

Actividad I – Leyes de la reflexión y de la refracción

Objetivos

Estudio experimental de las leyes de la reflexión y la refracción de la luz. Determinación del índice de refracción de un material. Observación del fenómeno de reflexión total interna.

Introducción

Cuando un haz de luz incide sobre la superficie que separa dos medios, en los cuales la luz se propaga con diferentes velocidades, parte de la misma se transmite y parte se refleja, como se indica esquemáticamente en la Fig. 1. Para un medio cualquiera, el índice de refracción n se define como:

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

donde c es la velocidad de la luz en el vacío y V la velocidad de la luz en ese medio^[1].

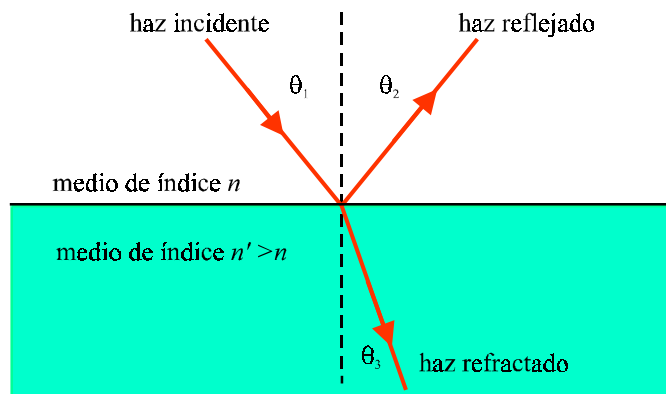


Figura 1 La luz se refleja y se refracta.

El objetivo de los siguientes experimentos es estudiar las propiedades generales de la reflexión y refracción de la luz.

Proyecto 1.- Estudio de la reflexión y la refracción

Equipamiento recomendado: Un semicilindro de vidrio o acrílico (media caña) de aproximadamente 15 cm de diámetro y 3 cm de altura. El mismo puede ser macizo o bien hueco y con agua u otro líquido en su interior. Alfileres y un rectángulo de madera blanda o cartón donde clavar los alfileres. Un puntero láser.

El objetivo de este experimento es investigar la relación entre el *ángulo de reflexión*, θ_2 , y el *ángulo de refracción*, θ_3 , en función del *ángulo de incidencia* θ_1 , todos ellos definidos respecto de la línea normal de la superficie de separación entre los dos medios. Para la realización de este experimento se sugiere usar el dispositivo indicado esquemáticamente en la Fig. 2.^[2]

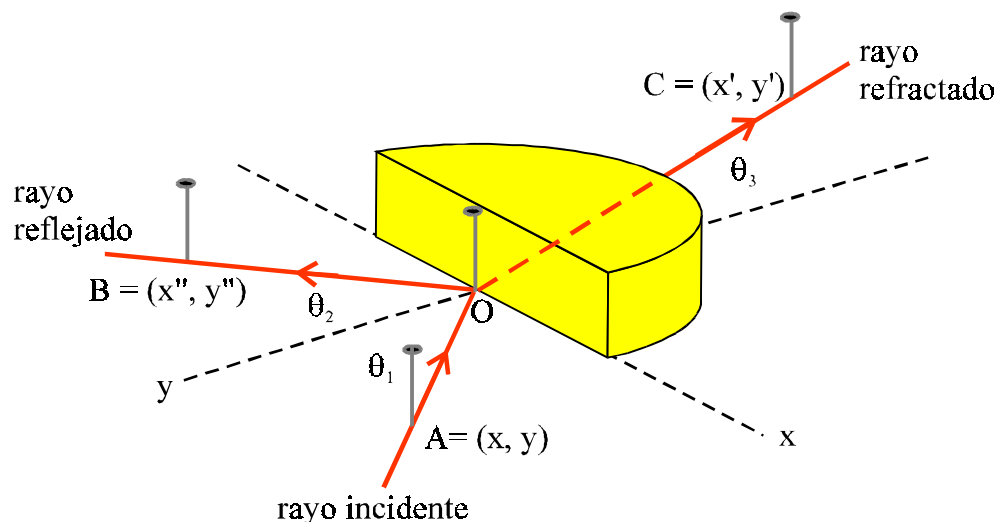


Figura 2 Dispositivo sugerido para estudiar las leyes de la reflexión y la refracción.

Refracción: Tomamos el punto O como origen de coordenadas. Elegimos el eje x coincidiendo con la cara plana del mismo y tomamos la normal a dicha cara como el eje y , respecto del cual medimos los ángulos. El semicilindro se apoya sobre una superficie plana, sobre la que colocamos un papel milimetrado para determinar las coordenadas de cada punto

del plano. Un modo simple de determinar la dirección de los rayos de luz consiste en usar tres alfileres, uno de los cuales se mantiene fijo en el centro O: Para determinar la dirección de los rayos incidentes y refractados, se coloca un alfiler en la posición A (cuyas coordenadas son (x,y)) otro en O (centro del semicilindro, justamente fuera del mismo) y el tercero en la posición C (cuyas coordenadas son (x',y')). La posición de este último alfiler se elige de modo tal que al observar horizontalmente los tres alfileres todos aparezcan alineados. Para facilitar el posicionamiento de los alfileres, puede colocarse el semicilindro encima de una tabla blanda, corcho o cartón blando, que permitan la penetración de alfileres fácilmente. Si la superficie es dura, se puede sostener los alfileres con bollitos de plastilina. Para realizar el experimento, es importante mantener fijo el alfiler del centro de semicilindro (O). El alfiler en la posición A define el ángulo de incidencia. Mirando desde el lado curvo del semicilindro, se procede a colocar el tercer alfiler en la posición C de modo de ver a los tres alfileres alineados. Cuando se haya logrado tal alineación, se registran los valores de las coordenadas (x,y) y (x',y') . Es conveniente repetir este último experimento de modo que el ángulo de incidencia θ_1 varía desde 0° hasta 80° en pasos de aproximadamente 10° . Si dispone de un puntero láser (o un láser común) es posible visualizar la marcha de los rayos. Para ello haga incidir el láser de modo que el haz incida en la dirección definida por AO, a través de los alfileres, verifique que el haz refractado pasa efectivamente por el punto C.

Reflexión: Realice el mismo estudio anterior pero con el rayo reflejado. Para ello usando un puntero láser incidiendo en la dirección AO, determine las coordenadas (x'',y'') del punto B.

- Represente gráficamente θ_3 en función de θ_1 y θ_2 en función θ_1 . También represente $\text{sen}(\theta_1)$ en función de $\text{sen}(\theta_3)$. Analice las distintas dependencias y discuta sus conclusiones.
- La ley de Snell establece que la relación entre el ángulo incidente (θ_1) y el refractado (θ_3) es:

$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 = n_3 \cdot \text{sen} \theta_3 \quad (2)$$

donde n_1 es el índice de refracción del medio donde se propaga el rayo incidente y n_3 es el índice de refracción correspondiente al medio donde se propaga el rayo transmitido.

Similarmente, la ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia (θ_1) es igual al ángulo reflejado (θ_2), esto es:

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (3)$$

¿Qué puede decir acerca de la validez de la ley de Snell y la ley de la reflexión para el caso que acaba de estudiar experimentalmente?

- A partir de sus gráficos determine el índice de refracción de la luz en el material del semicilindro (n_3). Compare el valor obtenido en su experimento con los valores de tablas para el material en estudio. Recuerde que el índice de refracción del aire en condiciones normales de presión y temperatura es: $n_1 = 1.00029$.
- Para estimar la incertidumbre de los ángulos medidos, varíe ligeramente la posición de los alfileres, de modo tal que, a simple vista, parezcan que siguen alineados. Los intervalos de ángulos para los que esta condición de alineación se sigue cumpliendo dan una estimación de la incertidumbre de la determinación de los ángulos. Usando estas consideraciones estime la incertidumbre asociada a la determinación de n_3 .
- Seguidamente, invierta la dirección de incidencia, es decir, haga que el haz incida pasando por la dirección CO y verifique que el mismo pasa por A. Igualmente, si el rayo incidente sigue la dirección BO, verifique que el reflejado sigue la dirección OA. Esta propiedad notable de la luz se conoce como el *principio de reversibilidad óptica*, que establece que, en ausencia de absorción, si se invierten la dirección de la marcha de los rayos de luz, las trayectorias no se alteran. Más generalmente, este principio es una consecuencia del principio de *reversibilidad temporal* de las ecuaciones de la física.

Proyecto 2.- Reflexión total interna

Equipamiento recomendado: Un semicilindro de vidrio o acrílico (media caña) de aproximadamente 15 cm de diámetro y 3 cm de altura. Un puntero láser.

Investigue el fenómeno de *reflexión total interna*. Para ello haga incidir un láser por el lado la superficie curva de la Fig. 44.2 y que pase por el punto O (dirección radial). La luz llegará a la cara plana del semicilindro radialmente desde un medio que tiene índice de refracción mayor (n_3) a otro de índice menor (n_1) que el aire. Observe la transmisión de la luz del semicilindro al aire mientras va cambiando el ángulo (θ_3) de incidencia de la luz sobre la interfase acrílico–aire. ¿Encuentra algún ángulo para el cual la luz deja de transmitirse al aire? Si encuentra dicha condición, esto significa que para dicha incidencia, la reflexión es *total* en la superficie plana interna del semicilindro.

- Usando el puntero láser, estime en forma directa el valor del *ángulo crítico* (o *límite*) θ_{crit} , para el cual deja de existir el rayo transmitido.
- Otro modo de determinar el valor de θ_{crit} consiste en representar gráficamente $sen(\theta_3)$ en función de $sen(\theta_1)$. A partir de la recta que mejor ajusta los datos experimentales, determine el valor de θ_3 para el cual $sen\theta_1 = 1$. Este valor de θ_3 es θ_{crit} .
- Para $\theta_3 > \theta_{crit}$ no hay rayo transmitido. Usando el puntero láser, compruebe que esta condición se cumple en el caso en estudio y compruebe también que toda la luz incidente se refleja en la cara interna del semicilindro.
- Use la Ley de Snell sujeta a la condición $sen(\theta_1) = 1$ y establezca una relación entre θ_{crit} y el índice de refracción del material del semicilindro (n_3). Estime de esta manera el índice de refracción del semicilindro y compare con los valores hallados anteriormente.

