

TRABAJO PRÁCTICO Nº 11 EXPANSIÓN TÉRMICA – EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR

Expansión térmica

Introducción

La mayoría de los materiales se expanden cuando se calientan a través de un rango de temperaturas que no produzca cambios de fase. El calor agregado incrementa la amplitud promedio de las vibraciones de los átomos en el material, lo que incrementa la separación media entre átomos.

Supóngase que un objeto de longitud L experimenta un incremento de temperatura ΔT . Si ΔT es razonablemente pequeño, el cambio en longitud ΔL , es generalmente proporcional a L y ΔT . Matemáticamente: $\Delta L = \alpha L \Delta T$, donde α es el llamado **coeficiente de dilatación lineal** del material. En materiales no isótropos α depende de la dirección en que se analice.

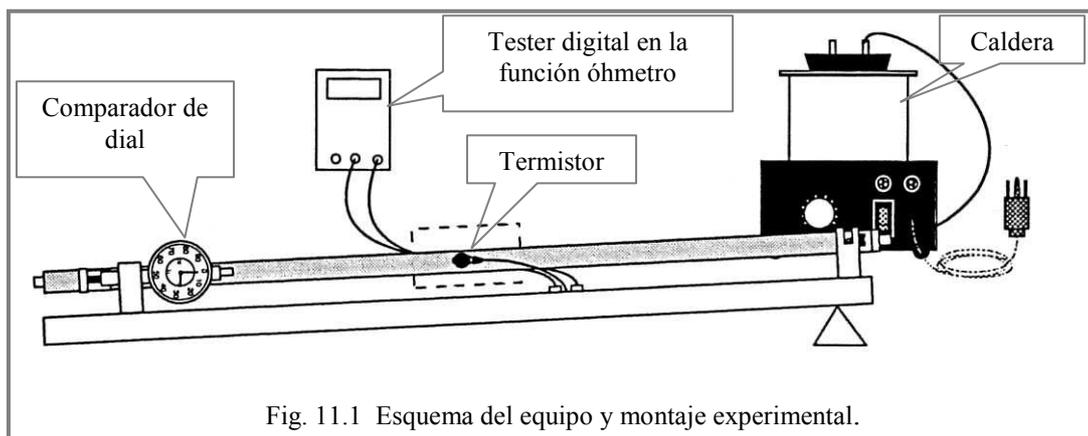
Experiencia 11.1

Coefficiente de dilatación lineal

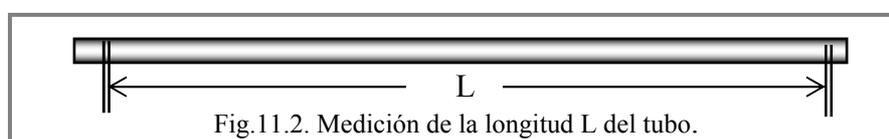
En esta experiencia, determinará α para el cobre, aluminio y acero. Estos materiales son isótropos de manera que basta medir α a lo largo de una dimensión. Asimismo, dentro de los límites de esta experiencia, α no cambia con la temperatura.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta T} = \frac{\Delta L}{L (T_f - T_i)} \quad (11.1)$$

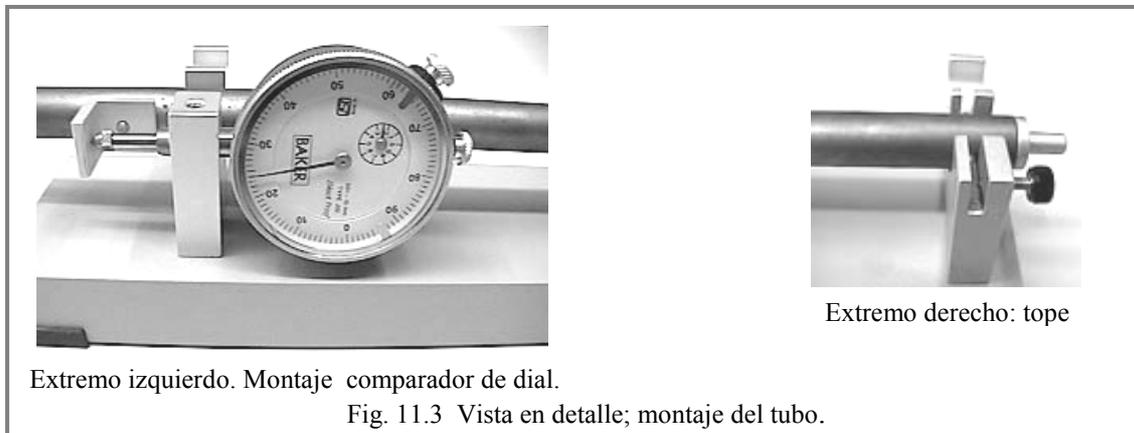
Trabjará con tubos de los materiales mencionados por los que hará circular una corriente de vapor de agua para calentarlos. Estudiará, por tanto, la dilatación de dichos materiales entre la temperatura ambiente y el punto de ebullición del agua. El vapor se produce en una caldera eléctrica y se lleva por conductos de goma al tubo en ensayo. La Fig. 11.1 muestra el equipamiento y montaje experimental.



La longitud inicial se mide con una regla de acero milimetrada entre el pin de anclaje (borde interno) y la zapata de apoyo del comparador de dial (Figs. 11.2 y 11.3)



Los incrementos de longitud se miden con un comparador de dial de 0,01 mm de resolución. Las temperaturas del tubo se miden con un termistor que se fija firmemente al tubo por medio de un tornillo manual. El termistor es un dispositivo semiconductor cuya resistencia guarda una relación directa con su temperatura. La resistencia se mide con un óhmetro digital común.



A continuación figura la tabla de conversión del termistor dada por el fabricante:

R (Ω)	T ($^{\circ}\text{C}$)	R (Ω)	T ($^{\circ}\text{C}$)	R (Ω)	T ($^{\circ}\text{C}$)	R (Ω)	T ($^{\circ}\text{C}$)
351020	0	95447	26	30978	52	11625	78
332640	1	91126	27	29756	53	11223	79
315320	2	87022	28	28590	54	10837	80
298990	3	83124	29	27475	55	10467	81
283600	4	79522	30	26409	56	10110	82
269080	5	75903	31	25390	57	9762,2	83
255380	6	72560	32	24415	58	9437,7	84
242480	7	69380	33	23483	59	9120,8	85
230260	8	66356	34	22590	60	8816,0	86
218730	9	63480	35	21738	61	8522,7	87
207850	10	60743	36	20919	62	8240,6	88
197560	11	58138	37	20136	63	7969,1	89
187840	12	56658	38	19386	64	7707,7	90
178650	13	53297	39	18888	65	7456,2	91
169950	14	51048	40	17980	66	7214,0	92
161730	15	48905	41	17321	67	6980,6	93
153950	16	48863	42	16689	68	6755,9	94
146580	17	44917	43	16083	69	6539,4	95
139610	18	43062	44	15502	70	6330,8	96
133000	19	41292	45	14945	71	6129,8	97
126740	20	39605	46	14410	72	5938,1	98
120810	21	37995	47	13897	73	5749,3	99
115190	22	36458	48	13405	74	5569,3	100
109850	23	34991	49	12932	75		
104800	24	33591	50	12479	76		
100000	25	32253	51	12043	77		

Tabla de valores medidos y calculados

Material	Datos y cálculos						
	L (mm)	R _{amb} (Ω)	T _{amb} (°C)	R _{cal} (Ω)	T _{cal} (°C)	ΔL (mm)	α (°C ⁻¹)
Cobre							
Aluminio							
Acero							

Consultar en Tablas los valores de α para los diferentes materiales, adoptarlos como verdaderos y calcular los errores relativos porcentuales de las determinaciones realizadas.

Equivalente mecánico del calor

Introducción

La unidad **caloría (cal)** se definió originalmente como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura, de una masa de agua de 1 gramo, en 1°C.

La caloría se define actualmente en función del **joule**. El factor de conversión de unidades, que identificaremos con la letra J, se denomina equivalente mecánico del calor; su valor es:

$$J = 4,186 \left(\frac{\text{joule}}{\text{caloría}} \right)$$

Experiencia 11.2

Verificar el valor del equivalente mecánico del calor, transformando trabajo mecánico en calor.

