

FÍSICA V

POR QUÉ EL MUNDO FUNCIONA COMO
LO HACE: DESDE TALES A LA TEORÍA
ELECTROMAGNÉTICA DE LA LUZ

Experiencias de laboratorio

Gabriel Berruchio
Armando Zandanel



EDITORIAL
MAIPUE

ÍNDICE

1. Construcción un péndulo electrostático	3
2. Utilización de un péndulo electrostático	4
Carga eléctrica	5
Electrización por frotamiento	5
Electrización por contacto.....	6
Electrización por inducción.....	7
3. Fabricación de una fuente de alimentación regulable	8
4. Cuando la electricidad se transforma en luz	8
5. Tubo de Lenz	10
6. Determinación del campo magnético terrestre	12
7. Visualización de ondas en el agua	14
8. Construcción de un espectroscopio	16
9. Experiencias con un láser	18
¿Qué ocurre cuando la luz pasa por orificios o ranuras?	18
Difracción de la luz a partir de una pluma de ave	19
A falta de pluma, tela	20
Medición de la longitud de onda con una regla	20
10. Torciendo la luz	22



Experiencias de laboratorio

1. Construcción un péndulo electrostático

Para el estudio de los fenómenos de electrización, es útil la construcción de un péndulo electrostático.

Objetivo

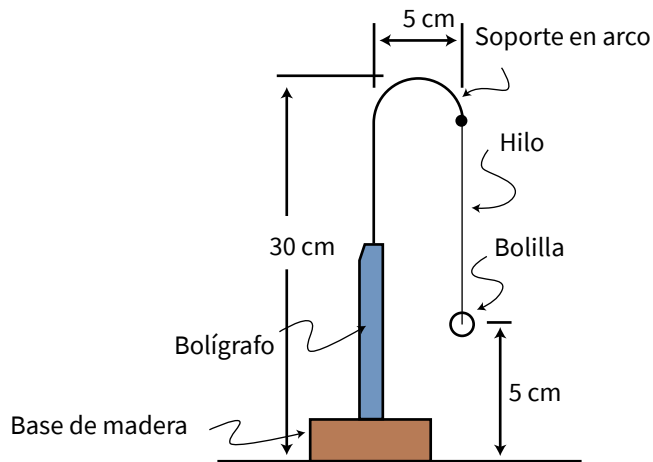
→ Fabricar un dispositivo básico para analizar los fenómenos electrostáticos.

Materiales

- Taco de madera de 5 cm de lado y 2 cm de espesor (aproximadamente).
- Cuerpo de un bolígrafo (lapicera) de plástico.
- Trozo de alambre delgado de 50 cm (aproximadamente).
- Aguja e hilo de coser.
- Esfera de Telgopor de 1 cm de diámetro.
- Pegamento universal.
- Taladro eléctrico de mano.
- Regla de plástico.
- Paño de lana.

Procedimiento

1. Con el taladro, realicen, en el centro del taco de madera, un agujero con un diámetro similar al cuerpo del bolígrafo, para que este último quede ajustado al taco de madera, el cual será el pie de nuestro péndulo electrostático.
2. En la parte superior del cuerpo del bolígrafo, introduzcan el alambre, fíjenlo con el pegamento, y denle forma curva. Pueden guiarse con el esquema a continuación:



Esquema para el armado de un péndulo eléctrico

3. A través de la esfera de Telgopor, con una aguja, pasen el hilo de coser y háganle un nudo en un extremo. Aten el otro extremo al ojal del alambre, de modo tal que la esfera quede aproximadamente a 5 cm de la superficie sobre la que se apoya la base.

Uso y análisis de los resultados

1. Tomen una regla de plástico y froten con fuerza uno de sus extremos con un paño de lana. Luego, acérquenla a la esfera de Telgopor. ¿Qué observan? Formulen una explicación en base a lo estudiado en el capítulo 2.
2. Vuelvan a frotar la regla de plástico y manténganla en contacto durante varios segundos con la esfera de Telgopor. Anoten qué ocurre y traten de dar una explicación.

2. Utilización de un péndulo electrostático

Objetivos

Al término de esta práctica, los estudiantes:

- Verificarán que los cuerpos son susceptibles de cargarse eléctricamente.
- Distinguirán los diferentes procedimientos para cargar eléctricamente a los cuerpos.

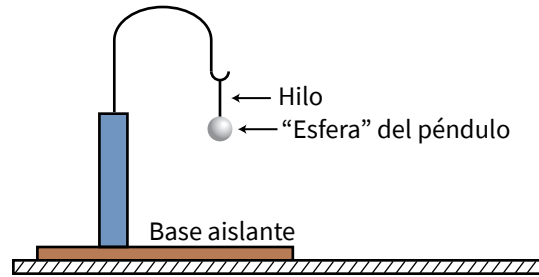
Materiales

- Péndulo electrostático.
- Bolsa de plástico.
- Soporte aislado o barra de plastilina.
- Paño de lana.
- Barra de metal (hierro).
- Sorbete.
- Barra de vidrio.
- Trozo de aluminio.
- Destornillador plano.
- Regla de plástico.
- Hoja de papel.



Desarrollo experimental

Se empleará un péndulo electrostático como el que se muestra en la figura.



Esquema de un péndulo electrostático

Carga eléctrica

Procedimiento

1. Acerquen la barra de vidrio a los pedacitos de papel, pero sin tocarlos, ¿qué observaron?
2. Frotan la barra de vidrio con un paño, puede ser de lana. Acérquenla a algunos pedacitos de papel. Observen con cuidado y anoten sus observaciones.
3. Nuevamente, frotan la barra de vidrio con la bolsa de plástico y aproxímenla a la esfera del péndulo electrostático sin tocarlo. Anoten lo que observaron.
4. Ahora frotan el sorbete con la bolsa de plástico y aproxímenlo a la esfera del péndulo eléctrico sin tocarlo. Anoten sus observaciones.
5. Repitan el procedimiento anterior, pero ahora frotando la barra de metal con la bolsa de plástico. Anoten sus observaciones.

Discusión

1. Expliquen de una manera completa y detallada lo que les sucede a las moléculas de la esfera del péndulo eléctrico al acercar la barra cargada eléctricamente.
2. ¿Por qué fueron atraídos los pedacitos de papel al acercar la barra cargada eléctricamente?
3. ¿Cuándo se dice que un cuerpo ha adquirido carga eléctrica?
4. De las observaciones realizadas, ¿qué concluyen?

Electrización por frotamiento

Procedimiento

1. Acerquen el sorbete a la esfera del péndulo eléctrico y observen lo que sucede.
2. Ahora, frotan el sorbete con la bolsa de plástico y acérquenlo con cuidado a la esfera sin tocarla. Si, por casualidad, la esfera del péndulo toca al sorbete, toquen la esfera con los dedos. Anoten sus observaciones.