Referencias

1. F. Sears, M. Zemansky, H. Young y R. Freedman, *Física universitaria*, vol. 2, Addison-Wesley Longman, México, 1999.
2. *Guía del laboratorio de física*, Physical Science Study Committee, Reverté, Madrid, 1972.

Guía:	Lentes	F2 ByG - Q	2° Cuat 2010
--------------	---------------	------------	--------------

Objetivos:

En la presente práctica se evaluarán las características de sistemas formadores de imágenes como es el caso de lentes delgadas convergentes. Se analizarán las características de las imágenes y su relación con la distancia a la lente y se hallarán las distancias focales de las lentes empleadas.

Para este objetivo se contarán con diversas lentes delgadas de distintas distancias focales, una fuente de luz blanca y materiales adicionales necesarios para las mediciones.

Lentes delgadas:

Una lente es un sistema óptico limitado por dos superficies refringentes curvas. Un objeto situado a la izquierda de la lente (en óptica se toma como convención que la luz avanza de izquierda a derecha) tendrá una imagen formada por la primera superficie y esta imagen será el objeto de la segunda superficie, dando como resultado una segunda imagen que será finalmente la imagen de todo el sistema. Se denominan lentes delgadas, cuando el radio de curvatura es mucho más grande que la separación entre las dioptros. En este caso, ya no se busca la imagen de cada dioptra sino del sistema en su totalidad.

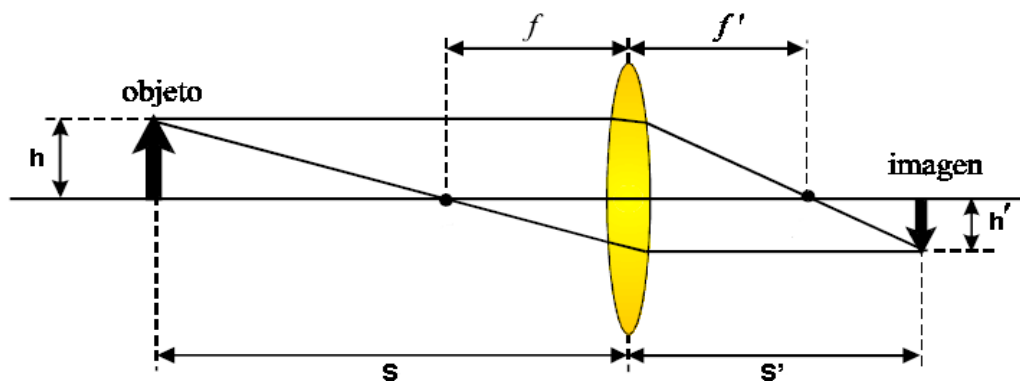


Figura 1: Disposición de objeto- lente- imagen

Si S es la distancia del objeto a la lente y S' la distancia de la lente a la imagen (ver Figura 1), la ecuación que relaciona estas dos distancias con la lente es la ecuación de Gauss:

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

Se denomina f a la distancia focal de la lente, esta distancia es fija para cada lente y representa una característica importante de la misma. La distancia S' en cambio, corresponde a la distancia de enfoque (muy distinto que distancia focal) que significa que a esa distancia se ve nítida la imagen del objeto. Si cambio la posición S del objeto, dado que f es fijo, naturalmente debe cambiar S' , es decir, que la imagen se formará en otra posición.

La distancia focal es relativamente fácil de estimar conociendo su definición:

- 1) Si el objeto está en el infinito, es decir que los rayos llegan paralelos al eje óptico, estos convergen luego de la lente en un plano cuya distancia a la lente es exactamente f .
- 2) Si la imagen se forma en el infinito, es decir que los rayos emergen de la lente paralelos al eje óptico, entonces el objeto se halla a una distancia de la lente $S = f$.

Por simple convención, al primer caso de lo llama foco imagen (porque está medido del lado del espacio imagen) y al segundo caso foco objeto (porque está medido del lado del espacio objeto), pero ambos valores son el Mismo.

Convención de signos:

- 1) La distancia S es positiva cuando se halla a la izquierda de la lente (objeto real) y negativa a la derecha (objeto virtual).
- 2) La distancia S' es positiva cuando se halla a la derecha de la lente (imagen real) y negativa a la izquierda (imagen virtual)

Imágenes:

Las imágenes pueden tener distintas características en relación a su formación, tamaño y orientación.

- Formación: son reales si pueden ser recogidas con una pantalla en el espacio imagen, en este caso los rayos salen en forma convergente de la lente; o virtuales si los rayos parecen provenir de la lente pero divergen tras ella.
- Tamaño: pueden ser más grande, más chicas o de igual tamaño que el objeto.
- Orientación: pueden estar derechas o invertidas.

El aumento en una lente delgada se mide a través de la relación entre las alturas del objeto h y de la imagen h' , $A = h' / h$ siendo esta relación igual a S'/S

Práctica:

- 1) Estimar la distancia focal de dos lentes de distintas distancias focales utilizando fuentes en el infinito o a distancia suficientemente lejana (cuanto?)

- 2) Estudiar en forma cualitativa las características de las lentes como sistema formador de imágenes, es decir, analizar para que distancias objeto-lente se obtienen imágenes reales - virtuales, mayores - menores, derechas – invertidas. Armar un cuadro estimativo con los resultados hallados.
- 3) Obtener la distancia focal a través de diversas mediciones de S y S' y un ajuste lineal de los datos (ec. De Gauss). Graficar
- 4) Graficar S' vs S . ¿qué tipo de curva es? ¿Cuáles son los límites del gráfico?
- 5) Medir para cada caso el aumento e informar las demás características de la imagen.
- 6) Utilizando papel negro, tapar la mitad de la lente y evaluar el efecto en la imagen (que espera obtener)
- 7) Lo mismo, pero tapando la mitad del objeto.
- 8) De haber papel celofán azul y rojo, evaluar posibles dependencias del sistema con la longitud de onda. De depender de ella, la distancia a la cual se forma la imagen debería cambiar con la longitud de onda (considerando una lente sin corrección cromática)

Práctica 3:	Instrumentos Opticos	F2 ByG	2° Cuat 2005
--------------------	-----------------------------	--------	--------------

En la presente práctica se construirá un microscopio compuesto sencillo y se determinará su aumento. Luego se empleará un microscopio de laboratorio, se calibrará la escala del ocular para los distintos objetivos y se determinarán los aumentos del mismo.

El microscopio se emplea para observar objetos pequeños. Consta esencialmente de dos lentes. La más cercana al objeto a observar se denomina *objetivo* y la más cercana al observador se denomina *ocular*. El objetivo forma una imagen real y ampliada del objeto con la cual el ocular forma una nueva imagen virtual más ampliada que es observada por el ojo. De esta manera se alcanzan aumentos muy superiores a los que se pueden obtener con un microscopio simple (lupa). En general, la disposición del ocular respecto al objetivo es tal que los rayos emergentes del ocular sean paralelos, de este modo la imagen final se forma en el infinito y la observación se realiza a ojo relajado.

1) Construcción de un microscopio compuesto.

Elementos necesarios:

2 lentes convergentes de distinta distancia focal, 2 pantallas milimetradas, objeto, lámpara, banco óptico.

Para la construcción de un microscopio elemental compuesto se utilizarán dos lentes, una de corta distancia focal que será el objetivo y otra de mayor distancia focal que será el ocular. Ver Figura 1. Cómo debe ir ubicado el ocular de modo de obtener una imagen final en el infinito? (Sugerencia: puede usar el objeto cruz y una pantalla para determinar los planos objeto- imagen del objetivo y con ello posicionar el ocular). Recuerde alinear correctamente todos los elementos empleados.

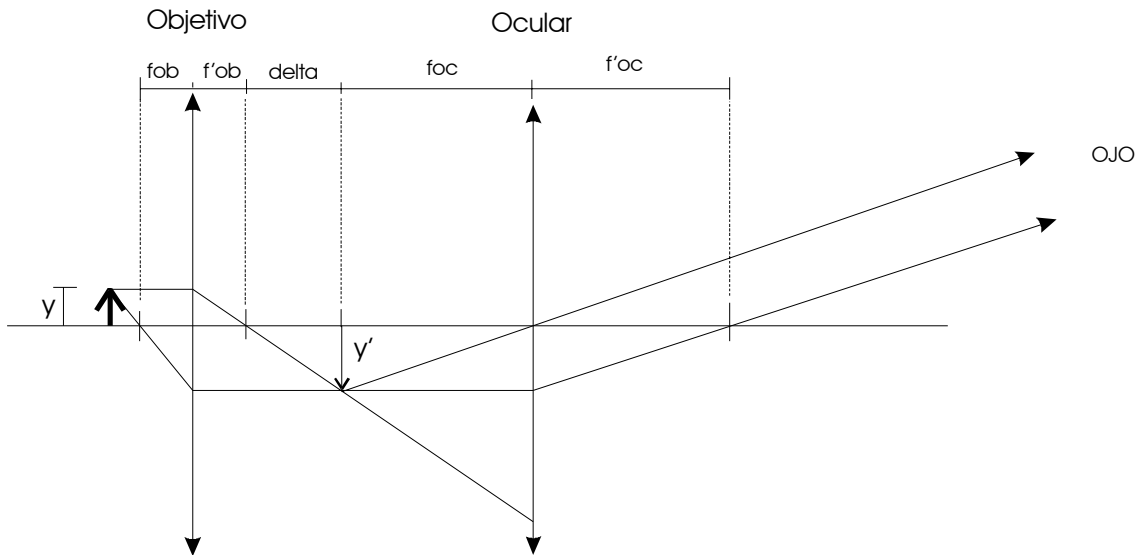


Figura 1: diagrama de microscopio

El aumento de este microscopio puede calcularse como:

$$D = \frac{\text{delta} \cdot 25}{f_{ob} \cdot f_{oc}}$$

Donde *delta* es la distancia que hay entre el foco imagen del objetivo y la posición donde se forma la imagen.

