

# Trabajo Práctico N<sup>o</sup>1

## Reflexión y Refracción de la Luz

TOMÁS CORTI (*tomascorti@fibertel.com.ar*)  
RAMIRO OLIVERA (*ramaolivera@hotmail.com*)  
FABIÁN SHALÓM (*fabianshalom@hotmail.com*)

MARZO DE 2004

CÁTEDRA DE FÍSICA II - ESCUELA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

---

### Introducción

En el presente trabajo se relizaron diversos experimentos relacionados con la óptica geométrica. Dentro de este tema, los puntos específicos que se estudiaron fueron la reflexión, la refracción y diversas aplicaciones, como el ángulo de reflexión interna total. La Ley de Propagación Rectilínea explica que todos los rayos, dentro de un medio homogéneo, se propagan en línea recta. Al incidir sobre un cuerpo de diferente índice de refracción, varían su orientación según las leyes de Reflexión y Refracción. La Ley de Reflexión, explica que el ángulo de incidencia de un rayo es igual al ángulo de reflexión del mismo luego de incidir sobre un objeto. La Ley de Refracción, explica la variación de la orientación de un rayo al ingresar a un cuerpo con diferente índice de refracción.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo es el estudio de las leyes de la refracción y reflexión de la luz para dos medios diferentes y la medición del índice de refracción del acrílico.

## Primera Parte

### Materiales

- Cuerpo semicircular de acrílico
- Fuente de luz láser
- Banco óptico
- Goniómetro

## Desarrollo

Se utilizó un cuerpo circular de acrílico transparente de altura  $5,0 \pm 0,1\text{cm}$  y radio  $2,3 \pm 0,1\text{cm}$ . Este cuerpo fue iluminado por un haz de luz láser el cual incidió con diferentes ángulos ( $\theta_i$ ). A partir de la ley de la reflexión de la luz, el ángulo de incidencia es igual al ángulo del rayo reflejado ( $\theta_{refl}$ )<sup>1</sup> (Ver Figura 1):

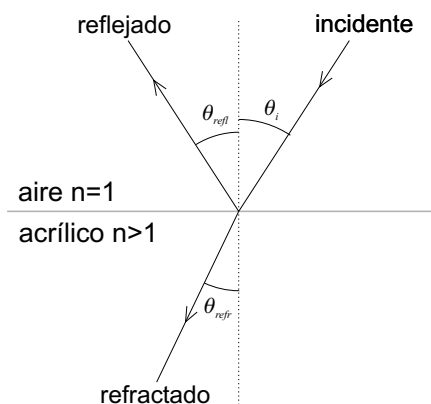


Figura 1: Descripción gráfica de los rayos incidente, reflejado y refractado.

$$\theta_{(i)} = \theta_{(refl)} \quad (1)$$

donde  $\theta_i$  es el ángulo de incidencia y  $\theta_{refl}$  es el ángulo de reflexión.

Por otro lado el rayo que incide sobre un cuerpo es refractado a partir de la ley de Snell [1] según:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_{refr} \quad (2)$$

En el trabajo experimental, las magnitudes medidas para calcular el valor del índice de refracción del acrílico ( $n_2$ ) fueron los ángulos de incidencia y refracción y se asumió que el valor del índice de refracción de aire es igual a uno ( $n_1 = 1$ ). El haz de luz láser se hizo incidir sobre la cara plana del cuerpo semicircular de acrílico, y se midieron los ángulos sobre el goniómetro.

## Resultados

En la Figura 2 se puede observar la relación entre los ángulos de incidencia del láser sobre el cuerpo semicircular y los ángulos en los cuales la luz fue reflejada y refractada respectivamente. En el caso de la luz reflejada se comprueba la Ley de

<sup>1</sup>Ambos ángulos deben ser tomados desde la normal a la superficie de incidencia

la Reflexión, ya que la pendiente de la recta formada por el ángulo de reflexión en función del ángulo de incidencia es igual a  $0,998 \pm 0,003 (\cong 1)$ , quedando así demostrado que ambos ángulos son prácticamente iguales.