Procedimiento:

Utilizar el equipo que muestra esquemáticamente la Fig. 11.4, que se describe a continuación y cuyo funcionamiento se fundamenta en la transformación de trabajo mecánico en calor, por rozamiento.

El calor **Q** producido por roce de unas 3 a 6 vueltas de una cuerda de material sintético sobre un cilindro de aluminio, es absorbido por este. El proceso se manifiesta por elevación de temperatura del cilindro.

La cantidad de calor **Q** se calcula aplicando:

$$Q = m_{Al} C_{Al} (T_f - T_i) \quad (11.2)$$

La masa del cilindro m_{Al} la determinamos con una balanza.

El calor específico del aluminio es:

$$C_{Al} = 0,220 \left(\frac{\text{cal}}{\text{gramo } ^\circ\text{C}} \right) = 910 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right)$$

T_i : Temperatura inicial del cilindro

T_f : temperatura final.

El cilindro lleva embutido un termistor y, mediante un sistema de anillos y escobillas deslizantes, se posibilita conectar un óhmetro para medir la resistencia eléctrica del termistor. El equipo lleva una tabla de conversión para determinar la temperatura a la cual corresponde la resistencia medida.

El trabajo W requerido para producir el roce proviene del que realiza el operador del dispositivo al accionar el mecanismo cuyos detalles principales de montaje y funcionamiento son:

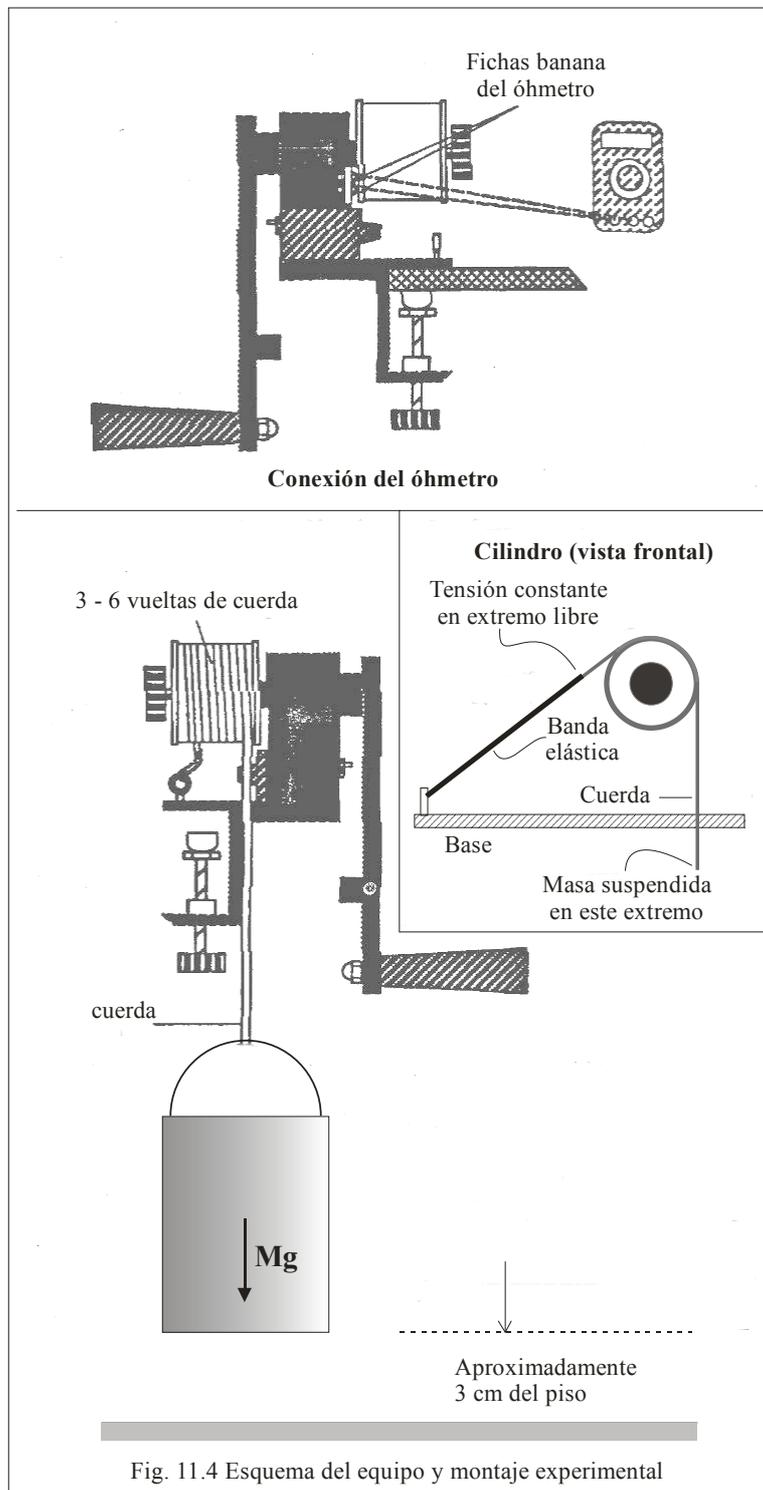


Fig. 11.4 Esquema del equipo y montaje experimental

De la cuerda pende un recipiente con su contenido (arena u otro material) totalizando una masa M que determinaremos con una balanza (adelantamos que será del orden de 10 kg). Esto significa que la cuerda transmite una fuerza peso que calcularemos aplicando la conocida relación Mg ($g = 9,80 \text{ m/s}^2$). Asimismo implica que sobre el cilindro de radio R actúa un torque $\tau = MgR$ con respecto a su eje de giro.

El trabajo W que se transforma en calor por roce de la cuerda en el cilindro, se determina aplicando: $W = MgR(2\pi N)$ (se considera que el proceso requiere N vueltas de la manivela y que por cada vuelta τ gira un ángulo 2π).

Reconocimiento y preparación del equipo.

Cilindro de aluminio: medición de m_{Al} (balanza); medición del diámetro D (calibre).

Montaje del cilindro; conexión del óhmetro.

Recipiente: determinación masa M (balanza).

Montaje: Control de vueltas sobre el cilindro y control de que no apoye en el piso.

Observar que el equipo posee un "cuenta vueltas" que permitirá, automáticamente, la determinación de N .

Procedimiento:

- a) Operar el equipo hasta lograr un incremento de temperatura del orden de 15°C .
- b) Registrar los valores medidos y calculados.
- c) Obtener resultado: $J = \frac{W}{Q}$
- d) Comentarios. Calcular el error relativo porcentual de la determinación realizada.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 12 CONDUCCIÓN DEL CALOR

Introducción

Los mecanismos de transferencia de calor son: CONDUCCIÓN
CONVECCIÓN
RADIACIÓN

El aparato con el que trabajaremos en este práctico nos facilitará analizar la **conducción**. Este tipo de transferencia de calor se refiere a sistemas en donde no se produce movimiento de materia; esto es válido por lo general para sólidos, aunque no se debe descartar en aquellos sistemas fluidos *que no presenten circulación de corrientes*.

En los procesos de conducción, el calor se transfiere desde el sistema con temperatura más alta al sistema de temperatura más baja. La cantidad de calor transferida, depende del medio que separa los sistemas o "medio de acoplamiento" de los sistemas y del tiempo que dura el proceso.

Las características más relevantes del medio de acoplamiento son sus dimensiones (espesor y área) y, particularmente, el tipo de material. Todo esto nos lleva a formular la ecuación que rige la conducción de calor:

$$H = \frac{k A \Delta T}{h} \quad (12.1)$$

Tenemos:

- H Cantidad de calor transferido a través del material en la unidad de tiempo $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$
 ΔT Diferencia de temperaturas entre los sistemas acoplados.
A Área de transferencia de calor o área del medio de acoplamiento.
h Espesor del medio de acoplamiento.
k Conductividad térmica del material que constituye el medio de acoplamiento.

Los materiales con valores bajos de conductividad térmica son malos conductores del calor y, por consiguiente, buenos aislantes térmicos (por ejemplo poliestireno expandido). En cambio, los materiales con valores altos de conductividad térmica (por ejemplo los metálicos) son buenos conductores del calor, es decir buenos conductores térmicos.

Experimento 12.1

Conducción del Calor. Conductividad térmica.

