



Difracción de haces luminosos en el visible

Andrés Gómez Arias y Stefan Daniel Nellen Mondragón



Introducción

- Fenómeno en el cual una onda cambia su trayectoria al encontrarse con un obstáculo.
- Permite resolver estructuras microscópicas bajo las condiciones apropiadas.
- Difracción por una doble rendija: una estructura donde hay ya sean dos obstáculos o dos agujeros.
- Difracción de ondas electromagnéticas y partículas microscópicas (como electrones).

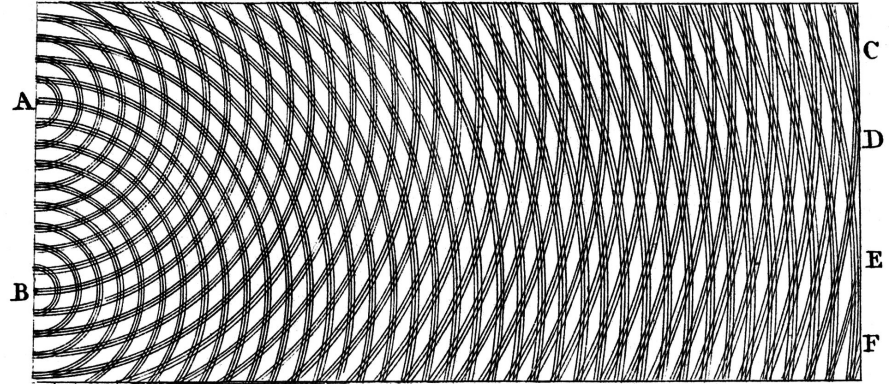


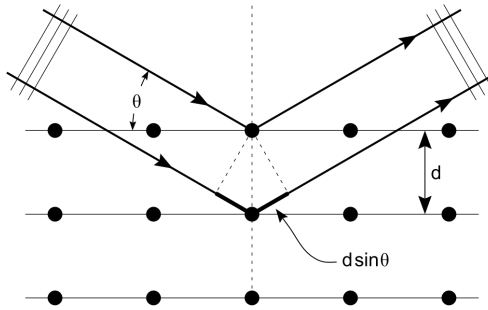
Diagrama de Thomas Young sobre la difracción de ondas en el agua (Royal Society, 1803).

Experimentos de difracción

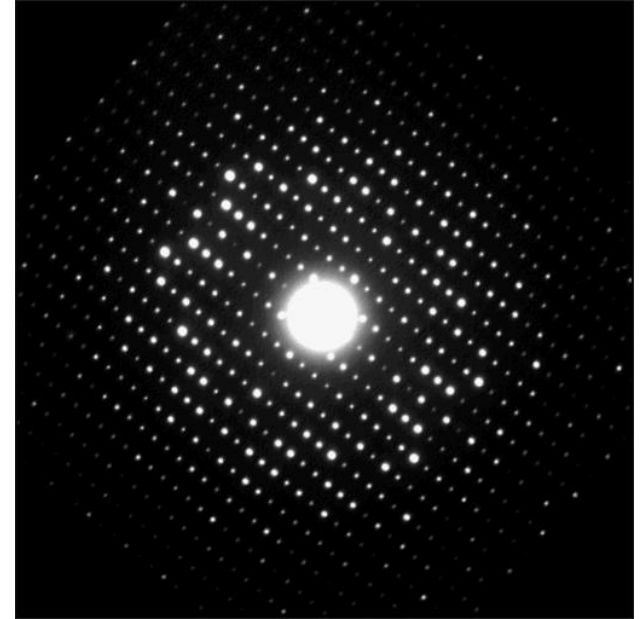
- Microondas: Dinámica de cargas en estado sólido.
- Visible: Resolver estructuras micrométricas (nuestro caso).
- Rayos X: Estructura cristalina (Ley de Bragg).
- Electrones: longitudes de onda menores a Rayos X.



CD con aperturas micrométricas.

