

-22-

DETERMINACIÓN DE INDICES DE REFRACCIÓN

OBJETIVOS

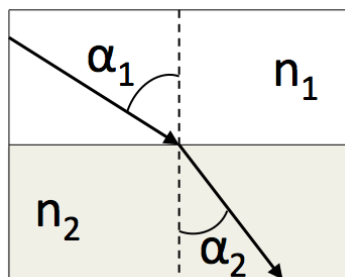
- Determinación del índice de refracción y del ángulo límite de un cuerpo semicircular
- Observación de la dispersión cromática. Determinación del ángulo de desviación mínima y del índice de refracción de un prisma óptico.

MATERIAL

- Banco óptico con fuente de alimentación, lámpara, pie magnético y porta-diafragmas.
- Lente con pie magnético ($f = 0,1$ m), 2 diafragmas de rendija y disco graduado.
- Semidisco transparente y prisma óptico.

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.-**Leyes de refracción.** Cuando un rayo luminoso incide sobre la superficie de separación entre dos medios diferentes, parte de la energía que transporta se refleja y parte se desvía o *refracta*. La refracción se produce porque la velocidad de la luz es diferente en cada uno de los medios.



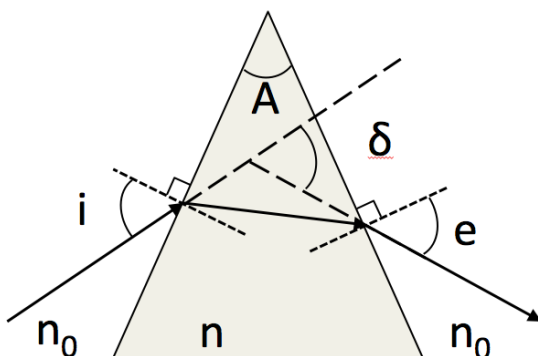
Se denomina *índice de refracción* n de un medio al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho medio.

La normal a la superficie, el rayo incidente y el rayo refractado están en el mismo plano. La desviación del rayo sigue la *ley de Snell*:

$$n_1 \operatorname{sen} \alpha_1 = n_2 \operatorname{sen} \alpha_2 \quad (1)$$

Donde n_1 y n_2 son los índices de refracción del primer y segundo medio y α_1 y α_2 los ángulos que forman los rayos dentro de cada medio con la normal a la superficie de separación. El índice de refracción es una magnitud adimensional siempre mayor que uno (el índice del vacío). Para el aire podemos usar también el valor 1.

2.-**Desviación total en prismas.** Un *prisma óptico* es un medio transparente limitado por dos superficies planas que se cortan en una arista, formando un ángulo diedro A . El rayo de luz que incide en una de las dos caras con ángulo i (desde el aire al vidrio), sale por la otra con un ángulo e (de vidrio a aire).



Se denomina *desviación total* a la desviación del rayo que sale respecto de la dirección del rayo incidente, y vale:

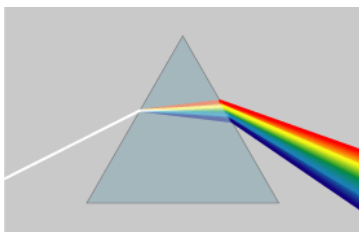
$$\delta = i + e - A$$

Para cada prisma existe un ángulo de incidencia para el cual la desviación total es mínima. En esta situación, asumiendo que el prisma está en el aire ($n_0 = 1$), se cumple:

$$n = \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{\delta_{\min} + A}{2}\right)}{\operatorname{sen}\left(\frac{A}{2}\right)} \quad (2)$$

ya que en ese caso $i = e$.

3.-Dispersión cromática. El índice de refracción de un medio material es función de la longitud de onda, λ , de la radiación incidente sobre él; por consiguiente, el ángulo de refracción también es función de dicha longitud de onda.

