

GONIÓMETRO ADAPTADO PARA LA OBSERVACIÓN DE LOS FENÓMENOS Y MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LAS LEYES DE REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN DE BAJO COSTO.

Prof. Arauz, Fernando Enrique^{(*)1}, Torres Ercolani, Saúl E.^{(*)2}, Ing. Cabrera, César A.^{(*)3}, Ing. Merino, Carlos A.^{(*)4}, Dra. Benz, Erika N.^{(*)5}, Dr. Provasi, Patricio F.^{(*)6}

Palabras Clave: Óptica geométrica, refracción, reflexión, dispositivo de medida, material didáctico.

Resumen: Con este trabajo se busca favorecer el proceso enseñanza aprendizaje de algunas leyes de la óptica, en particular la refracción, reflexión y la descomposición de la luz en su espectro fundamental. El objetivo fue el diseño de una unidad didáctica autocontenida que, con material de fácil consecución y bajo costo, permita a los estudiantes la asociación de los fenómenos mencionados y que se observan en la vida cotidiana, con lo aprendido sobre conceptos fundamentales de la óptica. Esto permitirá que el estudiante construya su conocimiento a través de la observación directa del mundo real a partir de las actividades diseñadas por el docente.

Keywords: Geometrical optic, refraction, reflexion, measurement device, classroom material.

Abstract: This work searches to favor the education - learning process of some optic laws, in particular the refraction, reflexion and decomposition of the light in its fundamental spectrum. The objective was the design of a self-content didactic unit that, with material of easy attainment and low cost, allow the students the association of the mentioned phenomena and observed in everyday life, with the learned on fundamental concepts of optic. This would allow that the student builds up his knowledge throw direct observation of the real world from activities designed by the teachers.

Introducción Teórica: Refracción, Reflexión y Descomposición

Se denomina índice de refracción, al cociente entre la velocidad de la luz c en el vacío y la velocidad v de la luz en un medio material transparente.

(*) Departamento de Física, FaCENA - UNNE

1- 0370-409-4703 - fernandoarauz09@gmail.com / 2 - 0379-461-5522 - saul.torres.ercolani@comunidad.unne.edu.ar

3 - 0379-465-4870 - cesar_anibalcabrera@hotmail.com / 4 - 0379-440-4640 - ingcmerino@gmail.com

5 - 0362-464-0390 - erikabentz2013@gmail.com / 6 - 0379-475-0698 - patprovasi@gmail.com

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

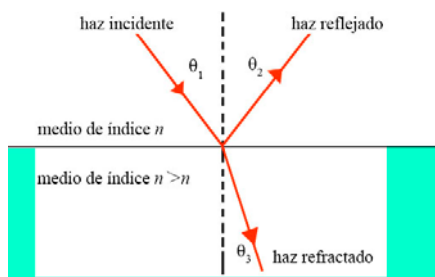
La refracción viene regida por la ley de Snell que se expresa en términos del índice de refracción. El nombre proviene de su descubridor, el matemático holandés Willebrord van Roijen Snell (1580-1626). Ésta ley se describe con una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción o desviación de la luz (o cualquier onda electromagnética) al atravesar la superficie de separación entre dos medios con índices de refracción distintos [1-3].

$$n \cdot \text{sen}(\theta_1) = n' \cdot \text{sen}(\theta_2) \quad (2)$$

La misma afirma que el producto entre el índice de refracción y el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios.

La ley de Snell se puede derivar a partir del principio de Fermat, que indica que la trayectoria de la luz es aquella en la que los rayos de luz necesitan menos tiempo para ir de un punto a otro [4].

Figura 1: Esquema de la marcha de rayos en la superficie de separación entre dos medios de índices de refracción n y n'



Si consideremos dos medios caracterizados por índices de refracción n_1 y n_2 separados por una superficie S . Los rayos de luz

que atraviesen la superficie se refractarán en ésta, variando su dirección de propagación como se muestra en la *Figura 1*. Ésta variación depende de la diferencia entre los índices de refracción n y n' .

Una regla cualitativa para determinar la dirección de la refracción es que el rayo en el medio de mayor índice de refracción se acerca siempre a la dirección de la normal a la superficie separatriz ya que la velocidad de la luz en el medio de mayor índice de refracción es siempre menor.