Para medir este aumento se reemplaza el objeto por una pantalla milimetrada, luego se coloca una segunda pantalla milimetrada a 25 cm de los ojos y simultáneamente se observan por el microscopio las dos pantallas (una con cada ojo). Se deberá establecer cuantas divisiones de la pantalla posterior (N1) coinciden con las de la pantalla más cercana (N2) y calcular dicho aumento.

$$D' = \frac{N2}{N1}$$

2) Microscopio de Laboratorio

En esta parte de la práctica se utilizará un microscopio de laboratorio el cual consta de varios objetivos y un ocular compuesto.

El microscopio está diseñado de modo tal que la distancia entre el objeto y la posición donde se forma la imagen del objetivo está estandarizada, a fin de que al cambiar de objetivo el ajuste necesario para mantener el objeto enfocado es mínimo.

a) Calibración del micrómetro ocular

El ocular del microscopio posee una escala que es necesario calibrar para los distintos aumentos que se puede lograr con el mismo. Para ello se observará una platina que tiene una escala de dimensiones conocidas, es decir hay una distancia X entre las divisiones de la misma. Por el microscopio se observan ambas escalas y se determinará el número N de divisiones de la platina que coinciden con n divisiones del micrómetro del ocular.

Se deberá calibrar para cada objetivo del microscopio.

b) Determinación del aumento eficaz del microscopio

Se observara una platina milimetrada por el microscopio y simultáneamente otra a ojo desnudo ubicada a 25 cm del observador de modo de estimar los diferentes aumentos del mismo.

c) Medición de un objeto.

Usando la escala calibrada del ocular se medirá un objeto para los distintos aumentos del microscopio.

Apéndice

Se define aumento eficaz a

$$D = \frac{\text{tg}(u')}{\text{tg}(u)}$$

Donde u es el ángulo subtendido por el objeto mirado a ojo desnudo a 25 cm de distancia.

u' es el ángulo bajo el cual se ve la imagen final mirada por el ocular.

$$\text{Tg}(u') = y'/\text{foc}$$

$$Y'/y = \text{delta}/ \text{fob}$$

$$Y' = y \times \text{delta}/ \text{fob}$$

$$\text{Tg}(u') = (y \times \text{delta}) / (\text{fob} \times \text{foc})$$

Reemplazando: $D = (\text{delta} \times 25) / (\text{fob} \times \text{foc})$

Actividad V – Polarización

La luz como onda transversal

Objetivos

Estudio del fenómeno de polarización de la luz. Determinación experimental de la Ley de Malus.

Introducción

La luz es la parte visible del espectro electromagnético. El objetivo de este experimento es estudiar las propiedades y características básicas de la luz polarizada y a partir de estas observaciones conectar los fenómenos ópticos con los electromagnéticos. Mediante el estudio experimental de las propiedades y características básicas de la luz polarizada se pueden conectar de manera simple los fenómenos ópticos con los electromagnéticos.

Una onda transversal es aquella en la que la propiedad (vectorial) que vibra lo hace en una dirección perpendicular a la dirección de propagación. Una onda transversal puede ser polarizada. Esto consiste en que la propiedad que vibra, lo haga de un modo predecible, por ejemplo, si la vibración es siempre paralela a una dirección fija tenemos *polarización lineal*. Si el vector que describe la vibración rota a una frecuencia dada perpendicular a la dirección de propagación tenemos una onda con *polarización circular*; otro caso simple es el de la *polarización elíptica*.^[2]

La existencia de fenómenos de polarización de la luz reside en el hecho de que la luz es una *onda transversal*; lo que oscila en este caso son los campos eléctrico y magnético, que tienen carácter vectorial.

Proyecto - Ley de Malus

Equipamiento recomendado: Dos láminas polarizadoras (polaroides). Una lámpara incandescente. Un fotómetro calibrado.

Un experimento clave para poner a prueba el carácter transversal de una onda, consiste en utilizar dos polarizadores en forma consecutiva, formando un ángulo θ entre sus direcciones de polarización (Fig. 1) y medir la intensidad de la onda que se transmite como función de θ . El primer polarizador polariza linealmente la onda incidente; el segundo polarizador se denomina *analizador*. Si la amplitud de la onda polarizada a la salida del primer polarizador la designamos como E_0 , la amplitud transmitida por el analizador será $E_0 \cdot \cos(\theta)$. Esto se debe a que sólo la componente del campo eléctrico en la dirección del eje de polarización del analizador será transmitida. Como la intensidad de la onda (energía por unidad de área y tiempo) es proporcional al cuadrado de la amplitud,^[1] tendremos que la intensidad transmitida variará con el cuadrado del $\cos(\theta)$, o sea:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \cos^2 \theta \quad (1)$$

La relación (1) se conoce como Ley de Malus. De hecho, podemos usar la ley de Malus como un ensayo que nos permita determinar en forma operacional si una onda es transversal o no.

Para estudiar estos fenómenos en el caso de la luz, es necesario utilizar *polarizadores*. Si bien existen muchos tipos de polarizadores,^[2] los polarizadores dicróicos son muy adecuados para este experimento y además son de muy bajo costo.^[3] También es necesario usar un fotómetro calibrado para medir la intensidad luminosa.

El dispositivo experimental se muestra esquemáticamente en la Fig. 1. La fuente de luz puede ser una lámpara incandescente, y entre ella y el fotómetro se colocan dos polarizadores. El primer polarizador (más cercano a la fuente) se denomina simplemente

polarizador y el más alejado se denomina *analizador*. La luz proveniente de la lámpara incandescente es luz no polarizada, de modo que la misión del polarizador es definir un estado de polarización lineal en la luz que transmite al analizador. Uno de los dos polarizadores debe tener un goniómetro para medir su posición angular relativa a la dirección de transmisión del otro. Debe cuidarse de que exista una buena alineación de todos estos elementos.

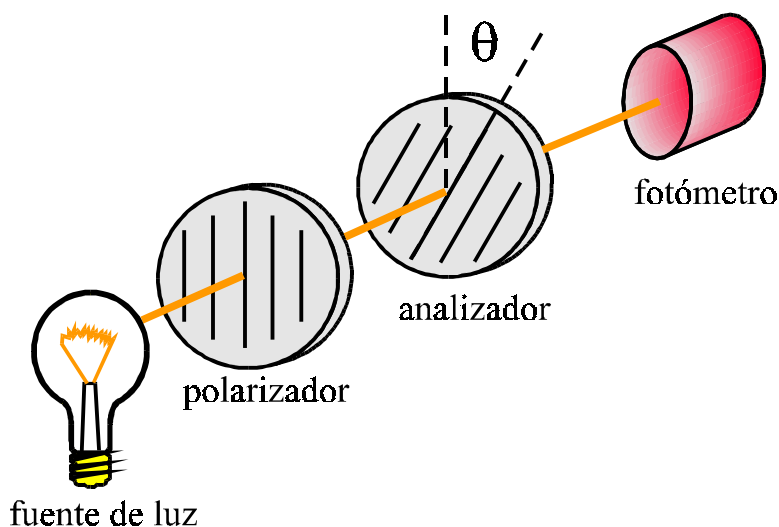


Figura 1 Esquema del dispositivo experimental con los elementos: fuente de luz, polarizador, analizador y fotómetro.

Nota: este experimentos también pueden realizarse usando un láser de estado sólido como fuente de luz. Estos láseres emiten luz polarizada linealmente, de modo que puede prescindirse de uno de los polarizadores, aunque conviene verificar esta cualidad previamente. Por lo regular, los láseres de He-Ne no generan luz linealmente polarizada. También es común que el estado de polarización dependa del tiempo muchas veces de manera errática, lo que no los hace adecuados para estos experimentos.

- Usando el esquema de la Fig. 1 y un fotómetro calibrado, estudie cómo varía la intensidad luminosa transmitida en función del ángulo entre los dos polarizadores. Para ello, mantenga constante la distancia fuente–detector y rote el polarizador (o el analizador) hasta observar que la intensidad transmitida es

máxima (máxima respuesta del fotómetro). Tome este ángulo como origen para medir el ángulo entre ellos ($\theta = 0^\circ$). Verifique que cuando rota el polarizador 180° la intensidad es la misma que cuando $\theta = 0^\circ$. Si observa una asimetría significativa entre estas intensidades es aconsejable que revise el dispositivo; por ejemplo, revise la alineación de los elementos, fíjese si no hay fuentes de luz espurias, etc.

- Mida con un fotómetro la intensidad luminosa, I , en función de θ . De ser posible varíe θ entre 0° y 360° en pasos de aproximadamente 5° .
- Identifique las fuentes de error de sus mediciones, y especialmente analice los errores sistemáticos.
- Represente gráficamente la intensidad de luz transmitida I :
 - ✓ en función de $\cos(\theta)$
 - ✓ en función de $\cos^2(\theta)$.
- Discuta, a partir estos gráficos, si la luz polarizada linealmente obedece la Ley de Malus.^[1,2]

Referencias

1. R. Feynman, R. Leighton and M. Sands, *The Feynman lectures on Physics*, vol. 2, Fondo Educativo Interamericano, Bogotá, 1972.
2. E. Hecht, *Optics*, Addison–Wesley Pub. Co., New York, 1990.
3. M. Alonso y E. J. Finn, *Física*, vol. II, *Campos y Ondas*, Fondo Educativo Interamericano, Bogotá, 1970.

Práctica 4:	Biprisma de Fresnel	F2 ByG	2º Cuat 2005
--------------------	----------------------------	--------	--------------

Objetivo: Determinar la longitud de onda mas intensa emitida por una lámpara de sodio

El biprisma de Fresnel consta de dos prismas delgados que sirven para generar dos imágenes coherentes de una fuente (rendija iluminada) de modo tal que la luz proveniente de ambas da lugar a interferencias en la zona situada a continuación del biprisma. Son franjas no localizadas. Este es un interferómetro de división de frente de onda similar al experimento de la doble rendija de Young.

