

Estimación experimental de la memoria de un CD empleándolo como red de difracción.

Walter Bussenius Cortada¹

Instituto de Matemática y Física
Universidad de Talca

Difracción:

Si un haz de luz monocromático pasa por una rendija se produce el fenómeno de difracción (figura 1 a) y el haz al salir se ensancha y se observa un máximo de intensidad que se atenúa hacia ambos lados, sin embargo, luego aparecen otros máximos menos intensos, si representamos la intensidad de la luz en función de la distancia (x) desde el máximo de intensidad y alejándose perpendicularmente en la dirección del haz, se observa un gráfico como el de la figura 1 b:

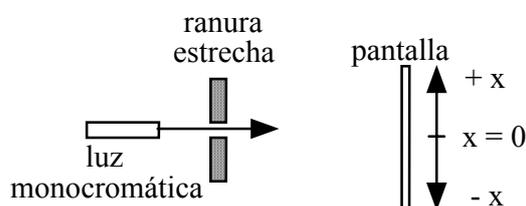


Figura 1 a

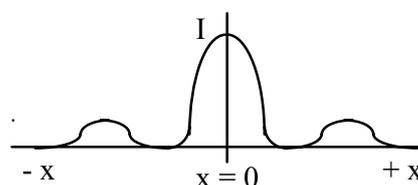


Figura 1 b

Interferencia por dos ranuras:

Si el experimento recién descrito se repite usando dos ranuras muy juntas (figura 2 a), dicho fenómeno se produce para ambas ranuras, pero además entre sendos haces emergentes se presenta una interferencia y se observa lo que muestra la figura 2 b. Allí se aprecia el fenómeno de difracción anterior, pero se agrega una interferencia, pues habrá zonas en que los montes de una onda interfieran con los montes de la otra onda y los con valles con los respectivos valles, se trata de interferencia constructiva. En cambio habrá otras zonas, en que se junte un monte de una onda con un valle de la otra y un valle de la primera con un monte de la segunda, generándose interferencia destructiva.

¹ Correo electrónico: wbussen@utalca.cl

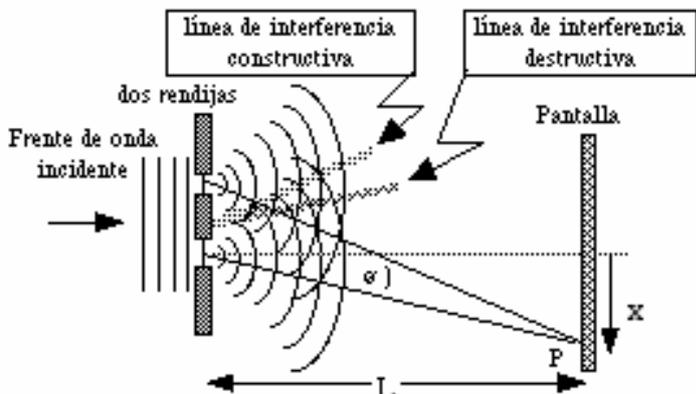


Figura 2 a

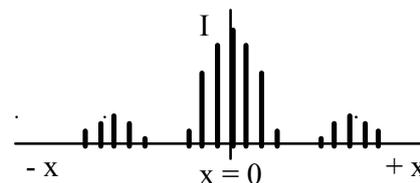


Figura 2 b

En las zonas de interferencia constructiva se reforzará la intensidad de luz recibida, mientras en las zonas de interferencia destructiva habrá una tendencia a que la intensidad resultante se anule; generándose así zonas alternadas brillantes y oscuras. Esto se intenta representar en la figura 2 b.

Por la interferencia que se presenta, la condición para que en el punto P exista un máximo de intensidad esta dada por (ver referencia 1):

$$N \lambda/d = x/L \quad N = 1, 2, \dots \quad (1)$$

en donde **N** corresponde al máximo contado a partir del máximo central, λ representa la longitud de onda de la luz usada, **d** la distancia entre las ranuras, **L** la distancia entre la pantalla y la doble ranura y **x** la distancia desde el máximo central hasta el máximo considerado; en esta situación $L \gg x$.

Red de difracción:

Si en la situación anterior se aumenta el número de ranuras, los máximos de intensidad se separan y se ven aisladamente, como muestra la figura 3 b.

