

## Polarización por reflexión (ángulo de Brewster)

### Fundamento

El modelo ondulatorio para la luz considera a ésta como una onda electromagnética, constituida por un campo eléctrico  $\vec{E}$  y uno magnético  $\vec{B}$ , propagándose en el vacío con una velocidad  $c = 300.000$  km/s. Ambos campos varían con el tiempo y están situados en planos perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, estando relacionados entre sí por las ecuaciones de Maxwell. En general se suele representar la onda luminosa mediante el campo eléctrico y si se trata de luz natural (también se dice luz no polarizada), éste forma con el eje Y, fig.1, cualquier ángulo, si bien, estadísticamente como todos los ángulos son igualmente probables, en los libros de Física se representa la luz por una serie de flechas, las cuales simbolizan el valor máximo de  $\vec{E}$ . Se denomina luz cuando la frecuencia de esa onda pertenece al espectro visible.

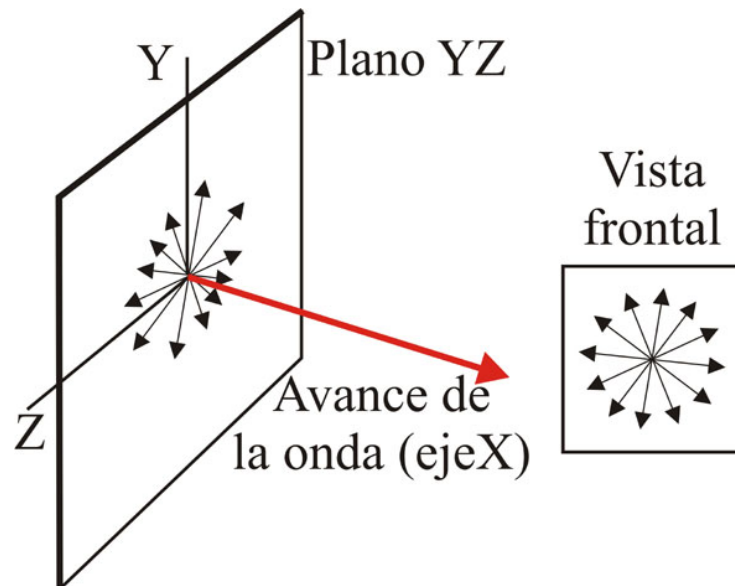


Fig.1

Si mediante algún procedimiento experimental se consigue que la oscilación del campo  $\vec{E}$  de una luz natural se verifique en una sola dirección, entonces se trata de una luz polarizada longitudinalmente. La representación gráfica de una onda polarizada linealmente corresponde a la figura 2

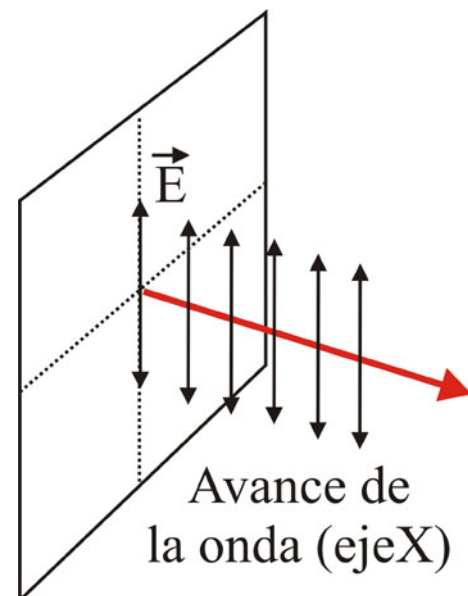


Fig.2

Cuando a la luz no polarizada se le interpone en su camino una *lámina polarizadora* (también llamada *polaroide*) se consigue que la luz natural pase a ser luz polarizada linealmente. Una explicación gráfica del fenómeno aparece en la figura 3.

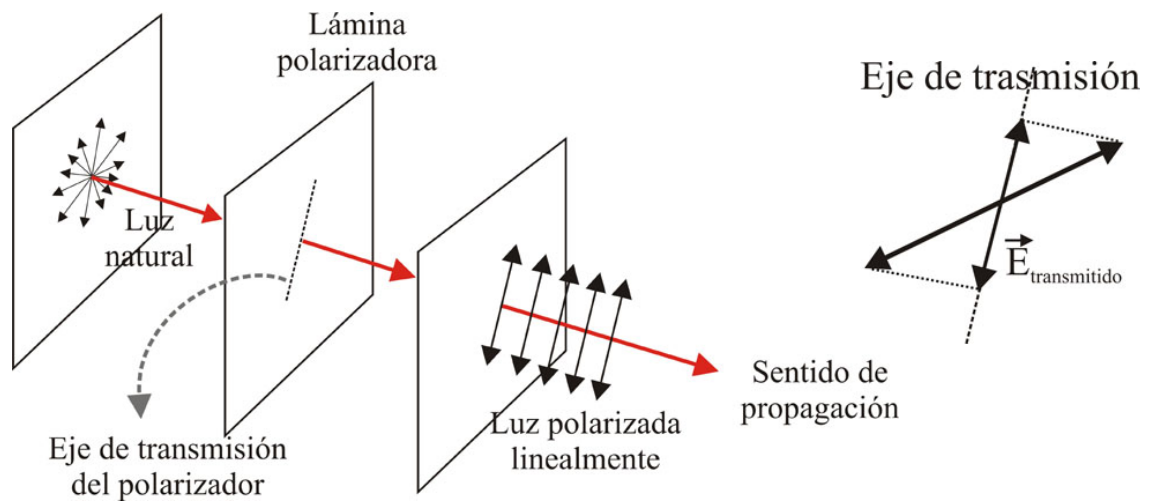


Fig.3

Existe en las láminas polarizadoras una dirección característica de polarización, denominada *eje de transmisión*, tal que sólo las componentes de los vectores del campo eléctrico que vibren paralelamente a esa dirección, atraviesan la lámina sin ser absorbidas y en cambio todas las demás son absorbidas por la lámina.