Experiencias de laboratorio

3. A continuación, acerquen a la esfera del péndulo la parte de la bolsa de plástico que estuvo en contacto con el sorbete al frotarse. Registren lo que observaron.
4. Ahora froten el sorbete con el paño de lana y aproxímenlo al péndulo eléctrico sin tocar la esfera. Anoten sus observaciones.
5. Repitan el procedimiento anterior, pero ahora con la barra de vidrio, y con la regla de plástico. Registren sus observaciones.

Discusión

1. ¿La esfera del péndulo fue atraída por el sorbete cuando este no fue frotado por la bolsa de plástico? Expliquen.
2. ¿La esfera del péndulo fue atraída cuando se aproximaron las barras frotadas por el paño y el sorbete frotado por la bolsa de plástico? Expliquen.

Conclusiones

De lo anterior, podemos concluir que los cuerpos pueden cargarse eléctricamente cuando:

.....

.....

.....

Electrización por contacto

Procedimiento

1. Acerquen el destornillador plano a la esfera del péndulo, pero sin tocarla. ¿Qué observan?
2. Tomen el sorbete cargado previamente por frotamiento con la bolsa de plástico y pónganlo en contacto con la parte metálica del destornillador plano como se indica en la figura, y luego acerquen la punta del destornillador a la esfera del péndulo eléctrico. Registren sus observaciones.
3. Toquen con los dedos (secos) la parte metálica del destornillador plano y repitan el experimento anterior, pero ahora empleen la barra de vidrio en lugar del sorbete. Registren sus observaciones.



Toquen con la punta del destornillador plano el sorbete cargado eléctricamente



Discusión

- ¿Por qué es necesario que el destornillador tenga un mango de material aislante para que la parte metálica se cargue eléctricamente?

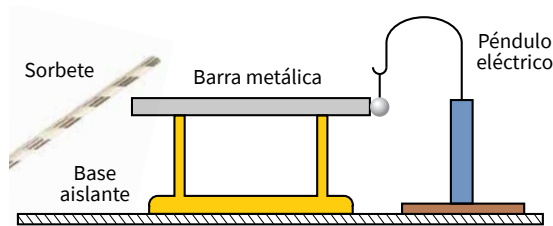
Conclusiones

1. De lo anterior, se puede deducir que el destornillador plano, al ponerse con un cuerpo cargado, ha adquirido carga eléctrica, ya que, al aproximarse a la esfera del péndulo eléctrico, esta es
2. ¿Qué otras conclusiones obtuvieron?

Electrización por inducción

Dispositivo

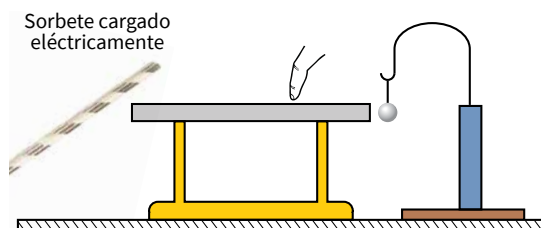
Armen el dispositivo que se muestra en la siguiente figura:



La esfera del péndulo debe estar en contacto con la barra de metal. Se puede utilizar un trozo de aluminio y un soporte aislado (o un poco de plastilina)

Procedimiento

1. Tomen el sorbete y acérquenlo como se muestra en la figura. Anoten lo sucedido.
2. Ahora froten el sorbete con la bolsa de plástico y acérquenlo nuevamente a la barra de metal. Observen la esfera del péndulo eléctrico y, sin dejar de observar, alejen el sorbete cargado. Anoten sus observaciones.
3. Repitan el experimento anterior pero ahora, antes de alejar el sorbete cargado eléctricamente, toquen con un dedo la barra de metal, como se muestra en la figura.



Sin alejar el sorbete cargado eléctricamente, toquen la barra de metal con un dedo



Discusión

1. Al alejar el sorbete cargado eléctricamente, ¿la esfera del péndulo eléctrico es atraída por la barra de metal?
2. ¿Por qué se cargó eléctricamente la barra de metal al tocarla con el dedo, si el sorbete cargado no hace contacto con ella?

Conclusiones

1. La carga adquirida por la barra de metal se llama **inducida**, porque ha sido transferida sin hacer
2. ¿Qué otras conclusiones obtuvieron?

3. Fabricación de una fuente de alimentación regulable

Objetivo

→ Elaborar una fuente de alimentación regulable para el laboratorio de física.

Existen varias maneras de fabricar una fuente regulable, desde fuentes simples que regulan el “voltaje”, hasta otras que regulan el “voltaje” y la intensidad de corriente. En los siguientes videos disponibles en YouTube, explican y dan especificaciones de cada uno de los casos:

1. “Como hacer una fuente de laboratorio regulada casera”, <<https://bit.ly/3qk16Zj>>.
2. “Convertir una fuente de alimentación ATX voltaje y amperaje regulable, tester USB y de watts”, <<https://bit.ly/38GXaKQ>>.
3. “Fuente de voltaje variable para taller de electrónica, También salidas fijas 3.3V 5V 12V”, <<https://bit.ly/3qxS8Xp>>.

4. Cuando la electricidad se transforma en luz

Objetivos

→ Medir variables eléctricas.

→ Relacionar el color de la luz con la temperatura del filamento de la lámpara.

→ Aplicar y discutir cuestiones tales como la validez de la ley de Ohm, la variación de la resistencia con la temperatura y la ley de Wien.

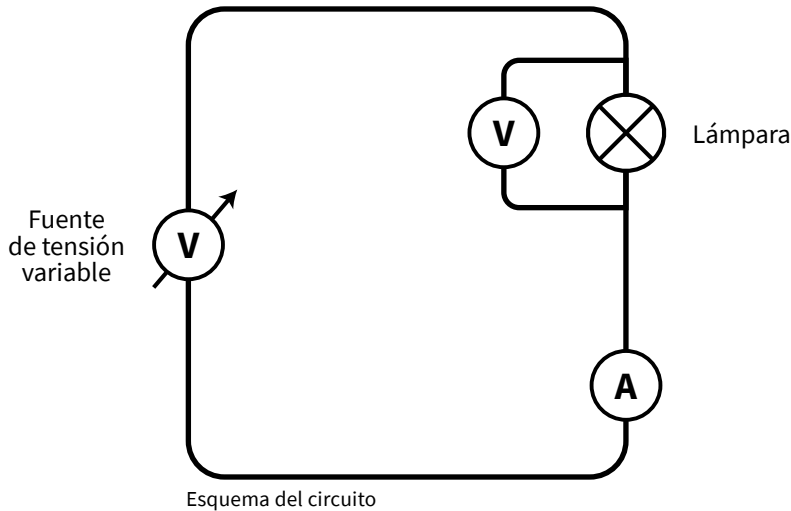
Materiales

- Lámpara de filamento de 12 volts y 15 W. (Se consiguen en los comercios de repuestos del automotor, ya que dejaron de usarse para la iluminación de ambientes).
- Fuente variable de CC de 0 a 12 V.
- Multímetro.
- Termómetro.



