

# Ángulo límite

## Fundamento

La ley de la refracción se expresa de la siguiente manera:

$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r_f$$

Donde  $n_2$  es el índice de refracción del medio 2 y  $n_1$  el índice de refracción del medio 1. Cuando  $n_1 > n_2$ , el  $\operatorname{sen} i < \operatorname{sen} r_f$  y en consecuencia  $i < r_f$ . Ocurre entonces, que existe un cierto ángulo de incidencia, llamado **ángulo límite**, al que corresponde el de refracción,  $r_f = 90^\circ$ . Si mandamos un rayo incidente cuyo ángulo de incidencia sea mayor que el límite no se produce refracción, sino que ese rayo se refleja en la superficie de separación de los dos medios, siguiendo la ley de la reflexión, o en otras palabras, la superficie de separación, en este caso, se comporta como si fuese un espejo. A este comportamiento se le llama **reflexión total**.

En el experimento utilizamos como medios materiales agua y aire. Los rayos incidentes vienen desde un medio que es agua y los refractados pasan a otro, que es el aire. Dado que  $n_1$  del agua es mayor que 1, y el del aire es 1, se producirá la reflexión total; se medirá el ángulo límite y se comprobará que para un ángulo de incidencia superior al límite no existe refracción.

La figura 1 es una fotografía del montaje experimental. Observe que existen dos cajas, la inferior contiene aire con algo de humo, para que podemos observar la marcha del rayo. Teniendo en cuenta que el láser no lo podemos introducir en el agua, éste se encuentra al lado de la caja inferior. Encima de ella, está la cubeta que contiene agua y aire y es esta parte del montaje la que nos interesa para observar el fenómeno de la reflexión total. Por ello en las fotografías para la toma de datos solamente aparecen el agua y el aire.