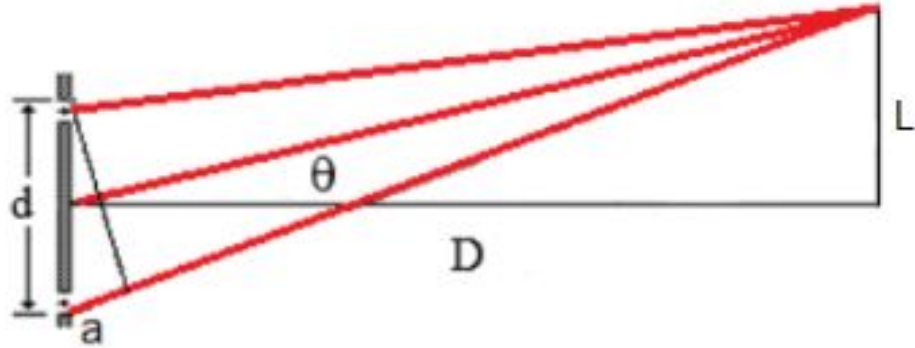


Esquema de Ley de Bragg.



Patrón de difracción de electrones para óxido de tántalo .

Marco Teórico



Intensidad de
doble rendija [1]

$$I(\theta) = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\theta) \right) \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin(\theta) \right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin(\theta)} \right]^2$$

D Distancia de rendija a pantalla.

L Distancia desde el centro de la pantalla.

d Separación entre las rendijas.

λ Longitud de onda del haz.

a Apertura de cada rendija.

$$\sin(\theta) = \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}} \quad \text{Aproximación de Fraunhofer.}$$

[1] Jim Napolitano Adrian C. Melissinos. *Experiments in Modern Physics*. 2.^a ed. Academic Press, 2003. Cap. 5.5. The Diffractions Grating, págs. 192-193.

Máximos en $d \sin(\theta) = \pm n\lambda$ y $\sin(\theta) = \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}}$

Lo que da una relación lineal entre distancia a la pantalla y longitud de máximos

$$L_n = M_n D$$

Con:

$$M_n = \frac{1}{\sqrt{a_n^2 - 1}} \quad \text{Factor de proporcionalidad adimensional.}$$

$$a_n = \frac{d}{n\lambda} \quad \text{Relación entre apertura y longitud de onda.}$$

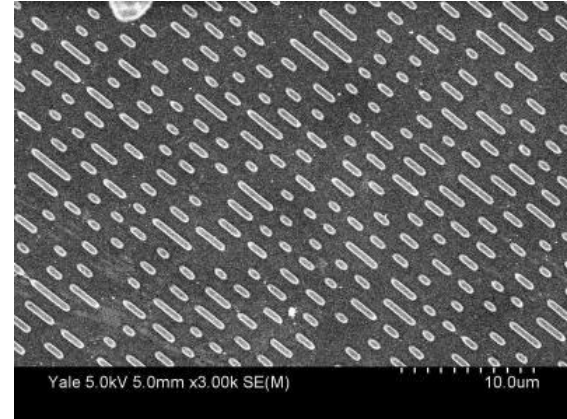
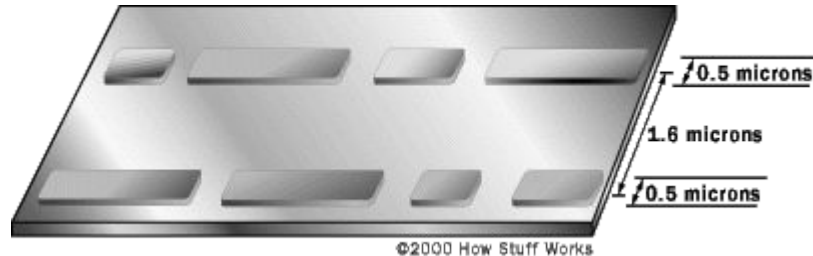
L_n Distancia al n-ésimo máximo desde el centro de la pantalla.