Procedimiento

Armen un circuito que permita medir la diferencia de potencial y la corriente en la lámpara.



1. Midan la resistencia eléctrica de la lámpara “en frío” y anoten su valor. Hagan lo mismo con la temperatura ambiente del lugar del ensayo.

Varíen la diferencia de potencial de 1 V en 1 V hasta llegar a 12 V; y observen los cambios de luminosidad y color que experimenta la lámpara. Tomen nota de los mismos.

2. Midan las corrientes en cada caso.
3. Representen gráficamente la intensidad de la corriente I en función del voltaje V ¿Qué relación encuentran?
4. Discutan si la lámpara obedece la ley de Ohm.
5. Para cada medición, determinen cuál fue el valor de la resistencia eléctrica de la lámpara.

Teniendo en cuenta que el valor de la resistencia aumenta con la temperatura, es posible, en cada caso, determinar cuál era la temperatura del filamento en cada medición, según la ecuación que vimos en el capítulo 3:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

En la que R_0 es la resistencia inicial; α , el coeficiente de temperatura del material y ΔT , la variación de la temperatura. El coeficiente de temperatura del tungsteno es $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Aplicando la ley de Wein, también pueden determinar la longitud de onda del pico de emisión de la lámpara mediante la ecuación:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{0,002878 \text{ m} \cdot \text{K}}{T}$$

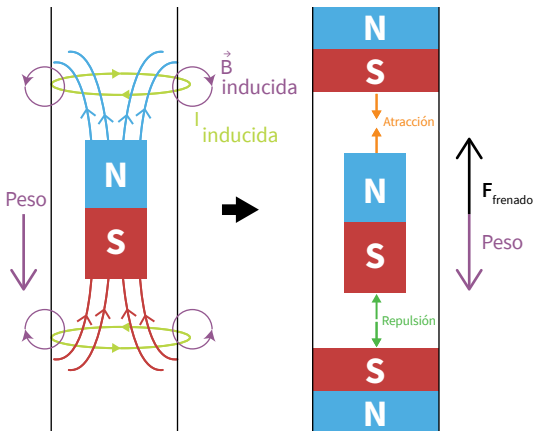
con $\lambda_{\text{máx}}$ expresada en metros y T en Kelvin.



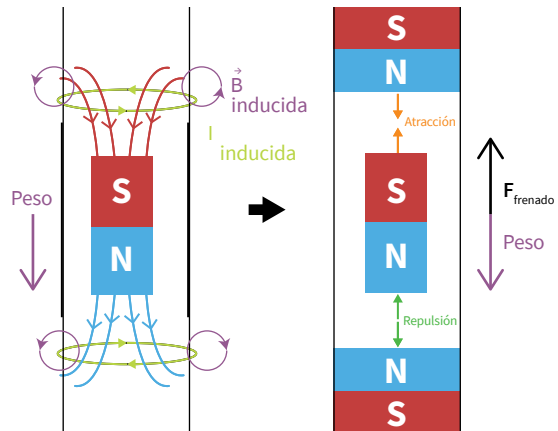
Procedimiento

Si dejamos caer los imanes al mismo tiempo por ambos tubos, en el de PVC, la caída será libre; mientras que, en el de cobre o aluminio, el imán está sometido a una fuerza que lo frena en su caída.

Situación 1: imán cayendo con su polo sur en la parte inferior



Situación 2: imán cayendo con su polo norte en la parte inferior



Sin importar qué polo se encuentre en la parte inferior, se producirá una fuerza que frena la caída del imán

Conclusiones

Suponiendo que el polo norte está en la parte superior y el sur en el inferior, en la parte superior del tubo metálico cada vez el campo es menos intenso por lo que este intenta crear una corriente que se oponga a la disminución del campo, lo que equivale a crear un imán con el polo norte en la parte superior y uno sur en la inferior, de tal modo que entre los polos norte del imán y el sur del inducido aparece una fuerza de atracción.

En este caso, en la parte inferior del imán, tenemos el polo sur, por lo que en la zona del tubo que queda por debajo del imán, el campo es cada vez más intenso, de tal modo que se induce en dicho tubo una corriente que se opone a este aumento, lo que equivale a crear un imán con el polo sur en la parte superior y uno norte en la inferior, de modo que entre los polos sur del imán y el norte del inducido aparece una fuerza repulsiva. La fuerza atractiva en la parte superior del imán y la repulsiva en la inferior hace que el imán sea frenado y descienda más lentamente que lo haría en caída libre.

Si el imán cae con su polo sur hacia arriba y el norte hacia abajo, también se frena al imán, pues las corrientes que se inducen tienen sentido contrario. En este caso, en la parte superior, se enfrentan un polo norte inducido y el polo sur del imán, lo que hace que aparezca una fuerza atractiva y, en la parte inferior, se enfrentan dos polos norte, el del imán y el inducido, lo que hace que aparezca una fuerza repulsiva.



6. Determinación del campo magnético terrestre

Objetivo

→ Medir la componente horizontal del campo magnético terrestre.

Materiales

- Brújula.
- Transportador.
- Fuente de alimentación regulable o dos pilas conectadas a un potenciómetro.
- Multímetro.
- Alambre de cobre esmaltado.
- Acrílico de forma cilíndrica.
- Soporte.

Procedimiento

1. Utilicen un tubo de acrílico transparente o algún recipiente cilíndrico de plástico de diámetro mayor a 10 cm para fabricar el solenoide. Si no consiguen que el material sea transparente, se puede usar algún tubo con un hueco en el centro, por ejemplo, una T reducida de PVC de 4"X4"X $\frac{3}{4}$ " (de 4 pulgadas a $\frac{3}{4}$ de pulgada). También, se puede utilizar algún caño de plástico y se le puede hacer un orificio en el lateral para observar en su interior.



