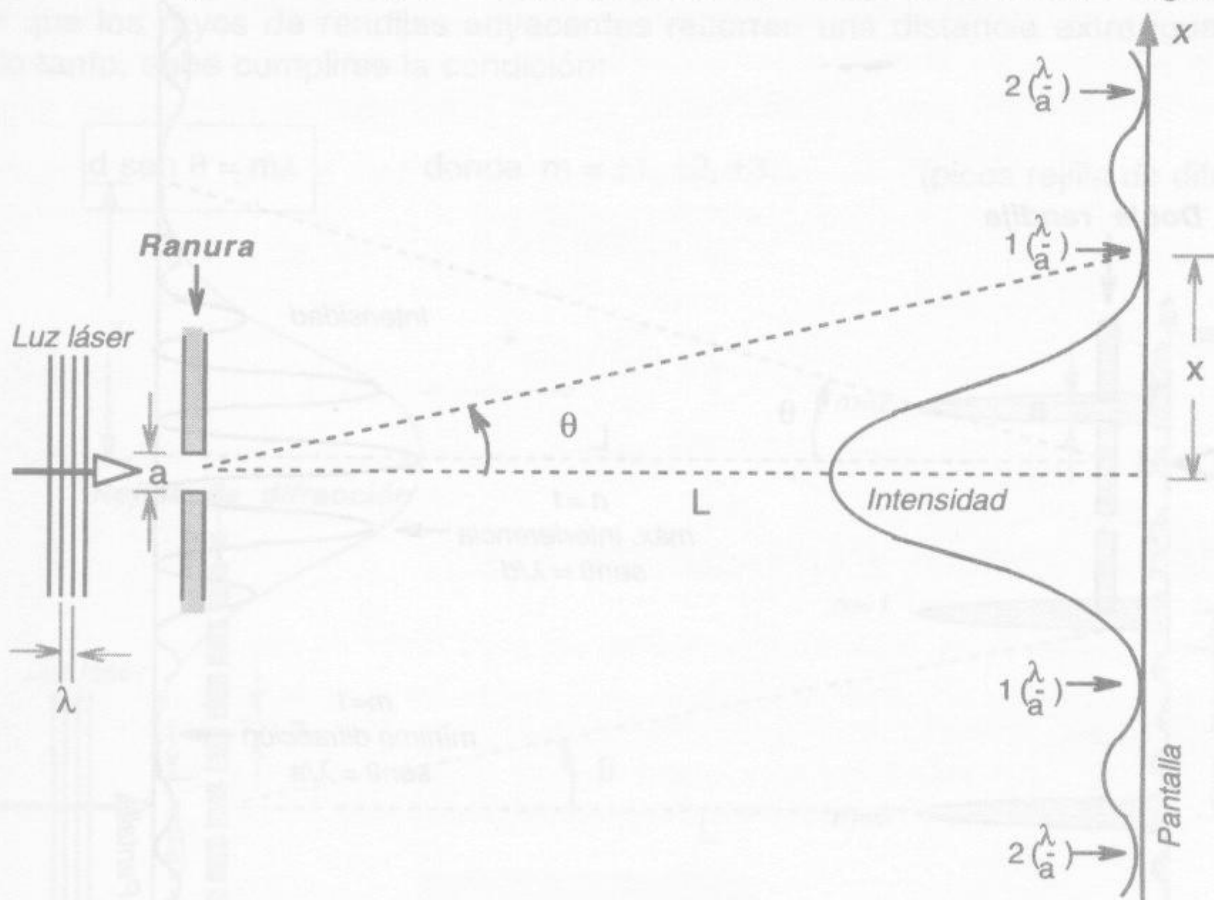
Las ondas secundarias que salen en la misma dirección del haz incidente ( $\theta = 0$ ) están todas en fase, de modo que en el centro de la pantalla habrá interferencia constructiva. En general, cuando la diferencia de camino entre dos rayos es  $\lambda/2$  interferirán destructivamente. Si consideramos un ángulo  $\theta$  tal que el rayo de la parte inferior de la ranura recorre exactamente una longitud de onda más que el rayo del borde superior, entonces el rayo que pasa por el centro recorrerá  $\lambda/2$  más que el rayo de la parte superior. Estos rayos estarán fuera de fase e interferirán en la pantalla de manera destructiva (ver figura 1).

