

## Refracción en lámina de caras planas y paralelas

### Fundamento

Un medio material que esté formado por dos caras planas y paralelas, siendo su espesor  $e$ , forma lo que se llama una *lámina de caras planas y paralelas*. Si ésta se introduce en un medio material distinto, resulta que el espacio queda dividido en tres secciones, la superior con su correspondiente índice de refracción, la de la propia lámina con índice de refracción diferente y la inferior con el mismo índice que la superior.

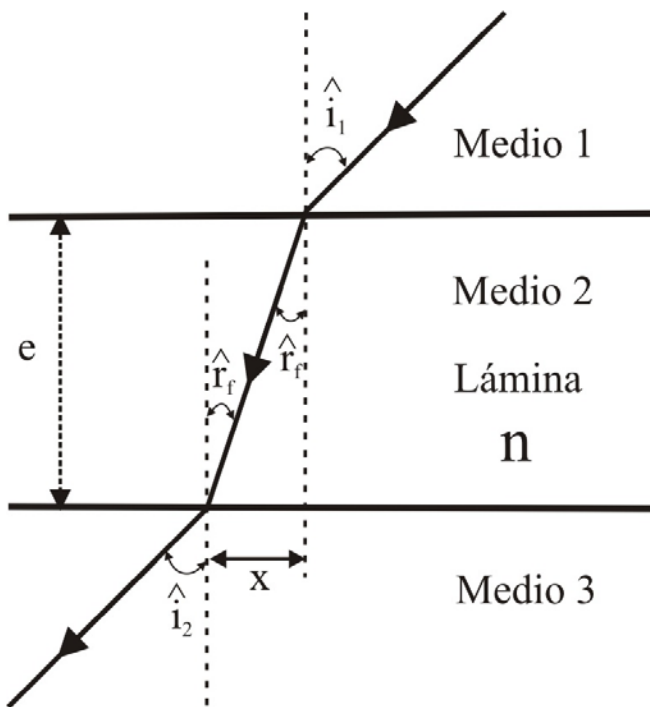


Fig. 1a

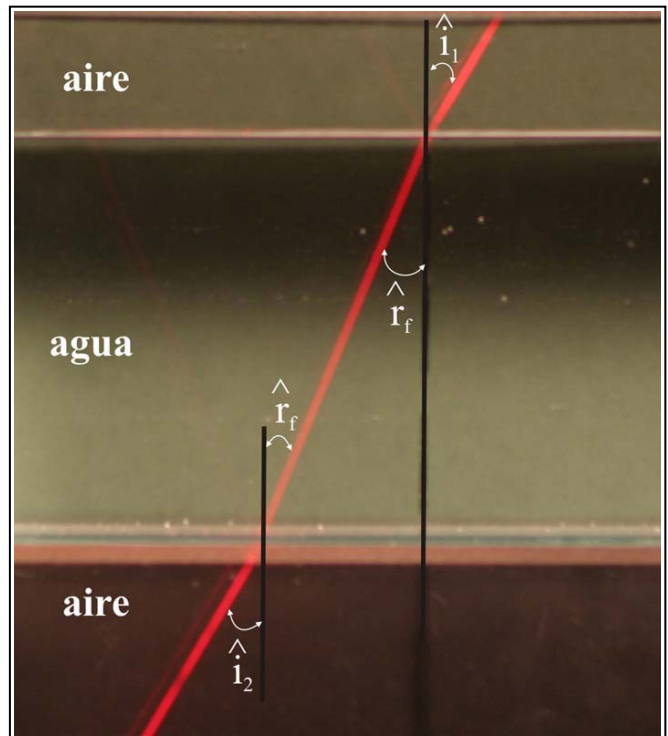


Fig. 1b

Se designa con  $n$  el índice de refracción relativo de la lámina respecto del medio 1 ó del 3, que supondremos el mismo a ambos lados de la lámina  $\left( n = \frac{n_2}{n_1} \right)$ , donde  $n_1$  corresponde al medio exterior y  $n_2$  a la lámina. Un rayo luminoso forma con la cara superior de la lámina un ángulo de incidencia  $i_1$  y el correspondiente refractado  $r_f$ . La figura 1a es un esquema del proceso y la fig. 1b es una fotografía real. El rayo refractado llega a la cara inferior con un ángulo de incidencia  $r_f$  y sale con un refractado  $i_2$ .