Distintas opciones y materiales para fabricar el solenoide

Con el alambre de cobre, se arma un solenoide de 150 espiras (como mínimo) en dos partes iguales separadas por una distancia de 2 cm (como máximo), como el que se observa en la siguiente figura:



En el caso de utilizar la T de PVC o el caño perforado, esta sección tampoco puede superar los 2 cm

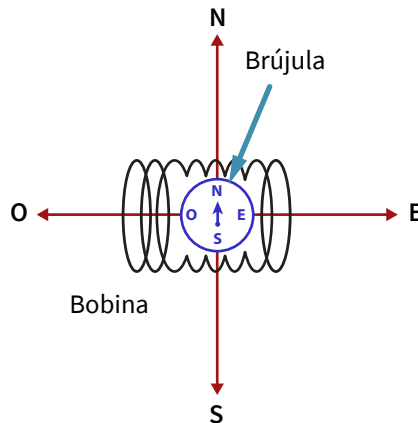


- Colocar debajo de la brújula un transportador alineado con el norte geográfico. Con un soporte, se debe colocar la brújula en el centro del solenoide, tanto longitudinal como verticalmente.



Es importante que, a través del hueco entre las dos secciones del solenoide, se pueda observar la desviación de la aguja

- La brújula se debe colocar de manera que la aguja quede señalando el norte geográfico, y el solenoide se debe orientar a 90 grados de la aguja como se observa en la siguiente figura:



Esquema de la orientación de la brújula dentro del solenoide

- Se conectan los extremos del alambre del solenoide a la fuente de alimentación y las terminales del multímetro en serie al circuito para poder observar la intensidad de corriente eléctrica que circula por el solenoide. (En el multímetro, seleccionen la opción de medir intensidad de corriente continua en miliamperes).
- El objetivo de esta actividad es medir la intensidad de corriente en el solenoide de manera que genere un campo magnético que desvíe la aguja de la brújula 45 grados. En tal posición, podemos decir que las intensidades del campo magnético terrestre y del solenoide son iguales en magnitud. En consecuencia, podemos obtener una medida de una de las componentes del campo magnético de la Tierra en ¡ese lugar!



6. Con el valor de la intensidad de corriente que desvía la aguja de la brújula los 45 grados, y utilizando la ecuación que vimos en el capítulo 5:

$$\vec{B} = n \cdot \mu_0 \cdot \frac{I}{L}$$

podemos determinar la componente horizontal del campo magnético terrestre. Para verificar el resultado, se puede comparar con el cálculo que ofrece el simulador del sitio de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA) que tiene un modelo del campo magnético de la Tierra en: <https://bit.ly/3oFEwbQ>. Allí, pueden acceder a datos del campo magnético terrestre en todos los sitios del mundo.

7. Visualización de ondas en el agua

Objetivo

→ Analizar y observar las diferentes propiedades de propagación que presentan las ondas mecánicas cuando interactúan con un obstáculo.

Materiales

- Una cuba de ondas. (Se puede utilizar una pecera o armar una con vidrios y silicona).
- Fuente de luz. (Se puede utilizar un proyector, un reflector led, etc.).
- Trozos de acrílico o vidrio.
- Objeto cilíndrico.
- Barra cuadrada.

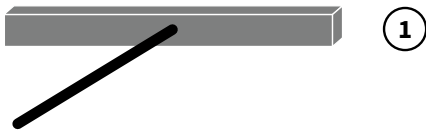
Introducción

La cuba de ondas permite la visualización de la propagación de ondas en dos dimensiones, así como su interacción con barreras, generando **fenómenos de difracción**. En ella, también se pueden observar los fenómenos de interferencia constructiva y destructiva de ondas.

Es un dispositivo sencillo de armar. Con él, se pueden poner en práctica diseños experimentales que permiten estudiar el tipo de ondas (circulares, planas) que se generan fácilmente, y algunas propiedades de los fenómenos ondulatorios, como la reflexión, refracción y difracción de ondas.

La cuba tiene un fondo de vidrio transparente que permite proyectar las imágenes de las ondas que se generan en el agua que contiene en su interior.

Para realizar esta experiencia, pueden servir una fuente rectangular de vidrio transparente, un proyector para diapositivas o reflector de led, una tela o pantalla blanca para captar las imágenes, barreras de acrílico, aluminio o vidrio, reglas, etcétera.



1



2

1. Elemento perturbador: frente de onda plano

2. Elemento perturbador: frente de onda circular



1



2



3

1. Barrera simple

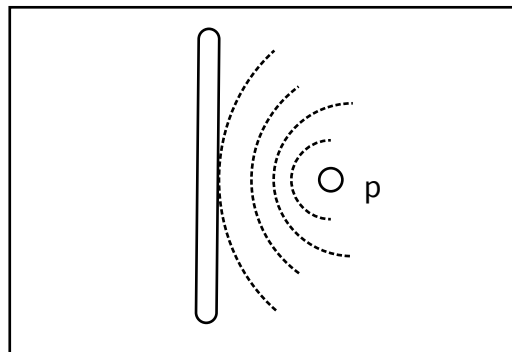
2. Barrera con rendija única

3. Barrera doble rendija

Es necesario contar con una barra cuadrada y otra cilíndrica como elementos perturbadores de ondas. También, una barrera simple, una con una rendija y otra con rendija doble

Procedimiento

1. Realicen una predicción para los frentes de onda que produce un elemento puntual (2).
2. En el centro de la cuba de ondas, originen una perturbación con el elemento perturbador (2). Fotografíen lo que sucede.
3. En la cuba de ondas, coloquen una barrera simple (1) (por ejemplo, una regla) que servirá como espejo, tal como muestra la siguiente figura:



Esquema de la cubeta con una barrera simple

- a. ¿Qué sucedería si originan una onda en el punto p? Fotografíen lo que sucede.
 - b. Expliquen con sus palabras el comportamiento de la onda al ser reflejada.
4. Coloquen la barrera simple con un ángulo de inclinación aproximado de 45° respecto al elemento perturbador (1).
 - a. Provoquen la perturbación y observen qué sucede. Realicen un registro fotográfico.



- b. ¿Qué sucedería si mueven la barrera simple en un ángulo cualquiera?
5. Ubiquen la barrera con rendija única a una distancia aproximada de 3 cm del elemento perturbador (1). El mismo debe quedar de forma paralela a la barra.
 - a. Predigan qué sucederá si provocan una perturbación con el elemento perturbador (1). Verifiquen experimentalmente la predicción.
 - b. ¿Qué sucedería si reemplazan la barrera con rendija única por la de rendija doble?
 - c. Repitan los pasos utilizando el elemento perturbador (2).

Veán este video complementario sobre la cubeta de ondas: <https://bit.ly/2XC6LMG>.

8. Construcción de un espectroscopio

Objetivos

- Comprobar que la luz blanca se descompone en los colores del espectro de luz visible.
- Verificar que diferentes fuentes de luz presentan un espectro diferente.

Materiales

- Caja de cartón.
- CD.
- Cartulina negra.
- Tijeras y cinta adhesiva.
- Cúter.
- Pegamento.

Introducción

Un espectroscopio es un aparato que permite descomponer la luz blanca en todos los colores que la componen y así, poder observarlos.