En forma análoga, para todo punto en la mitad superior de la ranura, hay un punto en la mitad inferior que estará desfasado en  $\lambda/2$ . Por consiguiente todos los rayos interfieren destructivamente en pares. El primer ángulo para interferencia destructiva está dado por la condición  $a \sin \theta = \lambda$ . Si ahora dividimos la ranura en cuatro regiones,

cada una con muchas fuentes, habrá cancelación en pares cada vez que se cumpla  $a \sin \theta = 2\lambda$ . Si continuamos con este proceso, encontramos que hay interferencia destructiva (intensidad cero) para los ángulos de observación dados por:

$$\boxed{\sin \theta = m \left( \frac{\lambda}{a} \right)} \quad \text{donde } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (1)$$

Note que en esta expresión el valor  $m = 0$  no está incluido pues corresponde al máximo central. Para hallar la intensidad de cualquier punto en el patrón de difracción de la ranura se puede utilizar un diagrama de fasores (ver actividades preliminares). Se encuentra que la intensidad presenta un máximo pronunciado en  $\theta = 0^\circ$  y cae a cero a ciertos ángulos dados por la expresión anterior. Esto se ilustra en la figura 2:



**Fig. 2:** El patrón de difracción de una ranura

Entre los mínimos ocurren máximos brillantes más pequeños que resultan de interferencia constructiva incompleta. El ancho angular del pico central corresponde a los mínimos  $m = \pm 1$  en la relación anterior. Se observa que para una dada  $\lambda$  el pico central se ensancha a medida que la ranura se hace más estrecha.

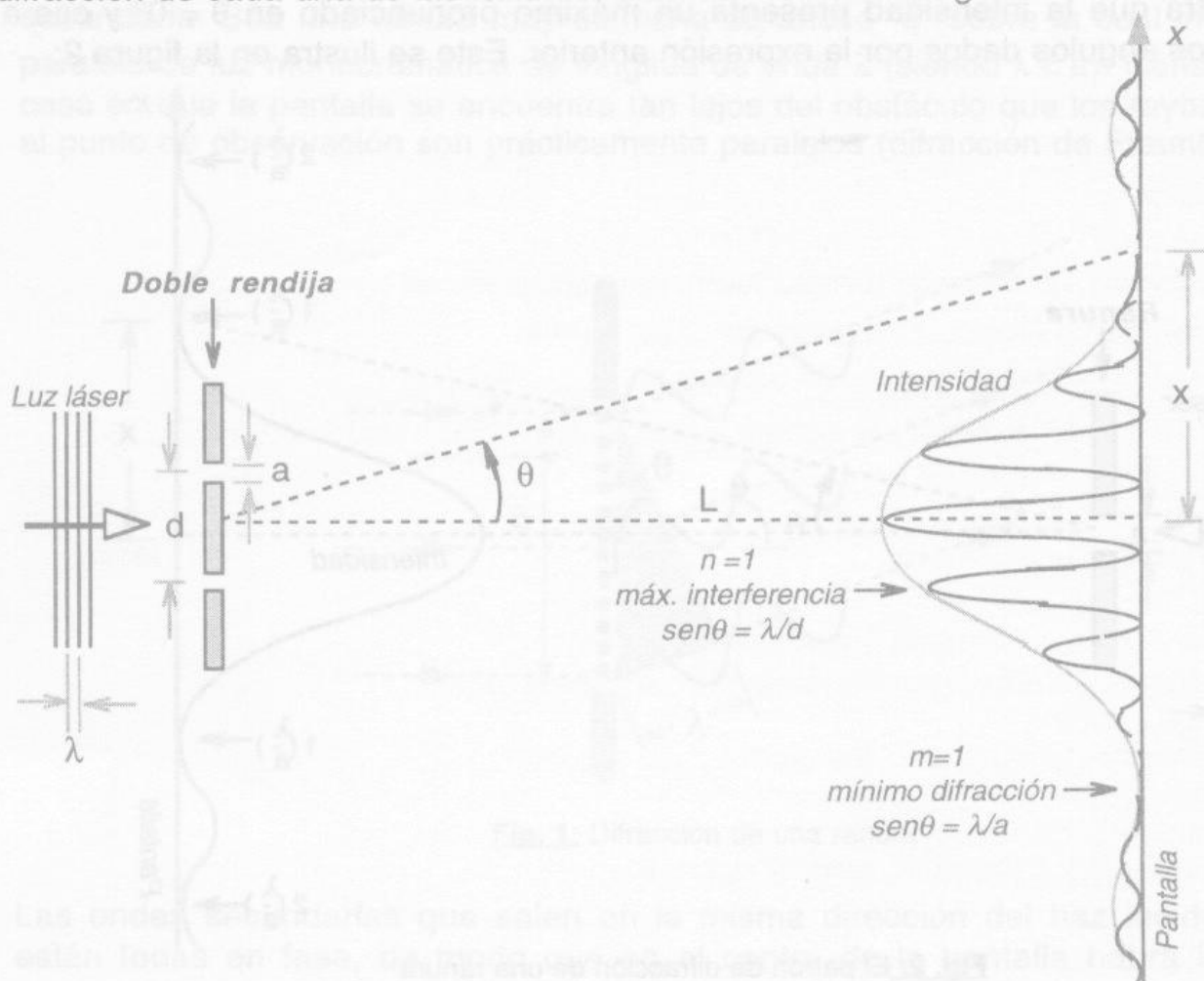
### **B) Interferencia y difracción combinadas en una ranura doble.**