Cuando en el experimento de la figura 3, una vez que la luz está polarizada linealmente, se sitúa un segundo polarizador (llamado *analizador*), cuya dirección de transmisión es perpendicular a la del primero se produce extinción de la luz. El esquema del proceso está en la figura 4.

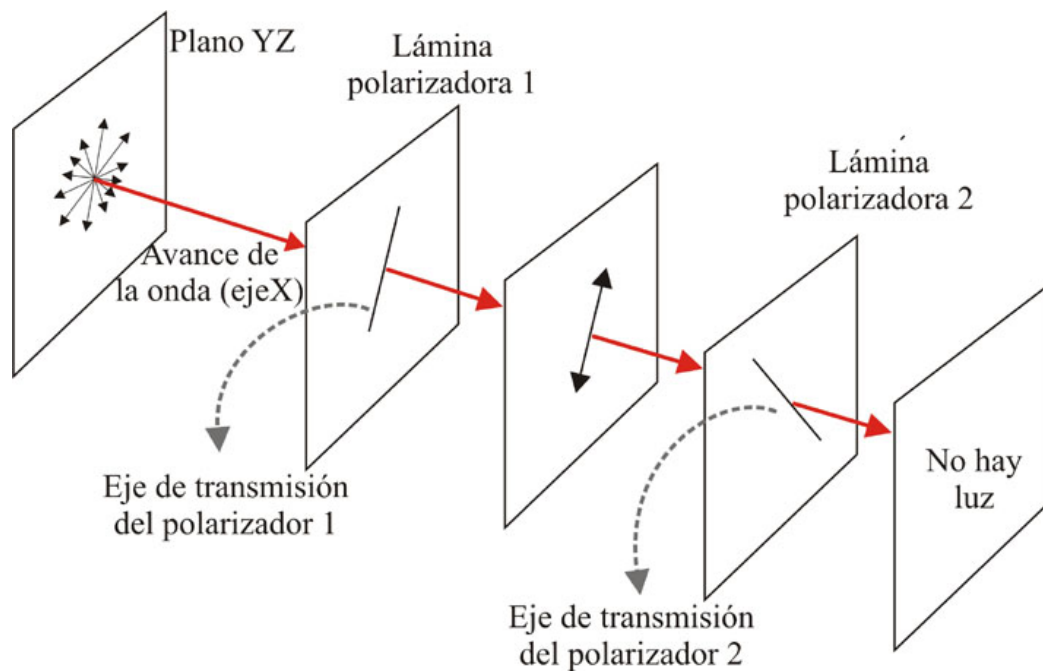


Fig.4

### Ángulo de Brewster

Supongamos que luz natural incide sobre una superficie transparente (por ejemplo de vidrio), bajo un determinado ángulo de incidencia  $i$ , se produce una reflexión de la luz, siendo el ángulo reflejado igual al incidente, y una refracción con un ángulo que designamos con  $r_e$ . El haz reflejado presenta unas características diferentes que el refractado. Ambos están parcialmente polarizados, pero en el haz reflejado predomina la componente del vector  $\vec{E}$  que está en una dirección paralela a la superficie de

reflexión  $\vec{E}_p$  y además existe un determinado ángulo de incidencia, llamado *ángulo de Brewster*, para el que el haz reflejado *está totalmente polarizado en la dirección paralela a la superficie*, esto es, solamente existe la componente de  $\vec{E}_p$  del campo eléctrico

En la figura 5, el vector  $\vec{E}$  se puede descomponer en dos componentes perpendiculares entre sí, una que es perpendicular al plano de incidencia  $\vec{E}_n$  y otra contenida en ese plano  $\vec{E}_p$

La luz incidente es luz no polarizada, mientras que la reflejada está *polarizada linealmente* en dirección paralela a la superficie de reflexión, en cambio la refractada se encuentra *parcialmente polarizada*, conservando las dos componentes del campo eléctrico. El ángulo  $\theta_B$  para el que se produce una luz reflejada totalmente polarizada linealmente, se denomina ángulo de Brewster y entonces el rayo reflejado y el refractado son perpendiculares.

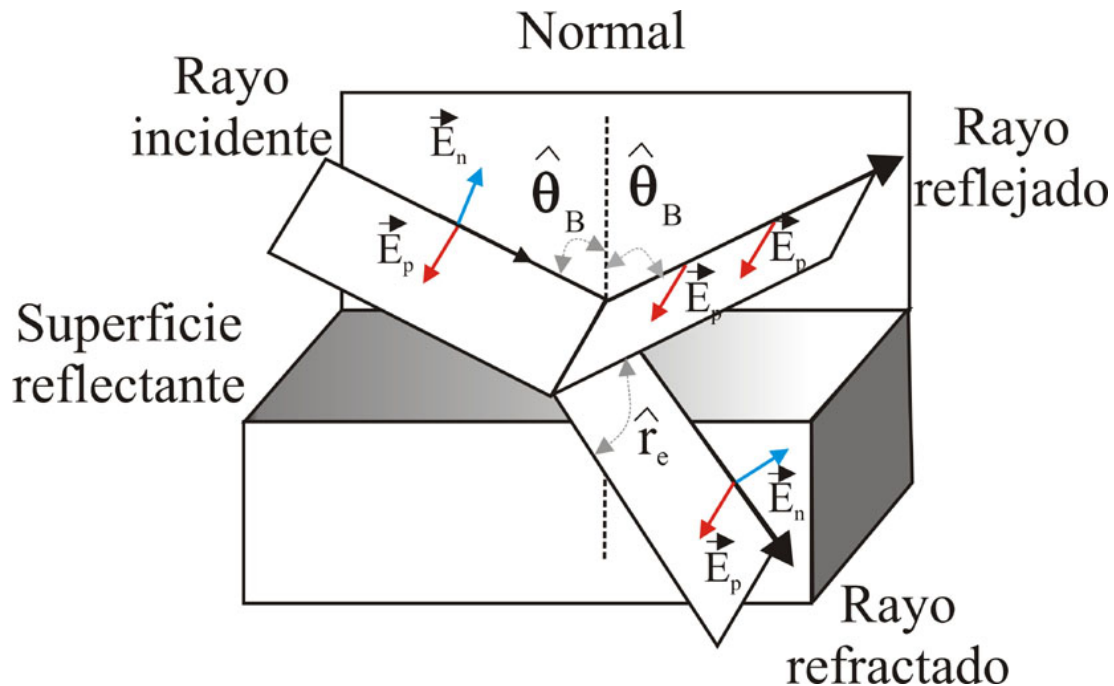


Fig.5

Si designamos con  $n$  al índice de refracción de la lámina de vidrio y aproximamos por 1 al del aire, se cumple cuando el ángulo de incidencia es el de Brewster.

