

# Medición de la Distancia entre Rendijas por Difracción de un Haz de Luz en Distintos Medios

Gabriel Ortega Gutierrez<sup>1</sup>

Septiembre 2022

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.*

---

## Resumen

En el presente artículo se muestra la realización de varios experimentos prácticos y fácilmente replicables de difracción y refracción de un haz de luz rojo con la finalidad de obtener una estimación de la capacidad de almacenamiento de un disco **DVD** y del grosor de un cabello humano. Por otro lado el cálculo del índice de refracción del agua. Con estos fines fue utilizada la ecuación de rejilla de difracción y la Ley de Snell. Los resultados fueron sustanciales, obteniendo un valor muy cercano al valor real en todas las experiencias.

**Palabras Claves:** Difracción, Refracción, DVD

---

## 1. Introducción

Es conocido que la forma de almacenar información de un disco compacto (**CD** o **DVD**) es a través de pequeños surcos nanométricos que las computadoras interpretan como información en binario, estos surcos generan pequeños espaciados que podrían obstaculizar el paso de un haz luz generando un llamado *fenómeno de difracción*. Por otro lado también sabemos que el diámetro típico del cabello humano ronda las micras. Este cabello de manera análoga a los surcos del disco podría obstaculizar el paso de la luz generando el mismo fenómeno, un patrón de interferencia, de manera que ambas cosas pueden considerarse como las llamadas *rendijas*, las cuales han sido estudiadas previamente y podemos modelar. Con esta información conocida en consideración presentamos un método experimental basado en la difracción de la luz para estimar tanto la capacidad de almacenamiento de un disco compacto como también el grosor del cabello humano, además de también utilizar este mismo método para calcular el índice de refracción del agua. Con estos fines se hará uso de la óptica ondulatoria, esto es principalmente la ecuación de la red de difracción y la Ley de Snell (vease [1]).

Para la finalidad descrita se mostrarán en el documento el desarrollo y los resultados de las 3 experiencias de laboratorio donde se llevaron a cabo las mediciones necesarias y los cálculos pertinentes para las estimaciones deseadas.

## 2. Marco Teórico

Considerando la fenomenología observada (difracción y refracción) es necesario hacer uso del modelo de la óptica ondulatoria u óptica física, la cual en nuestra teoría clásica describe a la luz como una

onda que se propaga en el espacio siguiendo la **Ecuación de Onda**, esto es:

$$\nabla^2 u - \frac{1}{c^2} \frac{\partial u}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

La cual es lineal y cumple el principio de superposición, esto es, la combinación de varias ondas genera también otra onda que también es solución a la ecuación (1). Gracias a esto es posible describir los fenómenos observados al incidir con un haz de luz sobre los surcos del **DVD** y sobre el cabello, generando el llamado *patrón de interferencia*, el cual puede ser descrito como una superposición constructiva y destructiva de las ondas al separarse al pasar por una rendija, véase la figura (1).

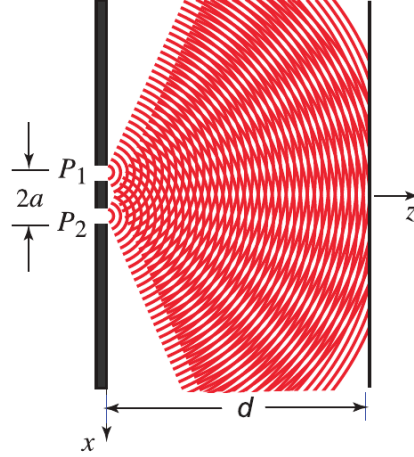


Figura 1: Patrón de Interferencia por Superposición de Ondas al Pasar por una rendija.