Francesco Grimaldi (1618-1663) fue un físico y astrónomo, que, en 1651, dio alguno de los nombres que hasta ahora conservan los accidentes del lado visible de la Luna, descubrió un importante fenómeno óptico llamado por él mismo **difracción de la luz** (división en fracciones).

El fenómeno de difracción se produce cuando un haz de radiación electromagnética se desvía ligeramente de su trayectoria. Este fenómeno puede darse al atravesar el haz un prisma (medio transparente limitado por dos caras no paralelas), al reflejarse el haz en una superficie (llamada **red de difracción**) o al atravesar el haz una rendija. En estos dos últimos casos, es necesario que la superficie o la rendija tengan un tamaño similar al de la longitud de onda de la radiación electromagnética.

Procedimiento

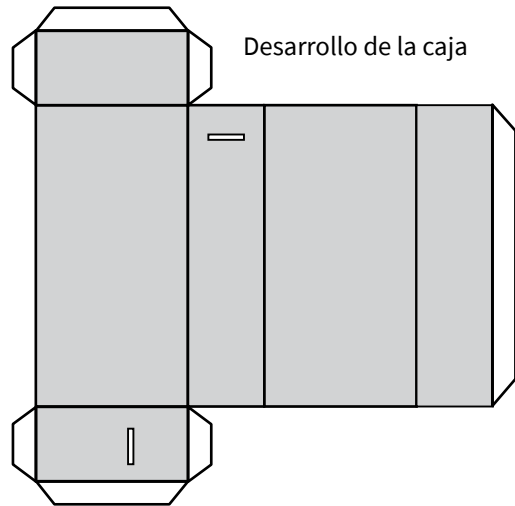
Con una caja de cartón y un CD, podemos construir un espectroscopio de reflexión que nos permita observar el espectro de diferentes tipos de fuentes de luz.

La separación entre pistas sucesivas de un CD es de 1600 nanómetros, lo que da lugar a un conjunto de 625 líneas periódicamente distribuidas en un milímetro. Estas dimensiones son comparables con las



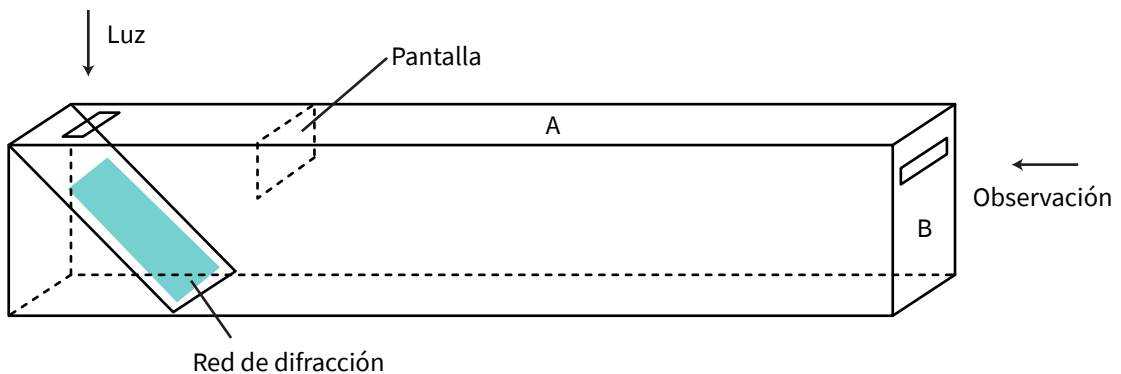
longitudes de onda del espectro visible, lo que convierte al CD en una rejilla apropiada para realizar un experimento de difracción, ya que, permite un intervalo de radiación visible de entre 380 y 780 nm (nanómetros).

Debemos cortar una tira de CD, de entre 20 y 30 mm de ancho, antes de hacerlo conviene pegar una cinta autoadhesiva que impida que rayemos la parte que nos interesa. El corte conviene hacerlo con una sierra de dientes finos. Para la estructura, podría adaptarse una caja, más larga que ancha, o fabricarla a partir de una plancha de cartón grueso. En tal caso, dibujamos un prisma rectangular como el de la figura, realizamos las ranuras, pegamos la pantalla, colocamos un cartón a 60° que sirva de soporte al trozo de CD y, luego de pegarlo, armamos la caja.



Esquema de la estructura del espectroscopio

La luz deberá entrar por una rendija de 15 mm de largo y 0,5 mm de ancho. Pueden hacerla en cartulina negra y luego pegarla sobre la caja, tapando una rendija mayor, o bien hacerla con una hoja de afeitar o con un cúter antes de armar la caja. Resulta muy útil incluir una pantalla que evite que la luz que entra de la fuente a analizar pueda verse directamente por la ranura de observación. Los que quieran perfeccionar el espectroscopio le pueden incorporar una escala de longitudes de onda de la luz. Para esa tarea, convendrá guiarse por las longitudes de onda de las líneas que se ven en el espectro del mercurio, al observar la luz de un tubo fluorescente: línea amarilla en 579 nm; línea verde, 546 nm; línea azul, 436 nm y línea violeta, 405 nm.



Representación del espectroscopio terminado

También, pueden seguir los pasos de este video: https://www.youtube.com/watch?v=w6m_PnAnB7g.



9. Experiencias con un láser

Introducción

El láser es un instrumento clave en la ciencia y tecnología modernas. Se puede acceder a punteros láser o a equipos de óptica que disponen de un láser, tal el caso de la valija de óptica diseñada por el CIOp (UNLP).

Disponer de este dispositivo abre la sugestiva oportunidad para que los estudiantes exploren y desarrollen gran parte de la óptica aplicada.

Nota: un láser verde de 532 nm 100 mW no supera los 12 dólares y tiene una batería recargable y un difusor (red de difracción).

Discusión

- ¿Por qué el haz de un láser a veces se ve y otras no? ¿De qué depende? Sugerencia: investiguen distintas formas de visualizar el haz de un láser al interponer, en su camino, materiales que puedan dispersar la luz (polvo, tiza, humo, etc.).

Materiales para todas las experiencias

- Puntero láser.
- Ranuras de diferentes grosores.
- Regla y cinta métrica.
- Pluma de ave.
- Trozos de diferentes telas.

¿Qué ocurre cuando la luz pasa por orificios o ranuras?

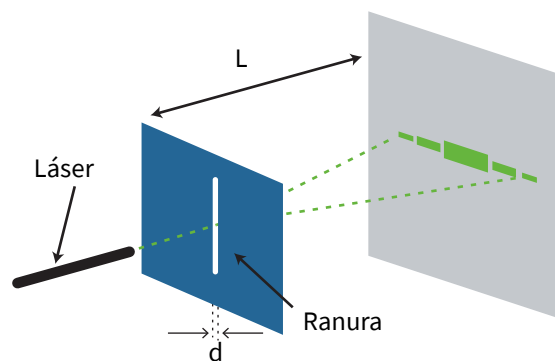
Objetivos

- Estudiar la figura de difracción producida por una ranura.
- Medir la intensidad de la figura formada (patrón de difracción) por una abertura.