Supongamos ahora que se hace incidir luz sobre un par de ranuras de ancho "a" y separación "d". Si las ranuras fueran infinitamente estrechas, el pico de difracción debido a cada ranura se difunde sobre toda la pantalla y ésta quedaría iluminada de

manera uniforme por cada ranura individual. Si consideramos la interferencia de la luz coherente que proviene de las dos rejillas individuales, resulta un patrón constituido por una serie de franjas brillantes y oscuras. Las franjas brillantes ocurren a ciertos ángulos  $\theta$ , los cuales vienen dados por la condición:

$$d \sin \theta = n\lambda \quad \text{donde } n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (\text{máximos de interferencia})$$

Si las ranuras tienen un ancho "a" apreciable, la difracción reduce la intensidad de las franjas de interferencia a cada lado del centro. El patrón resultante se puede describir como una serie de máximos debidos a la interferencia de ondas provenientes de las dos ranuras, modificado por una envolvente resultado de la difracción de cada una de las ranuras. Esto se ilustra en la figura 3:



**Fig.3.** Interferencia y difracción de una ranura doble

Según indican las líneas punteadas, el factor de difracción actúa como envolvente que limita los picos de interferencia.

$$a \sin \theta = m\lambda$$

donde  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  (mínimos de difracción)

Observe que para el caso que se ilustra en la figura 3 el mínimo de difracción coincide con el pico  $n = 4$  en el patrón de interferencia, por lo que este pico queda anulado.

### C) Rejillas de difracción.

En las rejillas de difracción las ondas son dispersadas por un número muy grande de centros ubicados a distancias regulares. Cualquier estructura periódica regular puede servir como una rejilla de difracción, de modo que las rejillas pueden adoptar muchas formas. Una es rayando regularmente placas opacas, para formar ranuras paralelas, las cuales funcionan como fuentes para la generación de ondas secundarias (rejilla de transmisión). Cuando las rayaduras se hacen en placas de metal trabajan como fuentes de luz reflejada y no transmitida (rejilla de reflexión). El análisis es básicamente el mismo para ambos tipos de rejillas.

Supongamos un número muy grande de ranuras separadas por una distancia "d" y son lo suficiente estrechas de modo que la difracción de cada una de ellas difunda luz sobre una pantalla distante. Se producirá interferencia constructiva a ángulos  $\theta$  tales que los rayos de rendijas adyacentes recorran una distancia extra igual a  $m\lambda$ . Por lo tanto, debe cumplirse la condición:

$$d \sin \theta = m\lambda$$

donde  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

(picos rejilla de difracción)