De acuerdo con la ley de Snell.

$$\text{sen } i_1 = n \text{ sen } r_f = \text{sen } i_2 \quad \Rightarrow \quad i_1 = i_2$$

Por tanto, la lámina se limita a desplazar lateralmente el rayo incidente. Una medida relacionada con ese desplazamiento es la distancia  $x$  en la figura 1a.

El desplazamiento  $x$  depende del ángulo de incidencia  $i_1 = i$ .

De la figura 1a se deduce que:

$$\begin{aligned} \operatorname{tag} r_f = \frac{x}{e} = \frac{\operatorname{sen} r_f}{\cos r_f} = \frac{\operatorname{sen} r_f}{\sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 r_f}} &\Rightarrow x = e \frac{\frac{\operatorname{sen} i}{n}}{\sqrt{1 - \frac{\operatorname{sen}^2 i}{n^2}}} = e \frac{\operatorname{sen} i}{\sqrt{n^2 - \operatorname{sen}^2 i}} \Rightarrow x^2 = e^2 \frac{\operatorname{sen}^2 i}{n^2 - \operatorname{sen}^2 i} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{1}{e^2} \frac{n^2 - \operatorname{sen}^2 i}{\operatorname{sen}^2 i} = \frac{1}{e^2} \left( \frac{n^2}{\operatorname{sen}^2 i} - 1 \right) &\Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{n^2}{e^2} \frac{1}{\operatorname{sen}^2 i} - \frac{1}{e^2} \end{aligned}$$

En el experimento mediremos el desplazamiento  $x$  y el ángulo de incidencia, luego representaremos  $\frac{1}{x^2}$  (eje Y) frente a  $\frac{1}{\operatorname{sen}^2 i}$  (eje X) y la pendiente de la recta nos dará el valor de  $\frac{n^2}{e^2}$ . Si conocemos por medida directa el espesor de la lámina, en nuestro caso,  $e = 11,7 \text{ cm}$  (altura del agua en la cubeta) podemos calcular el índice de refracción relativo del medio de la lámina respecto del medio 1 ó 3. En el experimento los medios 1 y 3 son aire y la lámina es agua.

## Medidas

En cada una de las *fotografías para toma de datos* de 1 a 6, se mide el ángulo de incidencia y la distancia  $x$ . Los valores obtenidos se colocan en la tabla 1. Para hacer las medidas es útil trazar sendas líneas que se superpongan con los rayos pasando a lo largo del eje de cada uno de los rayos y por el centro de la normal. La medida de la distancia  $x$  se hace entre el punto medio del rayo y el punto medio de la normal. Esa  $x$ , que así se mide, es la distancia en la fotografía, para obtener el valor real necesita el factor de escala que lo obtiene teniendo en cuenta la altura del agua contenida en la cubeta, (valor que se ha dado anteriormente  $11,7 \text{ cm}$ ) siendo, por tanto, el factor de escala.