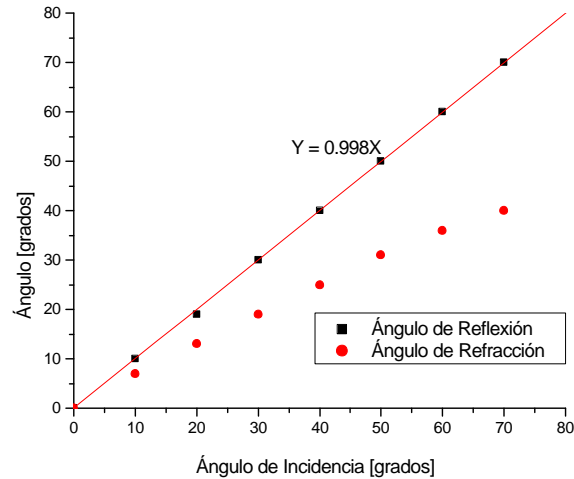


Figura 2: Relación entre el ángulo de incidencia y los ángulos de reflexión y refracción

En la Figura 3 se observa la linealidad de la relación entre los senos del ángulo de incidencia ( $\theta_i$ ) y el de refracción ( $\theta_{refr}$ ). La pendiente de la recta formada entre ambos, tiene un valor de 0,672 y corresponde a la inversa del índice de refracción del acrílico ya que:  $\sin \theta_i = n_2 \sin \theta_{refr}$  por la Ley de Snell, ya que el índice de refracción del aire es igual a uno. A partir de este calculamos el  $n_2$ , siendo este igual a  $1,4881 \pm 0,002$ .

## Propagación de Errores

$$n = 1/b \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 (\Delta n)^2 &= \left( \frac{\partial n}{\partial b} * \Delta b \right)^2 & (4) \\
 &= ((-1) * b^{-2} * \Delta b)^2 \\
 &= ((-1) * 0,672^{-2} * 0,001)^2 \\
 &= 4,9 * 10^{-6}
 \end{aligned}$$

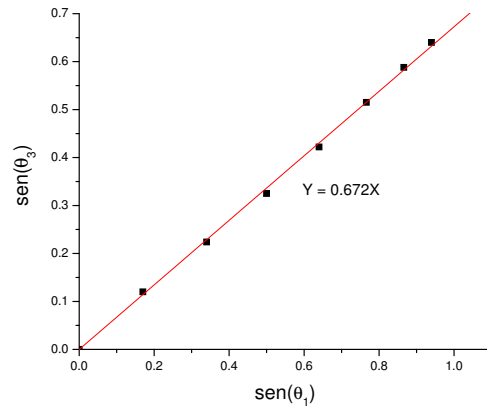


Figura 3: Relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción

$$\Delta n = 2,2 * 10^{-3} \quad (5)$$

$$n = 1,488 \pm 2,2 * 10^{-3} \quad (6)$$

## Segunda Parte:

### Materiales

- Cuerpo semicircular de acrílico
- Fuente de luz laser
- Banco óptico
- Goniómetro

### Desarrollo

El ángulo crítico ( $\theta_c$ ) o ángulo de reflexión interna total es aquel ángulo de incidencia para el cual el ángulo de refracción es de  $90^\circ$ . Utilizando el haz de luz laser se incidió por la cara semicircular del mismo variando el ángulo hasta que la cara plana se reflejara completamente y se midió la magnitud de éste ángulo, ya que corresponde al ángulo de reflexión interna total ( $\theta_c$ ).

## Resultados

El ángulo de incidencia para el cual, la parte plana del cuerpo de acrílico se reflejó completamente fue de  $44 \pm 2^\circ$ . Según Resnik (1994)[2] el ángulo crítico está dado por la Ecuación 7:

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n_2} \quad (7)$$

Donde  $n_2$  es el índice de refracción del medio al cual se está haciendo incidir el haz de luz. En el caso del acrílico esta magnitud es de 1,49 (Luetich, 2002)[3]. Por lo tanto, con este dato se procedió a calcular el valor del ángulo de refracción total.