Procedimiento

Fabriquen (o consigan) rendijas de diferentes anchos, de ser posible alguna de ancho variable. Para cada grupo de experimentadores, se necesita un kit de rendijas, un puntero láser y una pantalla (puede ser una pared, un papel o bien una pantalla de proyección).

1. Alineen el puntero, la rendija y la pantalla.
2. Observen qué imagen se forma sobre la pantalla y cómo se distribuye la intensidad de la luz.
3. ¿Qué sucedería si, dejando el puntero y la rendija quieta, acercan y alejan el papel utilizado de pantalla? Describan lo que observan.



Esquema del experimento



4. Coloquen la rendija de ancho variable a dos metros de la pantalla, delante de una luz láser. Cierren lentamente la rendija para variar su ancho, y estudien cómo se modifica la imagen de difracción.
5. Observen cómo varía el ancho de la zona central de máxima intensidad cuando se aumenta o disminuye el tamaño de la rendija.
6. Investiguen la relación existente entre la distancia entre mínimos (o máximos) de intensidad y el ancho de la rendija.
7. ¿Cómo harían para aumentar la distancia entre máximos de intensidad? ¿Y entre mínimos?

Difracción de la luz a partir de una pluma de ave

Objetivo

→ Medir la separación entre los puntos luminosos del patrón de difracción obtenido con un puntero láser para determinar el espaciado entre las barbas y bárbulas de la pluma.

Introducción

En un jardín o en una plaza, quizá en una vereda, puedan encontrar una pluma y, con ella, se puede realizar una experiencia de difracción. En 1673, el científico escocés James Gregory (1638-1675) observó en 1673 el patrón de difracción producido por la luz solar a través de una pluma de ave, convirtiéndose esta en la primera red de difracción.

Procedimiento

La experiencia cualitativa puede realizarse proyectando el espectro de difracción que produce la pluma cuando es atravesada por la luz monocromática de un puntero láser o bien una potente luz policromática.

La relación que hay entre la separación d de las aberturas de una red de difracción (correspondientes al parámetro de red), la longitud de onda λ de la luz y el ángulo α respecto de la dirección de incidencia de la luz que subtiende los puntos luminosos del patrón de difracción es:

$$d \sin \alpha = n \cdot \lambda, \text{ (donde } n \text{ es un entero).}$$

Como el ángulo α es muy pequeño con el montaje experimental que se reduce a un láser, una pluma y una pantalla y a la medida de distancias, tiene sentido emplear la aproximación $\sin \alpha = \tan \alpha = h/L$.

Donde L es la distancia entre la red de difracción y la pantalla en la que se recoge el patrón de difracción; h es la separación entre el punto luminoso central (que es el más intenso) y el punto que subtiende el ángulo α .

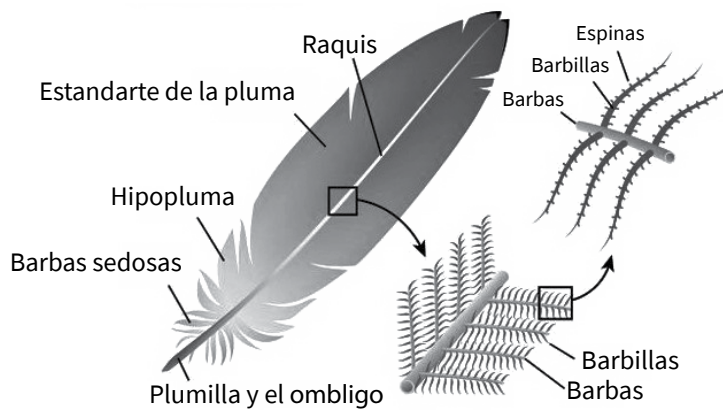
Para cada orden n (la pluma nos provee varios), podemos escribir:

$$h/\lambda = L/d$$

En la pluma, encontraremos subpatrones de difracción dado que las barbas están separadas una distancia d_1 mientras que las bárbulas, d_2 .



Imagen obtenida al pasar un láser verde a través de una pequeña pluma de paloma



Estructura de una pluma de ave

A falta de pluma, tela

Objetivo

→ Explorar las figuras de difracción que produce la trama de una tela.

Procedimiento

Usando un láser y una tela de trama fina (puede ser un pañuelo de seda o un pañuelo de cuello), hagan incidir un láser a través de la tela y observen en la pared o una pantalla la figura con distintas intensidades de luz que se forma. Estiren la tela en varias direcciones y observen cómo varía esta figura.

Intercambien la tela con otros compañeros y analicen de qué variables depende la figura observada. Noten que lo que observan no es la sombra del objeto. La sombra tiene una relación de semejanza directa con la figura que la produce.

Verifiquen que la situación que analizan es diferente. Para ello, observen que al estirar la tela en una dirección (digamos x) los efectos más notables se producen en la dirección perpendicular (eje y). Noten también que distintas tramas (cuadradas, rectangulares, triangulares) producen imágenes distintas.

Medición de la longitud de onda con una regla

Objetivo

→ Determinar la longitud de onda de un láser utilizando una regla metálica graduada en milímetros o en medio milímetros.

Procedimiento

Con la ayuda de un soporte universal, un láser y una regla de metal, pueden recabar los datos necesarios para posteriormente realizar los cálculos que permitan determinar la longitud de onda de la luz láser.

Cuanto menor sea la división de la regla, mayor precisión tendrá nuestro experimento.

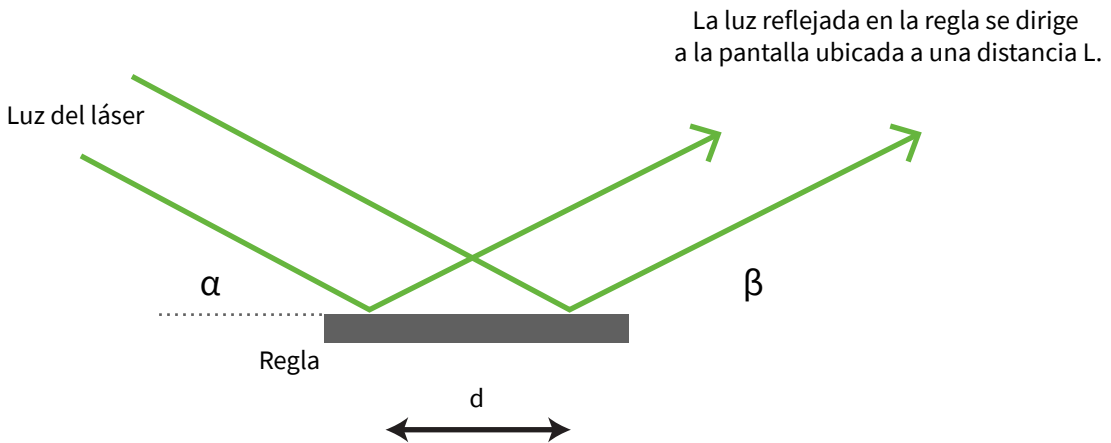
Se necesita un lugar amplio y oscuro para desarrollar el experimento.