$$\text{sen } \theta_B = n \text{ sen } r_e$$

Con el ángulo de Brewster se cumple:

$$\theta_B + r_e = 90^\circ$$

De ambas ecuaciones

$$\text{sen } \theta_B = n \text{ sen}(90^\circ - \theta_B) = n \cos \theta_B \Rightarrow \text{tag } \theta_B = n$$

En el experimento que proponemos mediremos el ángulo de Brewster. Para ello haremos llegar, con distintos ángulos de incidencia, luz no polarizada del láser de He-Ne sobre la superficie plana de un vidrio en forma de lente semicilíndrica. El haz reflejado atravesará un polaroide y detrás de él se colocará una fotorresistencia ó LDR, la cual va unida directamente a un óhmetro, este instrumento mide la resistencia de la LDR, **la cual depende de la intensidad de luz que le llegue.**

El polaroide elimina la componente perpendicular al plano de incidencia y deja pasar solamente la otra componente paralela.

Empezamos con ángulos de incidencia pequeños para los que la *luz reflejada estará polarizada parcialmente* y como el polaroide sólo puede eliminar la componente perpendicular al plano de incidencia a la fotorresistencia le llega luz; pero cuando se alcance al ángulo de Brewster, la luz reflejada solamente tiene la componente perpendicular al plano de incidencia y el polaroide la elimina casi en su totalidad y entonces la LDR es cuando recibe menor intensidad de luz (prácticamente nula) y su resistencia alcanza el valor máximo.

En la figura 6 se indica de forma esquemática el montaje experimental.

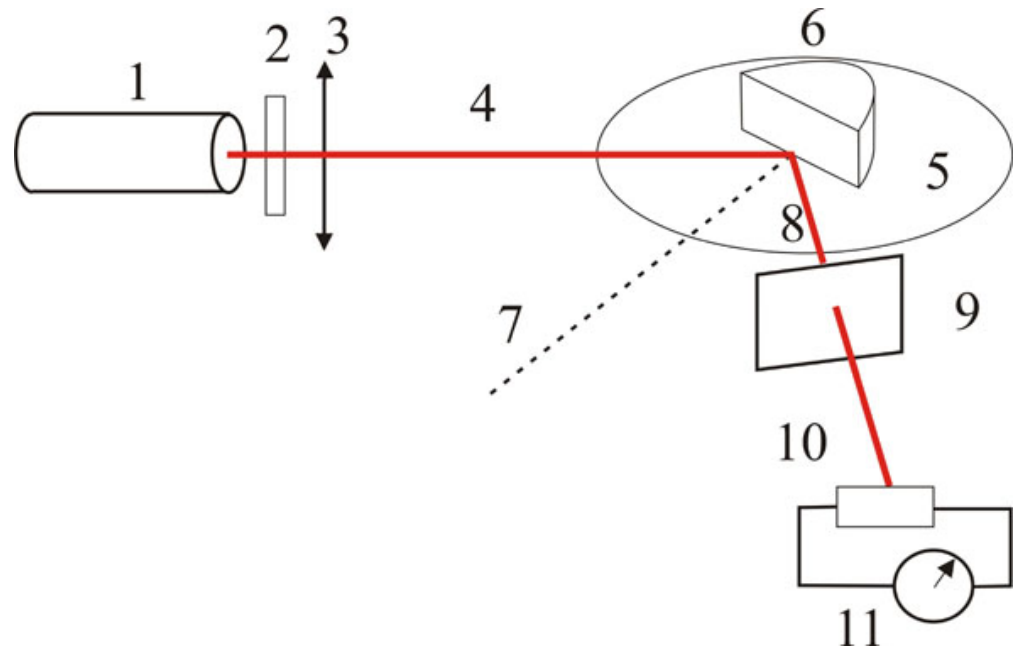


Fig.6

1) láser, 2) lente cilíndrica (es una varilla maciza de laboratorio de forma cilíndrica), 3) lente convergente de distancia focal  $50\text{ mm}$ , 4) haz de luz incidente, 5) semicírculo graduado, 6) lente de vidrio semicilíndrica, 7) normal a la cara plana de la lente semicilíndrica, 8) haz de luz reflejado en la cara plana de la lente, 9) polaroide, 10) fotorresistencia ó LDR, 11) óhmetro.

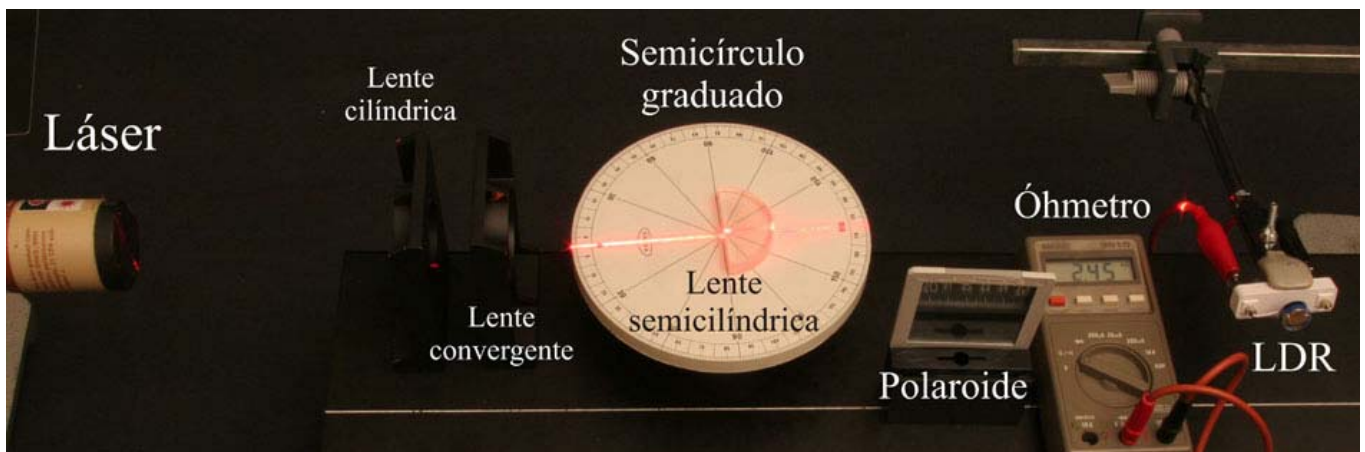


Fig.7

En la figura 7 pueden observarse los instrumentos que se necesitan para el experimento.