En cada punto donde la diferencia de camino óptico de las ondas provenientes de cada fuente sea igual a un numero entero de longitudes de onda habrá interferencia constructiva y se verá una franja brillante. Se puede calcular que la separación entre franjas viene dada por:

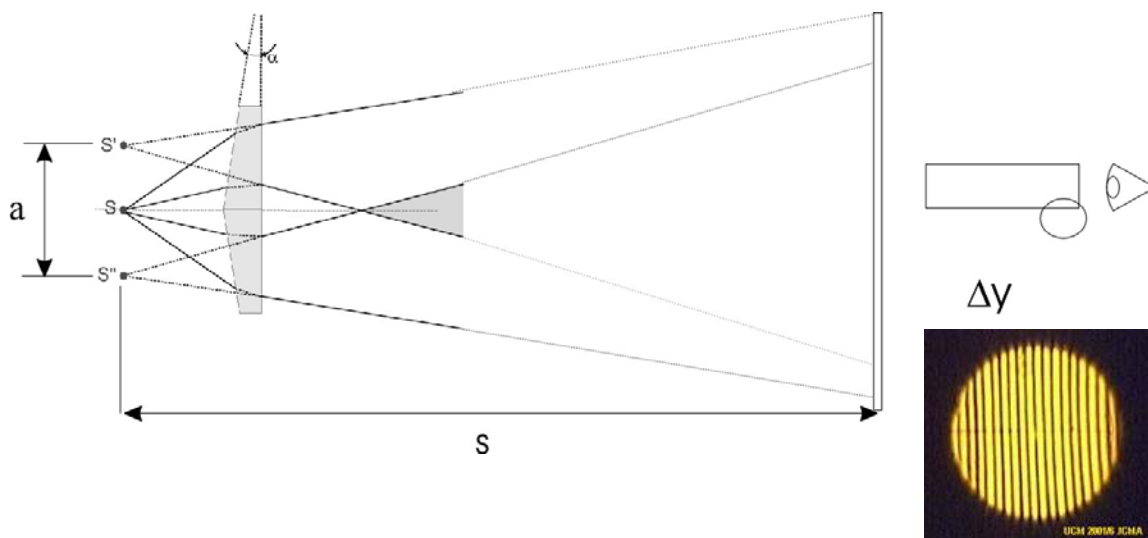
$$\Delta y = s * \lambda / a \quad (1)$$

donde:

Δy = distancia entre dos máximos brillantes consecutivos (interfranja)

s = distancia entre el plano de las fuentes virtuales y el plano donde se observa la interfranja

a = distancia entre fuentes virtuales



El objetivo de esta practica es determinar la longitud de onda de la lámpara de Sodio mediante un método interferométrico. En este caso usaremos el biprisma de Fresnel. La longitud de onda puede obtenerse mediante la expresión (1) a través de la medición de la interfranja a distintas distancias del biprisma. (La lámpara de Sodio no es estrictamente

monocromática como se vera en la practica de difracción pero para los efectos de esta experiencia se la puede considerar monocromática.)

A) Calibración del microscopio y medición de la distancia de enfoque

Dado que la figura de interferencia es muy pequeña, estas no pueden observarse a simple vista por lo que se requiere el uso de un microscopio

El microscopio de banco óptico cuenta con un retículo que puede desplazarse mediante un perilla graduada (micrómetro). Este retículo debe ser calibrado. Para ello puede usar una pantalla milimetrada.

IMPORTANTE! El micrómetro del microscopio solo debe rotarse en el mismo sentido, sea cual sea, dado que no vuelve sobre sus mismos pasos. Si uno se pasa hay que empezar de nuevo.

B) Medición de la longitud de onda de la lámpara de sodio

Para esta experiencia son necesarios un banco óptico, la lámpara de sodio, una ranura (por qué?), un microscopio de banco y los posicionadores que crea necesario.

Nota: la lampara de Sodio tarda varios minutos en alcanzar su régimen estable, por ello debe ser encendida con suficiente anticipación. 10-5 min antes de cualquier medición

Todos los instrumentos deben estar muy bien alineados en el banco optico (lámpara, ranura, biprisma, microscopio) pero dado que no todos se hallan del todo centrados es recomendable el uso de posicionadores que permitan desplazamientos laterales. Recuerde que en esta practica la correcta alineación es un factor importante a la hora de observar y medir las franjas, por ellos tenga precaución de verificar la alineación entre las fuentes virtuales, el biprisma y el microscopio.

Consejo: una vez montado el experimento, verifique que puede medir bien tanto las interfranjas como las fuentes virtuales.

Donde se observan las franjas? Hay un plano único o se la puede ver en un espacio amplio a lo largo del banco?

IMPORTANTE: De que forma determina la distancia entre fuentes - plano de observación de las franjas? Tenga presente que esta mirando con un microscopio que enfoca a cierta distancia del objetivo.

Para medir la interfranja que da menos error, medir una sola o medir varias y dividir por el numero de franjas barridas?

El valor de la longitud de onda se puede obtener a partir de un ajuste lineal de Δy VS S

Práctica 5:	Difracción	F2 ByG	2° Cuat 2005
--------------------	-------------------	--------	--------------

Objetivos:

Estudiar la figura de difracción producida por una ranura y un por un obstáculo de geometría rectangular.. Medir la intensidad de la figura formada (patrón de difracción) por una abertura y levantar un perfil de la misma mediante el empleo de un fotodiodo.

Aberturas – Obstáculos

Iluminando una rendija de ancho variable con un láser como se muestra en la Figura 1, observar sobre una pantalla la figura de difracción.

Ubique el láser en la mesa óptica quedando éste bajo el nivel de las barreras de protección. Remueva solo una de las mismas y utilice como pantalla la pared. Tenga cuidado al realizar las observaciones y mediciones cuidando de no exponer los ojos al haz.

- Observe cómo se distribuye la intensidad de la luz sobre la pantalla. Varíe el ancho de la rendija y estudie cómo se modifica la imagen de difracción. Observe cómo varía el ancho de la zona central de máxima intensidad cuando se aumenta o disminuye el tamaño de la rendija. Investigue la relación existente entre la distancia entre mínimos (o máximos) de intensidad y el ancho de la rendija.

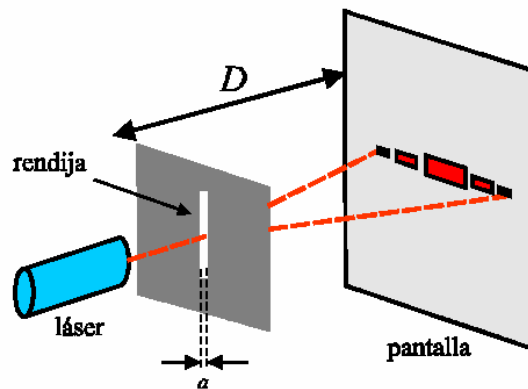


Figura 1: Esquema del dispositivo experimental

- Sabiendo que la relación entre los mínimos de difracción, el ancho de la rendija y la longitud de onda están dados por la relación:

$$y_n^{(\min)} = n \cdot \frac{D \cdot \lambda}{a}, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

donde n es el orden del n -ésimo mínimo, D es la distancia rendija–pantalla, a es el ancho de la rendija y λ la longitud de onda del láser utilizado. Represente en un gráfico la posición de MÍNIMOS (y_n^{min}) de intensidad sobre la pantalla como función del orden n en que parecen los mismos. Luego, conocida la longitud de onda del láser ($\lambda = 638,5\text{nm}$) y la distancia D , determine a partir del gráfico y vs n el ancho a de la rendija. Mida la ranura con el microscopio de banco y compare los resultados.

- Reemplace la ranura por un alambre de ancho conocido (si consigue uno de igual ancho que la ranura usada antes muchísimo mejor) y observe la figura de difracción. ¿Cómo es? ¿es muy diferente?

El sistema ranura-obstáculo de igual dimensión corresponden a los tipos de sistemas llamados complementarios es decir que si se superponen completan una pantalla opaca. Una característica notable de estos sistemas es que forman las mismas figuras de difracción. Este resultado se conoce como *principio de Babinet* y se debe al hecho de que la figura de difracción producida bloqueando parte de un frente de onda depende solamente de las ubicaciones de *los bordes* de los obstáculos que producen difracción.

Distribución de intensidad de las figuras de difracción

El objetivo de esta parte de la práctica es medir la distribución de intensidades de la luz sobre la pantalla sobre la que observamos las figuras de difracción. Para ello se montarán sobre la mesa óptica el mismo sistema RANURA- LÁSER pero ahora en lugar de la pantalla se ubicará un fotosensor montado sobre un posicionador traslacional. La idea es desplazar el fotosensor a lo largo de la figura de difracción e ir registrando para cada posición la intensidad de luz. El registro de los datos se hace a través del programa MPLI al cual está conectado el fotosensor. El posicionador posee un tornillo micrométrico que permitirá medir al mismo tiempo la posición que el sensor irá tomando.

- Represente los resultados medidos en un gráfico I vs posición. Estos deben seguir la relación

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{\text{sen}(z)}{z} \right)^2$$

donde

$$z = \pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \text{sen}(\alpha)$$

El ángulo α mide la apertura angular de la figura de difracción respecto del máximo central y verifica

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{y}{D}$$

siendo y la coordenada sobre la pantalla (la posición medida por el fotosensor) . Recuerde que si usó un fotómetro para medir la intensidad, el parámetro D es la distancia desde la rendija hasta el elemento sensible del fotómetro.

- Sabiendo la longitud de onda del láser usado, estime a partir del gráfico el ancho de la ranura empleada.

- El fotosensor satura dando un valor de 3V, esto quiere decir que aunque se lo ilumine con una mayor intensidad de luz la lectura que dará el instrumento seguirá siendo 3V. Dadas las características del experimento (queremos observar los otros máximos) es posible que el máximo de orden cero de difracción este saturado. Se puede calcular el valor de este máximo si tiene en cuenta cual es la relación entre las intensidades del máximo principal y los de primer y segundo orden

Dado que la abertura del sensor es muy grande para el tamaño del patrón de difracción utilizado en esta experiencia, conviene cubrirla con cinta de papel dejando solo una ranura de unos pocos milímetros para que entre la luz.

Práctica 6:	Redes de difracción	F2 ByG	2° Cuat 2005
--------------------	----------------------------	--------	--------------

Objetivos:

Se propone medir el espectro de una lámpara de sodio utilizando redes de difracción. Se propone determinar los límites del espectro visible usando una fuente de luz blanca.

