

Universidad de Santiago de Compostela  
Facultad de Física — Laboratorio de Óptica

---

# Dispersión Material

---

Pedro Martínez Caamaño

Marzo 2026

# 1. Introducción

La luz, al cambiar de medio viaja con una velocidad distinta según donde se encuentre. Esto viene dado por el índice de refracción propio del material  $n$ . Y dado por la Ley de Snell:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

Sigue un camino distinto angularmente respecto a la normal de la superficie y proporcional a los índices de refracción. Esto, sumado a que la luz generalmente tiene una composición policromática, nos lleva al estudio de hoy: estudiar el índice de refracción en un medio según la longitud de onda, es decir, estudiar la dispersión cromática (relación entre el índice de refracción y la longitud de onda) en un material.

## 1.1. Objetivo y Principios

Nuestro objetivo es estudiar la dispersión cromática de un vidrio. Calcular el índice de refracción para distintas longitudes de onda. Representar la curva de ajuste de la ecuación de  $n(\lambda)$  y probar la fórmula de Cauchy (expansión de Taylor simplificada en serie de potencias).

La primera pieza de información que deberemos saber es el ángulo del prisma  $\alpha$ , que aunque se intuya de  $60^\circ$ , no lo es de forma exacta. Con las medidas experimentales y la relación trigonométrica que se observa en la siguiente figura obtendremos dicho ángulo:

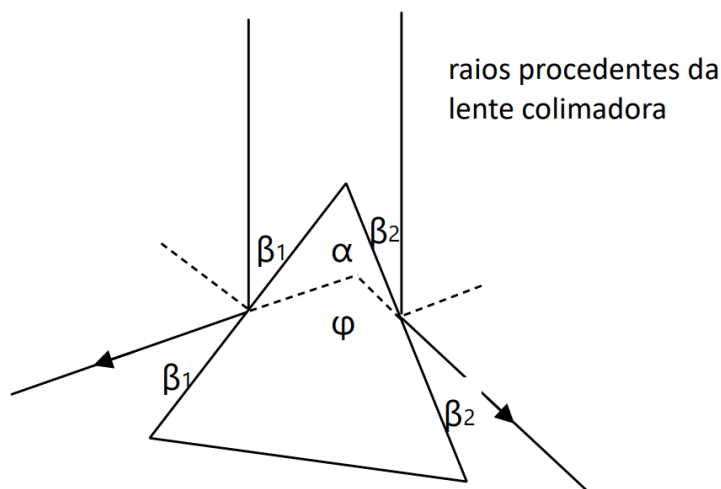


Figura 1: Esquema trigonométrico de  $\alpha$

La segunda pieza de información será obtener, para cada color (es decir, cada franja que representa luz de una longitud de onda determinada), el ángulo de desviación mínima  $\delta_m$ . Dado que el haz de luz incide sobre el prisma y se refracta en la cara de entrada del vidrio, se propaga por el prisma y se vuelve a refractar en la cara de salida, generará un ángulo de desviación que es la diferencia entre el ángulo de este haz saliendo del prisma respecto al haz entrante en el prisma. Variando el ángulo de incidencia, se observa que  $\delta$  no varía de forma monótona, sino que alcanza un mínimo y luego vuelve a aumentar. Este es el ángulo de desviación mínima  $\delta_m$ , que varía según el color ( $\delta_m = \delta_m(\lambda)$ ).

Ahora ya podemos obtener la expresión del índice de refracción según la longitud de onda:

$$n(\lambda) = \frac{\sin(\frac{\delta_m + \alpha}{2})}{\sin(\frac{\alpha}{2})} \quad (1)$$

Y las incertidumbres calculadas con la fórmula de propagación de errores:

$$s(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\frac{\partial f}{\partial x_i})^2 s(x_i)^2} \quad (2)$$

Que, en el caso de aplicar la ecuación 2 a 1 sería:

$$s(n) = \frac{1}{2|\sin(\frac{\alpha}{2})|} \sqrt{(\frac{\sin(\frac{\delta_m}{2})}{\sin(\frac{\alpha}{2})})^2 s(\alpha)^2 + (\cos(\frac{\delta_m + \alpha}{2}))^2 s(\delta_m)^2}$$

Tras esto, haremos un ajuste de la ecuación 1 a nuestros datos (para graficar la curva) y también un ajuste lineal de  $n$  frente a  $\frac{1}{\lambda^2}$  para obtener el ajuste de la fórmula de Cauchy dada por:

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (3)$$

## 2. Material y métodos

### 2.1. Montaje experimental

Usaremos los siguientes materiales:

- Lámpara de Sodio ( $Na$ ) de baja presión.
- Goniómetro.
- Plataforma de soporte.
- Prisma de vidrio.
- Colimador.
- Telescopio.