También podemos considerar un rayo de luz propagándose en un medio con índice de refracción n y que incide con un ángulo θ_i con relación a la vertical a la superficie de separación con un medio de índice n' , siendo $n' > n$. En este caso es fácil inferir que el rayo de luz puede reflejarse totalmente en el interior del medio de mayor índice de refracción. Este fenómeno se conoce como reflexión interna total y se produce para ángulos de incidencia θ_i mayores que un valor crítico igual:

$$\text{sen}^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

La reflexión es el cambio de dirección de un rayo o una onda que ocurre en la superficie de separación entre dos medios, de tal forma que regresa al medio inicial. Normalmente ocurre que cuando un haz de luz incide sobre la superficie que separa dos medios, parte de la misma se transmite y parte se refleja como se indica esquemáticamente en la *Figura 1*.

Finalmente podemos mencionar que la dispersión cromática de la luz es un fe-

nómeno que se produce cuando un rayo de luz compuesta de varias longitudes de onda se refracta en algún medio (por ejemplo un prisma), quedando separados sus colores constituyentes.

Figura 2: Esquema de la dispersión de la luz blanca al atravesar la superficie de separación entre medios de diferente índice de refracción.



Esto se debe a que los distintos colores que forman la luz blanca viajan en el medio a distinta velocidad en función de su longitud de onda, en otras palabras, el índice de refracción decrece cuando aumenta la longitud de onda, de forma que las longitudes de onda más largas (rojo) se desvían menos que las cortas (azul). Esta relación se puede expresar como:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots \quad (4)$$

Donde A, B, C... son constantes que dependen del material y λ es la longitud de onda.

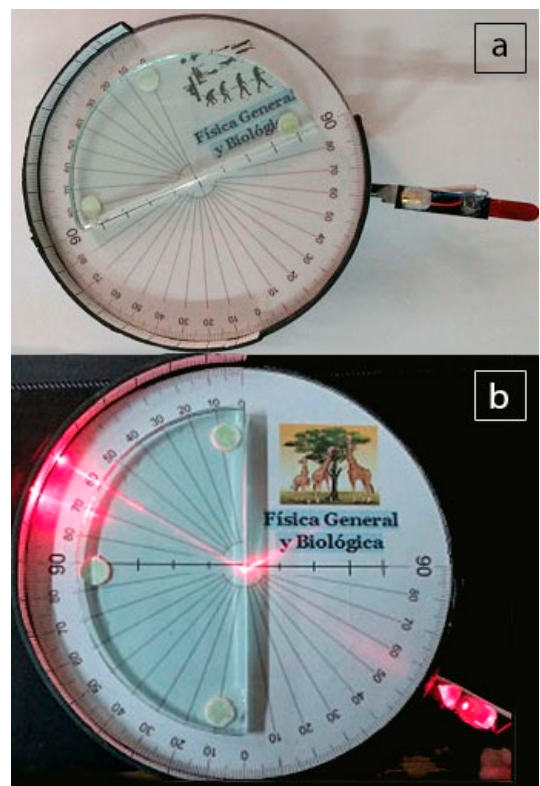
Materiales y Métodos

El dispositivo consta esencialmente de las siguientes partes:

- Puntero Láser montado sobre brazo giratorio

- Power Bank de 5V alimentador del puntero laser
- Superficie refractante en forma semi-circular de vidrio Flint de 10 mm de espesor
- Plato con cuadrantes para la lectura del ángulo refractado

Figura 3: Dispositivo diseñado con sus partes señaladas (a) y en funcionamiento (b).



Funcionamiento

Tanto el diseño como el funcionamiento encuentran asidero en algunas de las referencias analizadas [5-8], aunque constituye un enfoque totalmente nuevo.

Refracción:

- Para la determinación del índice de refracción utilizando la Ley de Snell se debe colocar el bloque semi-circular de vidrio sobre

el plato (ver *Figura 3a*). Se puede comprobar que si el rayo incide perpendicularmente sobre el centro del bloque semicircular, éste atraviesa el material y se proyecta en la pantalla sin que se produzca desviación.

- Luego se hace incidir la luz en un ángulo cualquiera de forma que el haz se refracta acorde con la ley de Snell; pudiendo así medir el ángulo θ sobre la escala (ver *Figura 3b*).

- Por otro lado para la determinación del índice de refracción por reflexión total interna, se debe colocar el bloque semicircular girándolo 90° hasta que desaparezca el rayo refractado y de esta manera determinar el ángulo de incidencia límite obtenido. Se puede volver a la posición inicial y repetir el experimento determinando nuevamente el ángulo de incidencia tantas veces como sea necesario para determinar con la mayor fiabilidad posible el ángulo crítico.