Tomaremos el primer máximo: $n = 1$

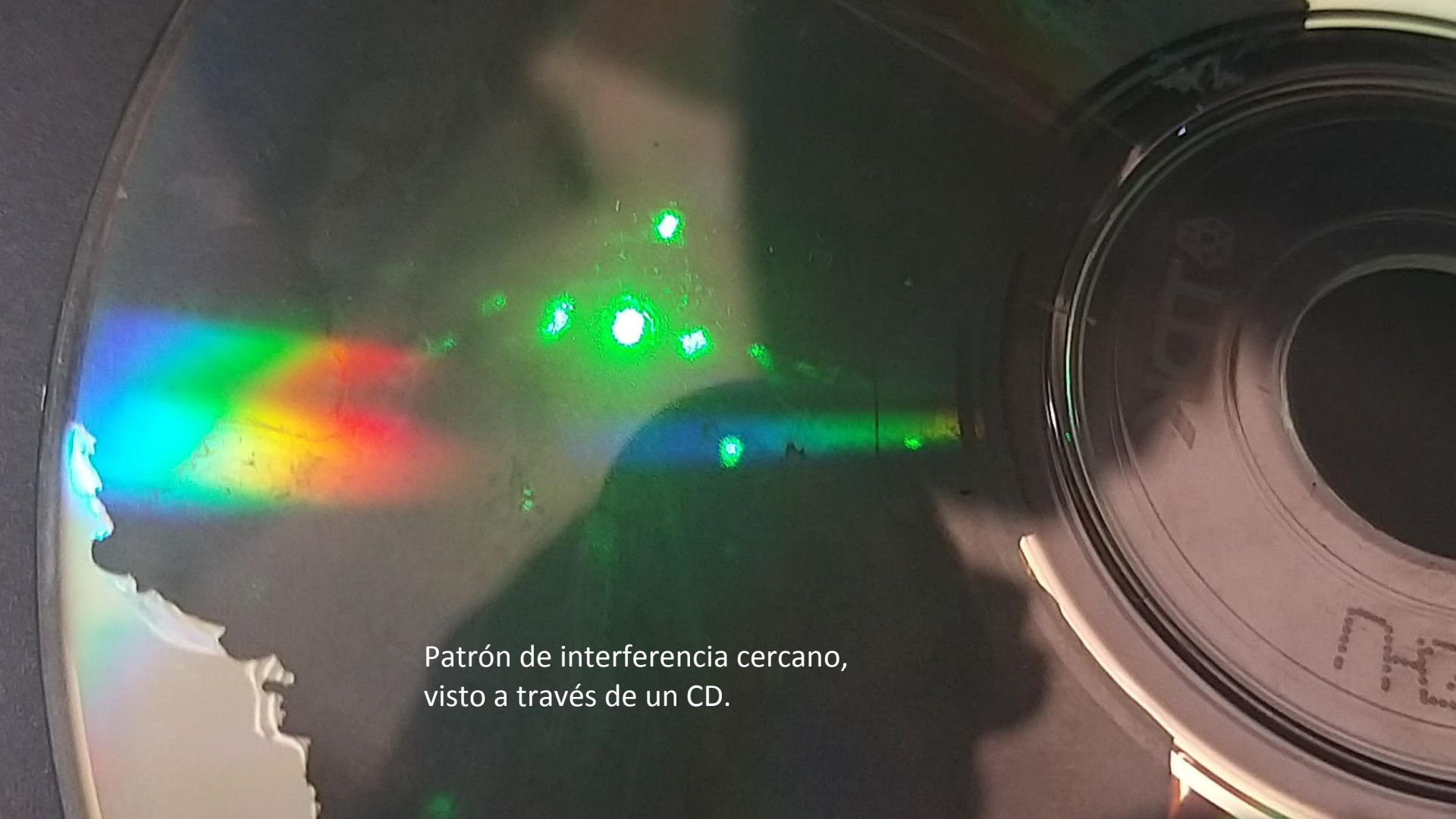
Estructura microscópica de un CD/DVD

- CD/DVD consiste de ranuras concéntricas de tamaños distintos.
- Distancia radial entre ranuras, el *track pitch*, constante.
- CD/DVD funciona como doble rendija.

$$d_{CD} = 1.6\mu\text{m} \quad d_{DVD} = 0.74\mu\text{m}$$



- [2] Ismail-Beigi Research Group. *Methods and Materials: CDs and DVDs*. URL: <https://volga.eng.yale.edu/teaching-resources/cds-and-dvds/methods-and-materials>. (accesado: 6.11.2020).