El láser envía un haz de luz que incide sobre las divisiones de la regla con un ángulo α .



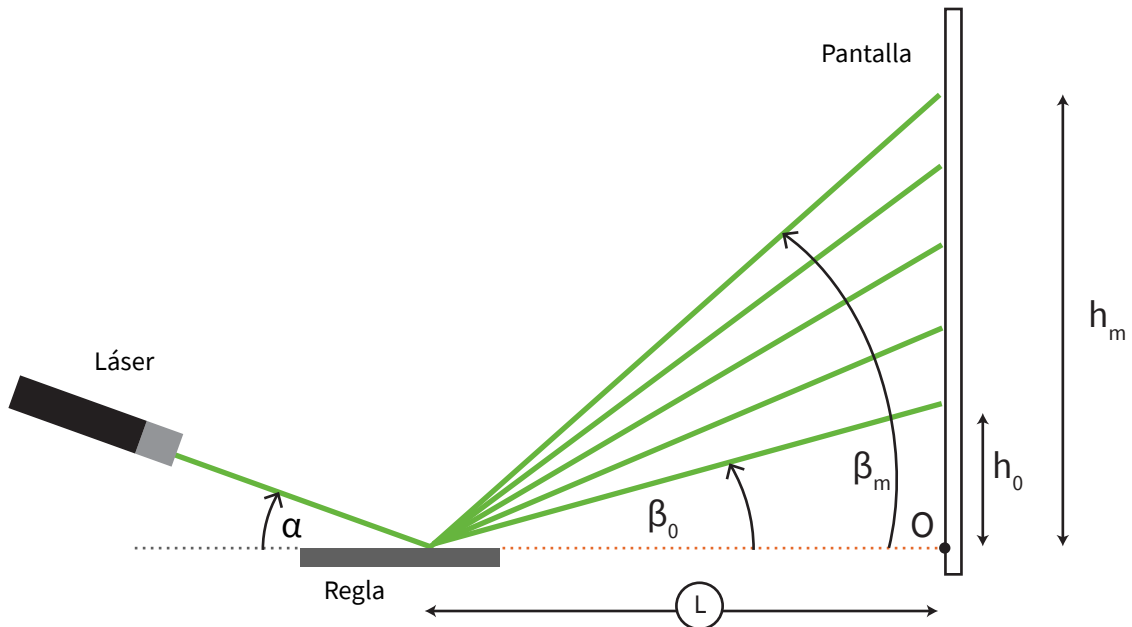
Experiencias de laboratorio

En la pantalla, aparecen unas zonas iluminadas, cuya forma es irregular, que son debidas a la interferencia constructiva de la luz. Las mencionadas zonas iluminadas corresponden a los máximos de luz producidos por la interferencia.



La regla se comporta como si fuese una red de difracción por reflexión

En la pantalla, aparece un disco luminoso en O y máximos de luz sucesivos a las distancias de O: $h_0, h_1, h_2, h_3, \dots, h_m$, a tales distancias les corresponden los ángulos $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_m$; como se aprecia en la siguiente figura:



El ángulo de incidencia del haz de luz del láser debe ser pequeño al igual que la distancia del láser a la regla, en cambio, la distancia L debe ser de varios metros



De la ecuación $h_m^2 - h_0^2 = 2 \cdot L^2 \cdot \lambda \cdot m/d$ podremos despejar λ , de modo tal que

$$\lambda = (h_m^2 - h_0^2) \cdot d / 2 \cdot L^2 \cdot m$$

10. Torciendo la luz

Objetivos

- Determinar el índice de refracción del vidrio.
- Verificar experimentalmente la relación entre ángulos de incidencia y refracción en una lámina de caras paralelas.

Materiales

- Puntero láser.
- Transportador.
- Pieza de vidrio.
- Hojas de papel A4.
- Lápiz o marcadores.
- Regla.

Introducción

El índice de refracción es una característica fundamental de los materiales. Conocerlo nos da información sobre cómo se mueve la luz en ellos y así, podemos manejarla según nuestras necesidades y, diseñar y fabricar instrumentos ópticos.

En nuestra vida diaria, aparece en unos anteojos recetados, en una cámara de fotos, video o *webcam*, en la televisión, la computadora, el *smartphone* o en una proyección de cine, al observar hacia las profundidades de un curso de agua, contemplar la fauna y flora con unos binoculares o simplemente la Luna o algún cúmulo estelar en un cielo nocturno despejado...

La velocidad de la luz está determinada por el medio (material) a través del cual viaja la luz. La luz viaja más rápido en el vacío que en cualquier otro medio y cambia de velocidad a medida que pasa de un medio a otro. A esto se lo conoce como **refracción**.

La frecuencia de la luz no cambia a medida que se refracta. El índice de refracción de un material es una medida del cambio en la velocidad de la luz a medida que pasa del vacío (o aire como una aproximación) al material.

El índice de refracción (n) de una sustancia es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y su velocidad en la sustancia. Varía con la longitud de onda de la luz utilizada en su medición y con la temperatura. Por lo tanto, es necesario especificar estas condiciones (λ).

Asimismo, el índice de refracción se puede definir como la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción cuando la luz proviene del aire.



Procedimiento 1: determinación del índice de refracción

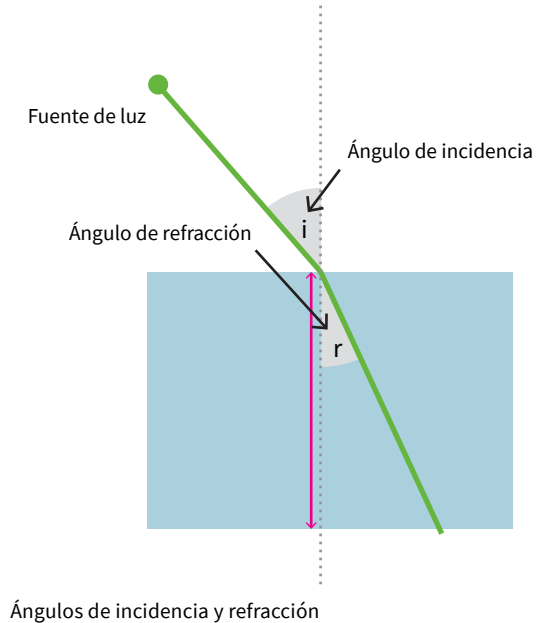
Midiendo ángulos y aplicando la ley de la refracción se puede calcular el índice n del material, en nuestro caso, vidrio. (Conviene hacer la práctica en un lugar lo más oscuro posible).