- Si se desea conocer los índices correspondientes a otros materiales, solo basta con repetir estas instrucciones sustituyendo el bloque semicircular de vidrio por el del material de interés para el estudio.

Reflexión:

- En este caso, y además de lo visto para la reflexión total interna, es posible reemplazar el bloque semicircular de vidrio por un espejo plano.

Dispersión:

- Este dispositivo también puede ser empleado para observar el fenómeno de dispersión, simplemente desplazando el bloque semicircular y reemplazando el puntero laser por una fuente de luz blanca colimada.

Conclusiones

Este goniómetro modificado presenta un costo muy bajo comparado con los productos comerciales disponibles en el mercado y se puede realizar casi por completo en el laboratorio, con la sola excepción de la base y brazo móvil que pueden construirse en el taller de la Facultad. Esto permite que la confección del dispositivo pueda ser planteado como un trabajo práctico para alumnos avanzados de la carrera de Profesorado en Física.

También presenta la ventaja de la diversidad de experimentos de óptica que se pueden realizar con el mismo dispositivo, por ejemplo al reemplazar el bloque de vidrio por un bloque similar hueco preparado para contener líquidos o prismas de materiales diversos.

Otra ventaja adicional es que como se observa en la *Figura 3*, el alumno puede visualizar el “modelo de rayos” y no solo imaginarlo de manera abstracta, y de esta forma puede construir conocimientos en los contenidos de óptica y además estar cerca de los fenómenos de la física que se observan en la vida cotidiana.

Teniendo en cuenta la naturaleza ondulatoria de la luz y con la ayuda de un ocular o lupa pueden verse las franjas de interferencia que se producen al reflejarse la luz en un espejo, pueden surgir otras posibilidades de aplicación de este dispositivo.

Por último y como medida de seguridad debe prevenirse al usuario que la trayectoria del haz de luz nunca debe ser observada mirando directamente a la fuente láser en la dirección en que se propaga el rayo, ni directamente a ninguno de los rayos desviados.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), de la Secretaría General de Ciencia y Técnica – UNNE y del Proyecto PDTs N° 15: Estrategia Nacional de Articulación entre la Universidad y la Escuela Secundaria para la Ge-

neración de Vocaciones y Fortalecimiento de la Formación media en Ingeniería y Ciencias Exactas Y Naturales, Responsable UNNE: Viviana G. Godoy, Coordinador del Grupo Ciencias Naturales de FaCENA: Guillermo P. Ortiz: Res. 293/14 CD FaCENA. Proyecto aprobado por Res. Ministerio Educación de la Nación 1777/12 y 1962/13. Financiado por la SPU por Res. 56/13. Inicio Marzo de 2014.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] C. V. Bertsch and B. A. Greenbaum, “New Apparatus for Snell’s Law”, *Am. J. Physics* 26 (1958) 340.
- [2] M. Rodrigues and P. Simeão Carvalho, “Teaching optical phenomena with Tracker”, *Phys. Educ.* 49 (2014) 671.
- [3] A. Garg, S. Raj Bharadwaj, P. Kachru, S. K. Dutta, S. Singh, “Innovative methods to promote optics at school level”, *Proc. SPIE* 9946, *Optics Educ. Outreach IV*, (2016) 994618
- [4] H. Helfgott and M. Helfgott, A noncalculus proof that Fermat’s principle of least time implies the law of refraction, *Am. J. Phys.* 70 (2002) 1224
- [5] B. R. Viss and A. E. Sikkema, “A Demonstration of the Critical Angle Without Using Total Internal Reflection”, *Phys. Teacher* 43 (2005) 471.
- [6] M. Kutzner, “The Laser Level as an Optics Laboratory Tool”, *The Physics Teacher* 51 (2013) 532.
- [7] J.J. Lynch, “Snell’s Law with Large Blocks”, *The Physics Teacher* 45 (2007) 180.
- [8] S. Grusche and S. Wagner, “Two different looks at Kepler’s refraction experiment”, *Phys. Educ.* 51 (2016) 064001.
- [9] M. Rodrigue, M. B. Marques and P. Simeão Carvalho, “How to build a low cost spectrometer with Tracker for teaching light spectra”, *Phys. Educ.* 51 (2016) 014002.
- [10] Ahmet Uysal, “Determining the Thickness and Refractive Index of a Mirror”, *The Physics Teacher* 48 (2010) 602.