Existe una situación más de interés, dado que se presenta en múltiples aplicaciones. Se trata de producir difracción por múltiples rendijas muy cercanas como muestra la figura 3 a. A un dispositivo de estas características se le llama red de difracción y habitualmente posee varios miles de ranuras por centímetro.

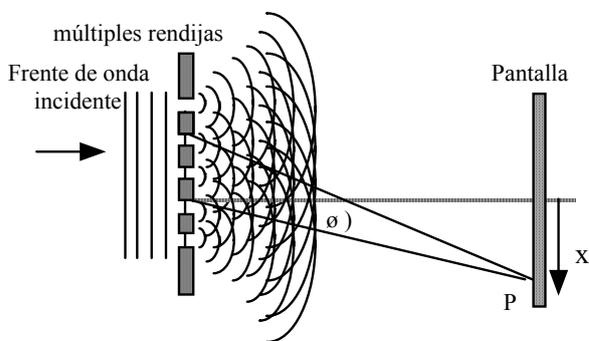


Figura 3 a

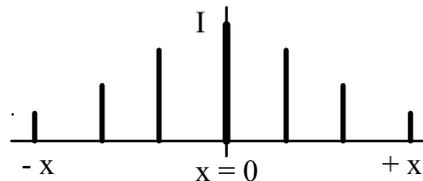


Figura 3 b

En una situación de este tipo, la onda que incide sobre las múltiples ranuras presenta a su vez múltiples difracciones en las respectivas rendijas, luego todas las ondas difractadas salientes interfieren entre sí, de manera que a la difracción inicial se agrega una interferencia.

Las múltiples ondas difractadas salen en diversas direcciones, avanzando en fase, pero recorren trayectorias distintas antes de alcanzar el punto P de la pantalla, por lo cual en dicho punto se presentará interferencia de las ondas que provengan de diferente rendija pero que sean de la misma longitud de onda. Así en dicho punto habrá una longitud de onda en particular para la cual las diferencias de camino debidos a las diferentes rendijas sean de 1,2, 3 o más longitudes de onda, pero llegarán a dicho punto con una diferencia de fase de 2π , 4π , 6π , etc. Para dichas ondas se presentará interferencia constructiva, otras longitudes de onda presentarán dicha interferencia en otra posición del eje x, algo corrida del punto P.

En resumen, si la luz usada es monocromática, en la pantalla se obtiene una serie de líneas a ambos lados del punto central, en el cual se tendrá un máximo de intensidad; las otras líneas corresponden a máximos secundarios. Si la luz usada es policromática, cada color presentará la distribución recién descrita, es decir un máximo central y varios máximos secundarios en ángulos diferentes. Puesto que en el centro todas las longitudes de onda formarán un máximo, se tendrá luz blanca, en cambio la ubicación de los máximos secundarios depende de la longitud de onda de la luz, por lo cual se verán zonas con un color al lado de otro, es decir el espectro de la luz, el cual se repetirá para cada posición de máximo secundario. Al primer espectro así formado se le llama de primer orden, al siguiente de segundo orden y así sucesivamente.

Si llamamos **d** a la distancia entre rendijas sucesivas y **θ** al ángulo en que se presenta el máximo en relación al máximo central (figura 3 a), debido a los fenómenos mencionados, se verifica la relación (ver referencia 1):

$$d \sin \theta = m \lambda \quad m = 1, 2, \dots \quad (2)$$

siendo λ la longitud de onda de la luz que presenta un máximo en el punto P y **m** el orden del espectro observado, ya que tal como existe el punto P en el que la diferencia de camino para determinada longitud de onda es de un número entero de longitudes de onda, existe también otros puntos, con ángulos mayores en que también se presenta dicha interferencia constructiva. De esta forma el espectro observado se repite cada ciertos intervalos, sólo que cada vez subtiende un ángulo mayor entre el violeta y el rojo. Esta situación se muestra en la figura 4.