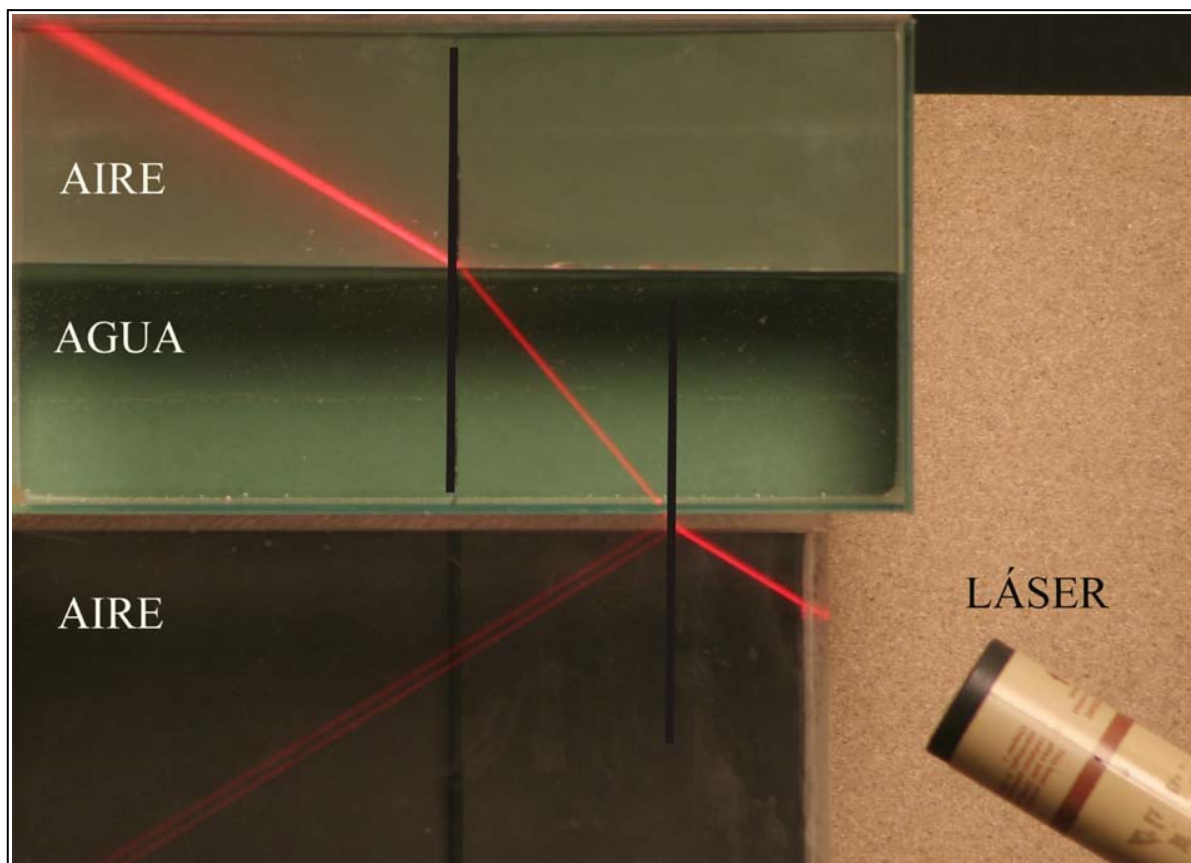


Fig.1

En las siguientes fotografías aparecen ciertos rayos, que no nos interesan para el fenómeno que estudiamos, debido a que existe reflexión en la tapa de la caja superior. Para nuestro propósito deben ignorarse.

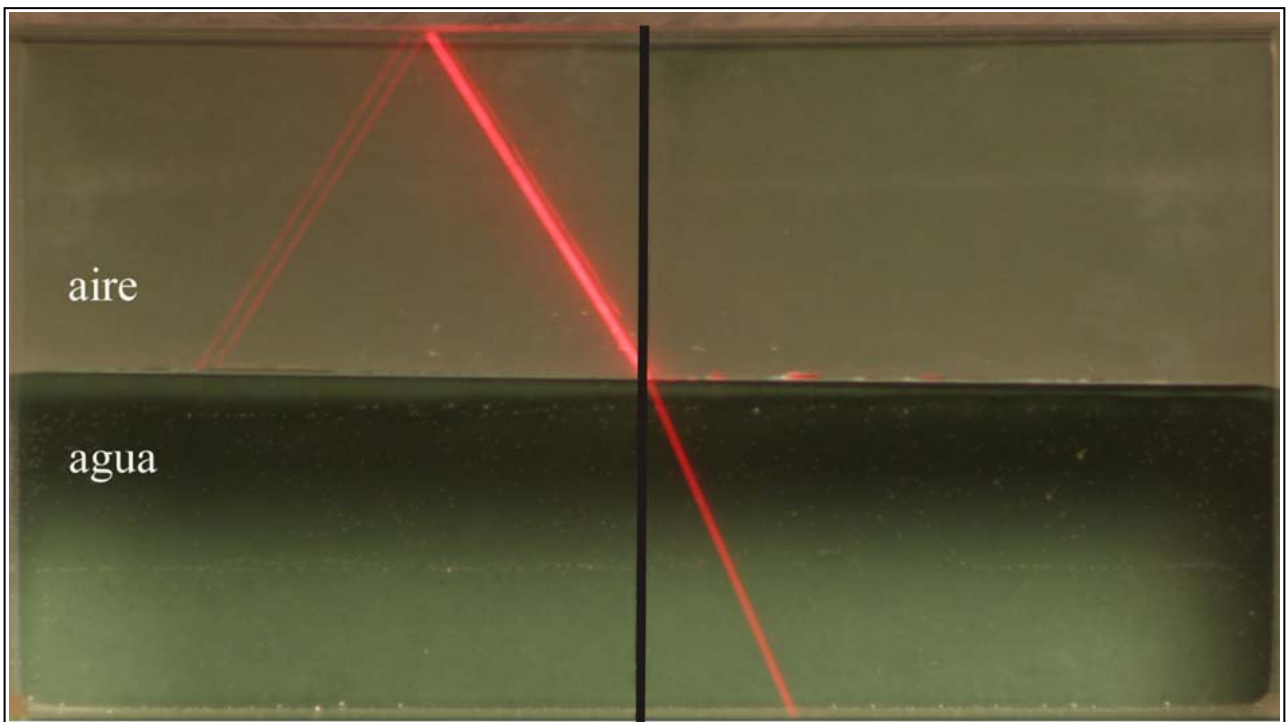
### Medidas

En cada una de las fotografías para toma de datos de la 1 a la 6, se miden los ángulos de incidencia y los de refracción y los valores obtenidos se disponen en la tabla 1. Para hacer las medidas es útil trazar sendas líneas que se superpongan sobre los rayos pasando a lo largo del eje de cada uno de los rayos y que ambas se unan en la normal. Complete la tabla 1.