Sujeten el puntero en una posición fija y enciéndanlo de forma que el haz de luz incida sobre la lámina de vidrio de caras paralelas.

Midan los ángulos de incidencia y de refracción con un transportador. Realicen cinco medidas con distintos ángulos de incidencia y, aplicando la ley de la refracción de la luz, calculen los índices para cada ángulo.

Tabulen los datos obtenidos y al completar la tabla, promedien los índices de cada medición para dar un valor al índice de refracción del vidrio del experimento.

Nota: los índices de refracción se expresan, por lo general, en términos de luz de sodio de longitud de onda de 589,3 nm (línea D) a una temperatura de $20 \pm 0,5$ °C.



Discusión

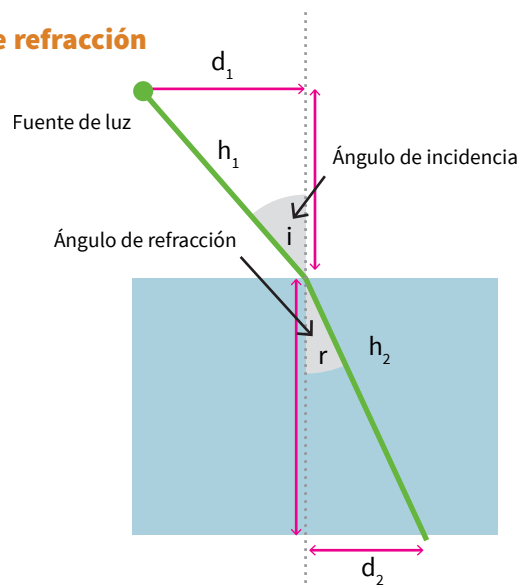
Deberían haber notado que los valores en la última columna de la tabla son similares, pero no idénticos. Esto se debe a errores de medición cuando midieron los ángulos de incidencia y los ángulos de refracción. Este tipo de errores son comunes en todos los experimentos de física y conducen a una medida de incertidumbre en el valor extraído final (como vimos en el capítulo 1). Sin embargo, dado que hicimos el mismo experimento varias veces, podemos promediar las medidas para obtener una buena aproximación al valor representativo del índice de refracción.

Procedimiento 2: determinación del índice de refracción

Para determinar el índice de refracción de una pieza de vidrio, podemos reemplazar la medición de ángulos por la medición de distancias aplicando las propiedades geométricas de un triángulo rectángulo.

El ángulo formado por el rayo de luz en el aire con la normal es el ángulo de incidencia y el ángulo formado por el rayo de luz en el vidrio con la misma normal, es el ángulo de refracción.

Un rayo de luz del láser es la hipotenusa del triángulo de incidencia (en el aire), y el mismo rayo de luz forma la hipotenusa de otro triángulo rectángulo dentro del vidrio.



Hay dos triángulos rectángulos importantes involucrados en la determinación del índice de refracción de un bloque de vidrio



Experiencias de laboratorio

El índice del vidrio valdrá el cociente entre el seno del ángulo de incidencia d_1/h_1 y el seno del ángulo de refringencia d_2/h_2 .

Este experimento requerirá ser repetido al menos cinco veces y promediar los resultados para la obtención del n final.

Experimento N°	d_1	h_1	d_2	h_2	$n = \text{sen } i / \text{sen } r$
1					
2					
3					
4					
5					

Coloquen el bloque en el medio de la hoja de papel A4 de modo que sus lados queden paralelos a cada uno de los lados del papel y dibujen alrededor del bloque con un lápiz para hacer su contorno en la hoja de papel.

Enciendan el láser y apunten la luz hacia el bloque de modo que forme un ángulo con la superficie más cercana del bloque. Para cada hoja de papel, cambien el ángulo de incidencia.

Necesitarán marcar en el papel, la trayectoria de los rayos incidente y refractado. Para ello, primero dibujen un punto en el papel en algún lugar a lo largo del rayo de luz incidente. Ahora dibujen un segundo punto en el papel en el lugar donde el rayo de luz hace contacto con la superficie del bloque de vidrio. Hagan lo mismo con el rayo de luz saliente; marquen el punto por donde sale del bloque y algún otro punto a lo largo de su camino fuera del mismo.

Apaguen el láser y retiren el bloque de vidrio. Usen una regla para unir los puntos del rayo incidente y los puntos del rayo refractado. Por último, dibujen una línea que una el punto donde el rayo entrante incide en el bloque y donde el rayo refractado sale del bloque. Este es el camino del rayo de luz a través del bloque.

Para determinar n , necesitamos dibujar la normal a la superficie donde el rayo de luz ingresa al bloque y medir las distancias d_1 , h_1 , d_2 , h_2 , aunque h_1 y h_2 pueden calcularse en función de los valores de d y el espesor del bloque de vidrio aplicando el teorema de Pitágoras.

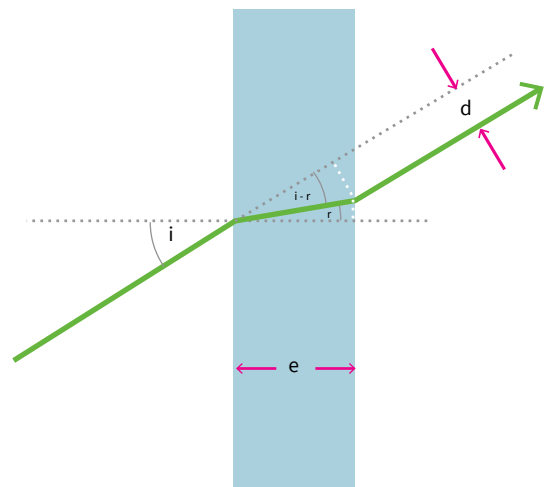
Discusión

- ¿Qué notan sobre todos sus valores en la última columna de la tabla? Argumenten al respecto.

Lámina de caras paralelas

Con los mismos materiales, es posible comprobar que el rayo de luz se desplaza luego de dos refracciones y esta distancia d se relaciona con el espesor de la lámina de vidrio y los ángulos de incidencia y refracción.

Comprueben que $d = e \cdot \text{sen } (i - r) / \text{cos } r$



Esquema de los ángulos y distancias comprendidas en la doble refracción