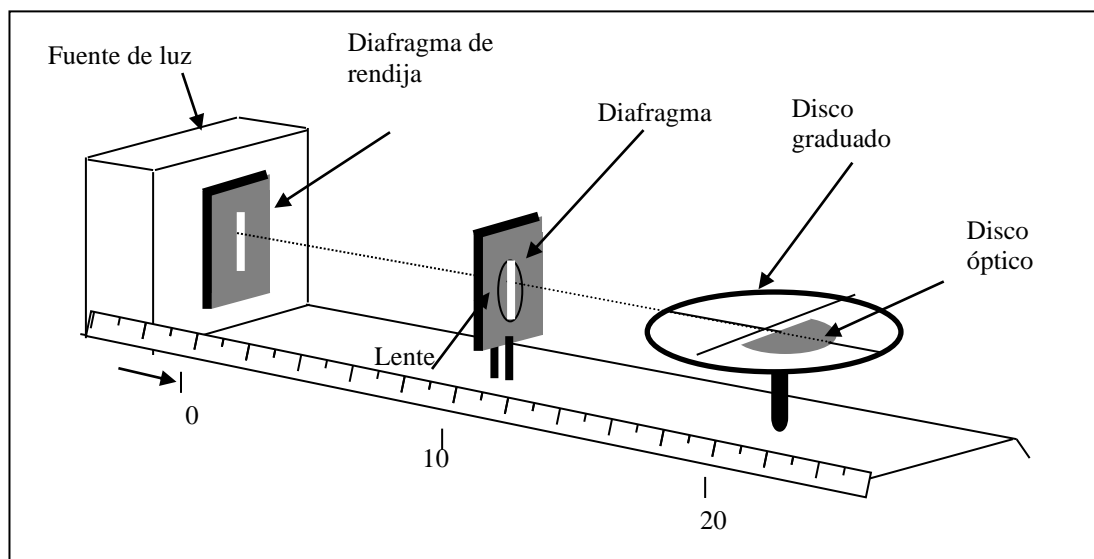


Cuando sobre un prisma incide luz no monocromática, como es el caso de la luz blanca procedente de una lámpara de incandescencia, en cada una de las interfases vidrio-aire cada uno de sus componentes se refracta con un ángulo distinto, saliendo en abanico. De esta forma, pueden observarse unas franjas luminosas de diferentes colores, fenómeno que recibe el nombre de **dispersión**. En este fenómeno de dispersión cromática están basadas muchas técnicas espectroscópicas.

MÉTODO

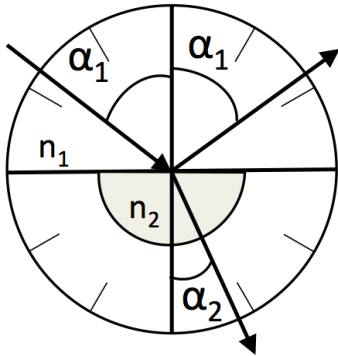
1.-Determinación del índice de refracción del cuerpo semicircular.

Pretendemos medir las desviaciones de los rayos que inciden en una muestra transparente para determinar su índice de refracción. Montamos en el banco óptico una lámpara con un diafragma que servirá como fuente de luz. A unos 10 cm de este diafragma de rendija a la salida de la fuente de luz (no de la marca blanca asociada a la posición de la lámpara) se coloca la lente junto con el otro diafragma de rendija en posición vertical. Como la distancia focal de la lente es precisamente $f = 10$ cm, la fuente está situada en el plano focal de la lente y obtenemos un haz colimado. Ajustamos el conjunto para conseguir que este haz luminoso, que servirá como rayo incidente, sea lo más fino posible.



A la derecha de la lente se sitúa el disco graduado (goniómetro) con el pie magnético de la rendija ligeramente inclinado de manera que el haz incida a ras con el disco, asegurándose de que dicho haz pase exactamente por el centro del disco óptico graduado. De esta forma, aparecerá una traza luminosa como "rayo de luz" sobre el disco graduado, la cual debe quedar alineada con uno de sus diámetros.

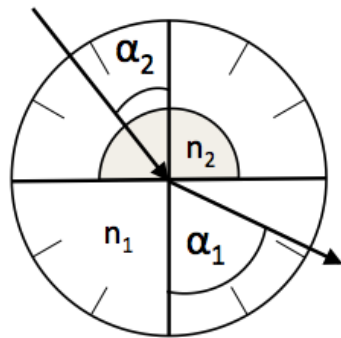
Parte 1: Refracción aire-cuerpo. Para la correcta colocación de la pieza sobre el disco graduado se debe alinear el borde plano del semidisco con uno de los diámetros marcados sobre el disco graduado. La normal a la superficie coincidirá con el diámetro perpendicular respecto al cual se miden los ángulos. Además, se hacen coincidir los centros del semidisco y del disco graduado para que los rayos refractados en la cara plana sean radiales. De esta forma, al incidir perpendicularmente, no se desviarán al refractarse en la salida en la cara semicircular.



Para asegurarnos de que el montaje es correcto se comprueba que cuando el ángulo de incidencia $\alpha_1 = 0^\circ$, el ángulo refractado es también $\alpha_2 = 0^\circ$. La dirección del rayo incidente cuando $\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$ define la dirección del eje óptico y con ello el origen de medida de ángulos de incidencia y refracción. Giramos el disco un ángulo $\alpha_1 = 30^\circ$ y comprobamos que el rayo reflejado también mide 30° respecto al eje. Ya se puede empezar a medir.

Mida los ángulos refracción α_2 correspondientes a los ángulos de incidencia α_1 desde 0° hasta 80° de 10° en 10° . Con estos valores, calcule el índice de refracción del cuerpo, n_2 , y su incertidumbre, a partir de la Ley de Snell (ecuación 1).