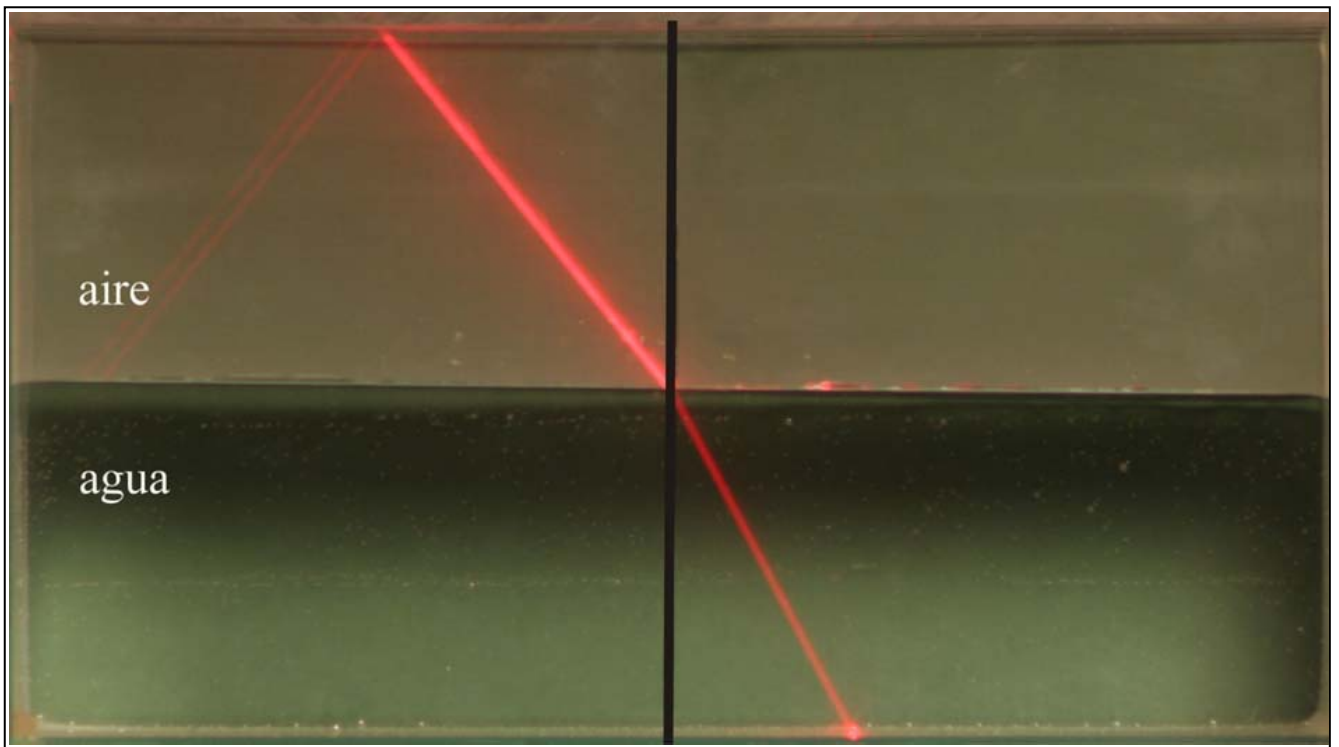
Teniendo en cuenta que los rayos no son líneas rectas geométricas, sino que tienen un cierto espesor, se debe determinar que en cada medida de los ángulos existe una cierta incertidumbre. El valor de esta incertidumbre lo determina el criterio del lector. Para confeccionar la tabla 2, al valor medido se le añade y resta la incertidumbre estimada, obteniéndose así dos valores para cada ángulo. Por ejemplo si un ángulo de refracción es  $20^\circ$  y se estima que la incertidumbre es  $1^\circ$ , en la tabla 2 colocaríamos refracción menor  $19^\circ$  y refracción mayor  $21^\circ$ . Complete la tabla 2.