Objetivo

Determinar la conductividad térmica de algunos materiales disponibles en placas para ensayo.

Equipamiento

Dispositivo de trabajo: aparato y accesorios, mostrados en la Fig. 12.1,

Caldera productora de vapor. Dos conductos de vapor (2 mangueras).

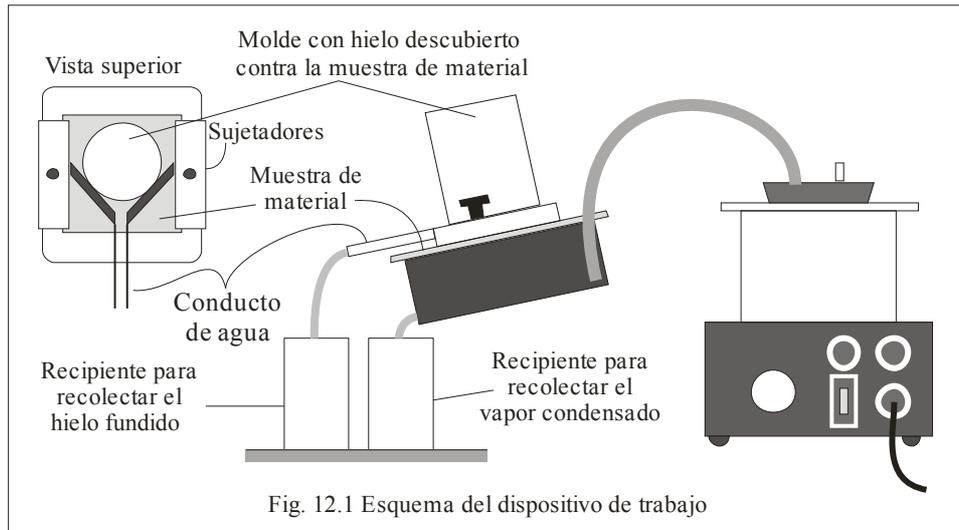
Cámara de vapor con soporte y pie.

Placas para ensayos; materiales: vidrio, madera de pino, aglomerado, yeso y lexan.

Cilindro de hielo en un molde.

Recipientes para coleccionar agua.

Balanza. Calibre y regla milimetrada.



Procedimiento

Examinar el aparato identificando el sistema de mayor temperatura (vapor de agua existente en la cámara de vapor), del sistema de menor temperatura (hielo en fusión mantenido en un molde cilíndrico) y el medio de acoplamiento (placa del material en ensayo).

Preparar la caldera de manera que proporcione vapor de agua.

Fijar la placa a la parte de la cámara de vapor destinada para ello. Conectar, a la salida inferior de la cámara, la manguera colectora del agua de condensación.

Cuando el agua de la caldera esté por hervir, colocar el molde con hielo bajo un chorro de agua y liberar el cilindro de hielo; el hielo libre es aquel que sale del molde con facilidad (no palanquear el hielo para retirarlo del molde). Medir el diámetro del cilindro de hielo (D_0).

En el momento en que el agua hierve el vapor comienza a salir de la caldera, en este instante conectar la cámara de vapor a la caldera utilizando una manguera.

La placa a ensayar tiene adosada en su parte superior un accesorio de neoprene, en forma de V, para colectar agua; este accesorio posee en su vértice una ranura por la cual debe circular el agua de la fusión del hielo. Colocar el hielo contenido en el molde sobre la muestra, cuidando que la ranura del molde coincida con la de la muestra; dejar los elementos del ensayo unos 5 minutos, con el fin de lograr estado estacionario del proceso. Mientras tanto pesar uno de los recipientes colectores, determinando la masa del recipiente seco (M_s).

Logrado estado estacionario del proceso, colocar el recipiente seco en la salida de la ranura de la muestra, colectando así el agua proveniente de la fusión de hielo. En este instante se inicia medición del tiempo.

Transcurridos 10 minutos finaliza el proceso; retirar el recipiente colector de agua y el molde de hielo.

Medir el diámetro del hielo que quedó en el molde (D_f) y pesar el recipiente con agua (M_a)

Cálculos y consideraciones

Si consideramos que el agua hierve en Mendoza a 98°C , y que el hielo encuentra su punto de fusión a 0°C , podemos decir que hemos conectado térmicamente dos sistemas (vapor-hielo) de temperaturas $T_v = 98^\circ\text{C}$ y $T_h = 0^\circ\text{C}$, utilizando como medio de acoplamiento la placa de material ensayada.

Como consecuencia de ello una masa de agua ($M_a - M_s$) ha pasado del estado sólido al líquido, absorbiendo una determinada cantidad de calor. Este calor ha sido transferido por conducción en 10 minutos. $\Delta t = 600$ s

¿Cuánto calor absorbió el proceso?

Si consideramos la definición de calor latente vemos:

Para que 1 kg de agua pase de estado sólido a líquido debemos entregarle:

$$L_f = 0,335 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (12.2)$$

Obtuvimos $M = M_a - M_s$ masa de agua. Para el cambio de estado de esta masa, la cantidad de calor necesaria es: $\Delta Q = M L_f$.

El área **A** de conducción de calor es circular; se calcularla adoptando un diámetro promedio de los dos diámetros medidos del cilindro de hielo.

El valor **h** que aparece en la ecuación de la conducción del calor es el espesor de la placa ensayada. Determinarla usando el calibre.

Finalmente, podemos calcular la conductividad térmica **k** del material de la placa:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k A \Delta T}{h} \quad (12.3)$$

Magnitudes y Unidades

Tiempo (<i>t</i>)	[s]
Masa (<i>M</i>)	[kg]
Calor (<i>Q</i>)	[J]
Temperatura (<i>T</i>)	[°C]
Área (<i>A</i>)	[m ²]
Espesor (<i>h</i>)	[m]

Confeccionar informe detallando valores medidos, valores calculados y resultado obtenido para cada uno de los materiales o placa ensayada.

TRABAJO PRÁCTICO N° 13 CALORIMETRÍA. CONVERTIDOR TERMOELÉCTRICO

Calorimetría

Introducción

Los calorímetros son aparatos que permiten medir energía en forma de calor y, aprovechando estas mediciones, determinar propiedades térmicas de sustancias y materiales en general.

En este trabajo usaremos el **calorímetro de mezclas**, que es el más simple y de fácil manejo; su principio de funcionamiento es el siguiente:

Cuando dos sistemas a diferente temperatura se introducen en un recinto adiabáticamente aislado, el de mayor temperatura cede cierta cantidad de calor y el de menor temperatura absorbe igual cantidad de manera que los sistemas alcanzan y quedan finalmente a la misma temperatura.

Un recinto que se aproxima al adiabático es un vaso **Dewar** o termo. En nuestro caso usaremos un vaso de telgopor (poliestireno expandido).

Operación básica

Sistema 1: Lo constituye una masa M_s de material bajo estudio de calor específico C_s , a temperatura T_s , generalmente superior a la temperatura ambiente. Inicialmente se encuentra fuera del recinto adiabático.

Sistema 2: Lo constituye una masa M_a de agua pura, de calor específico $C_a = 4180 \text{ J/kg}$ y temperatura inicial T_i (generalmente igual o inferior a la temperatura ambiente), contenida en un recipiente denominado vaso calorimétrico.

Se introduce en el vaso calorimétrico el sistema 1 y se agita ligeramente el agua con la punta termométrica hasta que se alcanza una temperatura final estable T_f . $T_s > T_f > T_i$.

La disminución de temperatura que experimenta el sistema 1 significa que el mismo ha cedido una cantidad de calor:

$$Q = M_s c_s (T_s - T_f) \quad (13.1)$$

Esta misma cantidad de calor ha sido absorbida por el agua y como su temperatura se elevó a T_f , podemos expresar:

$$Q = M_a c_a (T_f - T_i) \quad (13.2)$$

Si no hubo fugas térmicas estas cantidades son iguales:

$$M_s c_s (T_s - T_f) = M_a c_a (T_f - T_i) \quad (13.3)$$

Experiencia 13.1

Determinación del calor específico de algunos metales

Procedimiento:

Pesar las muestras de cobre, aluminio y plomo de masas próximas a 200 gr.

Calentar las muestras introduciéndolas suspendidas de un cordel plástico en un recipiente con agua hirviendo. Se alcanza así una temperatura T_s , de alrededor de 98°C , que medimos con la punta termométrica de un instrumento digital.