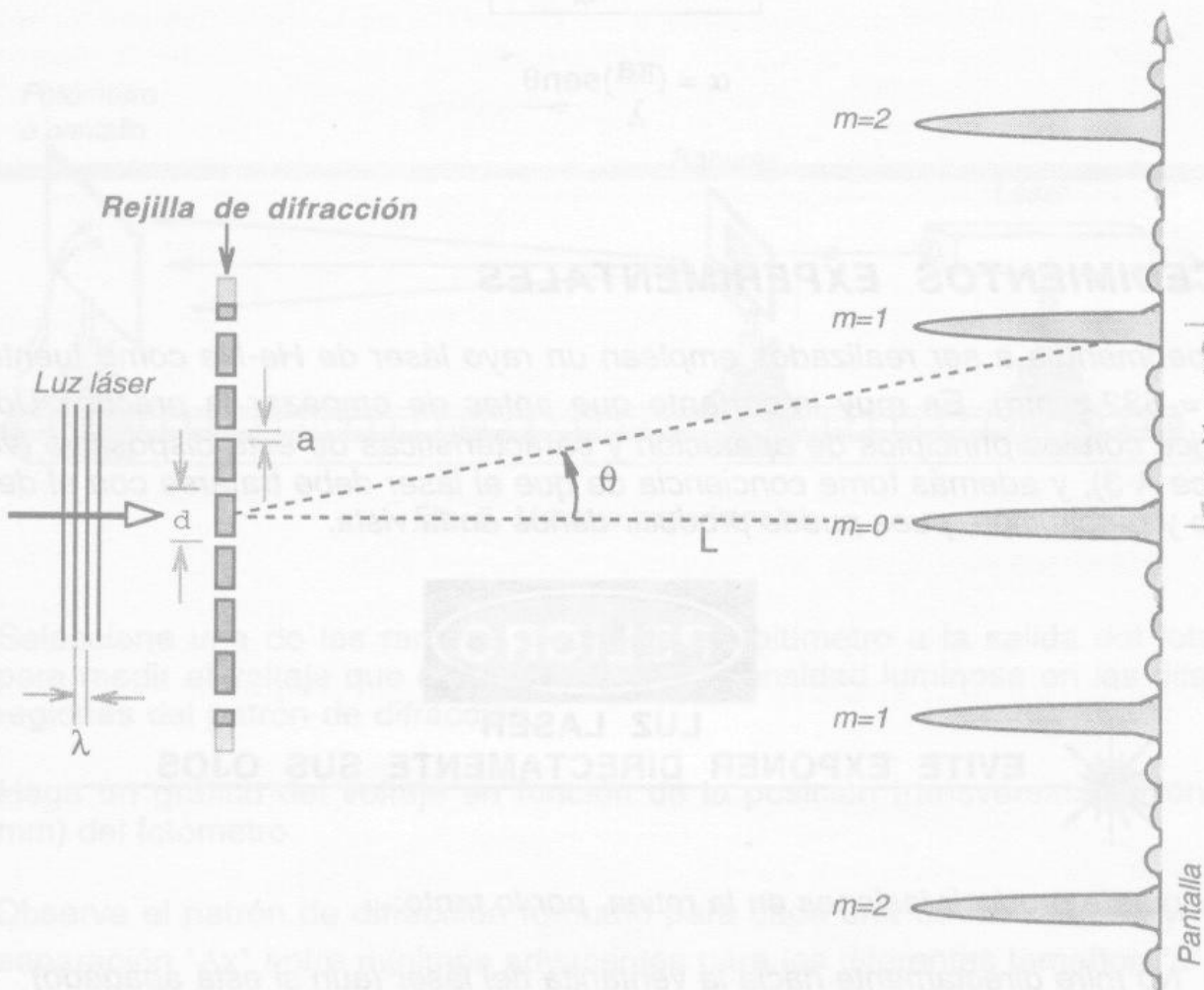


Fig. 4. Espectro de una rejilla de difracción

Como muestra la figura 4, en las rejillas de difracción los picos resultan brillantes y nítidos, siendo el ancho del pico inversamente proporcional al número total de líneas en la rejilla.

## ACTIVIDAD PRELIMINAR

### Patrón de difracción de una rendija mediante fasores

La intensidad de cualquier punto en el patrón de difracción de la ranura sencilla puede calcularse utilizando un diagrama de fasores. La rendija de ancho "a" se divide en N zonas y el campo eléctrico neto en un punto de la pantalla es la superposición de los N vectores del campo eléctrico teniendo en cuenta sus relaciones de fases. Demuestre, mediante este procedimiento, que la intensidad en función del ángulo  $\theta$  de difracción viene dada por:

$$I_{\theta} = I_m \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

siendo

$$\alpha = \left( \frac{\pi a}{\lambda} \right) \sin \theta$$

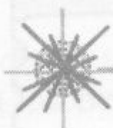
## PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

Los experimentos a ser realizados emplean un rayo láser de He-Ne como fuente de luz ( $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ). Es muy importante que antes de empezar la práctica Ud. se familiarice con los principios de operación y características de este dispositivo (ver el apéndice A-3), y además tome conciencia de que el láser debe tratarse con el debido cuidado y precaución, pues puede producir daños en la vista.



**LUZ LASER**

**EVITE EXPONER DIRECTAMENTE SUS OJOS**



El láser puede producir lesiones en la retina, por lo tanto:

- 1) No mire directamente hacia la ventanita del láser (aun si está apagado)
- 2) No apunte con el láser hacia los ojos de ninguna persona.
- 3) Trabaje con suficiente iluminación del laboratorio.