Redes de difracción

Una red de difracción es una estructura repetitiva que se utiliza para introducir una perturbación periódica en un frente de onda. Entre las configuraciones más sencillas se encuentra la red plana de transmisión formada por una serie de rendijas idénticas y equiespaciadas.

Si un frente de ondas plano incide sobre una red y observamos la difracción de Fraunhofer en una pantalla alejada, la distribución de intensidad la podemos expresar por:

$$I = I_0 \left(\frac{\text{sen}\beta}{\beta} \right)^2 \left(\frac{\text{sen}N\alpha}{\text{sen}\alpha} \right)^2$$

El primer factor entre paréntesis está referido a la *Difracción* producida por cada rendija de ancho a presente en la red. El segundo factor proviene de la *Interferencia* entre las N rendijas de la red, las cuales se hallan separadas en b . Ver Figura 1.

$\beta = (\pi a/\lambda)(\text{sen}\theta - \text{sen}\theta_0)$; $\alpha = (\pi b/\lambda)(\text{sen}\theta - \text{sen}\theta_0)$, λ es la longitud de onda., θ_0 es el ángulo que forma el haz incidente con la red y θ es el ángulo que forma el haz que estamos observando sobre la pantalla.

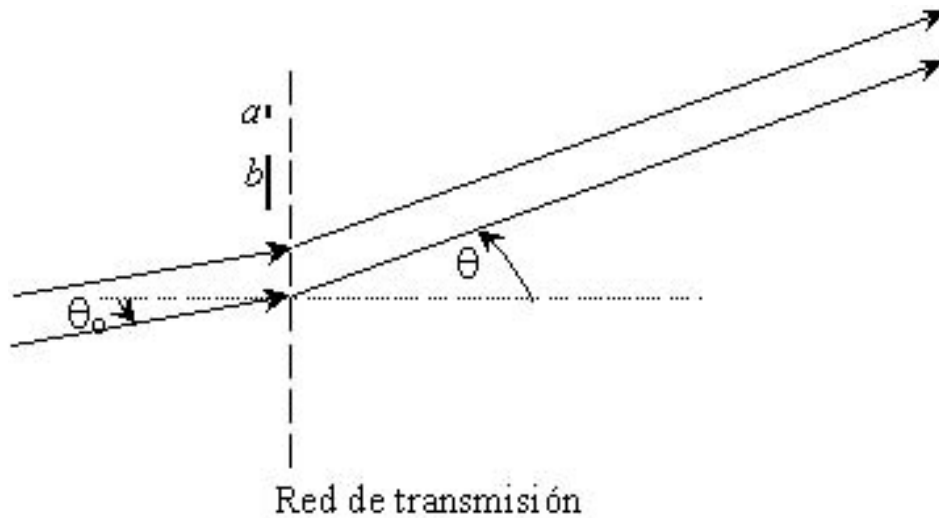


Figura 1: Esquema de la geometría de una red de transmisión.

Para valores específicos de α y β esta intensidad se irá haciendo máxima o mínima (cero) describiendo una serie de máximos principales en la pantalla de observación (existen máximos secundarios mucho menos intensos en el medio). El resultado de esta combinación es la interferencia modulada por la figura de difracción. Dado que en este caso la campana central de difracción es mucho mas ancha que la separación entre los máximos de interferencia, los órdenes que usualmente se ve con una red es la interferencia producida por las N rendijas. Si nos concentramos entonces en el factor de interferencia encontramos que se hace máximo cuando se cumple que:

$$\alpha = \mathbf{m} \pi \qquad \mathbf{m} = 0, \pm 1, \pm 2$$

\mathbf{m} se denomina orden de interferencia. Reemplazando en la expresión de α resulta que:

$$\text{sen } \theta_m - \text{sen } \theta_0 = \mathbf{m} \lambda / b$$

donde el ángulo θ_m correspondiente al máximo de interferencia \mathbf{m} . Esta expresión se denomina *ecuación de la red*.

Nota: si el haz incidente no es monocromático, esta expresión vale para cada longitud de onda presente en el haz. Piense como es la relación entre el ángulo y la longitud de onda, es decir a mayor longitud de onda, la desviación del haz será mayor o menor?

Analizar cómo es la distribución de los máximos cuando la incidencia es normal ($\theta_0 = 0$) y cuando no lo es ($\theta_0 \neq 0$).

Medición del espectro de emisión de una lámpara de sodio con una red de transmisión

En esta práctica se medirán las longitudes de onda emitidas por la lámpara de Sodio utilizando para ello una red de transmisión y un goniómetro (instrumento que se utiliza para medir ángulos).

Los pasos importantes a seguir en esta experiencia son:

- 1) Calibración de goniómetro. En el Apéndice se describen los pasos
- 2) Ubicación correcta de la red en el goniómetro (ver Apéndice). En la Figura 2 se muestra el dispositivo a montar. La red se coloca sobre la platina de modo que esta quede perpendicular al haz incidente y bien centrada!, es decir que el haz debe incidir con ángulo cero respecto a la normal a la red ($\theta_0 = 0$). Por qué? Si así no fuera que precaución debo tomar antes de hacer las cuentas?

Para asegurarse incidencia normal se ubica el anteojo enfrentando al colimador y se lee la posición angular (L_0), luego se buscan los máximos correspondientes al máximo orden de interferencia visible. Primero hacia un lado (por ej. derecho) y luego hacia el otro (izquierdo) registrando los ángulos correspondientes. Si la desviación respecto de L_0 , correspondiente a un mismo orden de interferencia, es la misma hacia ambos lados se puede considerar que la red está ubicada en forma perpendicular al haz incidente (justifique porque ésta afirmación es válida). De no ser así gire la platina levemente y vuelva a determinar la desviación de los máximos hacia ambos lados hasta que las observaciones coincidan.

- 3) Mediciones, cálculos y gráficos. Conociendo la periodicidad de la red y midiendo los ángulos de los distintos máximos de interferencia se pueden calcular las longitudes de onda presentes en la lámpara de Sodio a partir de la ecuación de la red. Mida la mayor cantidad de ordenes que pueda de modo de hacer un gráfico respetable (mas de 3 puntos) de $\sin \theta_m$ vs m . ¿Cuántas longitudes de onda espera ver?
- 4) En la lámpara de Sodio hay presentes en realidad dos longitudes de onda correspondientes al amarillo. Estas son muy cercanas y no es posible resolverlas en el primer orden de interferencia. A partir de que orden puede apreciar el doblete del Sodio? Intente medirlo.

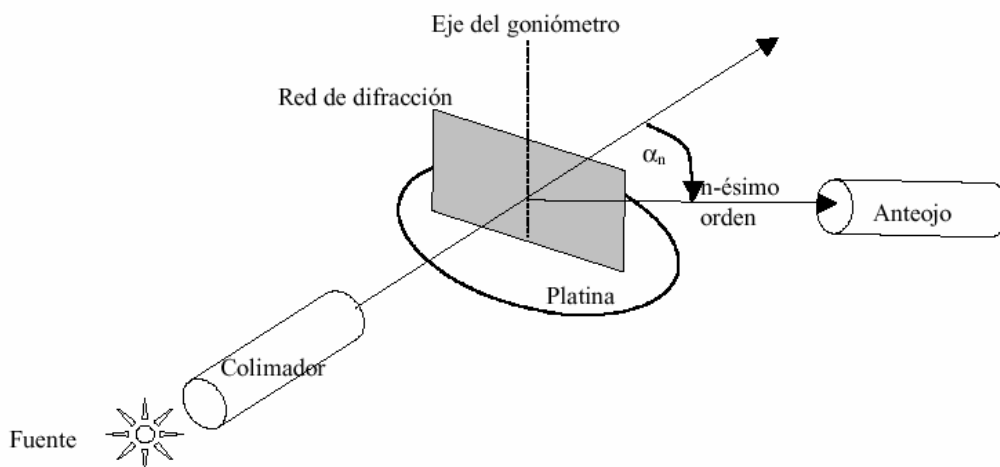


Figura 2: Esquema del dispositivo experimental para medir el espectro de una fuente luminosa con una red de difracción

Determinación de los límites del espectro visible usando una lámpara de luz blanca

Con el mismo dispositivo reemplace la lámpara de Sodio por una lámpara de luz blanca y observe el espectro.

- 1) ¿Es muy distinto al observado en la lámpara de Sodio? ¿a que se debe la diferencia?
- 2) Mida las longitudes de onda de los límites que percibe

Apéndice: Calibración del goniómetro

El goniómetro consta de una platina giratoria solidaria a un limbo graduado, sobre la cual se coloca la red. Un colimador, para crear un haz incidente de rayos paralelos, y un anteojo que permite llevar el plano de observación al infinito, el anteojo es móvil y posee un vernier para medir el ángulo de giro sobre el limbo graduado. El anteojo tiene un retículo en forma de cruz que permite definir mejor las posiciones que se miden.

Antes de medir, el dispositivo debe ser ajustado para trabajar bajo las condiciones de difracción de Fraunhofer e incidencia normal. Para ello debe enfocar el colimador y el anteojo. Primero se enfoca el anteojo mirando un objeto distante (enfoque a infinito) desplazando el ocular del tubo. Luego se enfoca el colimador enfrentándolo al anteojo y desplazando la rendija que se halla adherida a él hasta obtener una imagen nítida de ella.

A continuación se debe ubicar la red paralela al eje del goniómetro y aproximadamente perpendicular al haz colimado. La red se encuentra paralela al eje cuando la imagen de la rendija a través de la red se halle centrada y paralela al eje vertical del retículo. Para lograr posicionarla correctamente la platina cuenta con tres tornillos de nivelación.

Redes de Reflexión.

Una red de reflexión consta de una serie de surcos hechos sobre una superficie metálica y opera en forma similar a las redes de transmisión. La mayoría de ellas están construidas de modo tal que el máximo del pico de difracción no coincide con el orden cero de interferencia. De este modo se logra que la mayor intensidad de luz (máximo principal de difracción) esté dirigida hacia órdenes superiores de interferencia donde la red tiene mayor poder resolvente. Este tipo de construcción recibe el nombre de resplandor (*blaze*).