Pesar el vaso calorimétrico limpio y seco.

Llenar aproximadamente hasta la mitad con agua pura y lo pesamos nuevamente para obtener la masa de agua incorporada por diferencia de pesadas.

Medir la temperatura del agua T_i . Conviene que sea alrededor de 10°C inferior a la temperatura ambiente.

Sacar la muestra del recipiente con agua hirviendo e introducirla rápidamente en el vaso. La muestra debe quedar totalmente sumergida.

Se agita suavemente con la punta termométrica controlando el calentamiento del agua. La temperatura del agua aumentará hasta alcanzar un valor máximo y empezará a decaer lentamente. Esta temperatura máxima se registra, es T_f , y será algunos grados superior a T_i .

La razón de comenzar la operación de mezcla con el agua a temperatura inferior a la del ambiente es minimizar los errores provenientes de las fugas térmicas. Si el proceso de mezcla empieza a temperatura inferior a la del ambiente y termina a temperatura superior, durante el lapso en que la temperatura del agua es inferior, entrará calor espurio desde el medio ambiente y saldrá del calorímetro hacia el ambiente durante la parte final del proceso. De esta manera las fugas tienden a cancelarse, disminuyendo el error. El calor específico del material ensayado resulta:

$$c_s = \frac{M_a c_a (T_f - T_i)}{M_s (T_s - T_f)} \quad (13.4)$$

Experiencia 13.2

Determinación del calor de fusión del hielo (L_f)

Procedimiento:

El sistema 2 es una masa de agua que contiene el vaso calorimétrico hasta aproximadamente la mitad y se encuentra algunos grados por encima de la temperatura ambiente.

Determinar la masa de agua por diferencia de pesadas.

Medir la temperatura inicial del agua: T_i

El sistema 1 es un trozo de hielo que agregamos al vaso.

Agregar el hielo, agitar suavemente el contenido del vaso con la punta termométrica hasta que el hielo se funda. Registrar la temperatura final. Ésta será algo inferior a la del ambiente y su evolución presentará un mínimo, que es el valor que tomaremos como temperatura final de equilibrio: T_f

Determinación de la masa de hielo: realizar al final del proceso por diferencia de pesadas.

Cálculos

Balance Térmico

Calor cedido por el sistema 2:

$$Q = M_a c_a (T_i - T_f) \quad (13.5)$$

Calor absorbido por el sistema 1:

Para fundir el hielo (Se supone que el hielo estaba a 0°C):

$$Q' = M_h L_f \quad (13.6)$$

Para calentar el agua de fusión:

$$Q'' = M_h c_a (T_f - 0) \quad (13.7)$$

Despreciando las fugas resulta:

$$Q = Q' + Q'' \quad (13.8)$$

Finalmente:

$$L_f = \frac{M_a c_a (T_i - T_f)}{M_h} - c_a T_f \quad (13.9)$$

Experiencia 13.3

Determinación del calor específico del agua

Introducción

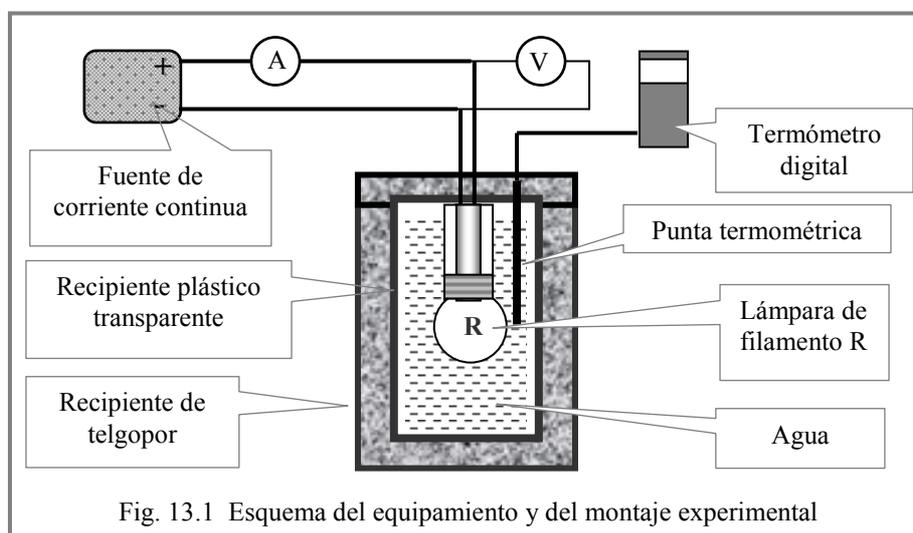
La determinación se hace suministrando una cantidad medible de energía a una masa conocida de agua y midiendo el incremento de temperatura producido por la incorporación al sistema de dicha energía.

Incorporamos energía suministrada por una fuente eléctrica y recibida por una resistencia **R** en contacto térmico con la masa de agua. La energía eléctrica se convierte en calor en la resistencia y este calor es absorbido por el agua incrementando su temperatura.

La resistencia **R** es la del filamento de una lámpara incandescente de 12 V sumergida en el agua contenida en un vaso de material plástico transparente. Este vaso tiene un enrase que marca la cantidad de agua a utilizar. El zócalo de la lámpara tiene una adecuada aislación eléctrica.

Para evitar la fuga de energía en forma de radiación luminosa se agregan al agua diez gotas de tinta china y se introduce el vaso en un recipiente con aislamiento térmico, de telgopor.

La masa de agua se calcula por diferencia de pesadas entre el vaso vacío, limpio y seco y el vaso con agua hasta el enrase.



Parte del calor producido por el filamento es absorbido por la ampolla, el porta foco, el soporte y el vaso de plástico y debe tomarse en cuenta en los cálculos. **En nuestro equipo** el calor absorbido por estos elementos es equivalente al que absorbería una masa de 23 gr de agua, que debe por tanto sumarse a la masa real de agua incorporada al vaso.

La energía eléctrica suministrada se determina con voltímetro (V), amperímetro (I) y cronómetro (Δt).

Cálculos

Balance de energía

Energía eléctrica suministrada:

$$W = V I \Delta t \quad (13.10)$$

Energía térmica absorbida:

$$Q = (M_a + 0,023 \text{ kg}) c_a (T_f - T_i) \quad (13.11)$$

Despreciando las fugas térmicas:

$$W = Q \quad (13.12)$$

De donde obtenemos:

$$c_a = \frac{V I \Delta t}{(M_a + 0.023 \text{ kg})(T_f - T_i)} \quad (13.14)$$

Al igual que procedimos en las otras calorimetrías, conviene comenzar el ensayo con una temperatura alrededor de diez grados inferior a la del ambiente y finalizar unos diez grados por encima de la temperatura ambiente.

Experiencia 13.4

Eficiencia lumínica de una lámpara incandescente

Procedimiento:

Repetimos la experiencia 13.3 pero sin el agregado de la tinta y sin colocar el vaso de material plástico transparente en el recipiente de telgopor, de forma que hay emisión de radiación luminosa al medio exterior. Esta es la única energía que sale del vaso por cuanto la radiación térmica (infrarrojo) es absorbida por el agua.

Si llamamos R_L a la energía luminosa radiada y Q a la energía térmica absorbida por el agua, el balance energético es:

$$W = Q + R_L \quad (13.15)$$

Llamamos eficiencia o rendimiento luminoso a la relación entre la energía luminosa producida por la lámpara y la energía eléctrica consumida:

$$\eta = \frac{R_L}{W} = \frac{W - Q}{W} \quad (13.16)$$

o su expresión porcentual:

$$\eta(\%) = 100 \frac{W - Q}{W} = 100 \frac{V I \Delta t - 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}} (M_a + 0.023 \text{ kg}) \cdot (T_f - T_i)}{V I \Delta t} \quad (13.17)$$

Convertidor termoeléctrico

Introducción

El convertidor termoeléctrico consiste en una bomba de calor termoeléctrica colocada entre dos piernas metálicas de aluminio; tiene la propiedad de transformar energía térmica en eléctrica y viceversa.