## A. Patrón de difracción de ranuras simples

Las ranuras y redes de difracción que utilizaremos están montadas en marcos de diapositivas (Fig. 5). Estos se instalan en el banco óptico mediante una pinza que los sujeta por el borde inferior y deben tratarse con delicadeza para no dañarlos (Fig. 6)..

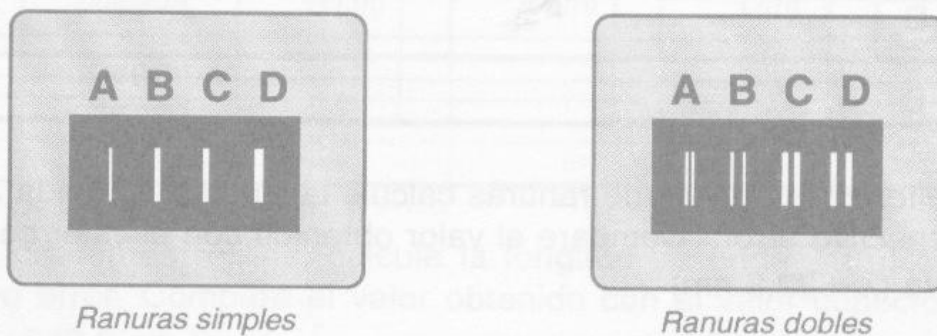


Fig. 5. Mosaicos con ranuras

- A1. Instale en el banco óptico el mosaico de ranuras simples a una distancia aproximada de 1 metro de la pantalla y gradúe la altura del láser para que el haz incida sobre una de las ranuras.

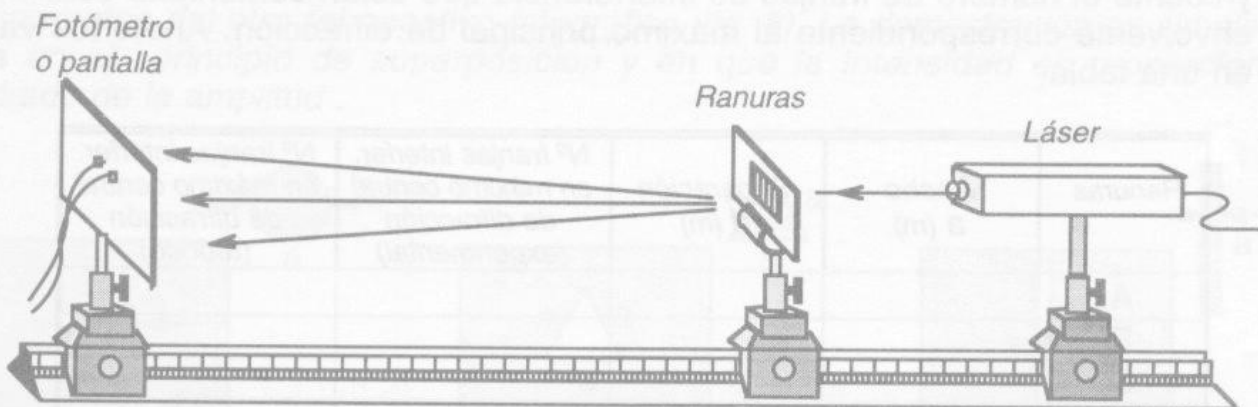


Fig. 6. Montaje experimental

- A2. Seleccione una de las ranuras y conecte el voltímetro a la salida del fotómetro para medir el voltaje que corresponde a la intensidad luminosa en las diferentes regiones del patrón de difracción.
- A3. Haga un gráfico del voltaje en función de la posición transversal horizontal (en mm) del fotómetro.
- A4. Observe el patrón de difracción formado para cada una de las ranuras y mida la separación " $\Delta x$ " entre mínimos adyacentes para los diferentes tamaños " $a$ " de las ranuras.

Ranura	ancho $a$ (mm)	Distancia entre mínimos $\Delta X$ (m)	Distancia ranura -pantalla. $L$ (m)	Long. onda calculada $\lambda$ (m)
A				
B				
C				
D				

**A5.** Para los diferentes anchos de ranuras calcule la longitud de onda  $\lambda$  (m) del láser con su respectivo error. Compare el valor obtenido con el valor conocido para el láser He-Ne ( $\lambda=632,8$  nm)

## B. Interferencia y difracción combinadas para ranuras dobles

**B1.** Instale el mosaico que contiene las cuatro diferentes ranuras dobles y colóquelas a aproximadamente 1 metro de la pantalla.