Parte 2: Refracción cuerpo-aire. Varíe la posición de la pieza girando 180° el disco graduado. Es como si el rayo viajara en sentido contrario al del caso anterior. Cuando el rayo incide sobre la cara semicircular no se produce desviación por ser incidencia normal. Al llegar el rayo a la cara plana, se produce la refracción cuerpo-aire y el rayo se aleja de la normal. Vaya incrementando el ángulo de incidencia α_2 de 5° en 5° hasta que el ángulo de refracción sea $\alpha_1 = 90^\circ$, entonces desaparece el rayo refractado (*reflexión total*).



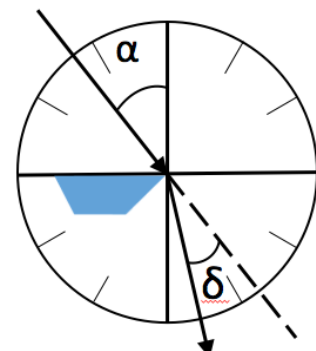
El ángulo incidente en el que se produce la reflexión total se denomina *ángulo límite*, α_L , el cual se debe medir experimentalmente. En este caso, se cumplirá:

$$n_2 \text{ sen } \alpha_L = n_1 \quad (3)$$

Aplique la ley de Snell para calcular n_2 y su incertidumbre.

2.-Ángulo de desviación mínima e índice de refracción del prisma

Para hallar el ángulo de desviación mínima del prisma se procede sustituyendo el semidisco por el prisma, el cual se coloca como indica la figura adjunta, de manera que la



base del prisma apoye sobre el disco graduado y una cara paralela quede perpendicular a la dirección de incidencia. Los ángulos diedros del prisma son 45° y 60° , y nuestro estudio de desviación se hará sobre el ángulo $A = 45^\circ$. Para que el ángulo de desviación pueda medirse correctamente, debe provenir del centro del disco; por lo que el vértice del prisma debe colocarse lo más cerca del centro posible.

En estas condiciones es posible apreciar el rayo desviado y el rayo sin desviar (en línea de trazos en la figura), lo que facilita la lectura del ángulo de desviación δ que medimos desde el rayo sin desviar.

Vaya girando el disco y anotando los ángulos de incidencia i de 10° en 10° , así como las desviaciones δ correspondientes a las componentes roja y violeta. Si no se distinguen bien los colores, asocie cada extremo del rayo con el color correspondiente. Determine el ángulo de desviación mínima y el índice de refracción del prisma para cada una de las componentes, así como su incertidumbre a partir de la ecuación (2).

RESULTADOS EXPERIMENTALES

- Antes de abandonar el laboratorio, calcule el índice de refracción para el ángulo de incidencia de 30° en cada posición del semidisco. Muestre los resultados al tutor.
- Determine el índice de refracción del semidisco y su incertidumbre para cada par de valores α_1 , α_2 . Represente gráficamente los valores de $\sin \alpha_1$ frente a $\sin \alpha_2$, con las barras de error y realice un ajuste lineal. Calcule n_2 y Δn_2 a partir de la pendiente de la recta de regresión. Utilice Excel o algún software similar para realizar los cálculos y los gráficos de regresión.

Repita la misma operación usando el segundo conjunto de medidas tomadas con el semidisco. Compare ambos resultados. Analice su precisión y su compatibilidad. Describa la dispersión cromática observada para valores de α_2 próximos al límite.

- Determine experimentalmente el ángulo límite. Compare este valor con el que se obtiene aplicando la ecuación (3), tomando como índice de refracción para el "vidrio" el valor más preciso de entre los dos que se han obtenido a partir de las rectas de regresión.
- Represente gráficamente los valores de δ en función de α con las barras de error correspondientes. Determine el ángulo de desviación mínima del prisma δ_{\min} para $A = 45^\circ$. Estime la incertidumbre de δ_{\min} . Calcule el índice de refracción introduciendo su valor experimental en la ecuación (2) y determine la incertidumbre correspondiente para las componentes roja y azul de la luz. Discuta la compatibilidad con las medidas anteriores y sobre la posibilidad de que el prisma y semidisco estén hechos con el mismo material.
- Indique todos los datos y resultados correctamente redondeados en la hoja de datos y resultados. Indique las fuentes de error observadas en el desarrollo del experimento.

NOTA: Tómese $n_1 = 1$, $\Delta n_1 = 0$, $\Delta \alpha_1 = \Delta \alpha_2 = 1^\circ = \Delta \delta = \pi/180$ rad. Aunque expresaremos todos los ángulos en grados, la incertidumbre de los ángulos $\Delta \alpha_i$ y $\Delta \delta$ debe introducirse en las fórmulas de las incertidumbres de las medidas indirectas con su valor en radianes: $1^\circ = \pi/180$ rad $\approx 0,0174533\dots$