El montaje se realizará de la siguiente forma:

Situamos la lámpara de sodio y a continuación el sistema colimador de una rendija de paso estrecha con una lente convergente a distancia focal de esta. Esto formará el haz de luz incidente. Después, el prisma de vidrio colocado en la plataforma de soporte del goniómetro para variar el ángulo de las caras del prisma. Y finalmente, el telescopio de una lente objetivo y una ocular que se puede mover libremente de forma angular en el goniómetro para encontrar el haz refractada del prisma.



Figura 2: Fotografía del montaje material experimental.

## 2.2. Procedimiento

1- Calibramos el refractómetro abriendo la rendija del sistema colimador y ajustando la lente ocular del telescopio (enfocando y buscando con claridad el dibujo reticular que es la cruz negra) y el telescopio en sí para que enfoque objetos muy lejanos. También colocamos el telescopio en la dirección de la rendija (aún sin el prisma colocado) y variamos su apertura intentando que sea la línea más estrecha posible y variando la distancia del sistema focal para que el haz salga colimado (se verá nítida esta rendija).

2- Tomamos datos para calcular  $\alpha$ , para ello, colocamos el prisma en el soporte del goniómetro de forma que su arista que junta las caras pulidas laterales (arista refrigente) apunte en dirección al tubo que contiene el sistema colimador con el rayo incidente. Tras ello, tomamos 5 sets de medidas a ambos lados (izquierdo y derecho) buscando la imagen de la rendija reflejada en la cara del prisma y anotando el ángulo en el que la encontramos. Por relaciones trigonométricas ya obtenemos  $\alpha$ .

3- Tomamos datos para calcular  $\delta_m$ . Lo haremos de la siguiente manera: quitamos el prisma y tomamos el ángulo del haz que proviene de la rendija. Luego colocamos de nuevo el prisma y movemos el soporte y el telescopio hasta encontrar y visualizar los haces de colores que son las líneas espectrales. Con el color que estemos estudiando, movemos la plataforma con el prisma lentamente hasta que este haz cambie su dirección en la que se mueve y afinamos hasta encontrar el mínimo donde cambia su dirección de giro. Hacemos así  $\delta_m$ . Tomamos 5 conjuntos de medidas para 4 colores de la línea espectral distintos.

4- Con uso de la ecuación 1 obtenemos el índice de refracción del medio para cada longitud de onda de los colores tomados. También representaremos gráficamente la curva del ajuste de la ecuación a los datos obtenidos en nuestro caso.

5- Acabamos haciendo el ajuste lineal de la ecuación 3 y su representación gráfica.

### 3. Discusión y Resultados

#### 3.1. Cálculo de $\alpha$ , $\delta_m$ y $n(\lambda_i)$

Con los datos obtenidos de las mediciones para  $\alpha$ , calcularemos este ángulo haciendo la media de:

$$\alpha = 180^\circ - (\beta_{derecha} - \beta_{izquierda})$$

Siendo  $\beta_{derecha}$  y  $\beta_{izquierda}$  los ángulos medidos de la reflexión por las caras derecha e izquierda. Obtenemos de resultado:

$$\alpha = 59,93^\circ \pm 0,05^\circ$$

Ahora, para el ángulo de desviación mínima tomaremos 4 colores y calculamos la diferencia entre el ángulo incidente y el refractado tal que sea mínimo como explicamos en el Procedimiento, de forma:  $\delta_m = \delta_i - \delta_r$ . Con ello luego aplicamos los datos a la ecuación de  $n(\lambda)$  y recogemos todo ello en la siguiente tabla:

Datos de Dispersión material		
$\alpha = 59,93 \pm 0,05$ (°)		
$\lambda$ (nm)	$\delta_m \pm 0,18$ (°)	$n \pm 0,002$
616	65.78	1.782
589	66.42	1.787
568	66.70	1.789
475	68.62	1.804

Cuadro 1: Datos de los resultados de  $n(\lambda)$  y otros parámetros.