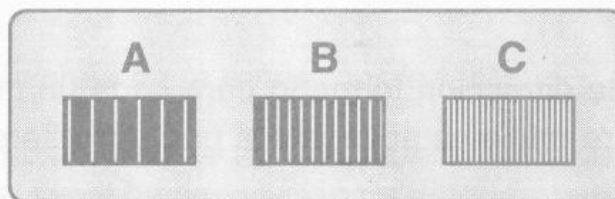
**B2.** Observe el patrón correspondiente a cada una de las combinaciones de ranuras, y cuente el número de franjas de interferencia que están contenidas dentro de la envolvente correspondiente al máximo principal de difracción. Anote los valores en una tabla:

Ranuras	Ancho $a$ (m)	Separación $d$ (m)	Nº franjas interfer. en máximo central de difracción (experimental)	Nº franjas interfer. en máximo central de difracción (teórico)
A				
B				
C				
D				

**B3.** Compare sus resultados con las predicciones teóricas.

## C. Rejillas de difracción

**C1.** Instale el mosaico que contiene las tres rejillas de difracción (Fig. 7).



**Fig. 7.** Rejillas de difracción



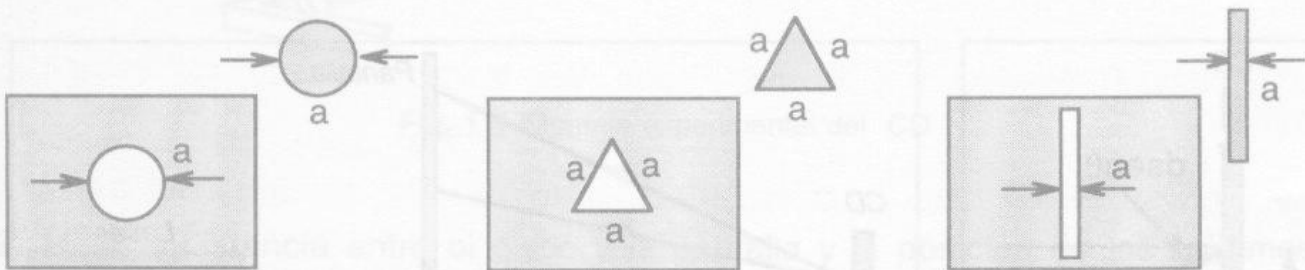
**C2.** Haga incidir el láser en cada una de las rejillas. Mida la distancia entre franjas brillantes observadas y la distancia rejilla-pantalla.

Rejilla	Número de ranuras por pulgada	Separación entre ranuras $d$ (m)	Distancia entre franjas $\Delta X$ (m)	Distancia red-pantalla. $L$ (m)	Long. onda calculada $\lambda$ (m)
A	2400				
B	7500				
C	15000				

**C3.** Para los diferentes rejillas, calcule la longitud de onda  $\lambda$  (m) del láser con su respectivo error. Compare el valor obtenido con el valor conocido para el láser He-Ne ( $\lambda=632,8$  nm.)

### D. Determinación del espesor de un cabello - El principio de Babinet

De acuerdo al principio de Babinet las figuras de difracción producidas por dos objetos complementarios son idénticas. Se dice que dos objetos son complementarios si los espacios opacos de uno corresponden a espacios transparentes del otro (el negativo fotográfico, fig. 8). La demostración es simple y se basa en el principio de superposición y en que la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud.



**Fig. 8.** Obstáculos complementarios

De acuerdo con este principio, el patrón de difracción de un alambre fino o un cabello que intercepta el haz del láser debe corresponder al de una ranura de igual anchura que el diámetro del cabello.

**D1.** Instale, en el banco óptico, el portaobjetos que contiene un cabello. Haga incidir el láser sobre el cabello y observe la figura de difracción en la pantalla.

**D2.** ¿Es la figura de difracción similar a la observada para la ranura simple, como lo asegura el principio de Babinet?

**D3.** Mida las distancias entre mínimos del patrón de difracción y la distancia cabello-pantalla. Sabiendo que el láser He-Ne tiene una longitud de onda  $\lambda=632,8$  nm, determine el grosor del cabello con su respectivo error.

## E. Determinación del número de surcos por mm en un disco compacto

En los discos compactos de música, la información está codificada digitalmente en una capa metalizada con diminutos huecos de longitud variable, formando surcos en espiral alrededor del centro, (Fig. 9). La luz láser que se refleja a medida que el disco gira es detectada en un fotodiodo y luego demodulada para ser convertida en música.

