



Medición de la capacidad de un DVD

Gabriel Hernández Bello¹

¹ Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Ciencias Físicas.

Abstract

A partir de conceptos fundamentales en física óptica diseñamos un montaje experimental para determinar la capacidad de un DVD-R de 4.7 [GB] de almacenamiento. El experimento se basó en la estimación del espaciado entre los surcos que conforman el disco óptico para luego calcular la capacidad.

Las estimaciones obtenidas indicaron una capacidad de 4.43 ± 0.07 [GB] para un láser con longitud de onda $\lambda_r = 650$ [nm] (rojo) y 4.82 ± 0.07 [GB] para un láser con longitud de onda $\lambda_v = 530$ [nm] (verde). Estos valores presentaron un error relativo del 5.7 % para el láser rojo y 2.6 % para el láser verde, validando el proceso experimental y el tratamiento de los datos.

Palabras Claves — DVD, Láser, Patrón de Difracción, Óptica.

1. Introducción

El DVD es un disco óptico para almacenamiento de datos. Las siglas DVD corresponden a *Disco Versátil Digital*. Fue creado y desarrollado en 1995 con su primer lanzamiento para 1 Noviembre de 1996, en Japón. El medio puede almacenar cualquier tipo de datos digitales y se ha utilizado ampliamente para almacenar programas de vídeo (vistos con reproductores de DVD), software y otros archivos informáticos. Los DVD ofrecen una capacidad de almacenamiento significativamente mayor que los discos compactos (CD) aunque tienen las mismas dimensiones. Un DVD estándar de una sola capa puede almacenar hasta 4,7 GB de datos, un DVD de doble capa hasta 8,5 GB. Las variantes pueden almacenar hasta un máximo de 17,08 GB [1].

En este laboratorio trabajaremos con un DVD de capa simple y aprovecharemos sus características ópticas para estimar su capacidad.

2. Marco Teórico

Especificaciones del DVD

Los DVD almacenan información en una línea de *surcos* microscópicos dispuestos en una espiral que va desde el centro del disco hacia la circunferencia exterior. Así, todos los lectores de DVD utilizan láseres para leer la información codificada en los surcos. La longitud de onda del láser depende de la separación de

los surcos, en general esta es de $0.74 \mu\text{m}$.

Los DVD constan de tres capas: el sustrato de policarbonato transparente, la capa de colorante y la capa reflectante. En particular, la capa de reflexión se encuentra en medio de las capas de policarbonato. La más importante es la capa de reflexión que consta, en la mayoría de los casos, de una lámina de aluminio que vuelve la superficie del DVD reflectante. Lo anterior permite que el láser del lector se refleje para ser leído por el sensor de recogida de la unidad fotocaptora. [2].

Interferencia

Se habla de interferencia cuando dos o más ondas coinciden en la misma región del espacio en el mismo instante de tiempo. Luego, la función de onda total es la suma de las funciones individuales (Principio de Superposición), no así la intensidad de total de la onda. En el caso particular de dos ondas, la intensidad de la onda resultante queda expresada por la *ecuación de interferencia*:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi), \quad (1)$$

donde $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ representa el factor de *desfase* entre las ondas [3].

Difracción

En términos simples, la difracción es la curvatura de una onda alrededor de los bordes de una abertura o un obstáculo. Este fenómeno lo presentan todos los tipos de ondas. En particular, cuando la onda pasa

por una rejilla se forma un *patrón de difracción* caracterizado por máximos (puntos luminosos) y mínimos (puntos oscuros) de intensidad. Asimismo, es posible definir analíticamente los puntos de interferencia destructiva (mínimos) ocasionados por una rejilla, a través de la siguiente expresión:

$$d \sin(\theta_n) = n\lambda, \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

Donde d es el ancho de las ranuras en la rejilla, θ_n es el ángulo de incidencia que produce la intensidad mínima y λ es la longitud de la onda [4].

Trigonometría

Etimológicamente la palabra trigonometría significa *medida de los triángulos*. En efecto, es la ciencia que estudia las relaciones que ligán los lados de un triángulo y aplican esas relaciones al cálculo de los elementos desconocidos. En particular, la trigonometría se basa en el conocimiento de los ángulos de un triángulo que establecen conexiones llamadas *relaciones trigonométricas*. Las principales son el *seno*, *coseno* y la *tangente* [5].

3. Procedimiento Experimental y Resultados

Para este experimento utilizamos un DVD de una capa, compuesto por una capa vacía y otra con información (en adelante *capa/disco óptico*). Luego separamos ambas capas del DVD para trabajar únicamente con el disco que contiene toda la información, es decir, los surcos. Después, colocamos una pantalla de observación atrás del disco óptico y apuntamos un láser hacia este generando un patrón de difracción, visible en la pantalla, a causa de los surcos que componen la capa óptica. Para asegurar la estabilización del láser utilizamos un soporte universal.