$$\begin{aligned} \theta_c &= \arcsin \frac{1}{1,49} \\ &= 0,7357rad = 41,93 \pm 1 * 10^{-2o} \end{aligned} \quad (8)$$

## Propagación de Errores

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n_2} \quad (9)$$

$$\theta_c = \arcsin \frac{1}{n_2} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (\Delta\theta_c)^2 &= \left( \frac{\partial\theta_c}{\partial n_2} * \Delta n \right)^2 \\ &= \left( \frac{(-1) * n_2^{-2}}{\sqrt{1 - \frac{1}{n_2}}} * 0,01 \right)^2 \\ &= \left( \frac{-1,49 * 10^{-4}}{0,573} \right)^2 \\ &= 6,7 - 10^{-8} \end{aligned}$$

$$\Delta\theta_c = 2,6 * 10^{-4} \quad (11)$$

$$\theta_c = 0,7357 \pm 3 * 10^{-4}rad = 41,93 \pm 1 * 10^{-2o} \quad (12)$$

## Tercera Parte:

### Materiales

- Cuerpo paralelepípedo de acrílico
- Fuente de luz láser

### Desarrollo

Se utilizó un cuerpo paralelepípedo de ancho ( $h$ ), al cual se le incidió con el haz de luz láser con un ángulo inicial ( $\theta_2$ ), este ángulo varía al ingresar al cuerpo de acrílico, y luego sale con un ángulo ( $\theta_1$ ), el cual es igual al ángulo ( $\theta_2$ ). Si bien ambos ángulos son iguales, por lo tanto lo haces son paralelos, entre estos hay una distancia ( $d$ ), como se ilustra en la Figura 4. A partir de diferentes ángulos de incidencia, los ángulos  $\theta_1$  y el valor del índice de refracción del acrílico se corroborará la Ecuación 13.

$$\frac{d}{h} = \sin\theta \left( 1 - \frac{\cos\theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \right) \quad (13)$$

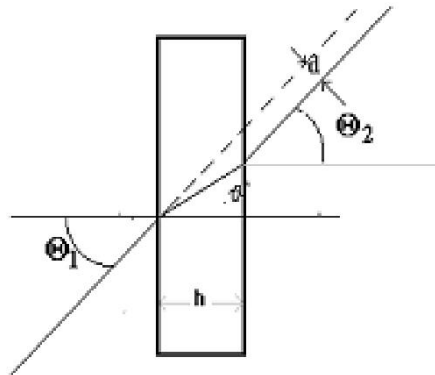


Figura 4: Descripción del sistema realizado para estudiar la dependencia del desplazamiento lateral.

### Resultados

El cuerpo de acrílico utilizado tenía un ancho de  $4,8\text{cm}$  y un índice de refracción de  $1,49$ [3]. Los valores de  $d$  medidos y los calculados, según los ángulos de incidencia se observan en la Tabla 1. Las magnitudes obtenidas por ambos métodos arrojaron resultados similares, lo cual corrobora la viabilidad de la ecuación utilizada y del procedimiento de medición utilizado.

Ángulo [rad]	d/h medido	d/h calculado
0.17	0.04	0.06
0.35	0.19	0.12
0.526	0.38	0.19
0.7	0.50	0.28
1.05	0.65	0.51
1.4	0.88	0.84

Tabla 1: Valores de  $d$  medidos y calculados en relación a los ángulos de incidencia del haz de luz.

## Propagación de Errores

$$\frac{d}{h} = \sin\theta \left( 1 - \frac{\cos\theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \right) \quad (14)$$

$$(\Delta \frac{d}{h})^2 = \left( \frac{\partial d/h}{\partial n} * \Delta n \right)^2 + \left( \frac{\partial d/h}{\partial \theta} * \Delta \theta \right)^2 \quad (15)$$

$$(16)$$

$$\frac{\partial d/h}{\partial n} = \sin\theta * \left( \frac{-2n * \sin\theta * \sqrt{n^2 - \sin^2\theta} - \frac{2n * \cos\theta}{2 * \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}}{n^2 - \sin^2\theta} \right) \quad (17)$$

$$\frac{\partial d/h}{\partial n} = (-2,02) \quad (18)$$

Se consideró  $\theta = 80^\circ$  ya que dentro de los ángulos medidos, con esta magnitud, la derivada parcial y a su vez el error son máximos.