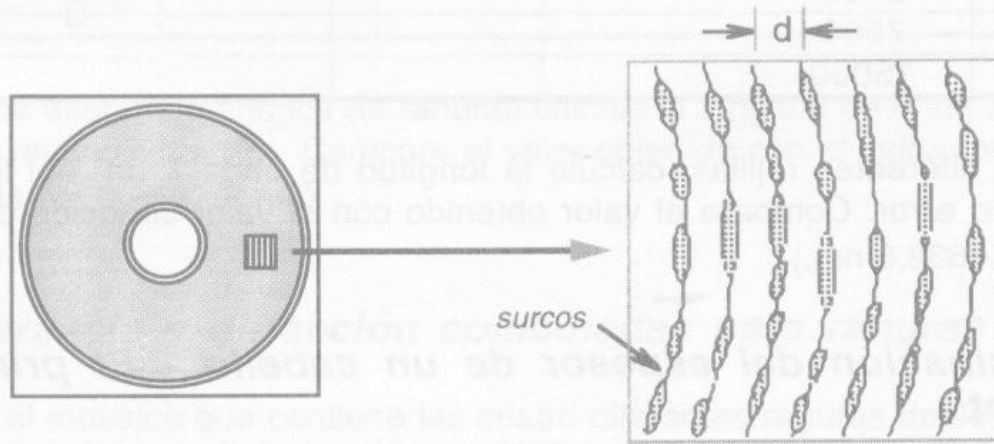


Fig. 9. El disco compacto (CD)

Aunque los surcos no están continuamente rayados, la ocurrencias de los huequitos proveen una periodicidad suficiente para comportarse como una red de difracción por reflexión.