Siendo los colores tomados de las líneas espectrales:

$\lambda$ (nm)	Color
616	R rojo
589	Naranja
568	Verde
475	Azul 2

Cuadro 2: Colores de las líneas espectrales medidas y sus  $\lambda$ .

Estos son los datos procesados a partir de los datos primarios de ángulos. El dato que destaca en valor es del del índice de refracción según la longitud de onda. Los representaremos y ajustaremos en el siguiente apartado.

#### 3.2. Ajustes y representación gráfica

Presentamos primero el Ajuste Lineal de Cauchy con nuestros datos experimentales a la recta  $n(x) = A + Bx$  donde  $x = \frac{1}{\lambda^2}$ . Enfrentando así  $n$  frente a  $\frac{1}{\lambda^2}$ , el término independiente nos dará  $A$  y la pendiente de la recta el valor  $B$ .

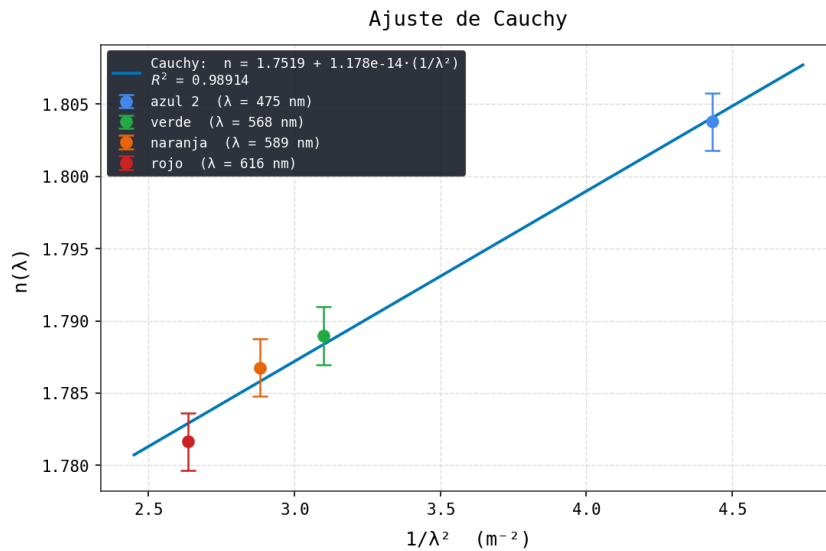


Figura 3:  $n$  frente a  $\frac{1}{\lambda^2}$  y ajuste de Cauchy.

Con un coeficiente de  $r^2 = 0,989$  obtenemos:

$$A = 1,7519 \pm 0,0029 \quad B = (1,178 \pm 0,087) \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$$

Donde  $A$  y  $B$  son parámetros propios del vidrio a tratar.

A continuación presentamos el Ajuste no Lineal, aplicando la ecuación 1 ajustado a los datos obtenidos. Enfrentamos  $n$  frente a  $\lambda$  y ajustamos con dicha expresión de Cauchy.

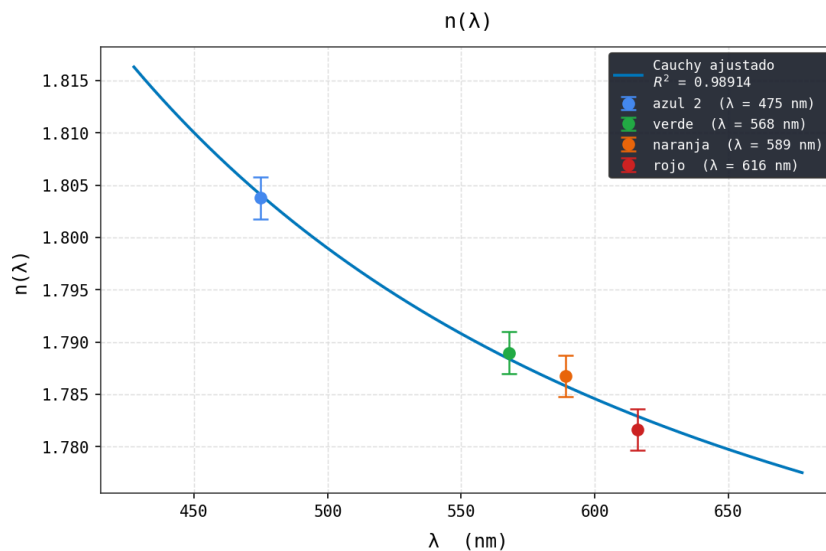


Figura 4:  $n$  frente a  $\lambda$  y ajuste de  $n(\lambda)$ .