Experimentalmente medimos la distancia entre el DVD y la pantalla de observación (d), así como el espaciado de los surcos observado en el patrón de difracción (L), en particular, medimos la separación entre el haz de luz original (orden $n = 0$) y el primer mínimo de interferencia visible en la pantalla (orden $n = 1$). Finalmente, calculamos el ángulo de apertura (θ) para la posterior estimación de la separación entre los surcos en el disco óptico (D), (Figuras 2 y 3).

El valor del ángulo θ fue calculado mediante la siguiente expresión:

$$\tan(\theta) = \frac{L}{d} \implies \theta = \arctan\left(\frac{L}{d}\right). \quad (3)$$

Esta relación se puede apreciar mejor en la figura 1 donde se explicita la relación entre las distancias y el ángulo en cuestión.

A continuación, utilizamos el concepto de patrón de difracción para estimar la separación entre los surcos.

Para ello, notemos que L representa la distancia hasta el primer mínimo de interferencia. Esto implica que trabajamos para $n=1$ en la expresión 2, es decir:

$$D = \frac{\lambda}{\sin(\theta)}, \quad n = 1. \quad (4)$$

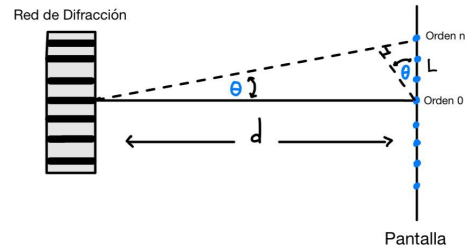


Figura 1: Diagrama de la situación física del experimento. La red de difracción es generada por el DVD.

En los cuadros 1 y 2 se recogen los valores obtenidos para el experimento realizado con un láser de longitud de onda $\lambda_r = 650[\text{nm}]$ (rojo) y $\lambda_v = 530[\text{nm}]$ (verde), respectivamente. Sin embargo, un láser rojo emite luz con una longitud de onda entre $620\text{-}750[\text{nm}]$, mientras que un láser verde oscila alrededor de $495\text{-}570[\text{nm}]$ [6]. Luego, consideraremos un error asociado a la longitud de onda de $65[\text{nm}]$ para el láser rojo y $37.5[\text{nm}]$ para el láser verde, es decir, la mitad de la diferencia de los extremos en el rango de valores asociado.

Por otra parte, el error asociado a la medida del ángulo θ y el espaciado del surco D son calculados de manera analítica con la siguiente fórmula [7]:

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \sigma_y^2 \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + \sigma_z^2 \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2 + \dots \quad (5)$$

