

## Actividad I – Leyes de la reflexión y de la refracción

### Objetivos

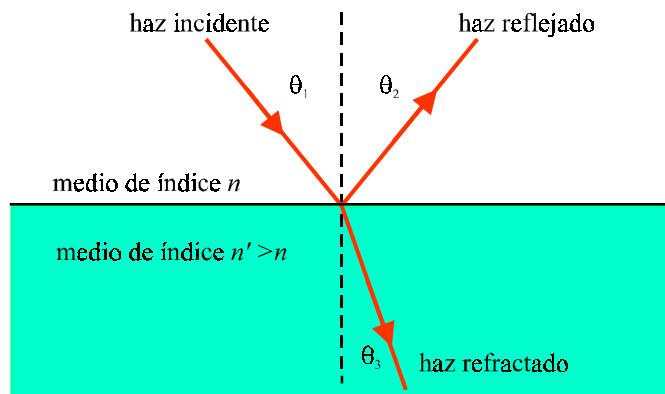
Estudio experimental de las leyes de la reflexión y la refracción de la luz. Determinación del índice de refracción de un material. Observación del fenómeno de reflexión total interna.

### Introducción

Cuando un haz de luz incide sobre la superficie que separa dos medios, en los cuales la luz se propaga con diferentes velocidades, parte de la misma se transmite y parte se refleja, como se indica esquemáticamente en la Fig. 1. Para un medio cualquiera, el índice de refracción  $n$  se define como:

$$n = \frac{c}{V} \quad (1)$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $V$  la velocidad de la luz en ese medio<sup>[1]</sup>.



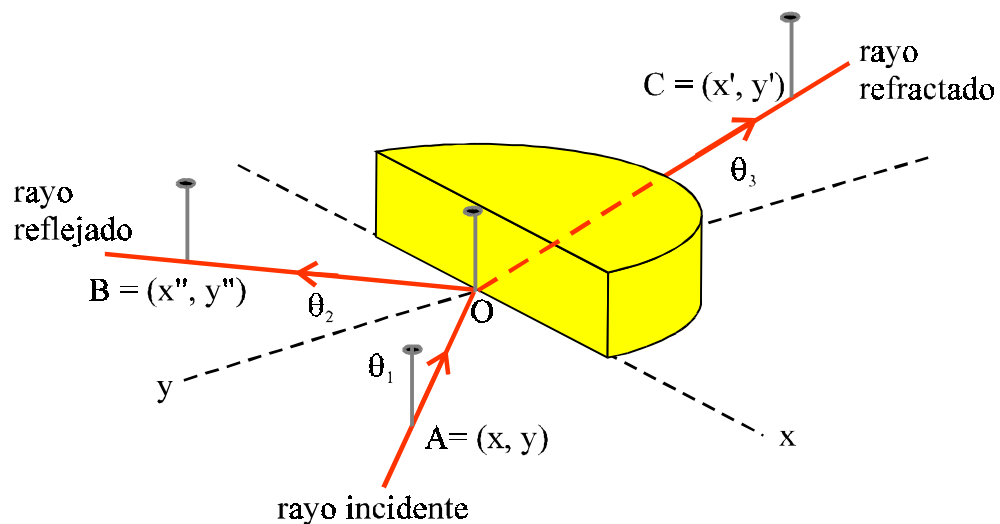
**Figura 1** La luz se refleja y se refracta.

El objetivo de los siguientes experimentos es estudiar las propiedades generales de la reflexión y refracción de la luz.

## Proyecto 1.- Estudio de la reflexión y la refracción

**Equipamiento recomendado:** Un semicilindro de vidrio o acrílico (media caña) de aproximadamente 15 cm de diámetro y 3 cm de altura. El mismo puede ser macizo o bien hueco y con agua u otro líquido en su interior. Alfileres y un rectángulo de madera blanda o cartón donde clavar los alfileres. Un puntero láser.

El objetivo de este experimento es investigar la relación entre el *ángulo de reflexión*,  $\theta_2$ , y el *ángulo de refracción*,  $\theta_3$ , en función del *ángulo de incidencia*  $\theta_1$ , todos ellos definidos respecto de la línea normal de la superficie de separación entre los dos medios. Para la realización de este experimento se sugiere usar el dispositivo indicado esquemáticamente en la Fig. 2.<sup>[2]</sup>



**Figura 2** Dispositivo sugerido para estudiar las leyes de la reflexión y la refracción.

**Refracción:** Tomamos el punto O como origen de coordenadas. Elegimos el eje  $x$  coincidiendo con la cara plana del mismo y tomamos la normal a dicha cara como el eje  $y$ , respecto del cual medimos los ángulos. El semicilindro se apoya sobre una superficie plana, sobre la que colocamos un papel milimetrado para determinar las coordenadas de cada punto

del plano. Un modo simple de determinar la dirección de los rayos de luz consiste en usar tres alfileres, uno de los cuales se mantiene fijo en el centro O: Para determinar la dirección de los rayos incidentes y refractados, se coloca un alfiler en la posición A (cuyas coordenadas son  $(x,y)$ ) otro en O (centro del semicilindro, justamente fuera del mismo) y el tercero en la posición C (cuyas coordenadas son  $(x',y')$ ). La posición de este último alfiler se elige de modo tal que al observar horizontalmente los tres alfileres todos aparezcan alineados. Para facilitar el posicionamiento de los alfileres, puede colocarse el semicilindro encima de una tabla blanda, corcho o cartón blando, que permitan la penetración de alfileres fácilmente. Si la superficie es dura, se puede sostener los alfileres con bollitos de plastilina. Para realizar el experimento, es importante mantener fijo el alfiler del centro de semicilindro (O). El alfiler en la posición A define el ángulo de incidencia. Mirando desde el lado curvo del semicilindro, se procede a colocar el tercer alfiler en la posición C de modo de ver a los tres alfileres alineados. Cuando se haya logrado tal alineación, se registran los valores de las coordenadas  $(x,y)$  y  $(x',y')$ . Es conveniente repetir este último experimento de modo que el ángulo de incidencia  $\theta_1$  varía desde  $0^\circ$  hasta  $80^\circ$  en pasos de aproximadamente  $10^\circ$ . Si dispone de un puntero láser (o un láser común) es posible visualizar la marcha de los rayos. Para ello haga incidir el láser de modo que el haz incida en la dirección definida por AO, a través de los alfileres, verifique que el haz refractado pasa efectivamente por el punto C.