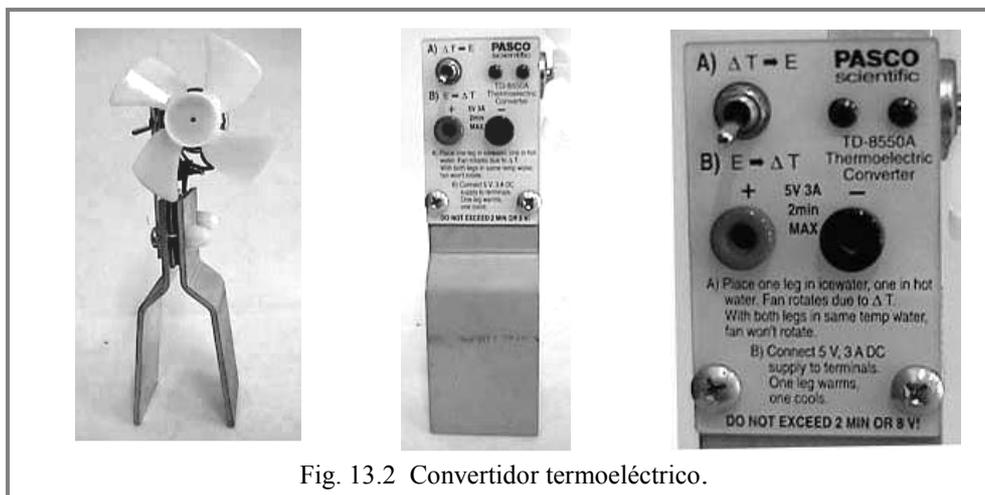


Fig. 13.2 Convertidor termoeléctrico.

La Fig. 13.2 muestra el convertidor termoeléctrico que disponemos; incluye una vista ampliada de su panel de conexiones. Con este aparato podemos demostrar el efecto Seebeck y el efecto Peltier; además, lo podemos usar como capacitor térmico.

Equipamiento

Convertidor termoeléctrico.

Fuente de corriente continua apta para suministrar 5V, 3 A.

Conductores de conexión eléctrica con terminales.

Recipientes para contener agua; capacidad y forma adecuada.

Multímetro digital.

Termómetro digital.

Experiencia 13.5

Efecto Seebeck

Introducción

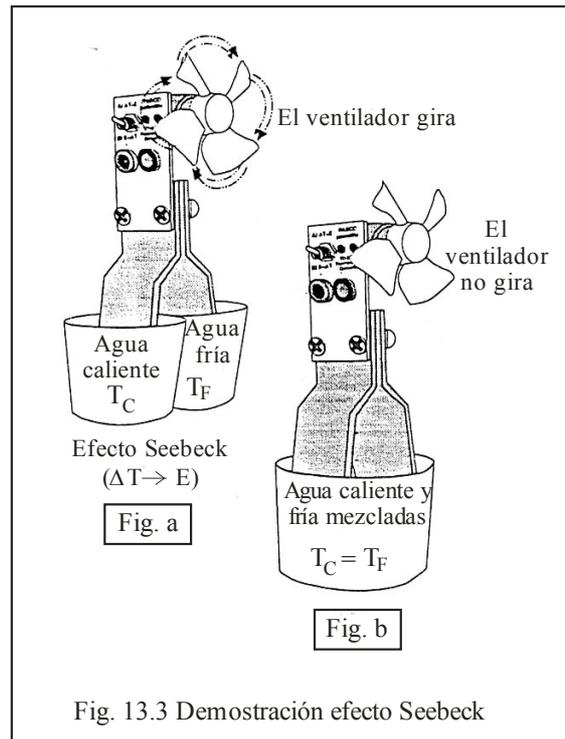
Dos fuentes a diferente temperatura aplicadas a la bomba de calor termoeléctrica: el calor es transformado, por la bomba, en energía eléctrica que es conducida hacia el motor eléctrico ($\Delta T \rightarrow E$ transforma una variación de temperatura en trabajo o energía eléctrica) haciendo girar el mismo.

Este efecto está basado en el segundo principio de la termodinámica enunciado por Kelvin que dice:

Para que se produzca una transformación de calor en trabajo es necesario dos fuentes a distinta temperatura.

Procedimiento:

- Colocar el interruptor en $\Delta T \rightarrow E$.
- Introducir las láminas del convertidor en dos recipientes con agua a distintas temperaturas (Fig. 13.3 a). (Agua a temperatura próxima a la de ebullición y agua bien fría da buenos resultados). Observar el resultado.
- Mezclar el agua caliente y la fría en un recipiente más grande. Introducir las láminas del convertidor en este recipiente (Fig. 13.3 b). Observar el resultado.
- Relacionar los resultados observados con el 2º principio de la termodinámica



Experiencia 13.6 Efecto Peltier

Introducción

En este efecto cuando una corriente es conducida a través de la bomba de calor termoeléctrica da como resultado una diferencia de temperatura ($\Delta T \rightarrow E$, transforma trabajo o energía eléctrica en variación de temperatura). Fig. 13.4.

Procedimiento:

- Colocar el interruptor en $E \rightarrow \Delta T$.
- Conectar la fuente de alimentación. Aplicar un voltaje de 5 V DC (no superar los 8 V y 3 A) durante **no más de 2 minutos**, observar los resultados.
- Comenzar con aproximadamente 25°C en la pierna caliente y no se debe producir una variación de temperatura superior a los 40°C al cabo de 2 minutos.

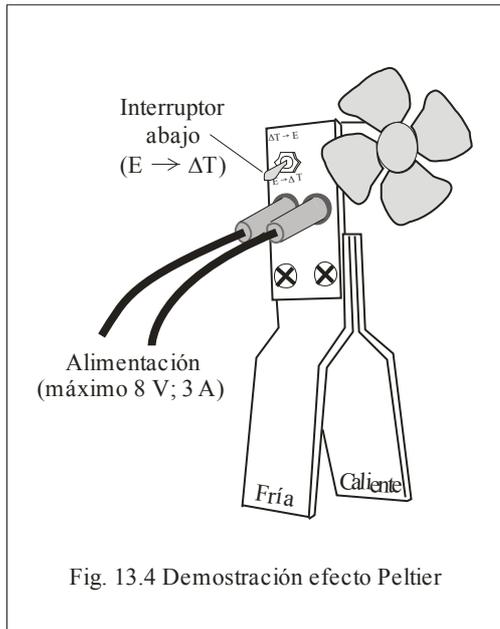


Fig. 13.4 Demostración efecto Peltier

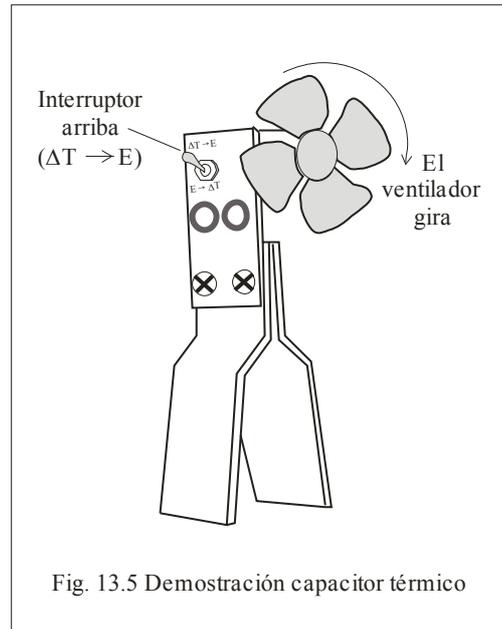


Fig. 13.5 Demostración capacitor térmico

Experiencia 13.7 Capacitor térmico

Después de demostrar el efecto Peltier una de las piernas queda caliente y la otra fría. Cambiando nuevamente el interruptor ($\Delta T \rightarrow E$), la diferencia de temperatura producirá una corriente eléctrica que es conducida al motorcito haciéndolo girar. Fig. 13.5.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 14
GASES

Introducción

Estudiaremos las leyes que siguen los gases cuando son sometidos a procesos isotérmicos, adiabáticos e isocóricos; además, mediremos la “constante de compresibilidad para los gases perfectos”

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (14.1)$$

Equipamiento

Contamos con un sistema de adquisición de datos compuesto por:

Un cilindro de compresión con sensores de presión, volumen y temperatura.

Una interface que conecta los mencionados sensores con una computadora permitiendo que ésta registre los valores respectivos y realice su posterior tratamiento.

