



Medición del grosor de un pelo

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 estimar el grosor de dos pelos humanos de la misma persona. El experimento se basó en las mediciones de las distancias desde el objeto de estudio hacia la pantalla de observación y el espaciado entre el haz de luz original y el primer mínimo de intensidad. Finalmente se analizaron los datos obtenidos para la posterior estimación del grosor de cada pelo.

Los valores obtenidos indicaron un grosor de $89,01 \pm 3,04 [\mu\text{m}]$ para el primer pelo y uno de $77,45 \pm 2,36 [\mu\text{m}]$ para el segundo. Aunque se observaron pequeñas diferencias en la medida, ambos resultados se encuentran en un rango similar de valores, por tanto validamos el proceso experimental y el tratamiento de los datos llevado a cabo en este informe.

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

1. Introducción

El fenómeno de la difracción de la luz es fundamental para el estudio del comportamiento ondulatorio de la luz y su interacción con objetos de tamaño comparable a su longitud de onda. La medición de elementos delgados, como un pelo, puede ser una tarea sencilla si se aplican conceptos como la difracción.

Cuando un haz de luz incide sobre un obstáculo estrecho, como un cabello, la luz se difracta al rodear sus bordes, creando un patrón característico de franjas claras y oscuras en una pantalla ubicada detrás del objeto, fenómeno conocido como el principio de Babinet [1]. Este patrón es resultado de la interferencia de las ondas de luz que se propagan desde los bordes del objeto, formando una serie de máximos y mínimos de intensidad.

En este laboratorio, emplearemos herramientas matemáticas y conceptos de física óptica para estimar el grosor de dos pelos humanos de la misma persona. De esta forma, podremos comparar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que el grosor del pelo humano varía entre $17 [\mu\text{m}]$ y $181 [\mu\text{m}]$ [2].

2. Marco Teórico

Principio de Babinet

El principio de Babinet establece que una abertura y un obstáculo, de la misma forma geométrica y las mismas dimensiones e igualmente iluminados, producen el mismo patrón de difracción. Los fenómenos de difracción para objetos de la misma forma o tamaño, como un pelo y una rendija, son de la misma forma alrededor de las imágenes centrales [1].

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 abertu-

ra 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].

En la figura 1 se muestra un diagrama de la situación física, donde d es la distancia entre la red de difracción (pelo) y la pantalla, θ es el ángulo de desviación y L es el espaciado entre los puntos generados en el patrón de difracción.

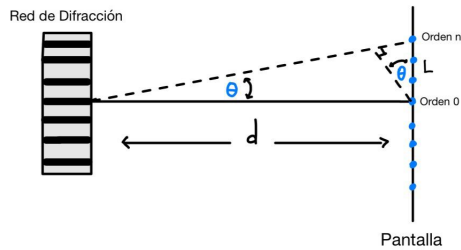


Figura 1: Diagrama de la situación física del experimento. La red de difracción es generada por el pelo.

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 usamos un láser verde con longitud de onda de 530[nm] y una huincha para la medición de las distancias. Además, elaboramos un soporte manualmente para fijar el pelo. De esta forma, apuntamos el láser hacia el pelo generando un patrón de difracción visible en la pantalla de observación (pared) 2.

Experimentalmente medimos la distancia entre la red de difracción (pelo) y la pantalla de observación (d) además del espaciado 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 del grosor del pelo (D).

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

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

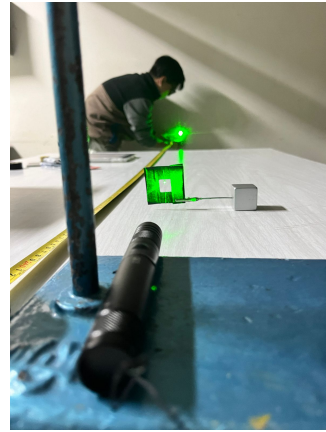


Figura 2: Gráfico del montaje experimental para la medición del grosor del pelo

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 el grosor del pelo. 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:

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

En los cuadros 1 y 2 se recogen los valores obtenidos para el experimento realizado con un láser verde con longitud de onda $\lambda = 530[\text{nm}]$. Sin embargo, un láser verde emite luz con una longitud de onda entre 495-570 [nm] [6]. Luego, consideramos un error asociado a esta magnitud de 37.5 [nm], es decir, la mitad de la diferencia de los extremos en el rango de valores correspondiente.

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

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

d (cm)	L (cm)	θ (rad)	$D(\mu\text{m})$
220.00 ± 0.05	1.20 ± 0.05	0.0054 ± 0.0002	97.1 ± 7.9
200.00 ± 0.05	1.10 ± 0.05	0.0055 ± 0.0002	96.3 ± 8.1
180.00 ± 0.05	1.00 ± 0.05	0.0055 ± 0.0002	95.4 ± 8.2
160.00 ± 0.05	0.90 ± 0.05	0.0056 ± 0.0003	94.2 ± 8.4
140.00 ± 0.05	0.80 ± 0.05	0.0057 ± 0.0003	92.7 ± 8.7
120.00 ± 0.05	0.70 ± 0.05	0.0058 ± 0.0004	90.8 ± 9.1
100.00 ± 0.05	0.60 ± 0.05	0.0059 ± 0.0004	88.3 ± 9.6
80.00 ± 0.05	0.50 ± 0.05	0.0062 ± 0.0006	84.8 ± 10.3
60.00 ± 0.05	0.40 ± 0.05	0.0066 ± 0.0008	79.5 ± 11.4
40.00 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.0074 ± 0.0012	70.6 ± 12.7