Esta interferencia es posible modelarla usando el concepto de *Intensidad Óptica*, donde esta alcanza máximos en las zonas de interferencia constructiva y mínimos en zonas de interferencia destructiva, luego a partir de la ecuación de interferencia (vease [1], pag 61) es posible encontrar bajo ciertas aproximaciones una relación entre la distancia entre máximos y la distancia de la rendija a la pantalla, esta es:

$$2a \sin \theta = m\lambda. \quad (2)$$

Luego, si consideramos  $m = 1$  para medir entre los primeros máximos de interferencia podemos escribir  $\sin \theta = x/d$ , donde  $x$  representa esta distancia y  $d$  representa la distancia de la rendija a la pantalla, con lo cual podemos escribir:

$$2a = \frac{d}{x} \lambda. \quad (3)$$

De manera que obtenemos una ecuación muy conveniente que nos entrega la distancia entre rendijas a partir de mediciones de la distancia a la pantalla, distancia entre los primeros máximos de interferencia y la longitud de onda del rayo incidente, variables que en nuestro caso pueden ser controladas y medidas.

Por otro lado es sabido que la óptica ondulatoria describe de igual manera los fenómenos descritos por la óptica de rayos, esto es, se cumple de igual manera la conocida **Ley de Snell**, de donde es posible obtener el índice de refracción de un medio como:

$$n_2 = n_1 \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}. \quad (4)$$

Pero entrega además una forma análoga a esta otra expresión para  $n_2$ , esto es, gracias a que la frecuencia de la onda se mantiene constante al cambiar de medio, se tiene:

$$n_2 = \frac{\lambda}{\lambda_2} \quad (5)$$

Relacionando las longitudes de onda del rayo del medio incidente y del medio incidido.

### 3. Materiales y Procedimiento

Para la realización de los experimentos antes mencionados se hizo uso de un láser rojo típico de una longitud de onda conocida de  $\lambda = (640 \pm 10) \text{ nm}$ , una huincha metrica de sensibilidad de  $0,1 \text{ cm}$ , un disco **DVD**, un recipiente de vidrio de cocina y un cabello humano.

Con los cuales podemos comenzar a describir los procedimientos realizados en cada experiencia.

#### 3.1. Estimación de capacidad de almacenamiento de un DVD

En esta experiencia se procedió inicialmente al montaje de los componentes a utilizar en una mesa firme, esto es, se colocó el disco compacto paralelamente a la pared a una distancia controlada  $d$  y se colocó el láser perpendicularmente al disco a  $10 \text{ cm}$  de este en dirección a la pared. Con esta disposición se procedió a incidir el láser en el disco observando un patrón de difracción en la pared, donde se procedieron a realizar mediciones con una huincha métrica de la distancia entre los primeros máximos y la distancia  $d$  del disco a la pared, vease la figura (2).

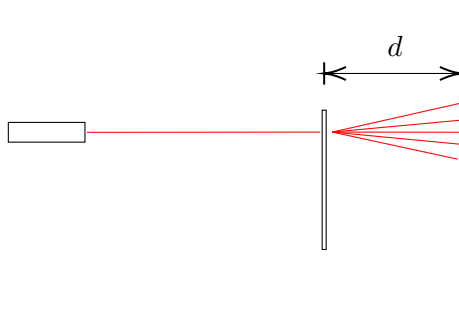


Figura 2: Esquema del Montaje Experimental

Se utilizaron 4 distancias  $d$  controladas, estas fueron  $20 \text{ cm}$ ,  $30 \text{ cm}$ ,  $40 \text{ cm}$  y  $50 \text{ cm}$  para cada una de las cuales se tomaron 10 mediciones de la distancia entre máximos. Luego de estas mediciones se procedió a promediar la distancia entre máximos. Además de esto se midieron los radios internos y externos del disco, para poder calcular su area, estos fueron  $R_1 = 2,2 \text{ cm}$  y  $R_2 = 2,2 \text{ cm}$  respectivamente.

#### 3.2. Estimación del diámetro de un cabello humano

En esta experiencia nuevamente se procedió inicialmente al montaje de los componentes a utilizar en una mesa firme, esto es, se colocó el cabello tenso en un marco paralelamente a la pared a una distancia controlada  $d$  y se colocó el láser hacia el cabello a  $10 \text{ cm}$  de este en dirección a la pared. Con esta disposición se procedió a incidir el haz de luz en el cabello observando nuevamente un patrón de interferencia en la pared, donde se procedieron a realizar mediciones con una huincha métrica de la distancia entre los primeros máximos y la distancia  $d$  del cabello a la pared, véase la figura (3).