Las figuras y descripciones siguientes informan sobre el montaje del equipo y especifican sus características principales y detalles de funcionamiento

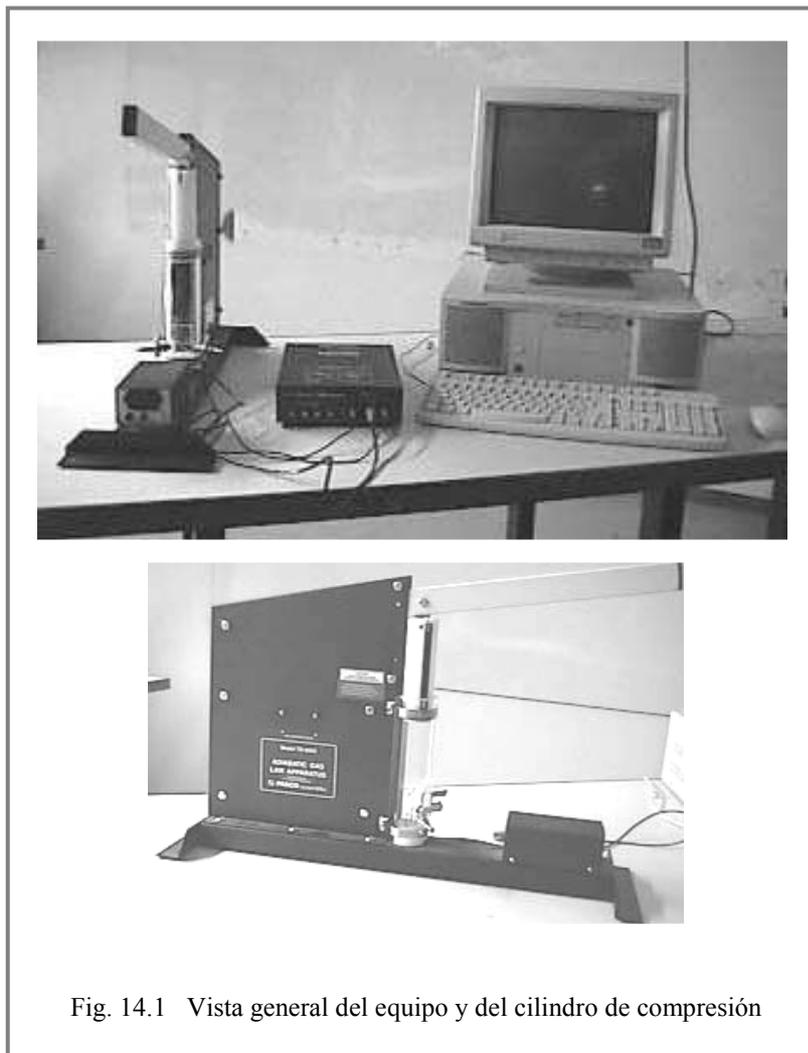
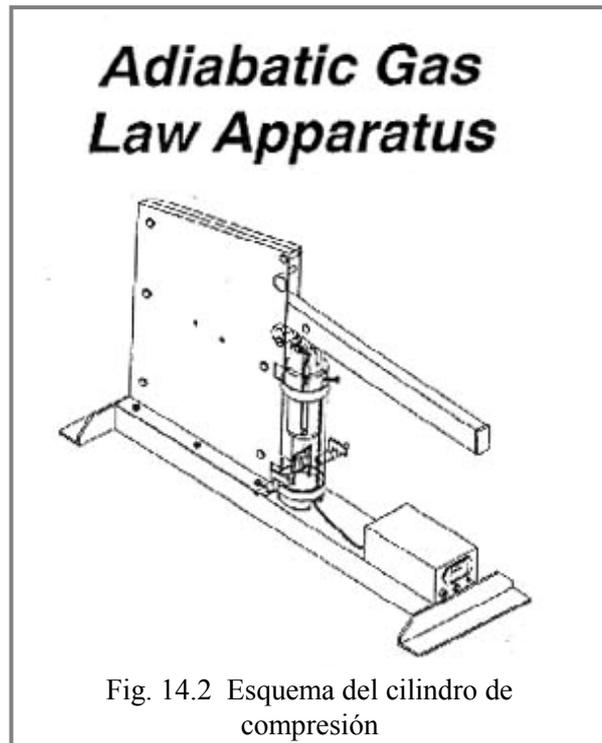


Fig. 14.1 Vista general del equipo y del cilindro de compresión

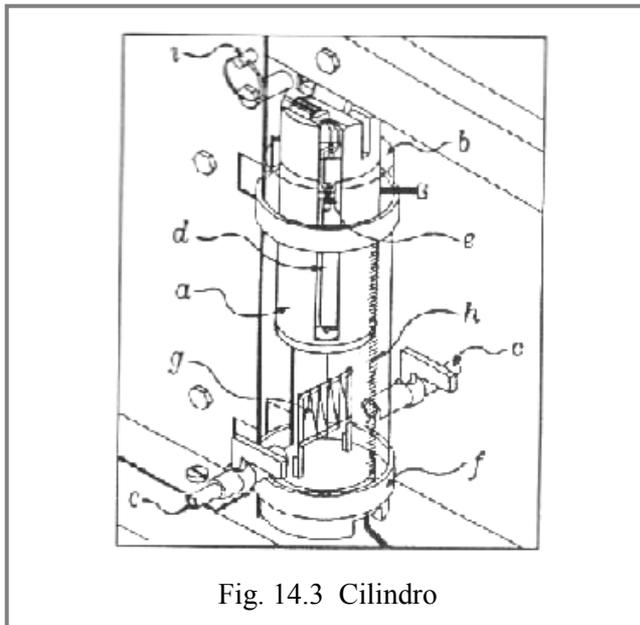


El **sensor de presión** consiste en un transductor resistivo de estado sólido que está en contacto con el interior de la celda a través de un orificio en la base. Se mide el valor de presión con un circuito tipo puente que se encuentra en el pie del aparato. El mismo entrega una tensión que es proporcional a la presión. El sensor es capaz de responder a una variación de presión en un tiempo menor que 0.1 s.

El **sensor de temperatura** consiste en un alambre de Níquel muy fino que está sostenido por un armazón de plástico en el fondo de la celda. La resistividad del Níquel varía mucho con la temperatura y mediante un circuito puente se mide una tensión que guarda una relación lineal con la temperatura. La pequeña masa que posee el alambre hace que pueda seguir las variaciones de temperatura del gas de la celda con retardos menores a 0.1 s.

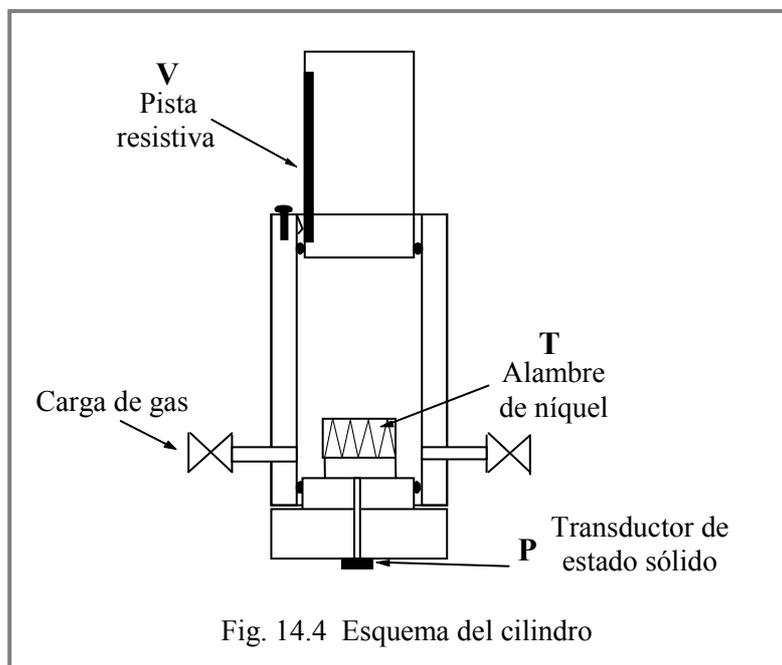
El **sensor de volumen** sólo mide la posición del pistón. Al costado del mismo se encuentra una cinta oscura con dos pistas resistivas. El circuito se cierra con unas escobillas fijas en la parte superior de la celda.