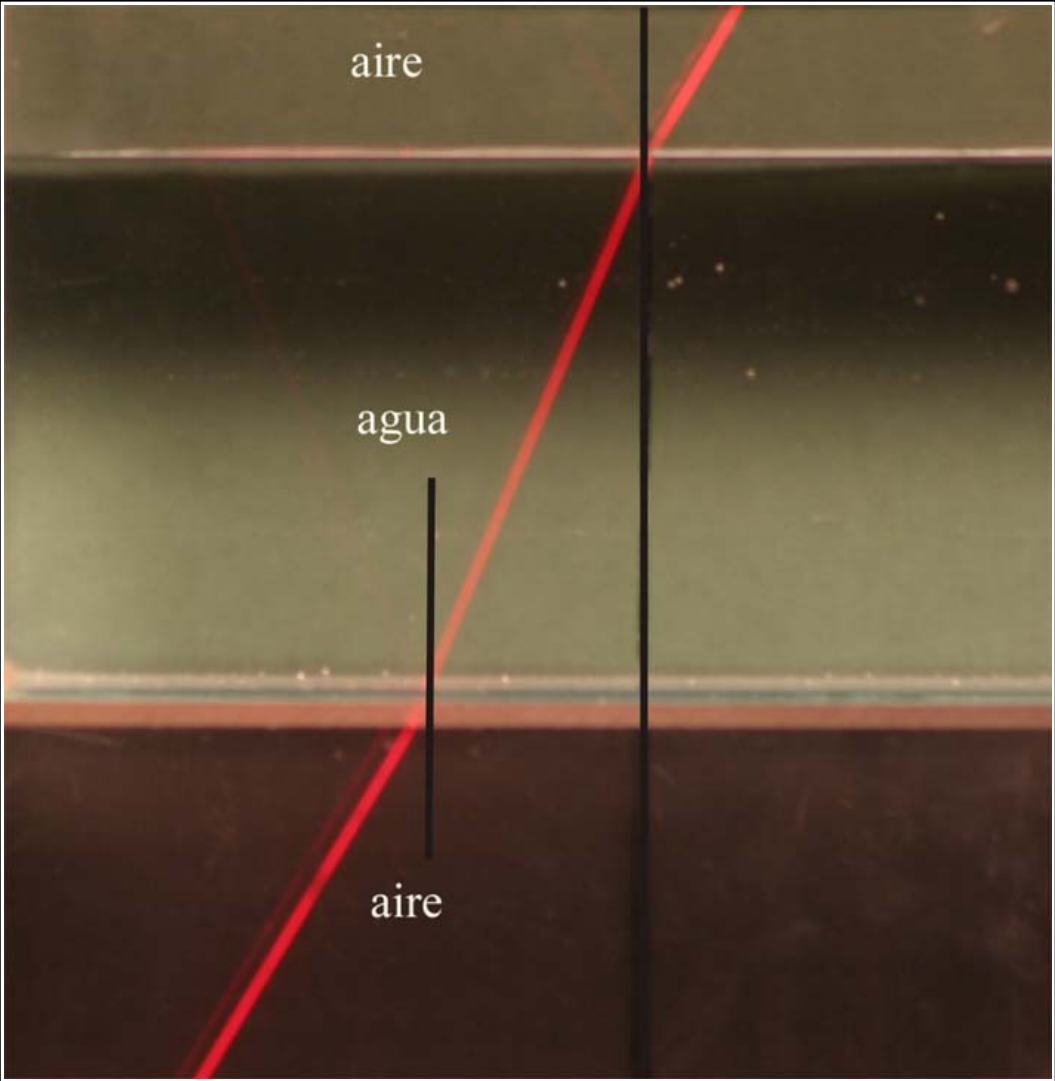
$$f = \frac{11,7 \text{ cm reales}}{\text{_____ cm en la fotografía}}$$

Puesto que cada fotografía tiene su propio tamaño, deberá obtener un factor de escala en cada una de ellas, sin olvidar que la altura real del agua es siempre la misma,  $11,7 \text{ cm}$ . Sus valores deben aparecer en la tabla 1.