A close-up photograph of a CD's surface, showing the concentric tracks. A bright light source is reflecting off the surface, creating a series of sharp, bright spots and a broad, colorful rainbow-like spectrum. The spectrum is composed of distinct bands of blue, green, yellow, orange, and red. The bright spots are arranged in a pattern that suggests a diffraction experiment. The CD's surface is highly reflective, and the tracks are clearly visible as concentric circles.

Patrón de interferencia cercano,
visto a través de un CD.

Desarrollo experimental

- Láser verde de 532 nm
- Dos rejillas de difracción diferentes (CD y DVD)
- Mesa de soporte
- Cinta adhesiva
- Flexómetro
- Regla
- Hojas cuadriculadas
- Cámara de celular
- Tripie
- Cajas



Pantalla con retícula

Se coloca la regla sobre la
pantalla para afinar la escala

CD

Aquí se monta la cámara sobre el tripie

Láser

Regla

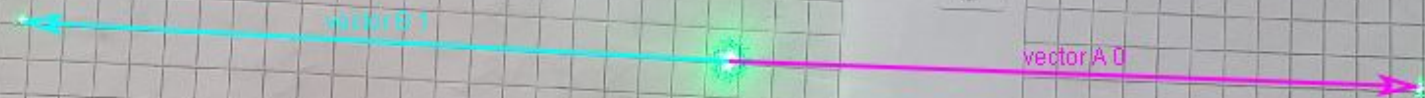
Control de Trayectorias



vector A

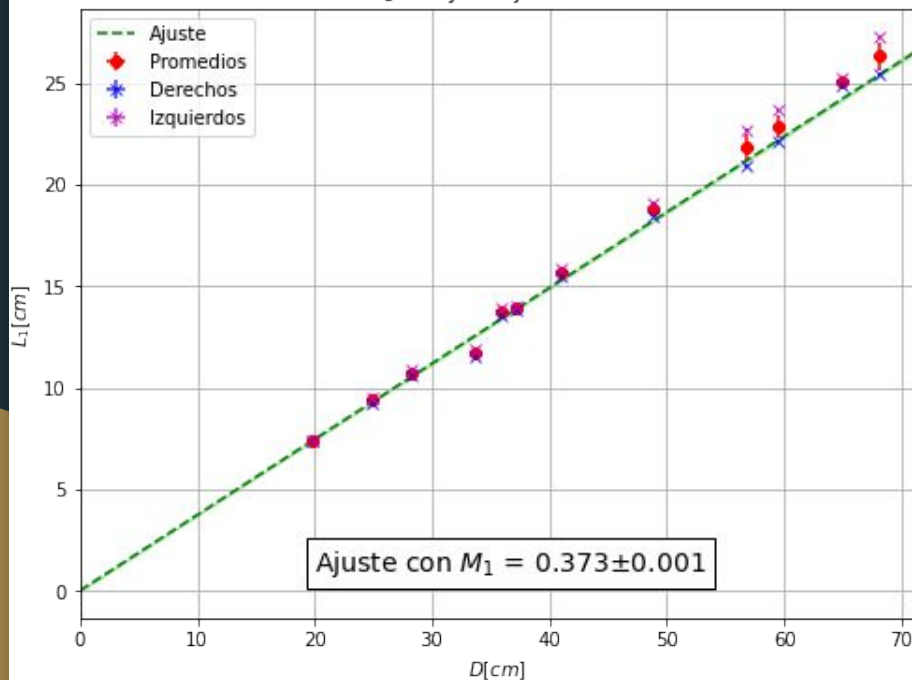


vector B



Resultados: CD-R

Relación $L_1 - D$ y su ajuste usando CD-R.



$$M_n = \frac{1}{\sqrt{a_n^2 - 1}}$$

$$a_n = \frac{d}{n\lambda}$$

Ajuste a la separación entre rendijas suponiendo

$$\lambda = 532 \pm 0.5 \text{ nm}$$

se obtiene

$$d_{fit} = 1.522 \pm 0.003 \mu\text{m}$$

error relativo del 4.9%.