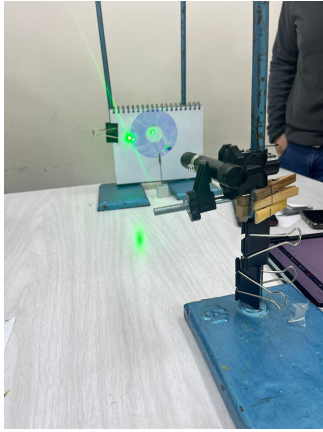


Figura 2: Montaje experimental para el láser verde

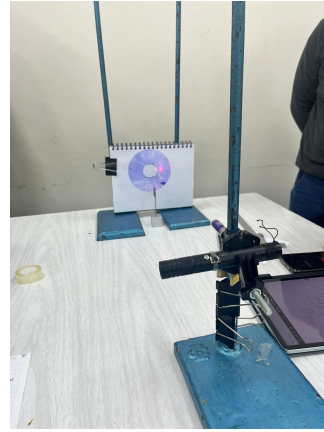


Figura 3: Montaje experimental para el láser rojo

d (m)	L (m)	θ (rad)	D (nm)
0.0240 ± 0.0005	0.034 ± 0.0005	0.95600 ± 0.00003	783.41 ± 0.44
0.0300 ± 0.0005	0.0440 ± 0.0005	0.97000 ± 0.00002	757.86 ± 0.44
0.0400 ± 0.0005	0.0610 ± 0.0005	0.99000 ± 0.00002	765.52 ± 0.43
0.0500 ± 0.0005	0.0730 ± 0.0005	0.97000 ± 0.00001	775.86 ± 0.44
0.0600 ± 0.0005	0.0890 ± 0.0005	0.97700 ± 0.00001	772.17 ± 0.44
0.0700 ± 0.0005	0.1030 ± 0.0005	0.97300 ± 0.00001	774.27 ± 0.44
0.0800 ± 0.0005	0.1190 ± 0.0005	0.97800 ± 0.00094	771.65 ± 0.44
0.0900 ± 0.0005	0.1360 ± 0.0005	0.98600 ± 0.00086	767.54 ± 0.44
0.1000 ± 0.0005	0.1550 ± 0.0005	0.99700 ± 0.00080	762.04 ± 0.44
0.1100 ± 0.0005	0.1640 ± 0.0005	0.97900 ± 0.00069	771.14 ± 0.44
0.1200 ± 0.0005	0.1720 ± 0.0005	0.96100 ± 0.00059	780.71 ± 0.45
0.1300 ± 0.0005	0.1860 ± 0.0005	0.96000 ± 0.00054	781.25 ± 0.45
0.1400 ± 0.0005	0.2030 ± 0.0005	0.96700 ± 0.00051	777.46 ± 0.45
0.1500 ± 0.0005	0.2200 ± 0.0005	0.97200 ± 0.00049	774.80 ± 0.45

Cuadro 1: Ángulos y Distancias Medidas para el láser rojo

d (m)	L (m)	θ (rad)	D (nm)
0.0220 ± 0.0005	0.0240 ± 0.0005	0.82500 ± 0.00094	718.98 ± 0.44
0.0300 ± 0.0005	0.0320 ± 0.0005	0.81700 ± 0.00051	726.48 ± 0.44
0.0400 ± 0.0005	0.0420 ± 0.0005	0.80900 ± 0.00029	731.90 ± 0.43
0.0500 ± 0.0005	0.0550 ± 0.0005	0.83000 ± 0.00060	716.27 ± 0.44
0.0600 ± 0.0005	0.0660 ± 0.0005	0.83200 ± 0.00037	716.27 ± 0.44
0.0700 ± 0.0005	0.0770 ± 0.0005	0.83200 ± 0.00032	716.27 ± 0.44
0.0800 ± 0.0005	0.0850 ± 0.0005	0.81500 ± 0.00018	727.82 ± 0.44
0.0900 ± 0.0005	0.0980 ± 0.0005	0.82700 ± 0.00022	719.59 ± 0.44
0.1000 ± 0.0005	0.1090 ± 0.0005	0.82800 ± 0.00020	719.25 ± 0.44
0.1100 ± 0.0005	0.1200 ± 0.0005	0.82800 ± 0.00018	718.98 ± 0.44
0.1200 ± 0.0005	0.1310 ± 0.0005	0.82900 ± 0.00017	718.75 ± 0.45
0.1300 ± 0.0005	0.1430 ± 0.0005	0.83200 ± 0.00017	716.27 ± 0.45
0.1400 ± 0.0005	0.1510 ± 0.0005	0.82300 ± 0.00012	722.74 ± 0.45
0.1500 ± 0.0005	0.1610 ± 0.0005	0.82000 ± 0.00011	724.38 ± 0.45

Cuadro 2: Ángulos y Distancias Medidas para el láser verde

4. Análisis

En las figuras 4 y 5 se grafican los datos obtenidos para la separación de los surcos (D) y el ángulo de separación desde el centro hasta el primer mínimo de intensidad medidos para un láser rojo y uno verde, respectivamente. Además, se grafica la aproximación lineal de los datos para caso representado por la línea punteada. De ambas figuras podemos concluir que las variables guardan una relación *inversamente proporcional*. Esta correspondencia la podemos verificar en la ecuación 2. Puesto que n y λ son constantes, a efectos del laboratorio, es de esperar que las variables D y θ guarden una relación inversamente proporcional.

Notemos que la variación del espaciamiento del surco medido experimentalmente se ve restringida en el intervalo 773-795 [nm] para el láser rojo y 716-795[nm] para el láser verde. Por lo tanto, teniendo en cuenta que los valores se encuentran en un intervalo reducido, y por simplicidad; se considerará el valor promedio de los datos obtenidos en cada caso para estimar la capacidad del DVD. Estos son $D_r = 785,5 \pm 5,9$ [nm] para el láser rojo y $D_v = 721,0 \pm 4,7$ [nm] para el láser verde.