**Reflexión:** Realice el mismo estudio anterior pero con el rayo reflejado. Para ello usando un puntero láser incidiendo en la dirección AO, determine las coordenadas  $(x'',y'')$  del punto B.

- Represente gráficamente  $\theta_3$  en función de  $\theta_1$  y  $\theta_2$  en función  $\theta_1$ . También represente  $\text{sen}(\theta_1)$  en función de  $\text{sen}(\theta_3)$ . Analice las distintas dependencias y discuta sus conclusiones.
- La ley de Snell establece que la relación entre el ángulo incidente ( $\theta_1$ ) y el refractado ( $\theta_3$ ) es:

$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 = n_3 \cdot \text{sen} \theta_3 \quad (2)$$

donde  $n_1$  es el índice de refracción del medio donde se propaga el rayo incidente y  $n_3$  es el índice de refracción correspondiente al medio donde se propaga el rayo transmitido.

Similarmente, la ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia ( $\theta_1$ ) es igual al ángulo reflejado ( $\theta_2$ ), esto es:

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (3)$$

¿Qué puede decir acerca de la validez de la ley de Snell y la ley de la reflexión para el caso que acaba de estudiar experimentalmente?

- A partir de sus gráficos determine el índice de refracción de la luz en el material del semicilindro ( $n_3$ ). Compare el valor obtenido en su experimento con los valores de tablas para el material en estudio. Recuerde que el índice de refracción del aire en condiciones normales de presión y temperatura es:  $n_1 = 1.00029$ .
- Para estimar la incertidumbre de los ángulos medidos, varíe ligeramente la posición de los alfileres, de modo tal que, a simple vista, parezcan que siguen alineados. Los intervalos de ángulos para los que esta condición de alineación se sigue cumpliendo dan una estimación de la incertidumbre de la determinación de los ángulos. Usando estas consideraciones estime la incertidumbre asociada a la determinación de  $n_3$ .
- Seguidamente, invierta la dirección de incidencia, es decir, haga que el haz incida pasando por la dirección CO y verifique que el mismo pasa por A. Igualmente, si el rayo incidente sigue la dirección BO, verifique que el reflejado sigue la dirección OA. Esta propiedad notable de la luz se conoce como el *principio de reversibilidad óptica*, que establece que, en ausencia de absorción, si se invierten la dirección de la marcha de los rayos de luz, las trayectorias no se alteran. Más generalmente, este principio es una consecuencia del principio de *reversibilidad temporal* de las ecuaciones de la física.

## Proyecto 2.- Reflexión total interna

**Equipamiento recomendado:** Un semicilindro de vidrio o acrílico (media caña) de aproximadamente 15 cm de diámetro y 3 cm de altura. Un puntero láser.

Investigue el fenómeno de *reflexión total interna*. Para ello haga incidir un láser por el lado la superficie curva de la Fig. 44.2 y que pase por el punto O (dirección radial). La luz llegará a la cara plana del semicilindro radialmente desde un medio que tiene índice de refracción mayor ( $n_3$ ) a otro de índice menor ( $n_1$ ) que el aire. Observe la transmisión de la luz del semicilindro al aire mientras va cambiando el ángulo ( $\theta_3$ ) de incidencia de la luz sobre la interfase acrílico–aire. ¿Encuentra algún ángulo para el cual la luz deja de transmitirse al aire? Si encuentra dicha condición, esto significa que para dicha incidencia, la reflexión es *total* en la superficie plana interna del semicilindro.

- Usando el puntero láser, estime en forma directa el valor del *ángulo crítico* (o *límite*)  $\theta_{crit}$ , para el cual deja de existir el rayo transmitido.
- Otro modo de determinar el valor de  $\theta_{crit}$  consiste en representar gráficamente  $sen(\theta_3)$  en función de  $sen(\theta_1)$ . A partir de la recta que mejor ajusta los datos experimentales, determine el valor de  $\theta_3$  para el cual  $sen\theta_1 = 1$ . Este valor de  $\theta_3$  es  $\theta_{crit}$ .
- Para  $\theta_3 > \theta_{crit}$  no hay rayo transmitido. Usando el puntero láser, compruebe que esta condición se cumple en el caso en estudio y compruebe también que toda la luz incidente se refleja en la cara interna del semicilindro.
- Use la Ley de Snell sujeta a la condición  $sen(\theta_1) = 1$  y establezca una relación entre  $\theta_{crit}$  y el índice de refracción del material del semicilindro ( $n_3$ ). Estime de esta manera el índice de refracción del semicilindro y compare con los valores hallados anteriormente.

## **Referencias**

1. F. Sears, M. Zemansky, H. Young y R. Freedman, *Física universitaria*, vol. 2, Addison-Wesley Longman, México, 1999.
2. *Guía del laboratorio de física*, Physical Science Study Committee, Reverté, Madrid, 1972.