$$\frac{\partial d/h}{\partial \theta} = \cos\theta * \left( 1 - \frac{\cos\theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \right) + \frac{(-1) * \sin^2\theta * \sqrt{n^2 - \sin^2\theta} + \frac{\cos^2\theta * \sin\theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}}{n^2 - \sin^2\theta} \quad (19)$$

En este segundo caso se consideró  $\theta = 10^\circ$  por la misma razón que se eligió anteriormente  $80^\circ$ ; para maximizar el error calculado.

$$(\Delta \frac{d}{h})^2 \leq (-2,02 * 0,01)^2 + (0,140 * 1)^2 \quad (20)$$

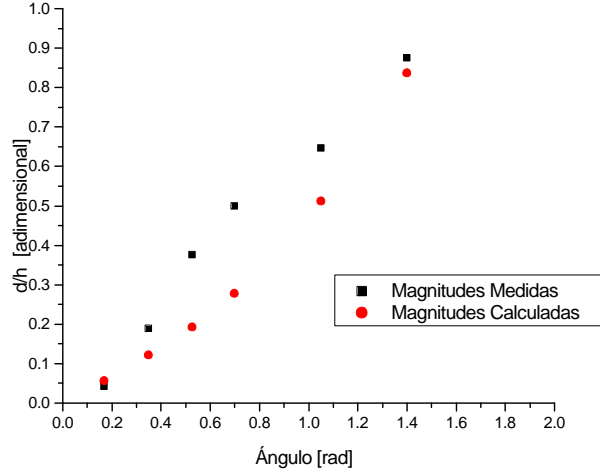


Figura 5: Relación entre  $d/h$  medidos experimentalmente y los  $d/h$  calculados a partir de la Ecuación 13.

$$\left(\Delta \frac{d}{h}\right)^2 \leq 0,02 \quad (21)$$

$$\left(\Delta \frac{d}{h}\right) \leq 0,14 \quad (22)$$

El error en el cálculo de  $d/h$  es en todos los casos menor a  $\pm 0,14$ .

## Conclusiones

En la primer parte del trabajo experimental, a partir de la Figura 2 se puede corroborar la ley de la Reflección [1]. La pendiente del mencionado gráfico es igual a  $0,998 \pm 0,003$  por lo tanto los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, como lo explica la ya mencionada ley.

Por otro lado a partir de la Figura 3 se pudo calcular la magnitud del índice de refracción del acrílico. El resultado alcanzado fue de  $1,488 \pm 0,002$ . Según datos obtenidos de Luetich (2002)[3] el índice de refracción del acrílico es de 1,49. Por lo tanto en valor medido se corresponde con el valor obtenido de la bibliografía.

En la segunda parte del desarrollo experimental, la magnitud del ángulo crítico ( $\theta_c$ ) medida fue de  $44 \pm 2^\circ$ , mientras que la calculada a partir del índice de refracción del acrílico[3], según la ecuación de Resnik (1994)[2] fue de  $41,93 \pm 0,02^\circ$ . Por lo tanto la medición se condice con el valor teórico calculado por la ecuación.

En la tercera parte del trabajo se logró comprobar la validez de la Ecuación 13 para calcular el desplazamiento lateral que sufre un rayo al incidir sobre un cuerpo paralelepípedo. En la Figura 5 se observa que la curva formada por los datos calculados y la curva de las magnitudes medidas son bastante similares.

## Referencias

- [1] **Alonso M. y Rojo O.** (1981) *Física: Campos y Ondas* - Fondo Educativo Interamericano - México - 472pp
- [2] **Halliday, Resnik y Krane** (1994) *Física para estudiantes de Ciencia y Tecnología* - 4<sup>ta</sup> Ed. - Vol. 1 - México.
- [3] **Luetich J.J.** (2002) *Ley de Snell, formalización de Descartes y principio de Fermat* - Academia de Ciencias Luenticus <http://www.luenticus.org/articulos/02A033/>