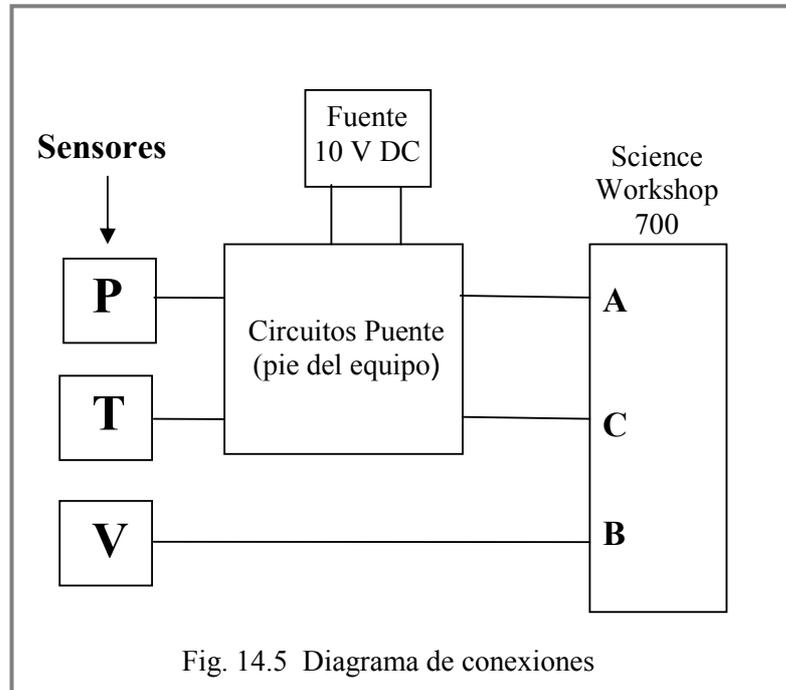
La **interface** de adquisición de datos suministra una tensión de 5 V y registra una tensión a la salida, que guarda una relación lineal con la posición del pistón. Sobre la celda se encuentra una escala graduada lo que permite su calibración o realizar mediciones por lectura directa.



- Referencias**
- a- Pistón
 - b- Cilindro de acrílico.
 - c- Válvulas de carga y descarga.
 - d- Divisor de tensión del medidor de volumen.
 - e- Escobilla de contacto del medidor de volumen.
 - f- Base de acetato.
 - g- Sensor de temperatura.
 - h- Escala milimétrica.
 - i- Seguro de la palanca.

La compresión se realiza por medio de un pistón accionado por una palanca. El recorrido de ésta puede ser limitado por unas barritas que se guardan en el costado del equipo. Las figuras muestran un esquema del cilindro y su conexión.





Operación preliminar

El diagrama de conexiones se muestra en la Fig. 14.5. La fuente de tensión debe entregar alrededor de 10 V. Ajuste primero la tensión antes de conectar al circuito. Si utiliza la fuente PASCO SF-9584 fíjese que la aguja esté indicando tensión y no corriente. **En caso de duda verifique con un tester.**

Encender la interface *Science Workshop 700* **antes** de encender la computadora, para que ésta la reconozca.

Corra el programa de adquisición *Science Workshop* y prepare para leer una tensión en cada entrada analógica. Para eso arrastre el ícono del conector analógico sobre cada una de las entradas. Defina una frecuencia de muestreo de 100 Hz con la tecla Opciones.

Defina tres medidores analógicos para leer las tres señales de entrada. Ponga el equipo a medir utilizando la tecla de inicio. Mueva el pistón y verifique que las agujas se mueven en la dirección correcta. Si todo funciona bien, el sensor de presión entrega entre 0 y 3 V, el de volumen entre 0 y 5 V y el de temperatura entre -3 V y 3 V.

Experiencia 14.1

Compresión de un gas

Si comprimimos un gas ideal manteniendo la temperatura constante, por la ecuación de estado resulta que en todo momento $PV = \text{cte}$. Estos procesos se llaman **isotérmicos** y requieren que haya intercambio de calor con el medio. Por otra parte, si evitamos el intercambio de calor, el proceso se denomina **adiabático** y la relación entre presión y volumen sigue la ley

$$PV^\gamma = \text{cte} \quad (14.2)$$

donde:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (14.3)$$

En el caso de mantener el volumen constante el proceso recibe el nombre de **isocórico** y si es la presión la que permanece constante proceso se denomina **isobárico**.

La teoría cinética de los gases predice los siguientes valores de γ para un gas ideal:

Gas	γ
Monoatómico	1.67
Diatómico	1.40
Poli atómico	1.33

Si realizamos la compresión muy lentamente, daremos tiempo a que el gas intercambie calor con el medio ambiente y tendremos una compresión isotérmica. Si la compresión es lo suficientemente rápida, el gas no alcanza a intercambiar calor y la compresión será adiabática. Vamos a medir en ambas condiciones y en alguna intermedia.

Para realizar las mediciones, cierre todas las ventanas de medición, menos el monitoreo de la temperatura en grados centígrados. Abra dos ventanas gráficas. En una de ellas pondremos presión vs volumen y en la otra la temperatura en función del tiempo. La medición se realiza con un muestreo de 100 Hz.

Quite los limitadores de movimiento de la palanca y lleve la misma a la posición superior. Espere por lo menos 10 s para que se estabilice la temperatura. Ponga al programa a grabar y baje la palanca muy lentamente. Mientras lo hace, verifique que no suba la temperatura del gas. Deberá tardar alrededor de 2 min. Cuando llegue abajo puede parar la medición.

Vuelva la palanca a la posición superior y espere por lo menos 10 s antes de volver a medir. Ponga el programa a grabar y baje la palanca en unos 4 s. Cuando llegue abajo, mantenga la palanca en esa posición y corte la adquisición unos 5 s después.

Realice una última compresión igual que la anterior, pero ahora bajando la palanca tan rápido como sea posible, **TRATANDO DE EVITAR UN GOLPE AL FINAL DEL RECORRIDO** que puede dañar el sensor de temperatura e introduce ruido en el detector de presiones.

Análisis de datos

Para analizar los datos, arme una tabla donde consten el volumen y la presión, selecciónela y exporte sus mediciones al programa **Origin 5.0** instalado en la computadora. Como la medición fue hecha a 100 Hz, hay un punto cada 0.01 s. Observe el momento en el que el volumen empieza a disminuir y cuando terminó la compresión. Elimine los datos fuera de esos tiempos. Si graficamos los datos en ejes logarítmicos podremos ver a simple vista ambas leyes de compresión:

$$\begin{aligned} \text{Isotérmico} \quad \log(P) &= K + \log(V) \\ \text{Adiabático} \quad \log(P) &= K^a + \log(V) \end{aligned} \quad (14.4)$$

Verifique la ley de compresión isotérmica y estime el valor de γ , a partir de la pendiente de los gráficos. Observe cómo depende la temperatura con el tiempo una vez que ha terminado la compresión. Allí se ve que en la medición rápida la temperatura llega a ser muy alta (superior a 100° C) pero que el gas pierde calor muy rápidamente una vez finalizada la compresión.

Experiencia 14.2

Determinación de la constante γ

Para obtener un mejor valor de γ será conveniente hacer una compresión más pequeña, para no calentar tanto el gas y así disminuir el intercambio de calor con el medio. Para eso colocamos los limitadores de recorrido de la palanca y medimos con la escala graduada para obtener los volúmenes correspondientes a la posición superior (V_1) y a la posición inferior de la palanca (V_2).

Para obtener γ nos basta con medir la presión inicial y final de la compresión, y utilizar la relación:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \quad (14.5)$$

de donde resulta que:

$$\gamma = \frac{\log(P_1/P_2)}{\log(V_2/V_1)} \quad (14.6)$$

Ya dijimos que V_1 y V_2 los conocemos. En el equipo #559 resulta: $\log(V_2/V_1) = -0.152$ Como P_1 es la presión mínima en la medición y P_2 es la presión máxima, podemos programar una función gamma como:

$$\gamma = \frac{\log(\text{mínima (P)}/\text{máxima (P)})}{-0.152} \quad (14.7)$$

y colocamos un indicador digital de tres cifras decimales que nos dará el valor de gamma.