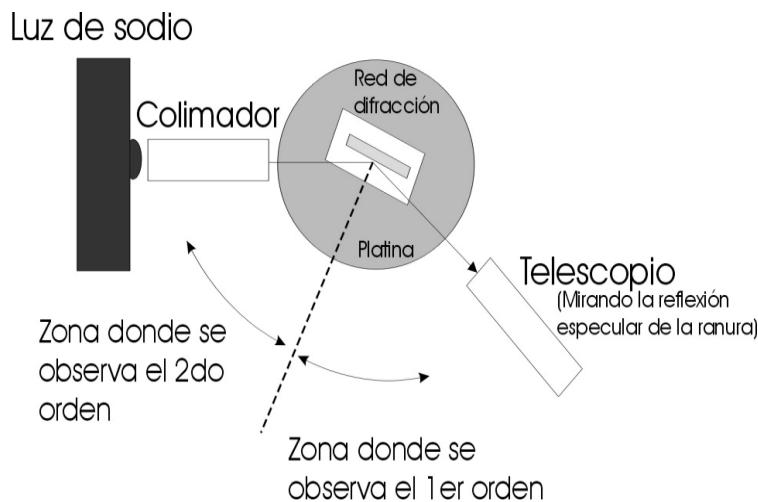
Con estas redes es mejor trabajar con incidencia oblicua (casi rasante) para poder observar mejor los distintos órdenes de interferencia.

La ecuación para este tipo de redes es la misma que para las redes de transmisión:

$$b (\text{sen} \theta_m - \text{sen} \theta_i) = m \lambda$$

*Dado que se trabaja con incidencia oblicua es muy importante medir bien el ángulo de incidencia. **Todas** las mediciones de los ángulos se realizan con el vernier.*

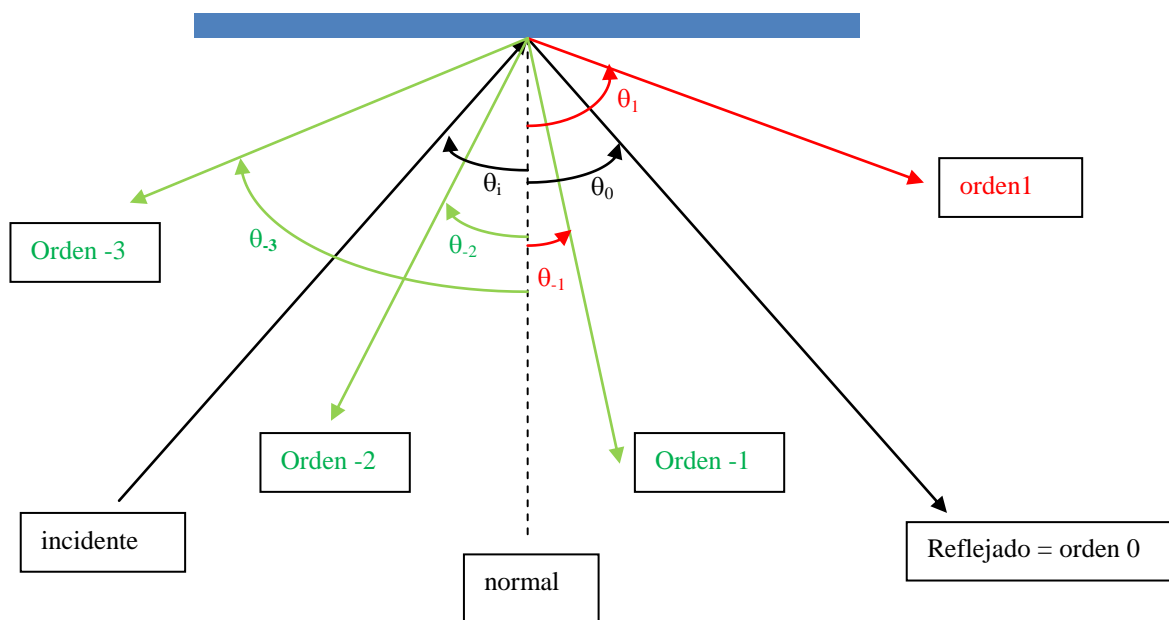
Una forma para fijar los ángulos del goniómetro en una posición de referencia conocida, es colocando el ángulo cero de la platina coincidiendo con el haz de incidencia. Esto se logra mirando la ranura del colimador con el telescopio y sabiendo que en esta posición, el colimador y el telescopio forman un ángulo de 180° . Mueva la platina hasta hacer coincidir el 180 de la misma con el cero del vernier del telescopio. Coloque la red teniendo cuidado que quede bien centrada en la platina y de modo tal de lograr un ángulo de incidencia bastante grande (no menor a 65°). Calcule a partir de la medición del ángulo de orden cero, la posición de la normal. Mida los ángulos de cada orden y cada longitud de onda y calcule los λ .



Nomenclatura:

- El ángulo de incidencia se considera positivo.
- De la normal hacia el orden cero los ángulos de los órdenes son positivos
- De la normal hacia el incidente los ángulos de los órdenes son negativos

De este modo θ_{-1} , θ_0 y θ_1 son positivos. θ_{-1} y θ_{-2} son negativos. El signo negativo que puede dar la diferencia de los senos de los ángulos queda siempre compensada con el signo de m .



Termometría

Comúnmente el concepto de temperatura se asocia con cuan caliente se encuentra un objeto. Sin embargo para poder realizar mediciones en un laboratorio se necesita primeramente dar una definición operacional del concepto de temperatura. Para ello es necesario disponer de algún objeto que posea alguna propiedad termométrica, es decir, una propiedad del mismo que varíe con la temperatura, de modo de poder usar la variación de dicha propiedad para definir una escala y construir un termómetro.

Luego, podemos definir la temperatura como aquella propiedad que miden los termómetros. El volumen de un líquido, la resistencia eléctrica de un material conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocupla), el voltaje de un diodo, etc., son ejemplos de propiedades termométricas.

Las características que debe tener un termómetro son repetibilidad, una relación matemática conocida para la variación de la propiedad termométrica (de ser posible sencilla) sensibilidad, etc. También se debe establecer bien el rango de temperaturas en el que se lo va a usar.

Termorresistores

Termómetro de resistencia de platino

Una propiedad básica de los metales es que su resistencia eléctrica cambia con la temperatura. La pieza central de un termorresistor es el elemento resistivo que está fabricado en general con un metal de alta pureza **cuya resistencia varía de un modo conocido con la temperatura**. De esta forma midiendo la resistencia se puede conocer la temperatura del medio en el cual está inmerso el termómetro.

La mayoría de los termoresistores están fabricados con platino. Esto es debido a que la variación de la resistividad de este elemento es lineal con la temperatura, a su amplio rango de operación y al hecho de que es un termómetro estable. El rango de temperaturas para un termómetro de platino va desde -200°C hasta 650°C . (Deben tenerse en cuenta como factores limitantes de este rango los demás materiales que forman parte del termómetro como ser los distintos plásticos que se emplean en las aislaciones de los cables)

El termómetro utilizado en esta práctica consta de una fuente de corriente estable que alimenta la resistencia y de un circuito que amplifica el voltaje medido de modo de poder utilizar el MPLI para adquirir los datos en la computadora.

Para mas datos sobre distintos tipos de termómetros ver:

<http://thermometricscorp.com/rtdsensors.html>

<http://www.lakeshore.com/temp/sen/prtdts.html>

Objetivos de la práctica:

En esta práctica se busca calibrar un sensor de temperatura (termoresistor) mediante la utilización de un *termómetro de referencia* o *patrón*.

También se estudiará el tiempo de respuesta de estos termómetros y se intentará verificar la ley de enfriamiento de Newton para un cuerpo.

Realización de la Práctica

1) Calibración de un termómetro de resistencia de platino

Para la calibración de un termómetro de resistencia de platino utilizaremos un termómetro de mercurio con una resolución de 0.2 °C como termómetro patrón.

En un recipiente con agua introduzca los dos termómetros asegurándose de que no toquen los bordes del recipiente. Varíe la temperatura del agua y mida con ambos termómetros varios puntos en el rango de temperaturas en el que puede trabajar cubriendo todo ese rango.

Establezca la ecuación de calibración para el termómetro de resistencia de platino.

2) Tiempo de respuesta de un termómetro.

Todos los instrumentos de medición requieren que transcurra algún tiempo para que dicha medición se realice en forma precisa. El tiempo de respuesta dependerá de cada tipo de instrumento. Por ejemplo, cuando se utiliza un termómetro (denominado clínico) de mercurio para medir la temperatura corporal hay que dejarlo varios minutos para obtener una medición confiable. Vamos a estudiar los tiempos de respuesta del termómetro utilizado previamente en esta práctica.

Usando dos recipientes, uno con agua fría y otro con agua caliente, estudie la "constante de tiempo" del termoresistor. Para llevar a cabo este estudio sumerja el sensor en el agua fría (temperatura T_1) y espere a que se estabilice su temperatura. Luego, retírelo del agua y páselo al recipiente con agua caliente (temperatura T_2).

Mida la temperatura (T) en función del tiempo (t) hasta que el termómetro haya alcanzado una temperatura final de equilibrio. ¿Cómo es la dependencia de T con el tiempo?

La constante de tiempo, τ , puede definirse como el tiempo que tarda el termómetro en cambiar su temperatura desde su temperatura inicial $T(t = 0) = T_1$ hasta una temperatura $T(t = \tau)$ tal cumpla con:

$$T(t = \tau) \cong T_1 + 0.7 \times (T_2 - T_1). \quad (1)$$

Calcule τ y compare el tiempo de respuesta de este termómetro con el tiempo de respuesta del termómetro de mercurio.

En general para realizar una buena medición se debe dejar transcurrir un tiempo equivalente a 3τ .

3) Ley de enfriamiento de Newton

Recubra el sensor de temperatura (termorresistor) con papel de aluminio tratando de formar una esfera compacta de unos 3 cm de diámetro. Caliente el cuerpo con un chorro de aire caliente de una pistola de calor, y déjelo que se enfríe naturalmente en contacto con el aire circundante, tratando de no moverlo. Durante el enfriamiento mida la temperatura en función del tiempo tomando datos a un ritmo no menor de una medición por segundo. Piense como ajustar los parámetros del programa de medición para realizar esta tarea.