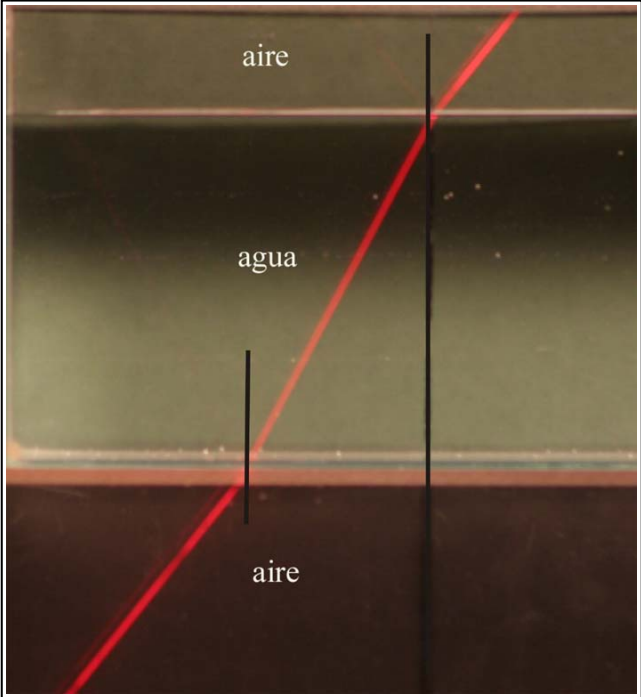
Dado que los rayos no son líneas rectas geométricas, sino que tienen un cierto espesor, se debe determinar que en cada medida de los ángulos de incidencia, existe una cierta incertidumbre. El valor de esta incertidumbre lo determina el criterio del lector. Para confeccionar la tabla 2, al valor medido se le añade y resta la incertidumbre estimada, obteniéndose así dos valores para cada ángulo. Por ejemplo si un ángulo de incidencia es  $30^\circ$  y se estima que la incertidumbre es  $1^\circ$ , en la tabla 2 colocaríamos incidencia menor  $29^\circ$  e incidencia mayor  $31^\circ$ . La distancia  $x$  también tiene una incertidumbre que debe determinar el lector. Por tanto en la tabla 2 aparece una  $x$  menor y una  $x$  mayor. Complete la tabla 2.