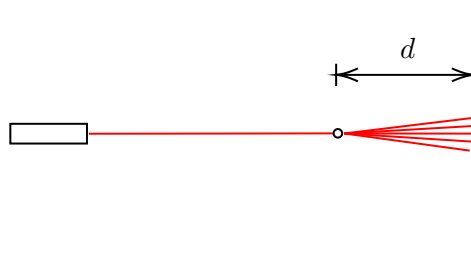


Figura 3: Esquema montaje experimental 2

Se utilizaron 5 distancias  $d$  controladas, estas fueron  $50 \text{ cm}$ ,  $60 \text{ cm}$ ,  $70 \text{ cm}$ ,  $80 \text{ cm}$  y  $90 \text{ cm}$ , para cada

una de las cuales se tomaron 10 mediciones de la distancia entre máximos. Luego de estas mediciones se procedió a promediar la distancia entre máximos.

### 3.3. Estimación del índice de refracción del agua (Dos Métodos)

#### 3.3.1. 1er Método: Ley de Snell

En esta experiencia para estimar el índice de refracción de agua se procedió inicialmente al montaje de los componentes a utilizar en una mesa firme, esto es, colocar el recipiente de vidrio lleno de agua sobre una grilla con medidas marcadas y el láser incidiendo sobre este en un ángulo conocido  $\theta_1$  respecto a la normal, tal como se muestra en la figura (4):

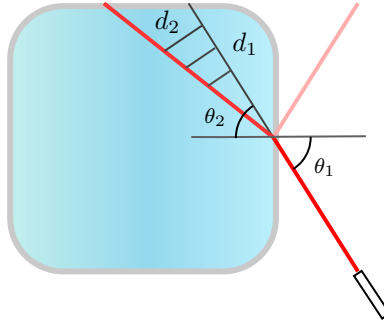


Figura 4: Esquema Montaje experimental 3

De manera que sobre la grilla se marco el camino que debería seguir la luz si esta no sufriera una refracción, marcando 3 distancias  $d_1$  controladas, estas fueron de  $3\text{ cm}$ ,  $5\text{ cm}$  y  $7\text{ cm}$ , para luego medir la distancia  $d_2$  de desvío del rayo, de manera que se puede obtener el ángulo de desvío con algunas relaciones trigonométricas posteriores. Luego se promediando 10 distancias medidas  $d_2$  para cada distancia  $d_1$ .

#### 3.3.2. 2do Método: Red de Difracción

En esta experiencia para estimar con un nuevo método el mismo índice de refracción del agua se procedió inicialmente al montaje de los componentes a utilizar en una mesa firme, esto es, colocar el recipiente de vidrio lleno de agua con un disco compacto dentro y el láser incidiendo sobre este perpendicularmente en dirección hacia el recipiente y una pantalla posterior, tal como se ve en la figura (5):

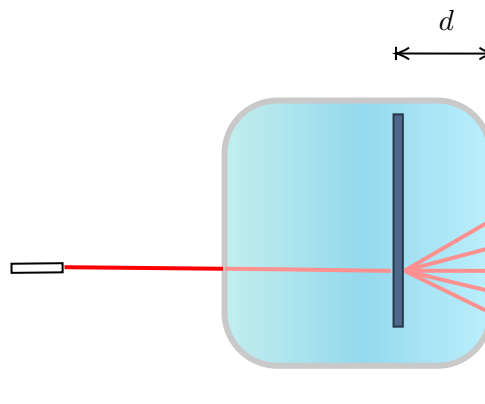


Figura 5: Esquema Montaje experimental 4

Se utilizaron 4 distancias controladas  $d$ , estas fueron  $4\text{ cm}$ ,  $5\text{ cm}$ ,  $6\text{ cm}$  y  $7\text{ cm}$ , para cada una de las cuales se tomaron 10 mediciones de distancia entre máximos. Luego de estas mediciones se procedió a promediar la distancias entre máximos.