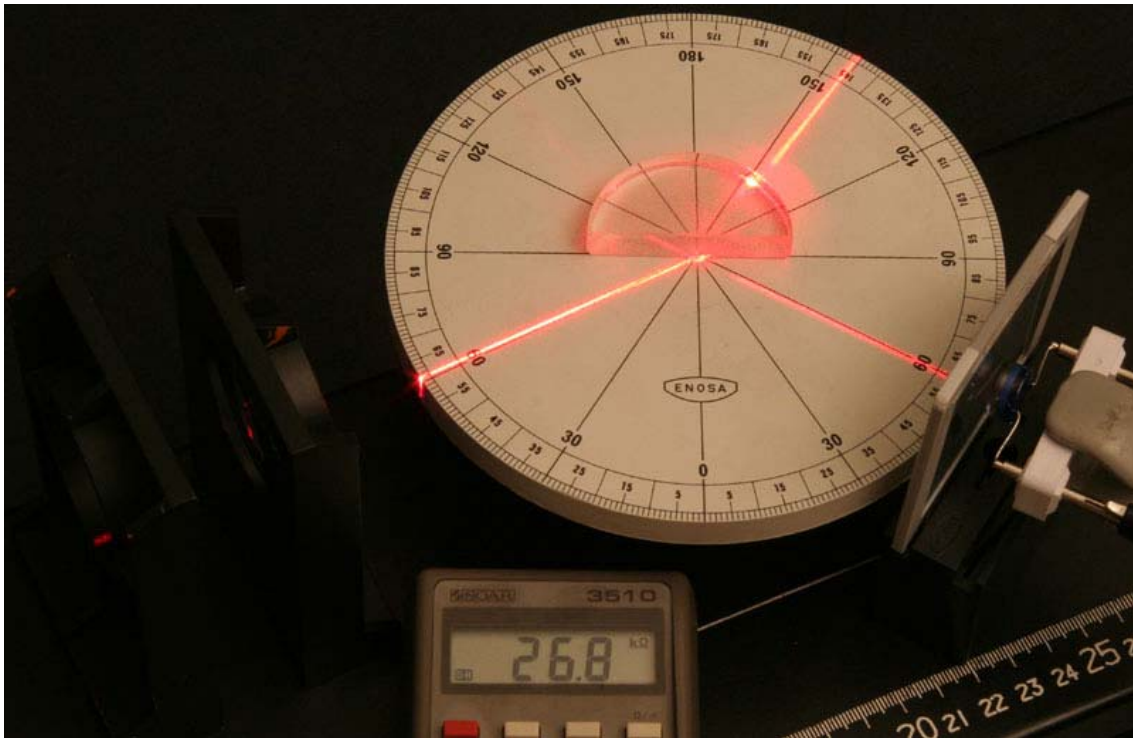


Fig.8

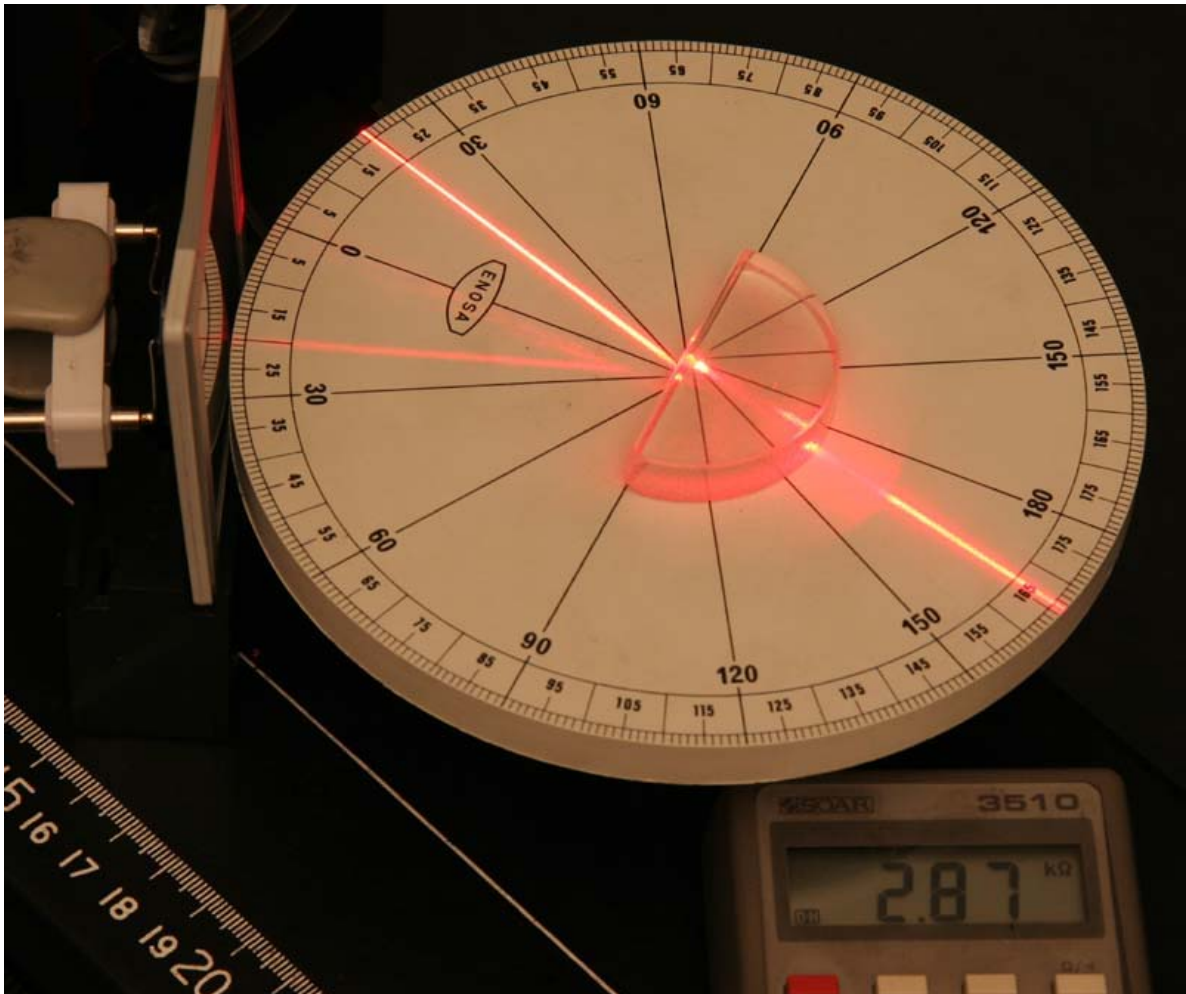
En la figura 8 puede verse la disposición de algunos constituyentes del experimento cuando se realiza una medida. En este caso el ángulo de incidencia es  $60^\circ$  y el óhmetro indica  $26,8 \text{ k}\Omega$ .