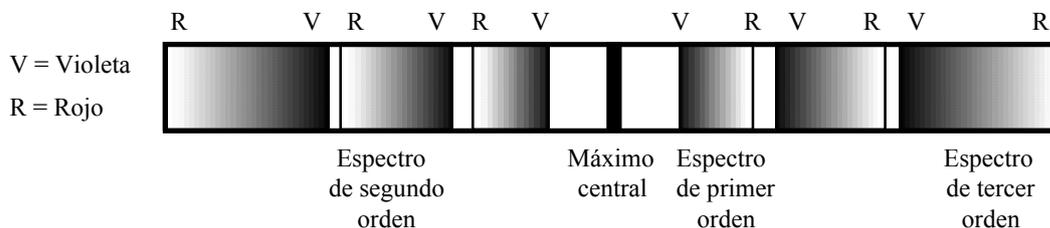


Figura 4

Consideremos una red de difracción que posee 6.200 líneas por pulgada. Si se ilumina con luz roja de $6,8 \times 10^{-5}$ (cm) ¿Cuántos máximos se alcanzan a observar y en qué ángulos?

Dado que 1 (pulgada) = 2,45 (cm), el espaciamiento entre las líneas es:

$$d = L/n = 2,45/6.200 = 3,95 \times 10^{-4} \text{ (cm)}$$

siendo L el largo de la red y n el número de líneas, teniendo presente ahora la relación (2) resulta posible despejar el ángulo θ en función de parámetros de la red, se tiene:

$$\theta = \arcsen (N \lambda / d) = \arcsen (N 6,8 \times 10^{-5} / 3,95 \times 10^{-4})$$

reemplazando ahora los valores $N = 1, 2, 3, 4$ se obtiene los ángulos: $10^\circ, 20^\circ, 31^\circ, 43^\circ, 59^\circ$, que corresponden a los órdenes 1 a 5 respectivamente, con el orden 6 y superiores el ángulo supera los 90° por lo que no se presenta esos casos.

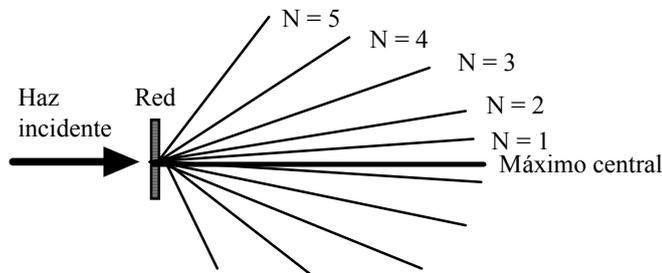


Figura 5

Resulta también posible medir la longitud de onda de un láser, por ejemplo, si disponemos una red de difracción cuya distancia entre ranuras es conocida y medimos el ángulo que subtenden los máximos de diversos órdenes observados, podemos determinar la longitud de onda de aquél.

Consideremos una red de ancho D y con N ranuras, la distancia entre ranuras viene dada por: $d = D/N$.

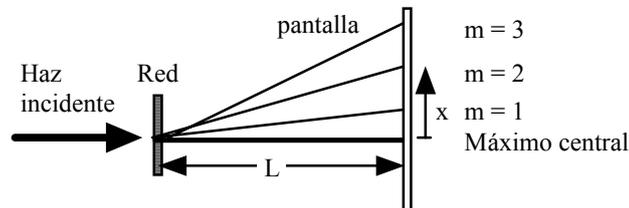


Figura 6

La tabla adjunta resume mediciones y resultados; allí los valores de la longitud de onda (λ) se obtienen aplicando la expresión (2).

Características de la Red			Mediciones experimentales				
N	D (cm)	d (cm)	m	x(m) (cm)	L (cm)	sen(θ)	λ (cm)
7.500	2,45	3,266e-4	1	76	390	0,191	6,248e-5
			2	154	390	0,367	5,999e-5
			3	247	390	0,535	5,826e-5
							(6,0±0,2)e-5

Estimemos ahora la memoria de un CD al emplearlo como red de difracción.

Consideremos un experimento como el anterior, sólo que en vez de usar una red de difracción calibrada, ahora empleamos un láser cuya longitud de onda sea conocida y determinaremos distancia entre surcos en el CD considerándolo como red de difracción.

Al usar un disco compacto (CD) como red de difracción, éste difracta la luz reflejada en él, de manera que experimentalmente el montaje debe considerar algunas diferencias. La figura 7 a) esquematiza dicha situación. Allí el rayo incidente se dibuja con una línea continua y los rayos reflejados con línea segmentada.