## 4. Resultados y Análisis

### 4.1. Resultados de estimación de almacenamiento de un DVD

Luego de la obtención de datos de la primera experiencia descrita anteriormente se procedió a graficar la relación entre las distancias medidas como sigue:

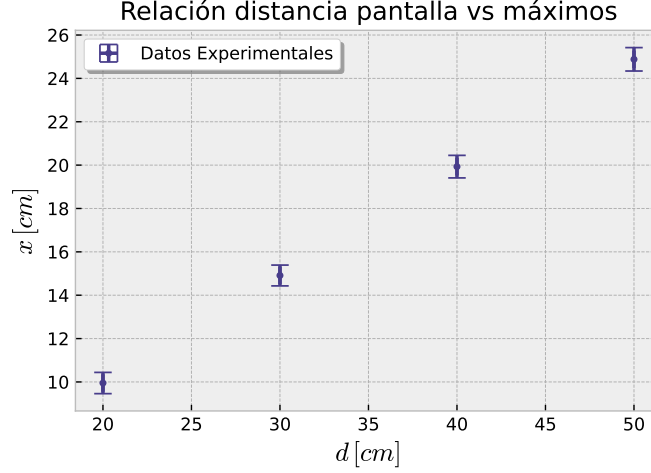


Figura 6: Datos experimentales disco compacto

Cabe mencionar que el análisis de residuos de los datos arrojó un comportamiento aleatorio.

Además se puede ver claramente un comportamiento lineal entre las distancias descritas tal como lo es nuestro modelo utilizado.

A partir de estos datos obtenidos y el valor conocido de la longitud de onda del laser, es posible utilizar la ecuación (3) para estimar la distancia entre surcos del disco, obteniendo así:

$$d_{surcos} = (1,290 \pm 0,053) [\mu m]$$

Luego con este cálculo en consideración podemos estimar el valor de la capacidad del disco considerando que los surcos tienen una forma aproximadamente cuadrada y lados con longitud  $d_{surcos}$  que almacenan en promedio 1 *byte* de información. Estos estarán dispuestos dentro del área del disco, por lo tanto la capacidad de información podrá ser estimada según cuantos surcos pueden disponerse en el area, esto es:

$$C = \frac{A_{disco}}{d_{surcos}^2}$$

donde  $C$  representa la cantidad de surcos que caben en el disco, luego si cada espacio tiene 1 *byte* de información, se puede estimar la capacidad de almacenamiento de el disco, obteniendo una capacidad de almacenamiento de:

$$X = (4,84 \pm 0,73) [MB]$$

El cual es valor bastante parecido al valor real de  $4,7 [MB]$  de la capacidad de almacenamiento de un **DVD**.

### 4.2. Resultados estimación del diámetro de un cabello humano

Luego de la obtención de datos de la segunda experiencia descrita anteriormente se procedió a graficar la relación entre las distancias medidas como sigue:

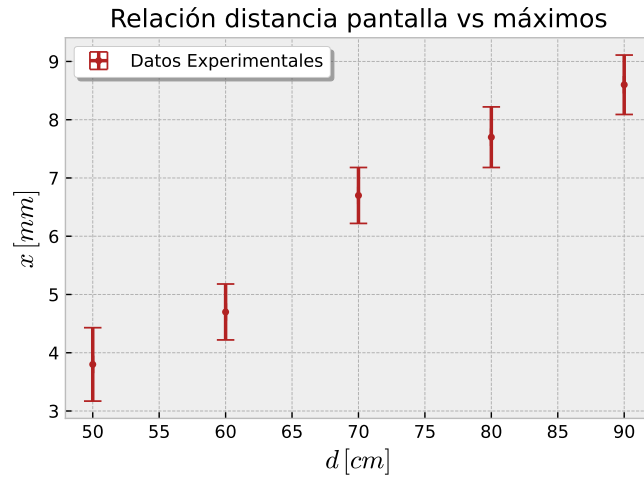


Figura 7: Datos Experimentales cabello humano

Cabe mencionar que también en esta experiencia el análisis de residuos de los datos arrojó un comportamiento aleatorio.

Además nuevamente se puede ver claramente un comportamiento lineal entre las distancias descritas tal como lo es nuestro modelo utilizado.