### Medidas

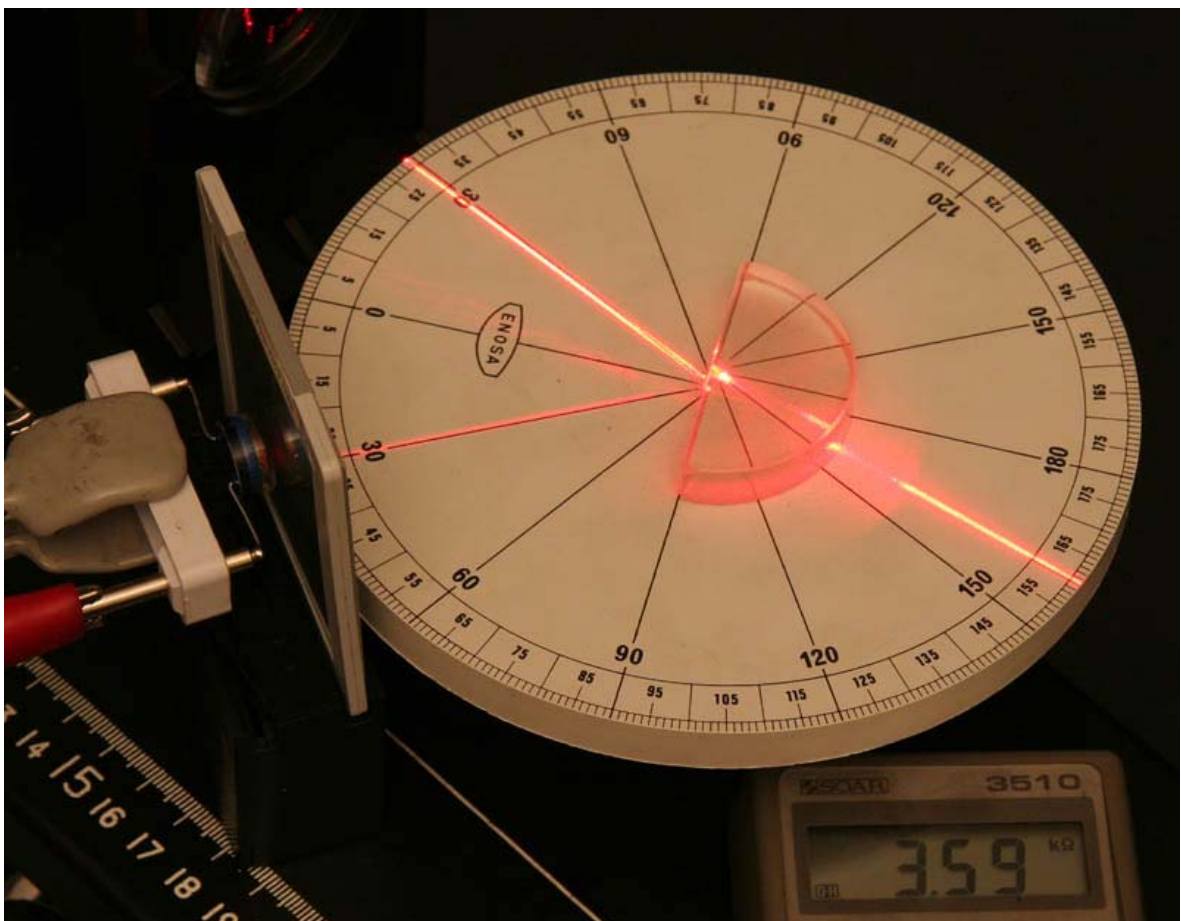
En las fotografías *1 a 8 para la toma de datos*, se deben medir los ángulos de incidencia y de refracción y las lecturas del óhmetro. Todos los valores se deben colocar en la tabla 1. Observe que las citadas fotografías se han hecho desde distintas perspectivas, con la finalidad de poder leer con la mayor precisión posible las medidas.

Las lecturas que indica el óhmetro se han hecho sin luz en el laboratorio, para que a la fotorresistencia solamente le llegue la luz del láser. El aparato de medida lleva una tecla llamada *hold* que registra la medida a oscuras y la fija en pantalla; esto permite hacer la fotografía posteriormente con la luz necesaria para ello.