O bien, de un ajuste longitud de onda suponiendo

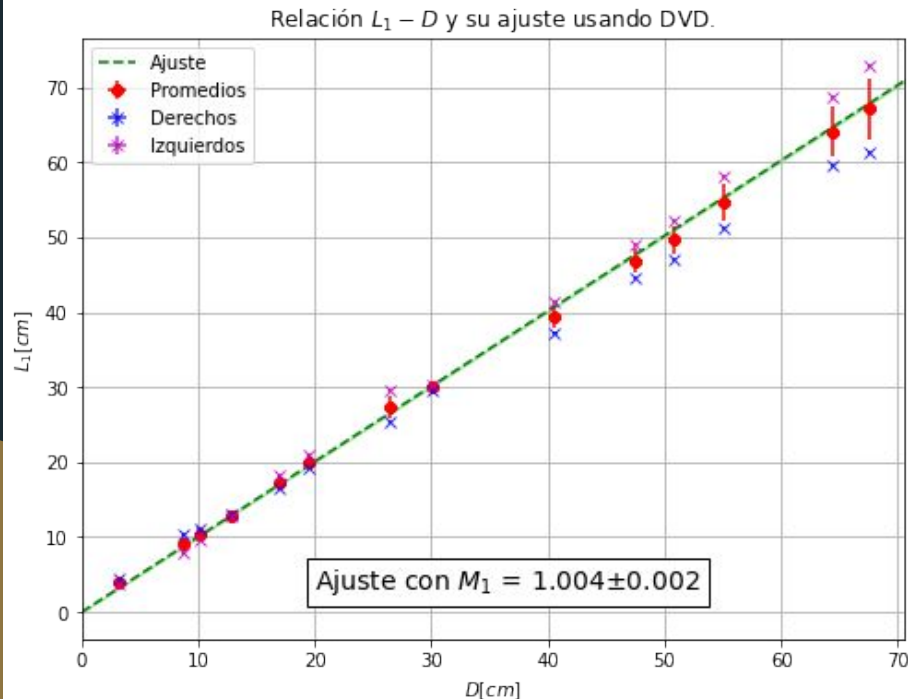
$$d = 1.6 \pm 0.05 \mu\text{m}$$

se obtiene

$$\lambda_{fit} = 559 \pm 18 \text{ nm}$$

error relativo del 5.1%.

Resultados: DVD



$$M_n = \frac{1}{\sqrt{a_n^2 - 1}}$$

$$a_n = \frac{d}{n\lambda}$$

Ajuste a la separación entre rendijas suponiendo

$$\lambda = 532 \pm 0.5 \text{ nm}$$

se obtiene

$$d_{fit} = 0.751 \pm 0.001 \mu\text{m}$$

error relativo del 1.5%.

O bien, de un ajuste longitud de onda suponiendo

$$d = 0.74 \pm 0.01 \mu\text{m}$$

se obtiene

$$\lambda_{fit} = 524 \pm 7 \text{ nm}$$

error relativo del 1.4%.

Discusión y conclusiones

- Los ajustes para la longitud de onda y tamaño de la rejilla son cercanos al valor nominal.
- El experimento es razonablemente bueno, pese a su naturaleza casera.
- La mayor fuente de error fue la alineación.
- Los puntos izquierdos y derechos difieren significativamente, pero los promedios resultan ajustar muy bien.
- Esta diferencia cuantifica el error de alineación, mediante la desviación estándar.
- Se puede mejorar la alineación de la cámara con el haz.
- Mejorar alineación del láser con el CD permitiendo ajustar ángulo vertical.
- En el laboratorio se podría utilizar un riel y diafragmas para alinear el sistema, así como una arreglo de detectores (como una cámara) en vez de una pantalla.

¡Gracias por su atención!