El enfriamiento del cuerpo corresponde a su tránsito hacia el *equilibrio térmico* con la masa de aire circundante. Si el enfriamiento se produce debido a la convección natural del aire en las cercanías del cuerpo, el ritmo de transferencia de calor entre el termómetro y el aire se describe de la siguiente manera:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = hA(T - T_0) \quad [2]$$

donde h se conoce como el coeficiente de convección de la transferencia de calor, A es el área de contacto entre el cuerpo (a la temperatura T) y el medio circundante (a temperatura T_0). Igualando la Ec. [2] al ritmo de pérdida del calor del cuerpo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -m c_p \frac{dT}{dt} \quad [3]$$

donde m es la masa del cuerpo y c_p su calor específico, obtenemos una ecuación para describir el enfriamiento:

$$m c_p \frac{dT}{dt} = -hA(T - T_0) \quad [4]$$

La solución de esta ecuación diferencial, sujeta a las condiciones $T(t = 0) = T_i$ (temperatura inicial del cuerpo) y $T(t \rightarrow \infty) = T_0$, es:

$$T(t) = T_0 + (T_i - T_0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad [5]$$

que se conoce como **ley de enfriamiento de Newton**. El parámetro τ es la constante de tiempo del enfriamiento, y es fácil demostrar que:

$$\tau = \frac{m c_p}{hA} \quad [6]$$

y depende de propiedades del cuerpo (m , c_p , A) y del medio que lo contiene (h). (No confunda este τ que es el tiempo característico del cuerpo (esfera de papel aluminio con el τ calculado en la sección anterior que era el tiempo de respuesta del sensor en agua)

Represente gráficamente sus datos experimentales en distintos gráficos:

- 1) T en función de t
- 2) $(T - T_0)$ en función de t (considere escalas lineales y semi logarítmicas)

Analice si el enfriamiento del cuerpo estudiado puede ser descrito mediante la ley de enfriamiento de Newton.

Determine el valor el parámetro τ usando las representaciones gráficas.(usando la ecuación [1]).

Si encuentra discrepancias entre el modelo propuesto y sus datos experimentales, analice a qué factores pueden deberse.

Medición del calor específico de un sólido

Objetivo

Medición del calor específico de diversos materiales.

Materiales: Un calorímetro. Termómetros de mercurio o sensores de temperatura conectados a una PC, que midan en el rango 0–100 °C. Bloques de Cu, Fe, Al u otros metales, de masas entre 100 y 300 g.

Experiencia

En este experimento se propone medir el calor específico de algunos metales. El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura de un gramo de sustancia en un grado Celsius:

$$c_p = Q / m \Delta T$$

Dada una muestra del material cuyo calor específico se desea medir a una temperatura inicial ($T_{inicial}$) y la sumergimos en un calorímetro que contiene en equilibrio térmico una masa de agua (M_{agua}) a una temperatura T_c , si el sistema es adiabático tendremos por conservación de la energía que

$$M_{muestra} c_{p(muestra)} (T_{inicial} - T_{final}) = (M_{agua} + M_{eq}) c_{p(agua)} (T_{final} - T_c)$$

donde $M_{muestra}$ es la masa de la muestra, M_{agua} la masa del agua que está en el calorímetro, M_{eq} la masa equivalente del calorímetro y los distintos objetos que contiene (termómetros, agitadores, etc) y $c_{p(muestra)}$ es el calor específico que queremos hallar (**Si no tiene éste dato debe medirlo**).

De este modo conociendo las distintas masas y temperaturas es posible despejar el calor específico del material.

Para la experiencia se recomienda:

- Calcular la M_{eq} del calorímetro e instrumentos en su interior
- Medir todas las masas involucradas
- Llenar el calorímetro con el termómetro y agitador con agua fría y esperar hasta que se alcance la temperatura de equilibrio T_c

- Sumergir la muestra en un baño térmico, por ej. agua hirviendo y esperar hasta que alcance la temperatura de equilibrio. (Evitar que la muestra toque las paredes o el fondo del recipiente del baño térmico)
- Sacar la muestra del baño térmico, secarla rápidamente y sumergirla en el calorímetro. De este modo la temperatura de equilibrio del baño es la temperatura T_{inicial} de la muestra.
- Agite y espere hasta alcanzar la temperatura final de equilibrio
- Repita esta experiencia para distintos materiales y compare los valores hallados con valores en tablas.
- Luego, si las mediciones le dieron confiables, puede averiguar el calor específico de otros materiales plásticos no conocidos disponibles en el laboratorio.

Tabla del calor específico de diversos materiales

Metal	Specific Heat Capacity - c_p
	(kJ/kg.K)
Aluminum	0.91
Antimony	0.21
Cast Iron	0.46
Copper	0.39
Gold	0.13
Iron	0.46
Lead	0.13
Magnesium	1.05
Mercury	0.14
Molybdenum	0.25
Nickel	0.54
Platinum	0.13
Silver	0.23
Steel	0.5
Tin	0.21
Titanium	0.54
Zinc	0.39
Wrought Iron	0.50

Recuerde que la equivalencia entre Joules y Calorías es $J_e = 4.186 \text{ J/cal}$.

Equivalente eléctrico del calor

Objetivo

Estudio de la relación entre el trabajo eléctrico y el calor y determinación de la relación entre el Joule y la caloría.

Introducción

El principio de conservación de la energía nos dice que si una dada cantidad de energía de algún tipo se transforma completamente en calor, la variación de la energía térmica resultante debe ser equivalente a la cantidad de energía entregada. En este experimento buscamos demostrar la equivalencia entre la energía entregada a un sistema y el calor en que se convierte. Si la energía se mide en Joules y el calor en calorías, nos proponemos también encontrar la equivalencia entre estas unidades. A la relación cuantitativa entre Joules y calorías la llamaremos *equivalente eléctrico* (o *mecánico*) del calor, y la denominaremos J_e . Recordamos que Joule es la unidad de energía del Sistema Internacional de unidades: $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$; y una caloría es la cantidad de calor que hay que suministrar a un gramo de agua para elevarle la temperatura 1°C (desde 14.5°C hasta 15.5°C).

Calorímetro

Un dispositivo muy útil para los experimentos de termodinámica es el calorímetro de mezclas, que consiste en un recipiente con una buena aislación térmica y que contiene un líquido (por lo regular agua), un termómetro y otros elementos, como un agitador y un calefactor (resistencia eléctrica). No debemos olvidar que el calorímetro participa como parte integrante en los procesos de transferencia de calor que se realicen en él y por tal motivo es importante caracterizar su comportamiento térmico. Si por algún método suministramos una cantidad de calor Q al sistema, la temperatura del calorímetro aumentará una cantidad ΔT . La relación entre estas cantidades será:

$$Q = (c_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} + c_{\text{termom}} \cdot m_{\text{termom}} + c_{\text{xx}} \cdot m_{\text{xx}}) \Delta T \quad (1a)$$

$$Q = c_{\text{agua}} \left(m_{\text{agua}} + \left\{ \frac{c_{\text{termom}} m_{\text{termom}} + c_{\text{xx}} m_{\text{xx}}}{c_{\text{agua}}} \right\} \right) \Delta T \quad (1b)$$

$$Q = c_{\text{agua}} (m_{\text{agua}} + \{M_{\text{eq}}\} \Delta T) \quad (1c)$$

Aquí, c_{agua} es el calor específico del agua, c_{termo} representa el calor específico del termómetro y c_{xx} el calor específico del recipiente, agitador y demás elementos dentro del calorímetro, estos dos últimos desconocidos en general. Las masas correspondientes son: m_{agua} , m_{termo} y m_{xx} . Para un dado calorímetro, el término entre llaves de (1b) es una constante con dimensión de masa, y puede agruparse en una sola contante M_{eq} , que se designa como *el equivalente en agua del calorímetro*. M_{eq} tiene un significado físico simple: representa una masa de agua cuya capacidad calorífica es igual a la del conjunto constituido por el termómetro, recipiente, agitador y todos los demás componentes del calorímetro.

Desarrollo de la práctica

El principio de este experimento consiste en suministrar energía eléctrica a un calefactor (resistencia eléctrica) sumergido en agua contenida dentro de un calorímetro y medir el calor desarrollado. Como calefactor puede usarse un calentador de inmersión (Figura 1). Cuando por el calefactor o resistencia circula una corriente eléctrica I y se desarrolla en él una diferencia de potencial V , la potencia P que disipa el calefactor por efecto Joule está dada por:

$$P = I V \quad (2)$$

Si I se mide en Ampere y V en Volt, la potencia queda expresada en Watt. La energía suministrada al calefactor en un tiempo t_{exp} será:

$$W_{el\acute{e}ctrico} = \int_{t=0}^{t_{exp}} i(t) \cdot V(t) \cdot dt \approx i \cdot V \cdot t_{exp} = P \cdot t_{exp} \quad (3)$$

donde hemos supuesto que I y V son aproximadamente constantes. Si expresamos la energía eléctrica $W_{el\acute{e}ctrico}$ en Joules, podemos deducir cuál es la cantidad de Joules requeridos para generar una caloría.

Sabiendo que el calefactor es colocado dentro de un recipiente con agua, esta aumentara su temperatura acorde a la energía recibida. De este modo, la cantidad de calorías entregadas al agua se calcula a través de la medición de la variación de temperatura ΔT de la misma, conociendo la masa de agua m_{agua} , y el equivalente en agua del calorímetro M_{eq} :

$$Q = c_{agua} (m_{agua} + M_{equiv}) \Delta T \quad (4)$$

Si suponemos que toda la energía eléctrica entregada se convierte en calor, podemos escribir la igualdad

$$W_{el\acute{e}ctrico} \text{ (J)} = J_e \cdot Q \text{ (cal)} \quad (5)$$

donde J_e tiene unidades de Joule/cal y representa la cantidad de Joules requeridos para producir una caloría. Reemplazando (3) y (4) en (5) se tiene que

$$P \cdot t = J_e \cdot c_{agua} (m_{agua} + M_{equiv}) (T(t) - T_{inicial}) \quad (6)$$

Donde ahora t es el tiempo en el cual se registra la temperatura $T(t)$ y $T_{inicial}$ la temperatura al comienzo del experimento ($t = 0$)

Reacomodando la ec (6) de modo que quede $(T(t) - T_{inicial})$ en fc. de t queda como pendiente

$$pend = \frac{VI}{J_e c_{agua} (m_{agua} + M_{equiv})} \quad (7)$$

donde se reemplazó P por IV . Esta pendiente tiene dos variables que no conocemos J_e y M_{equiv} , por lo que se necesita un paso mas para poder obtener J_e . Escribiendo (7) de otro modo se tiene que

$$m_{agua} = \frac{VI}{J_e c_{agua}} \frac{1}{pend} - M_{equiv} \quad (8)$$

Realizando las mediciones de la ec (6) para distintas masas de agua se obtendrán distintas pendientes (una por cada masa). De este modo graficando m_{agua} vs $1/pend$ se obtiene de la ec (8) a J_e de la pendiente y a M_{equiv} de la ordenada al origen.