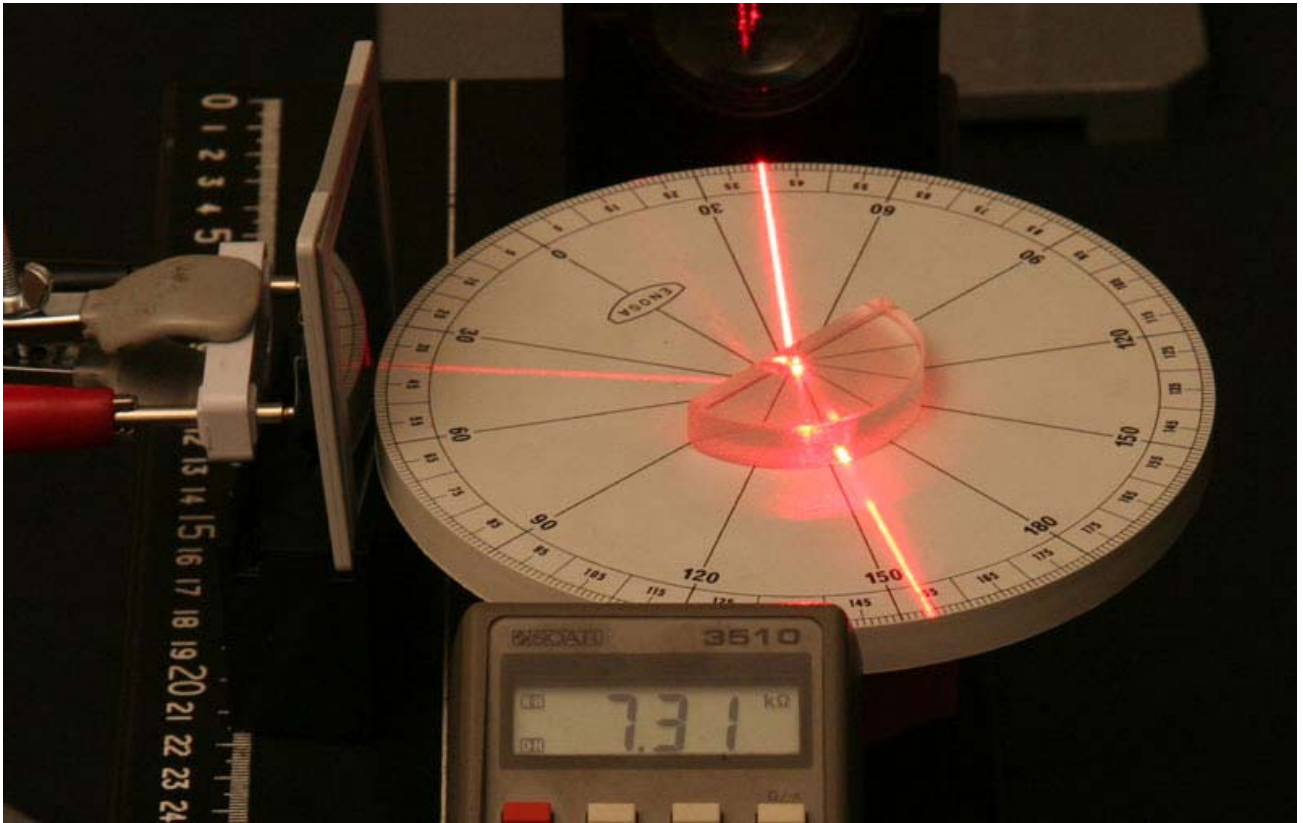
### Fotografías



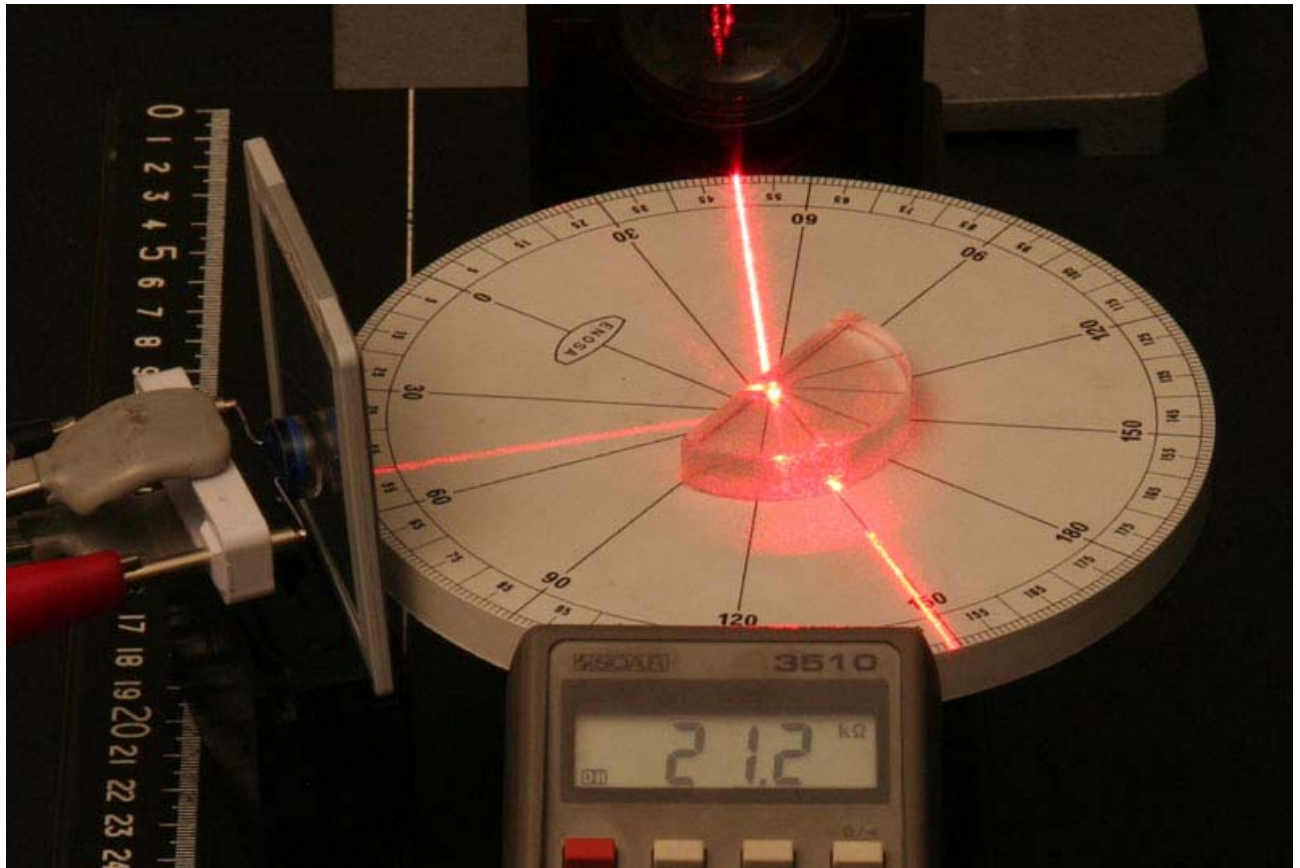
Fotografía 1 para toma de datos



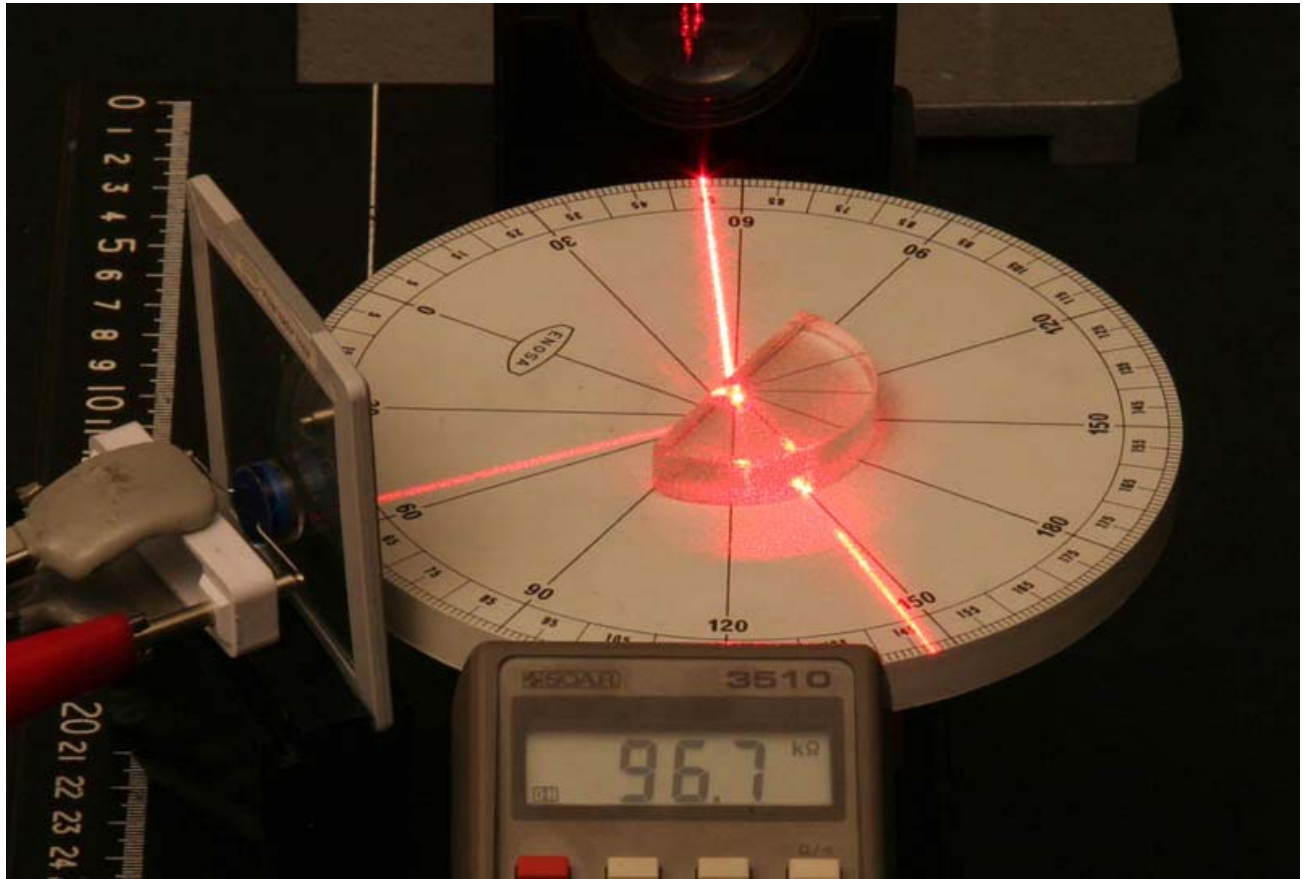
Fotografía 2 para toma de datos



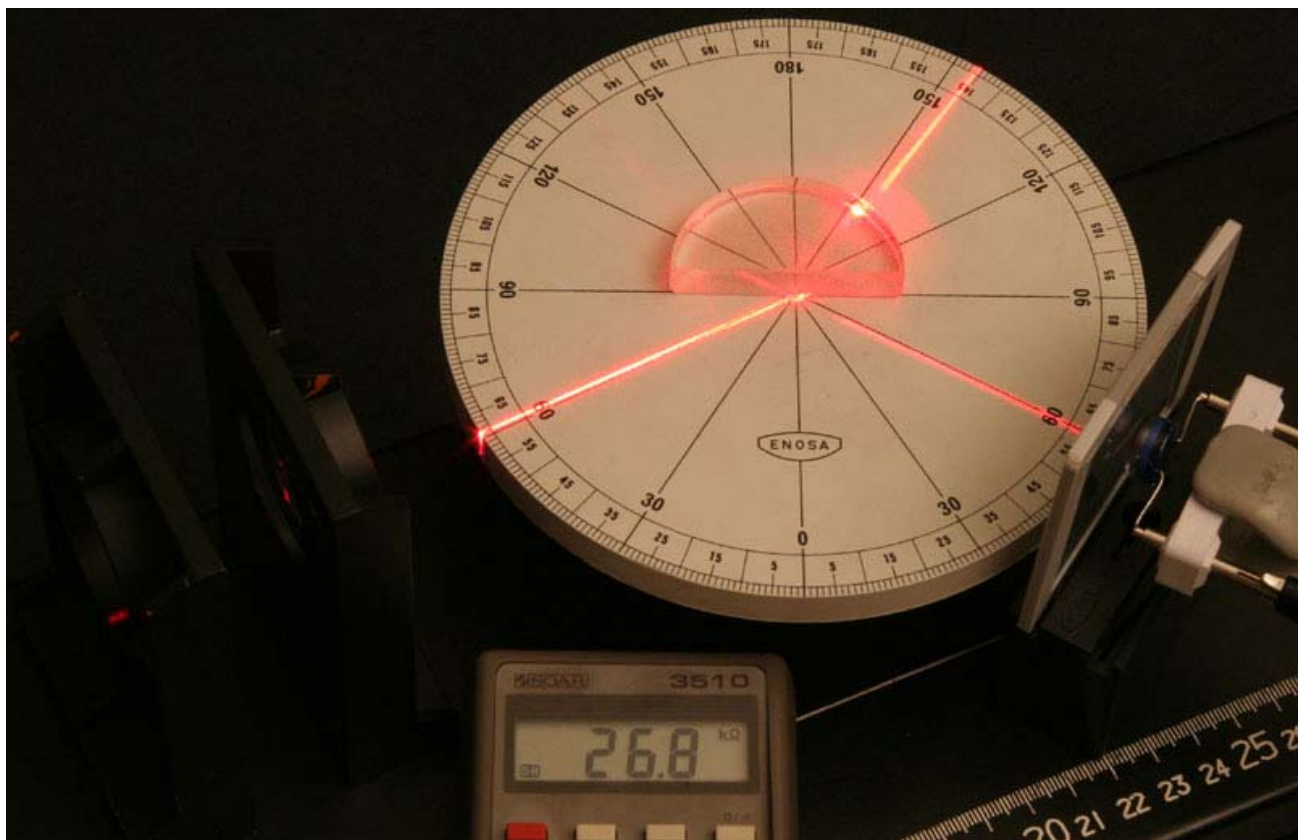
Fotografía 3 para toma de datos



Fotografía 4 para toma de datos

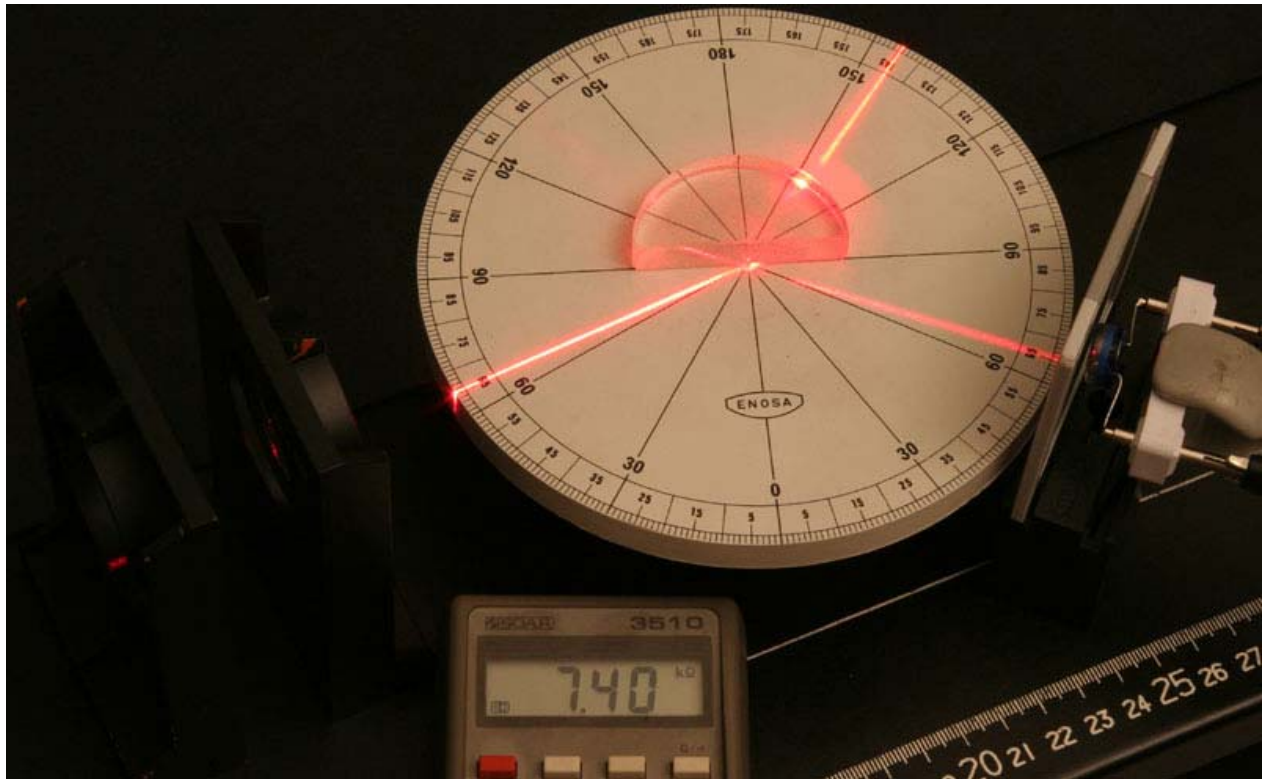


Fotografía 5 para toma de datos



Fotografía 6 para toma de datos





Fotografía 7 para toma de datos



Fotografía 8 para toma de datos

Tabla 1

<i>ángulo de incidencia</i> $i/^\circ$								
<i>ángulo de refracción</i> $r/^\circ$								
<i>Resistencia</i> $R / k\Omega$								

### Gráficas

- 1.- Represente en el eje de ordenadas los valores de la resistencia en  $k\Omega$  y en el eje de abscisas los valores de los ángulos. Estime a partir de la curva obtenida el ángulo de Brewster y el índice de refracción del vidrio.
- 2.- Represente en el eje de ordenadas el seno de los ángulos de incidencia y en el eje de abscisas el seno de los ángulos de refracción. Determine el índice de refracción del vidrio.