**Fotografías**

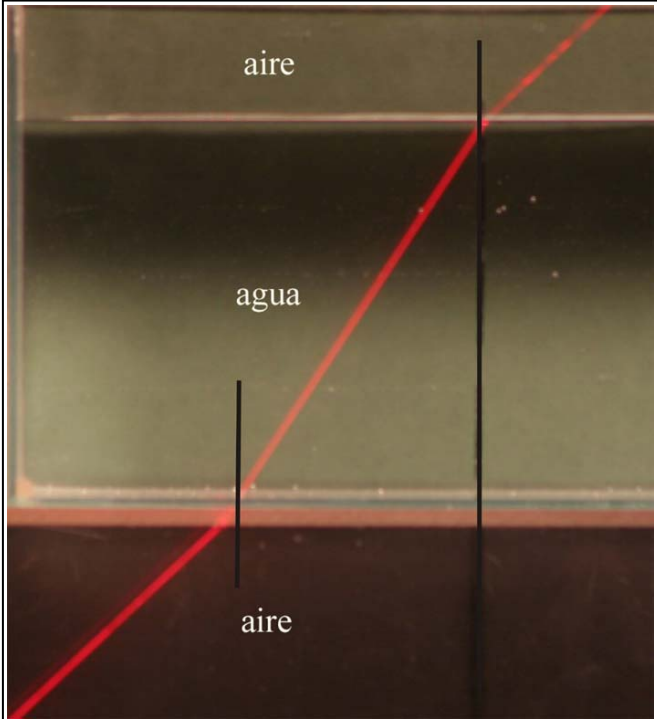
**Fotografía 1 para toma de datos**



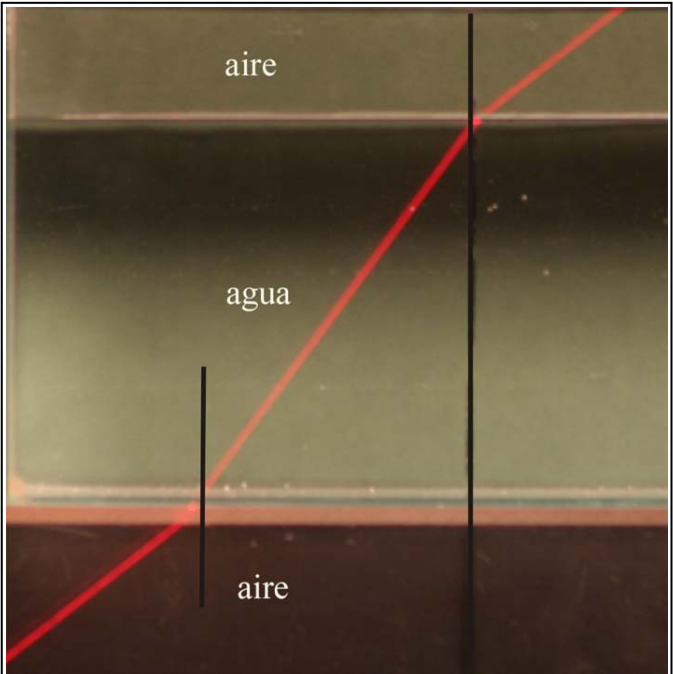
**Fotografía 2 para toma de datos**



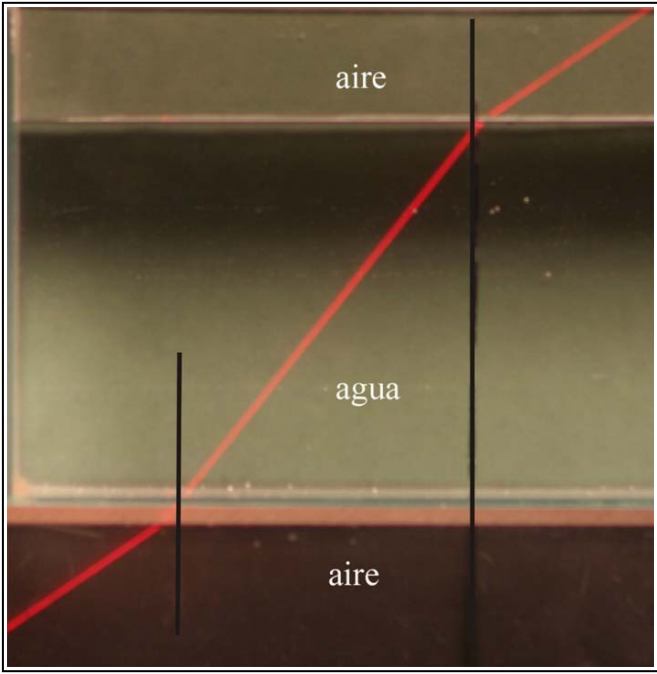
**Fotografía 3 para toma de datos**



**Fotografía 4 para toma de datos**



**Fotografía 5 para toma de datos**



**Fotografía 6 para toma de datos**

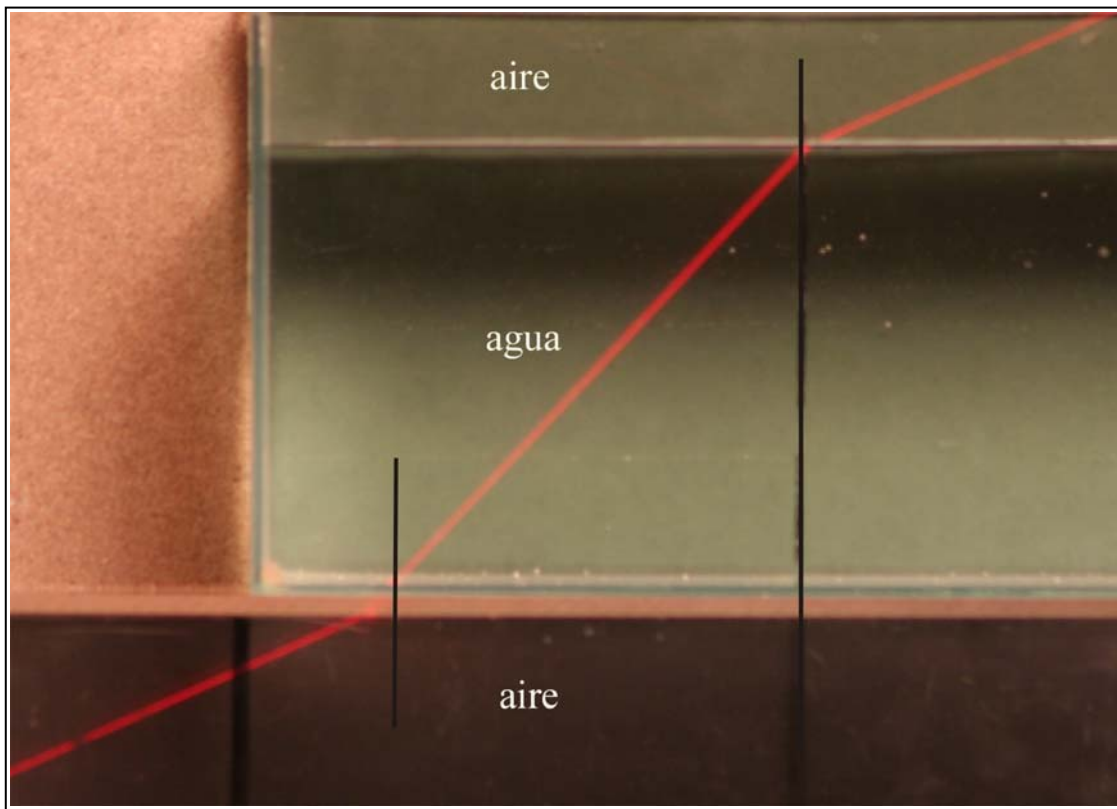


Tabla 1

Ángulo de incidencia $i/^\circ$						
Distancia en fotografía $x_{foto}/cm$						
Factor de escala en las distintas fotografías ,f						
Distancia real , $x = f \cdot x_{foto}$ ; $x/cm$						
Senó del ángulo de incidencia $sen i$						
$\frac{1}{x^2} / cm^{-2}$						
$\frac{1}{sen^2 i}$						

Tabla 2

<i>Ángulo de incidencia, mayor</i> $i_{mayor}/^{\circ}$						
<i>Ángulo de incidencia, menor</i> $i_{menor}/^{\circ}$						
<i>Distancia real</i> $x_{menor}/cm$						
<i>Distancia real</i> $x_{mayor}/cm$						
$\frac{I}{x_{menor}^2} / cm^{-2}$						
$\frac{I}{x_{mayor}^2} / cm^{-2}$						
$sen i_{menor}$						
$sen i_{mayor}$						
$\frac{I}{sen^2 i_{menor}}$						
$\frac{I}{sen^2 i_{mayor}}$						

### Gráficas

1.- Con los valores de la tabla 1, represente  $\frac{I}{x^2}$  en el eje Y, y  $\frac{I}{sen^2 i}$  en el eje X. Trace la recta y determine su pendiente. A partir de esa pendiente y del valor de  $e = 11,7 cm$ , calcule el índice de refracción relativo del agua al aire.

2.- Con los valores de la tabla 2 represente,  $\frac{I}{x_{menor}^2}$  en el eje de ordenadas frente a  $\frac{I}{sen_{mayor}^2}$  en el eje de abscisas. En la misma gráfica represente  $\frac{I}{x_{mayor}^2}$  en el eje de ordenadas frente a  $\frac{I}{sen_{menor}^2}$  en el eje de abscisas. Calcule las pendientes de ambas rectas. Halle el valor medio de ambas pendientes con su incertidumbre y a partir de él, el valor de  $n$  (índice relativo del agua al aire) con su incertidumbre.