Sugerencias

- Realizar las mediciones con un mínimo de 8 masas de agua distintas
- Usar masas de más de 100g de agua.
- No olvidar de agitar el calorímetro constantemente mientras se le suministra energía, de lo contrario el aumento de temperatura del agua no será homogéneo dando como resultando valores muy apartados del esperado.

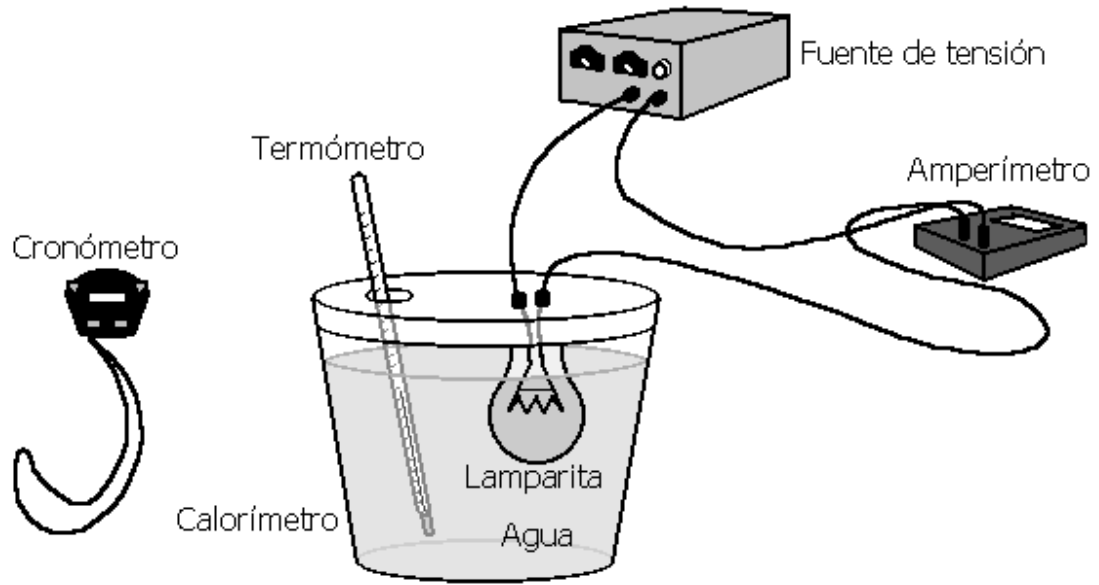


Figura 1: Diagrama del experimento.

Procesos térmicos: experimento de Clements Désormes para la determinación del γ de un gas ideal

Objetivo:

Familiarizar al alumno con el concepto de proceso térmico. Determinar el valor γ de la relación de calores específicos para un gas ideal diatómico.

Descripción del experimento:

En el dispositivo de la figura 1 se tiene un erlenmeyer de 1 litro tapado y conectado, por un lado a una jeringa de 20 ml de volumen máximo y por otro a un sensor de presión. En el estado inicial, llamémoslo A, el embolo de la jeringa esta totalmente bajado, por lo que se tiene un volumen V_A igual al volumen del erlenmeyer. La temperatura es la ambiente (T_A) y la presión la atmosférica del día.

Se mueve el embolo hacia arriba, realizando una expansión rápida para llegar al estado B, en el cual el volumen será $V_B \approx V_A + V_{\text{jeringa}}$, donde V_{jeringa} es el volumen indicado en la escala graduada de la jeringa y depende de cuanto se haya movido el embolo (de 1 a 20 ml).

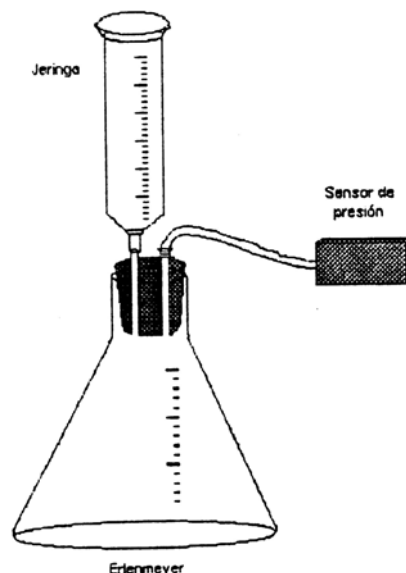


Figura 1: Dispositivo Experimental

Si la expansión pudiese ser considerada como reversible y adiabática, valdría la relación:

$$P_B V_B^\gamma = P_A V_A^\gamma \quad (1)$$

donde $\gamma = C_p / C_v$ es la relación de los calores específicos del aire, que se comporta aproximadamente como un gas ideal en el rango de presiones y temperatura en el que trabajaremos

Pregunta 1: *Por que puede considerarse a esta expansión como adiabática?*

Pregunta 2: *Y por que reversible, siendo que el movimiento debe hacerse lo mas rápidamente que sea posible?*

Finalmente, se deja evolucionar el sistema, intercambiando calor con el ambiente, a volumen constante hasta que se vuelva alcanzar la temperatura ambiente. Se llega entonces al estado C, siguiendo el camino de la línea llena en la figura 2. Como las variables de estado P, V, T no dependen del camino recorrido, se puede llegar de A hasta C directamente a través de un camino isotérmico (ya que las temperaturas en A y en C son iguales), por lo que vale la relación:

$$P_A V_A = P_C V_C \quad (2)$$

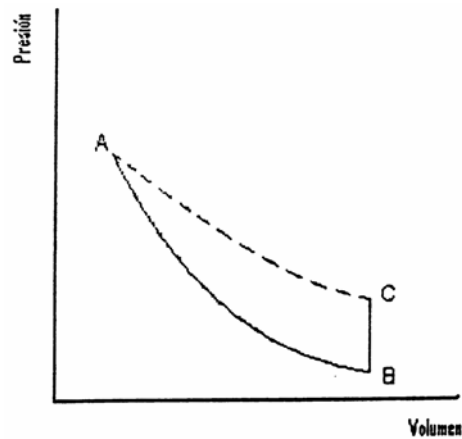


Figura 2: Ciclo térmico

Siendo, además, que el volumen en B y en C es el mismo y elevando ambos miembros de la ecuación (2) a la γ llegamos a que:

$$(P_A V_A)^\gamma = (P_C V_B)^\gamma \quad (3)$$

Dividiendo la ecuación (1) por la ecuación (3) se llega a que:

$$\frac{P_B V_B^\gamma}{P_C^\gamma V_B^\gamma} = \frac{P_A V_A^\gamma}{P_A^\gamma V_A^\gamma} \quad \therefore \left(\frac{P_C}{P_A}\right)^\gamma = \frac{P_B}{P_A} \quad (4)$$

Finalmente, tomando logaritmo en ambos miembros y usando sus propiedades, se llega a que:

$$\gamma = \frac{\log(P_B / P_A)}{\log(P_C / P_A)} \quad (5)$$

A partir de la ecuación (5), entonces, se puede determinar el valor de γ por la medición de los valores de las presiones en cada uno de los estados del sistema.

Desarrollo de la práctica:

En expansión:

Partiendo de la posición inicial en la que el émbolo está completamente bajo, realice 10 expansiones distintas comenzando por 10 ml y terminando por 20 ml.

Registre en el MPLI las variaciones de presión en función del tiempo en cada caso. Haga alguna medición previa con el fin de determinar cuál es el tiempo total óptimo que debe utilizar para tener una buena estadística del valor de la presión antes de la expansión (P_A) y después de la estabilización del sistema (P_C). Piense cuidadosamente como determinaría el valor de P_B y cuál será su error.

Pregunta3: ¿Cuál es la diferencia entre la determinación de los errores de P_A y P_C por un lado y la de P_B por el otro? Analice una forma experimental para mejorar la incerteza con la que se determina P_B .

Para el caso en particular (solo 1, a elección del alumno) presente en el informe el gráfico *presión vs. tiempo*, indicando las zonas en las que se está en los estados A, B y C respectivamente

Realice una tabla con los valores de presión obtenidos para cada una de las 10 mediciones y grafique $\ln(P_B/P_A)$ versus $\ln(P_C/P_A)$; realice cuadrados mínimos y obtenga γ

con su correspondiente error.

En compresión:

Repita el experimento anterior, ahora iniciando el proceso con el embolo en una posición tal que inicialmente el volumen de la jeringa lleno de aire sea de 10 ml y la presión total del sistema sea la atmosférica. Comprima el embolo hasta el fondo.

Las ecuaciones 1 a 5 siguen siendo válidas para el caso de la compresión.

Pregunta 4: Efectúe el diagrama del proceso térmico, análogo a la figura 2 para este caso.

Repita el proceso para volúmenes iniciales de la jeringa de 11, 12, ... 20 ml (10 mediciones en total), poniendo especial cuidado en ventear el sistema cada vez de forma de iniciar el proceso siempre con un valor de presión igual al de la presión atmosférica del día ($P_A \approx 1$ atm en todos los casos).

Vuelva a obtener el valor de γ a partir de la pendiente de la recta de cuadrados mínimos del proceso de expansión.

Compare los valores de γ obtenidos en cada caso, analice si se ha obtenido el mismo valor, de acuerdo a los rangos de errores de la medición. Evalúe si alguno de los métodos es mas preciso que el otro; si así fuese discuta las posibles razones.

Pregunta 5: Dibuje esquemáticamente el grafico T vs. P tanto para la expansión como para la compresión