Con un coeficiente de ajuste de  $r^2 = 0,989$ .

Se aprecian en ambos casos, ajustes aceptables para las respectivas ecuaciones y un ordenamiento de datos aceptable con errores en su margen experimental.

## 4. Cuestiones

**¿Por qué en el proceso de puesta a punto del refractómetro primero enfocamos el anteojo al infinito y después alineamos el tubo colimador? ¿No se podría hacer al revés?**

Esto es para asegurar que el observador no haya introducido errores por la acomodación del ojo. Se busca que los rayos que salen del colimador lleguen al telescopio como haces de luz paralelos (así cada color forme una imagen nítida en el plano focal de la lente ocular; el principio de un telescopio que los rayos vienen paralelos del infinito, vamos). Si primero se ajustase el colimador, esta referencia para rayos paralelos no existiría o no sería tan precisa ya que nuestro ojo se acomodaría a la imagen y tal ajuste del colimador arrastraría tal error de acomodación de nuestro ojo. Si primero ponemos a punto el telescopio, se fuerza al ojo a no acomodarse y luego garantizamos que los rayos salgan de verdad paralelos del colimador al ajustar la imagen nítida de la rendija a través del telescopio calibrado.

**Explica de forma precisa cuál es el principio de funcionamiento de un nonio o vernier.**

El nonio o vernier es un dispositivo de sistema de medida que aumenta la precisión de la escala de medida principal a través de una escala auxiliar sin necesidad de modificar la estructura del dispositivo. Se basa en que la longitud determinada por la escala del nonio se divide en un número distinto de partes de misma longitud de la escala principal, se genera así un pequeño desfase entre las dos escalas. Al medir, se busca que marca del nonio coincide exactamente con una marca de la escala principal y se determina así la fracción de la división mínima de la escala principal. Se aumenta, pues, la precisión de la medida.

Si  $n$  divisiones del nonio coinciden con  $n - 1$  de la escala principal, la precisión que se alcanza es de  $1/n$  de la máxima división de la escala principal.

**Deduce la fórmula que relaciona  $\alpha$  con  $\phi$**

En la medida del ángulo del prisma, se observan las reflexiones en ambas caras. Siendo  $\varphi$  el ángulo entre las dos direcciones reflejadas, entonces se cumple geoméricamente:

$$\alpha = 180^\circ - \varphi$$

Bajo esta definición de girar el telescopio entre dos ángulos de cada cara, ya que cada reflexión conserva el ángulo respecto a la normal.

**A la vista de los resultados de las medidas, ¿el vidrio del prisma presenta dispersión normal o anómala?**

En ambas figuras 3 y 4 se observa que el índice de refracción disminuye cuando la longitud de onda aumenta. Así se cumple de forma coherente la fórmula de Cauchy y nos situamos en el caso de dispersión normal al presentarse en un vidrio transparente lejos de su frecuencia de resonancia.

## 5. Conclusiones

En este experimento se ha determinado el índice de refracción de un prisma de vidrio según distintas longitudes de onda (en base a los datos obtenidos de la medida del ángulo de desviación mínima). Los resultados muestran esta clara dependencia en la que observamos que  $n$  aumenta cuando disminuye  $\lambda$ .

Con un  $\alpha$  consistente con el valor esperado y con los ángulos  $\delta_m$  se han obtenido los valores de  $n$  acorde a las incertidumbres experimentales.

Los dos ajustes muestran buena relación entre teoría y práctica con un coeficiente de ajuste bastante grande. Con ello confirmamos que, para el rango de longitudes de onda estudiado (el observable por el humano), el material presenta un comportamiento dispersivo (normal, ya que decrece  $n$  cuando aumenta  $\lambda$  como se predice en materiales transparentes en el espectro visible).

Las fuentes de error e incertidumbre principales se relacionan con la precisión del goniómetro y las cifras significadas que aceptamos de la salida de los datos. También la manera a ojo de encontrar el ángulo mínimo de desviación y también imperfecciones en el material o desalineaciones en los sistemas ópticos. Aún con todo ello los resultados son sólidos y parecen describir adecuadamente la naturaleza de la dispersión material de este vidrio. Nos permite así validar el modelo teórico presentado de la dispersión material, acercándose a las propiedades ópticas y naturaleza del vidrio que analizamos.