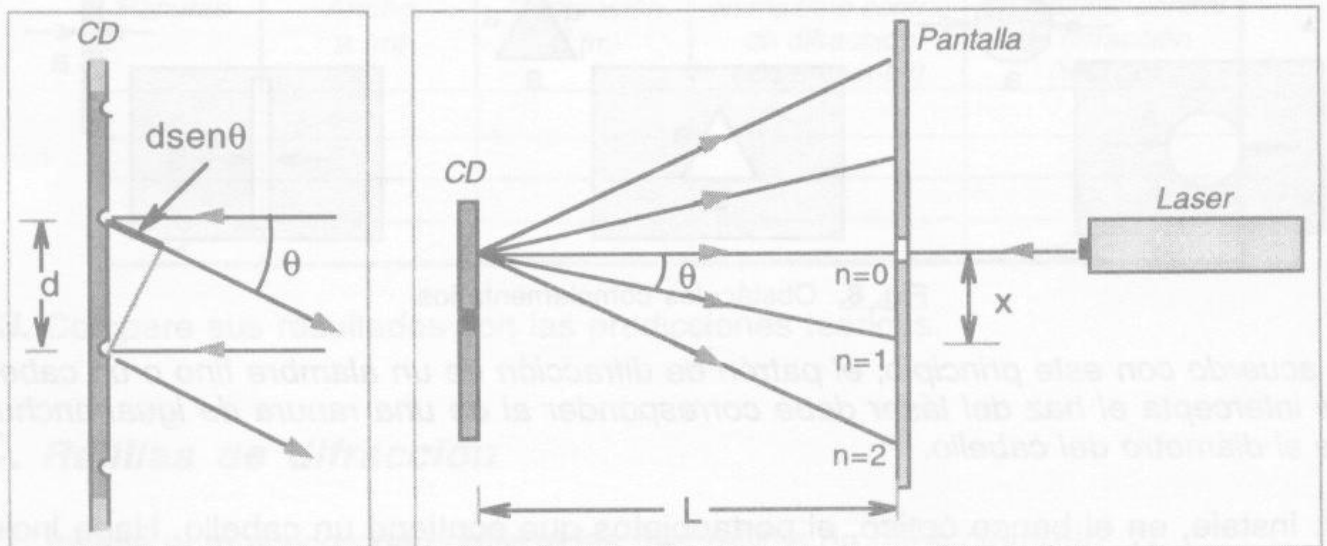


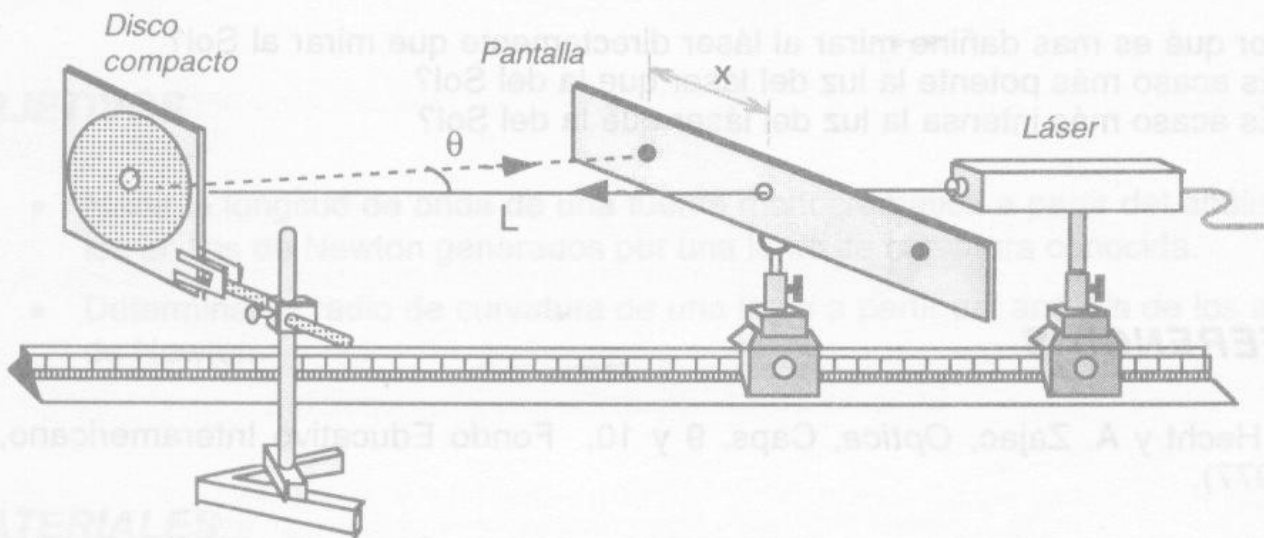
Fig. 10. Disco CD como red de difracción

Si el láser incide normal a la superficie del disco, como indica la figura 10, los rayos reflejados producirán interferencia constructiva para ángulos " $\theta$ " tales que la diferencia de camino de rayos adyacentes corresponda a un número entero de longitudes de onda:  $d \sin \theta = m \lambda$ .

Esto significa que las posiciones de los máximos de difracción que se producen en la pantalla están relacionados con la distancia "d" entre surcos mediante la fórmula.

$$d = m\lambda \sqrt{1 + \left(\frac{L}{x}\right)^2} \quad \text{donde } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

**E1.** Coloque la pantalla entre el láser y el disco compacto de forma que el haz pase por el agujero de la pantalla e incida sobre el disco (Fig. 11). Ajuste la posición del disco de modo que el haz incida perpendicular a su superficie, en una línea diametral horizontal y el haz reflejado de orden cero ( $m=0$ ) quede en la misma dirección de incidencia.



**Fig. 11.** Montaje experimental del CD

**E2.** Mida la distancia entre el disco y la pantalla y la posición de los máximos de difracción respecto del centro de la pantalla.

**E3.** Para los dos órdenes diferentes ( $m=1$  y  $m=2$ ), determine la distancia "d" entre surcos con su respectivo error.

¿Cuántos surcos hay en un mm diametral del disco?

## PREGUNTAS

1. ¿Cuáles requisitos deben cumplirse para que el máximo central de la envolvente del patrón de interferencia de la doble ranura contenga exactamente un número  $N$  de franjas? ¿Dependerá de la longitud de onda  $\lambda$ ?
2. ¿Cuál de las determinaciones de la longitud de onda del láser es más precisa: mediante ranuras simples o mediante las rejillas de difracción?. ¿Por qué?
3. Explique cómo se podría determinar la longitud de onda del láser utilizando una únicamente una regla metálica graduada.
4. Explique por qué se observa una diversidad de colores en la superficie de los discos compactos de música (CD).
5. ¿Por qué es más dañino mirar al láser directamente que mirar al Sol?  
¿Es acaso más potente la luz del láser que la del Sol?  
¿Es acaso más intensa la luz del láser que la del Sol?

## REFERENCIAS

1. E. Hecht y A. Zajac, *Optica*, Caps. 9 y 10, Fondo Educativo Interamericano, SA (1977).
2. D. Halliday, R. Resnick y K. Krane, *Física*, Vol. 2, Caps. 46, 47, Ed. Continental (1995).
3. R. A. Serway, *Física*, tomo 2, tercera edición, Caps. 37, 38, Mc Graw-Hill (1992).
4. P. A. Tipler, *Física*, tomo 2, segunda edición, Cap. 34, Editorial Reverté (1985).