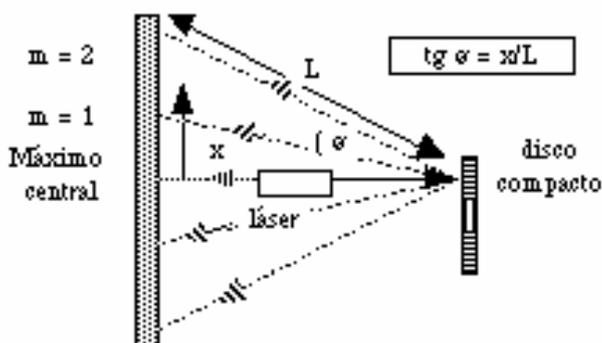


Figura 7 a

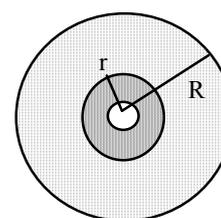


Figura 7 b

A objeto de hacer una comparación cuantitativa entre lo medido y lo esperado, en base a la memoria disponible en el CD, conociendo la distancia entre surcos representada por la letra **d** en la expresión (2), y suponiendo que el tamaño de un agujero tiene relación con dicha distancia, es factible estimar el área de un agujero; así el cociente entre el área total disponible del CD (**A**) y el área asociada a un agujero (**a**) tendremos la cantidad total de agujeros. Se tiene:

$$N_{\text{Bits}} = A/a \qquad N_{\text{Bytes}} = A/(8 a) \qquad (3)$$

La división por ocho se debe exclusivamente a que se obtiene el número de Bytes en lugar del los Bits (ver referencia 2).

Observando la figura 7 b puede estimarse el área posible de ser grabada en el CD; viene dada por:

$$N_{\text{Bytes}} = [\pi(R^2 - r^2)/(a)]/8 \qquad (4)$$

finalmente la memoria disponible tiene relación con el modelo que se emplee para asociar la forma al agujero. Algunos modelos son:

Modelo de agujero cuadrado.

Si consideramos los agujeros cuadrados y, la distancia **d** antes medida, corresponde a un lado de dicho cuadrado, el área será:

$$a = d * d \tag{5}$$

así la memoria del disco viene dada por:

$$N_{\text{Bytes}} = [\pi(R^2 - r^2)/(d^2)]/8 \tag{6}$$

La tabla adjunta resume las mediciones experimentales.

Mediciones experimentales							$\lambda = 0,00006$	
m	x(m)	L	sen(θ)	d	r	R	Memoria medida (MB)	Memoria esperada (MB)
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(cm)		
1	47	98	0,432	1,38750e-4	1,9	5,9	636	700
2	173	98	0,870	1,37916e-4	1,9	5,9	644	700

Se aprecia buena concordancia entre los valores medidos y los esperados en base a la memoria disponible del CD (≈ 700 MB). Se obtiene un valor algo inferior que difiere en menos de un 9%.

Modelo de agujero circular.

Si consideramos los agujeros circulares y la distancia **d** antes medida corresponde al diámetro de dicho círculo, el área será:

$$a = \pi (d/2)^2 \tag{7}$$

así la memoria del disco viene dada por:

$$N_{\text{Bytes}} = \{ \pi(R^2 - r^2)/[\pi (d/2)^2] \}/8 \tag{8}$$

La tabla adjunta resume las mediciones experimentales.

Nuevamente se aprecia buena concordancia entre los valores medidos y los esperados en base a la memoria disponible del CD (≈ 700 MB). Su valor es algo superior, no obstante difieren en menos de un 16%.

Mediciones experimentales							$\lambda = 0,00006$	
m	x(m) (cm)	L (cm)	sen(θ)	d (cm)	r (cm)	R (cm)	Memoria medida (MB)	Memoria esperada (MB)
1	47	98	0,432	1,38750e-4	1,9	5,9	810	700
2	173	98	0,870	1,37916e-4	1,9	5,9	820	700

A modo de comentario:

Estos modelos son bastante simplistas, posiblemente la situación real más complicada y por ello los valores sólo se asemejan.

Finalmente resta decir que si no se dispone de una red de difracción calibrada, puede utilizarse un láser de puntero y emplear la longitud de onda que en él se señala para estimar por medios ópticos la memoria de un disco compacto.

Referencias:

- [1] Sears, Francis. Fundamentos de Física III. Óptica. Edit. Aguilar S.A. Madrid (España) 1971.
- [2] Enciclopedia Wikipedia, la enciclopedia libre. (INTERNET).