### Fotografías

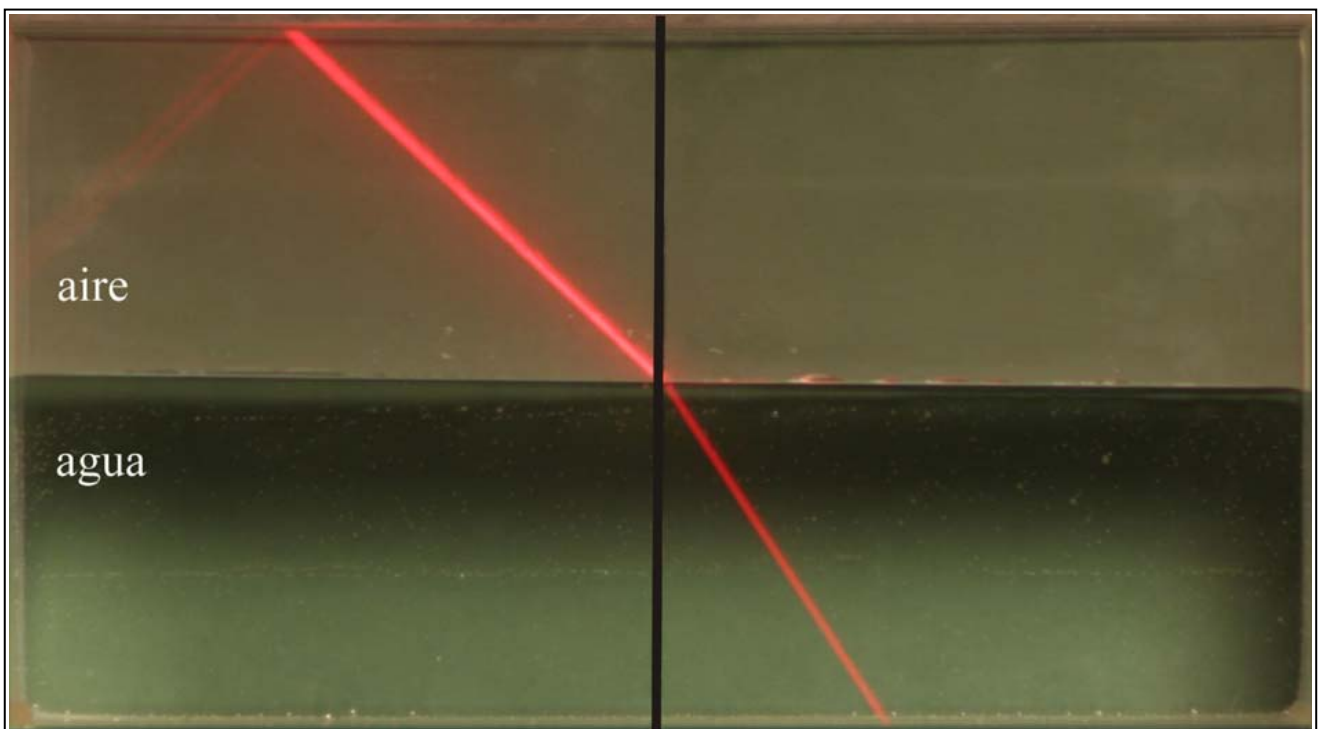
Fotografía 1 para toma de datos



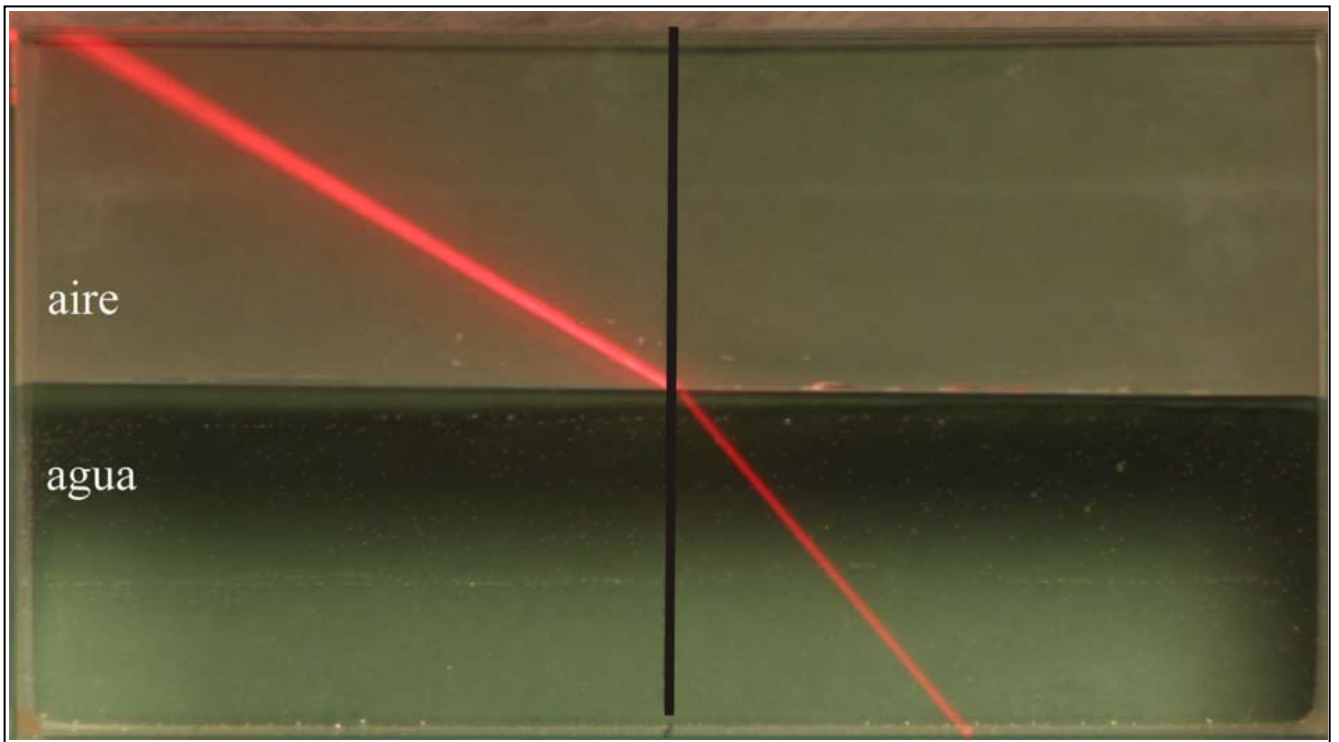
**Fotografía 2 para toma de datos**



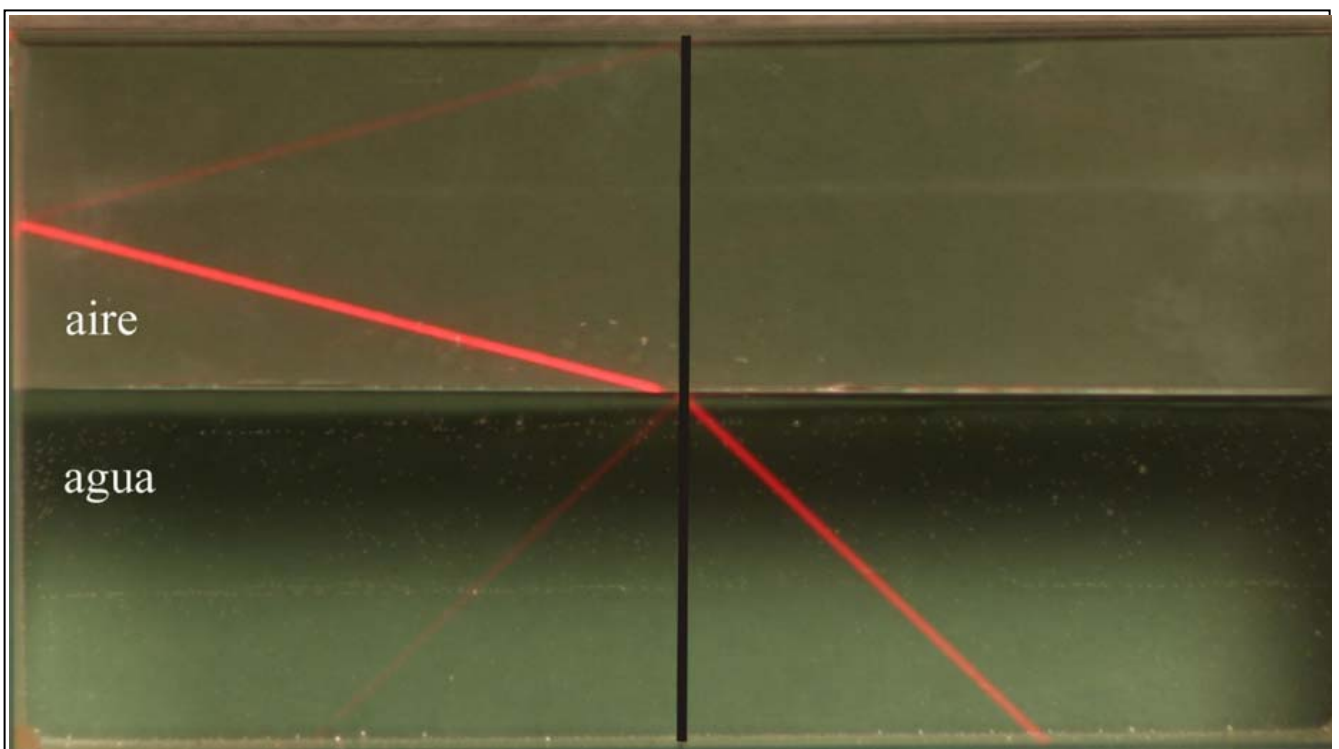
**Fotografía 3 para toma de datos**



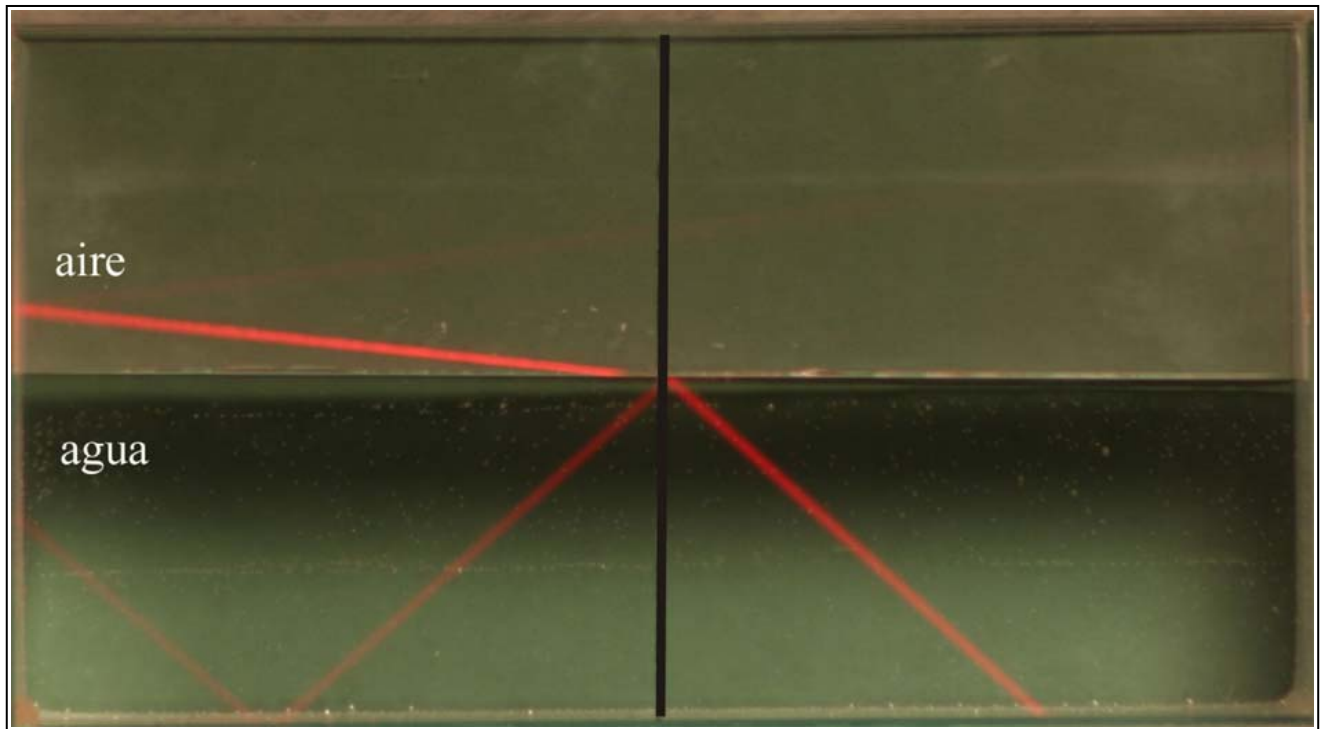
**Fotografía 4 para toma de datos**



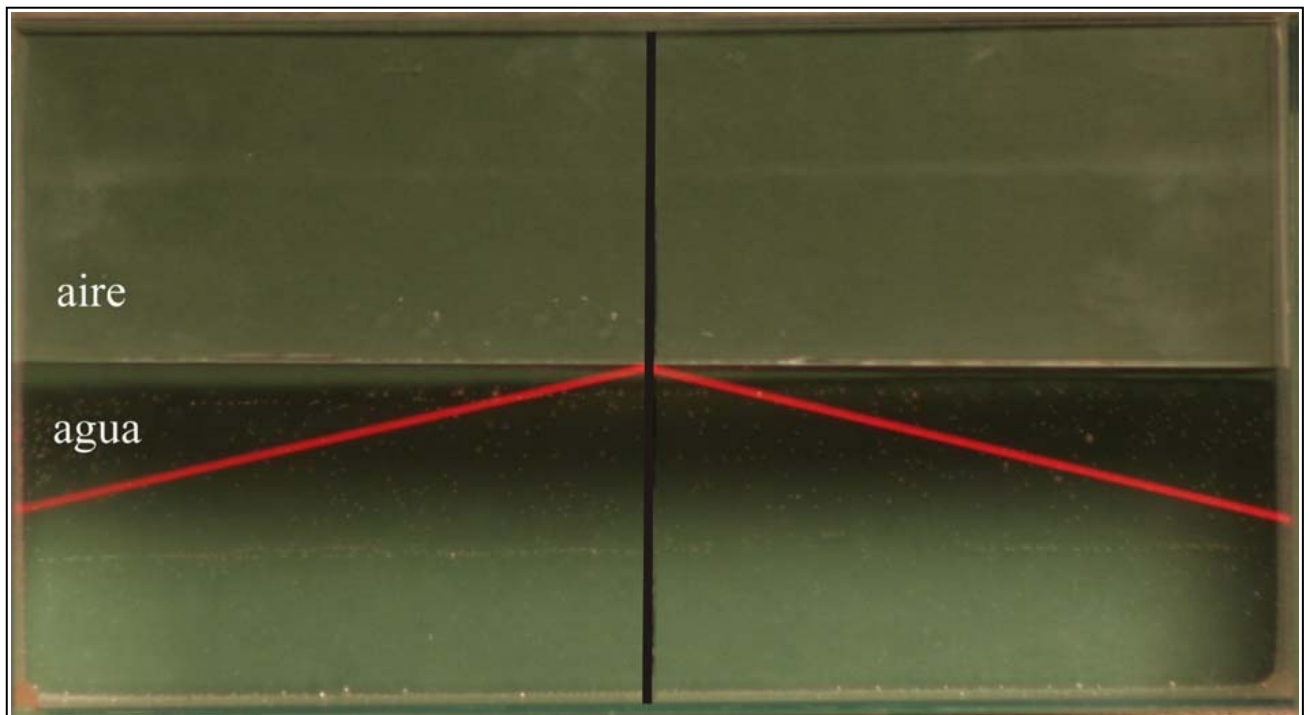
**Fotografía 5 para toma de datos**



Fotografía 6 para toma de datos



Fotografía 7