### 4.3. Resultados estimación del índice de refracción del agua (Dos Métodos)

#### 4.3.1. 1er Método: Ley de Snell

Luego de la obtención de datos de esta parte de la tercera experiencia descrita anteriormente se procedió a graficar la relación entre las distancias medidas como sigue:

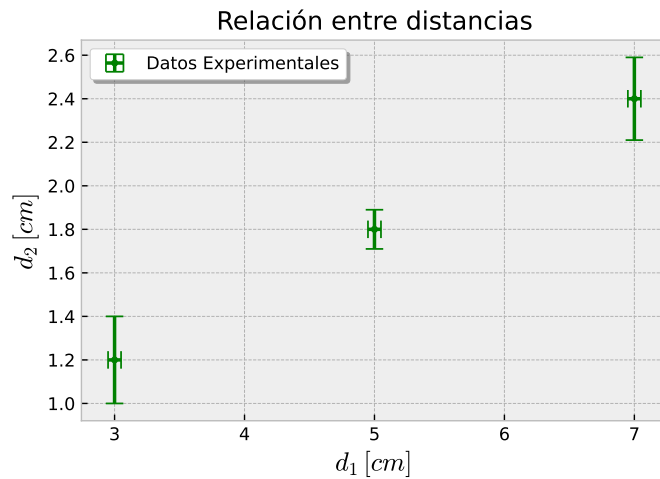


Figura 8: Datos experimentales Refracción 1

Estos datos presentan un error un poco mayor a los otros experimentos, esto se debe a un error asociado al paralaje presentado a medir el rayo en el agua desde arriba, se recomendaría tomar los datos de una manera más controlada para disminuir este error.

Cabe mencionar que también en esta experiencia el análisis de residuos de los datos arrojó un comportamiento aleatorio.

Además nuevamente se puede ver claramente un comportamiento lineal entre las distancias descritas tal como lo es nuestro modelo utilizado.

#### 4.3.2. 2do Método: Red de Difracción

Luego de la obtención de datos de esta parte de la tercera experiencia descrita anteriormente se procedió a graficar la relación entre las distancias medidas como sigue:

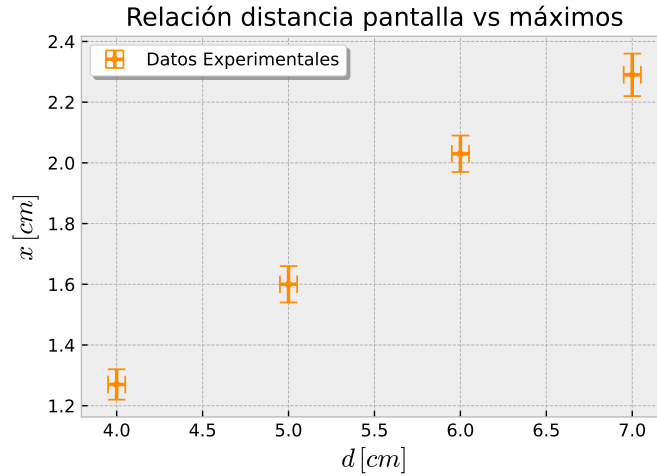


Figura 9: Datos experimentales refracción 2

Cabe mencionar que también en esta experiencia el análisis de residuos de los datos arrojó un comportamiento aleatorio.

Además nuevamente se puede ver claramente un comportamiento lineal entre las distancias descritas tal como lo es nuestro modelo utilizado.

## 5. Conclusión

Gracias a las cuidadosas mediciones realizadas en las experiencias de laboratorio fuimos capaces de calcular de manera exitosa todas las variables deseadas, esto es, se pudo estimar de buena manera la capacidad de almacenamiento de un **DVD**, el diámetro de un cabello humano y el índice de refracción del agua, con errores bastante razonables, por lo tanto se cumplió el objetivo deseado.

Cabe mencionar que a partir de los análisis realizados fuimos capaces de darnos cuenta de la utilidad del modelo ondulatorio de la luz, entregando valores muy acercados a los valores reales conocidos de las variables calculadas, esto es, el modelo describe de manera muy acertada la realidad observada en la experimentación.

## Referencias

- [1] Bahaa E. A. Saleh, M. C. T. (1991). Fundamentals of Photonics. John Wiley Sons, Inc.
- [2] Halliday, R. & K. (1960). Física Volúmen 2. Editorial Patria.
- [3] Frank L. Pedrotti, Leno M. Pedrotti, Leno S. Pedrotti. (1987). Introduction to Optics. Cambridge University Press.