Ahora bien, podemos estimar la capacidad del DVD considerando que el radio grabable del disco, medido experimentalmente, es de 3.7 ± 0.5 [mm]. Además, el *valor real* del espaciamiento del surco aparece representado en la literatura con un valor de 740 [nm] [8]. De lo anterior, podemos definir la *densidad lineal de surcos* como la cantidad de surcos por unidad de longitud (radio grabable del disco), tal que:

$$\sigma = \frac{3,7 \cdot 10^{-2}[m]}{740 \cdot 10^{-9}[m]} = 50000 \quad (6)$$

La relación 6 representa que hay 50000 surcos por cada metro grabable en el DVD. En este sentido, dado que la capacidad real del disco es de 4.7 [GB], podemos relacionar los valores obtenidos experimentalmente con la capacidad estándar de 4.7 [GB] por cada 50000 surcos. De esta forma, obtenemos las densidades lineales de 47099.3 \pm 478.2 para el láser rojo y 51317.6 \pm 769.9 para el verde, lo que se traduce en capacidades de 4.43 \pm 0.07[GB] y 4.82 \pm 0.07[GB], respectivamente. Cabe mencionar que los errores de propagación, tanto de las densidades como de la capacidad resultante, fueron calculados con la expresión 5.

Por otra parte, sabemos que el valor real de almacenamiento del DVD es de 4.7 [GB], por lo tanto, podemos calcular el error asociado a los valores obtenidos para el láser rojo y verde. Así, obtenemos un error de 5.7 % para el láser rojo y de 2.6 % para el láser verde.

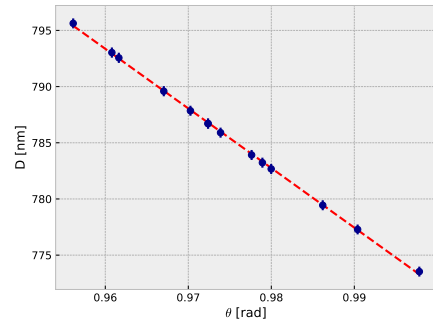


Figura 4: Gráfico del tamaño de los surcos del disco óptico en función del ángulo de desviación del láser rojo $\lambda_r = 650$ [nm].

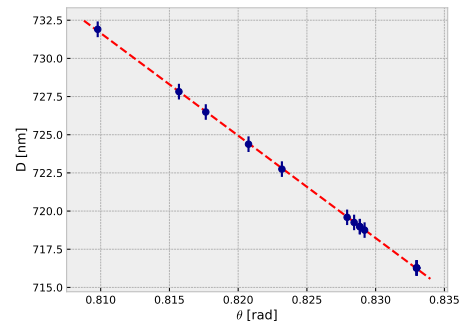


Figura 5: Gráfico del tamaño de los surcos del disco óptico en función del ángulo de desviación del láser verde $\lambda_v = 530$ [nm].

5. Conclusión

En este laboratorio logramos estimar la capacidad de un DVD utilizando sus características ópticas a nuestro favor. Obtuvimos como resultado una capacidad de 4.43 \pm 0.07[GB] para el láser rojo y 4.82 \pm 0.07[GB] para el láser verde. Los valores estimados presentaron un error poco significativo de tan solo 5.7 % y 2.7 % para el láser rojo y verde, respectivamente. Argumentamos que los errores asociados a la medición son consecuencia de imprecisiones en el proceso experimental, como la dispersión del láser o la falta de exactitud al alejar el DVD de la pantalla. No obstante, la baja magnitud de estos errores sugieren una correcta ejecución del experimento y un adecuado tratamiento de los datos. Rescatamos que el análisis presentado en el informe fue satisfactorio, aplicando conceptos fundamentales en óptica y ondas para determinar la capacidad del DVD, y obteniendo estimaciones cercanas al valor real. Además, los procedimientos seguidos fueron validados de forma coherente lo que reafirma la validez del enfoque experimental y los métodos utilizados para alcanzar el resultado final.

Referencias

- [1] Colaboradores de Wikipedia. *DVD*. wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/DVD>.
- [2] International Association of Sound and Audiovisual Archives. *Descripción de los CDs y DVDs grabables*. iasa. <https://www.iasa-web.org/tc04-es/814-descripci%C3%B3n-de-los-cds-y-dvds-grabables>.
- [3] José G. Aguirre. *Óptica Ondulatoria u Óptica Física*. Universidad de Concepción.
- [4] Wikipedia contributors. *Diffraction*. wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_disc.
- [5] Agustín Anfossi and Marco A Flores Meyer. *Trigonometría rectilínea*. Editorial Progreso, 1989.
- [6] ThoughtCo. *The Visible Spectrum: Wavelengths and Colors*. <https://www.thoughtco.com/understand-the-visible-spectrum-608329>.
- [7] Department of Physics and Astronomy. *Measurement and Uncertainty Analysis Guide*. University of North Carolina.
- [8] Wikipedia contributors. *Compact Disc*. wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_disc.