*En la fotografía 7 se observa el fenómeno de la reflexión total. No existe rayo refractado; el incidente se refleja totalmente en la superficie de separación. En este caso el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite.*

Tabla 1

Ángulo de incidencia $i/^\circ$						
Ángulo de refracción $r_f/^\circ$						
Seno del ángulo de incidencia $\text{sen } i$						
Seno del ángulo de refracción $\text{sen } r_f$						

Tabla 2

Ángulo de incidencia menor $i_{men}/^\circ$						
Ángulo de incidencia mayor $i_{may}/^\circ$						
Ángulo de refracción menor $r_{fmen}/^\circ$						
Ángulo de refracción ,máximo $r_{fmay}/^\circ$						
$\text{sen } i_{men}$						
$\text{sen } i_{may}$						
$\text{sen } r_{fmen}$						
$\text{sen } r_{fmay}$						

### Gráficas

1.- Con los valores de la tabla 1, represente el seno del ángulo de incidencia en el eje X, frente al seno del ángulo de refracción en el eje Y. Trace una recta que pase por el origen de coordenadas y determine su ecuación. A partir de esa ecuación calcule el ángulo límite agua-aire.

2.- Represente el seno de incidencia menor (eje X) frente al seno de refracción mayor (eje Y). En la misma gráfica represente el seno de incidencia mayor (eje X) frente al de refracción menor (eje Y). Determine la pendiente de cada recta, haciéndolas pasar por el origen de coordenadas. Calcule al ángulo límite a partir de cada pendiente y finalmente dé el resultado de ese ángulo con su incertidumbre.

3.- Mida el ángulo de incidencia en la fotografía 7 y compruebe si es superior al ángulo límite.