Cuadro 1: Ángulos y Distancias medidas para el pelo 1.

d (cm)	L (cm)	θ (rad)	$D(\mu\text{m})$
220.00 ± 0.05	1.30 ± 0.05	0.0059 ± 0.0002	89.6 ± 7.2
200.00 ± 0.05	1.20 ± 0.05	0.0059 ± 0.0002	88.3 ± 7.2
180.00 ± 0.05	1.10 ± 0.05	0.0061 ± 0.0002	86.7 ± 7.2
160.00 ± 0.05	1.00 ± 0.05	0.0062 ± 0.0003	84.8 ± 7.3
140.00 ± 0.05	0.90 ± 0.05	0.0064 ± 0.0003	82.4 ± 7.4
120.00 ± 0.05	0.80 ± 0.05	0.0066 ± 0.0004	79.5 ± 7.5
100.00 ± 0.05	0.70 ± 0.05	0.0069 ± 0.0004	75.7 ± 7.6
80.00 ± 0.05	0.60 ± 0.05	0.0074 ± 0.0006	70.6 ± 7.7
60.00 ± 0.05	0.50 ± 0.05	0.0083 ± 0.0008	63.6 ± 7.7
40.00 ± 0.05	0.40 ± 0.05	0.0099 ± 0.0012	53.00 ± 7.6

Cuadro 2: Ángulos y Distancias medidas para el pelo 2.

4. Análisis

En las figuras 3 y 4 se grafican los datos obtenidos para el grosor del pelo D en comparación al ángulo de desviación hacia el primer mínimo de intensidad visible en el patrón de difracción θ . Además, se grafica la aproximación lineal para cada caso, representada por la línea punteada. De ambas figuras resulta notorio que las variables D y θ guardan una relación *inversamente proporcional*. Esta correspondencia está en concordancia con el resultado esperado. Efectivamente, en la ecuación 4; dado que n y λ son constantes, se verifica la relación inversamente proporcional que guardan las variables.

Por su parte, notemos que la variación del grosor, tanto para el pelo 1 como 2, se ve restringida en el mismo intervalo 70-100 $[\mu\text{m}]$. De esta forma, teniendo en cuenta que los valores oscilan en un intervalo reducido; y por simplicidad, se usará el valor promedio de los datos obtenidos en cada caso. Esto es, $D_1 = 89,01[\mu\text{m}]$ y $D_2 = 77,45[\mu\text{m}]$ para el pelo 1 y 2, respectivamente.

Finalmente, calculando el error asociada a la estimación con la ecuación 5, obtenemos los valores:

$$D_1 = 89,01 \pm 3,04[\mu\text{m}]. \quad (6)$$

$$D_2 = 77,45 \pm 2,36[\mu\text{m}]. \quad (7)$$

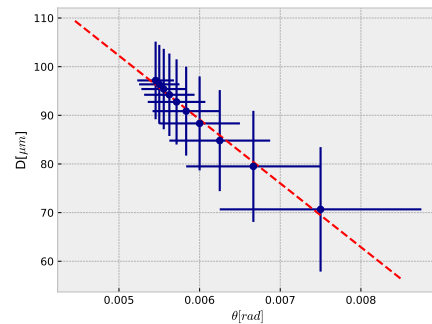


Figura 3: Gráfico del grosor del pelo 1 en función del ángulo de desviación del láser.

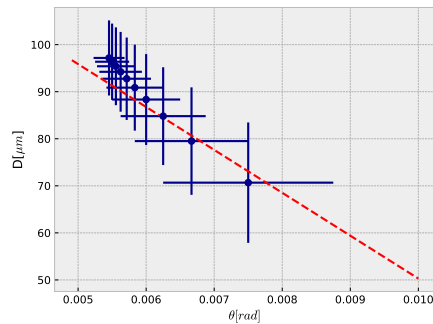


Figura 4: Gráfico del grosor del pelo 2 en función del ángulo de desviación del láser.

5. Conclusión

En este laboratorio medimos el grosor de dos pelos de la misma persona usando conceptos de física óptica como la difracción, el patrón de difracción y la expresión para los mínimos de intensidad. A través del análisis de los resultados obtuvimos un grosor para el primer pelo de $89,01 \pm 3,04[\mu m]$ y para el segundo de $77,45 \pm 2,36[\mu m]$. Pese a las ligeras diferencias en la medida, ambos valores se encuentran en un rango similar, lo cual sugiere una consistencia en los datos, pues se trata del mismo pelo. Esto nos permite validar tanto la precisión del proceso experimental y el tratamiento

de los datos, como también la efectividad de la técnica de difracción para la medición de objetos pequeños.

Referencias

- [1] *Light Diffraction and Babinet Principle*. physicsopenlab. <https://physicsopenlab.org/2021/01/21/light-diffraction-and-babinet-principle/>.
- [2] Wikipedia contributors. *Hair's breadth*. wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Hair%27s_breadth.
- [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.