La secuencia de medición es la siguiente: Subimos la palanca a la posición superior y esperamos al menos 10 s para que el gas se encuentre a temperatura ambiente. Ponemos el programa de adquisición a medir presionando el botón de 'inicio' y sin esperar demasiado bajamos la palanca lo más rápido posible pero evitando el golpe al final del recorrido. Paramos en seguida la adquisición y anotamos el valor de γ .

Repita la secuencia de medición unas 20 veces. Calcule el promedio y la desviación estándar.

Experiencia 14.3

Compresión Isocórica

Comprimiremos el gas manteniendo constante el volumen. Esto se logra colocando los seguros que impiden el movimiento del émbolo del cilindro. En estas condiciones calentamos el gas mediante una lámpara y medimos temperatura y presión. Se hacen las mediciones y se obtienen las curvas de la misma forma que en las experiencias anteriores.

Precauciones

La pieza más delicada y más difícil de reparar del equipo es el **sensor de temperatura**. Las precauciones son simples:

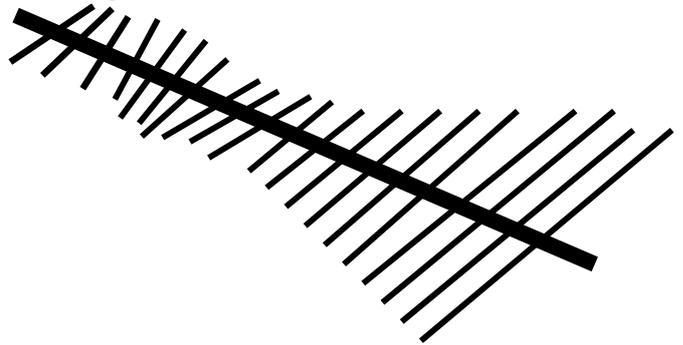
1. **No dejar entrar gas con mucha fuerza al cilindro de compresión** (para el caso en que tengamos que cargar el cilindro con gas).
2. **No golpear el equipo ni someterlo a vibraciones.**
3. **La alimentación de los circuitos puente no debe exceder en ningún caso 15 V.** Otro buen motivo para usar las baterías en lugar de la fuente.

EXPERIENCIA DE LABORATORIO Nº 5

EXPERIMENTO 'A': ONDAS

Experiencias con aparato de varillas

- b) Visualizar ondas transversales y longitudinales mandando pulsos perpendiculares y paralelos al eje del equipo.
- c) Dé 2 pulsos transversales: uno grande y uno pequeño, y compare las velocidades. Estime los valores de λ y v para estos pulsos usando regla y cronómetro. Responda:
¿el valor de v depende del tipo de pulso?
Si adosamos algunas varillas más, ¿varía el valor de v ? ¿Cuál sería la causa?
- d) Fije un extremo y observe ondas reflejadas comparando v incidente y reflejado.
- e) Produzca interferencia de dos ondas dando pulsos transversales (de igual o distinto sentido) en ambos extremos al mismo tiempo. Observe qué ocurre en el centro.
- f) Produzca ondas estacionarias con pulsos periódicos transversales y ubique los nodos (varillas quietas) y antinodos (varillas que más se apartan).
- g) “Una” los 2 conjuntos de varillas cortas y largas (con el conjunto de largo variable de por medio), y observe la velocidad v en cada una ¿cuál es la causa? ¿de qué depende v ?
- h) Con los 2 conjuntos “unidos” mande pulsos y observe la reflexión y la transmisión. Compare los tiempos en cada parte y estime λ .



EXPERIMENTO 'B': ONDAS DE SONIDO

1) Práctica con el osciloscopio.

- a) Si conectamos un micrófono a un osciloscopio podemos visualizar la onda de sonido como una onda electromagnética, donde sus elementos son iguales: amplitud, frecuencia, velocidad, ondas componentes.

Escuchemos algunos sonidos y observemos estos elementos en la onda reproducida:

1. Sonido agudo y sonido grave producido por un mismo alumno
2. Sonido poco intenso y muy intenso del mismo alumno
3. El mismo sonido emitido por 2 alumnos
4. Sonido de un diapason y el mismo sonido emitido por un alumno

¿Qué elementos permanecen fijos en cada par y cuáles varían?

¿De qué elemento depende el tono de cada sonido?

¿De qué elemento depende la intensidad de cada sonido?

En 3. y 4. ¿hay elementos iguales? ¿Son las gráficas iguales?

- b) Observemos las gráficas de los siguientes:

1. Voz de hombre y voz de mujer
2. Voz normal y grito de un mismo alumno

3. Canto de dos alumnos
4. Bullicio de varios alumnos
5. Sonido de un diapasón.
6. Un sonido emitido por la computadora
7. Un timbre de teléfono.

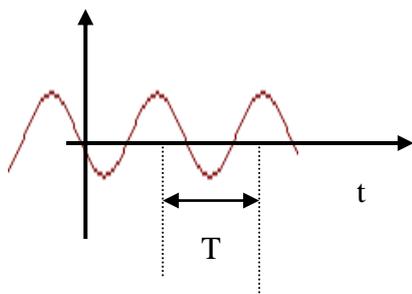
La gráfica de un sonido simple o fundamental es similar a la de la función $y = \text{sen } x$

La gráfica de un sonido complejo resulta de sumar valores de funciones: $\text{sen } mx$ y $\text{cos } mx$ o armónicos. ($m = 1, 2, 3, \dots$).

Analice en los anteriores ordenándolos de simple a complejo.

2) Practica con sintetizador de Fourier:

- a) Este aparato emite sonidos cuyas gráficas son ondas armónicas (seno o coseno)
 - Observe la gráfica de un sonido emitido y modifique sus variables: amplitud, frecuencia, agregue armónicos regulares, agregue armónicos irregulares.
- b) Acople 2, 3, 4... sonidos y observe las características de la onda.
- c) Emite un sonido y calcule f a partir del valor del período T obtenido de la gráfica del osciloscopio y compare con los valores, según el fabricante, múltiplos de 440Hz.



$$T = n \cdot e$$

n : número de divisiones en pantalla.

e (escala) : n° de seg/div (perilla de tiempo)

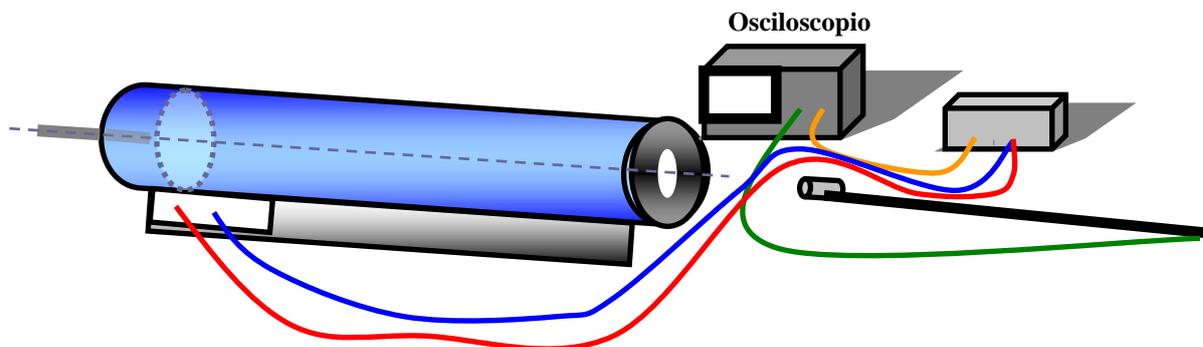
$$\Delta T = \Delta n \cdot e + n \cdot \Delta e \cong \Delta n \cdot e$$

$$f = f + \Delta f$$

$$f = 1/T \Rightarrow \Delta f = \Delta T/T^2$$

3) Práctica en TUBO DE KUNDT: “Determinación de la velocidad del sonido”

- a) Conecte el micrófono al osciloscopio e introdúzcalo en el tubo de Kundt por el extremo que tiene un orificio. (Este tubo está conectado a un generador de ondas, y en el otro extremo tiene un émbolo o pistón que puede desplazarse a lo largo del mismo variando su longitud y convirtiéndolo en abierto o cerrado), produciendo así ondas de sonido estacionarias.
- b) Coloque la velocidad de barrido en el osciloscopio en 5 ms/div y la ganancia en el canal 1 de 5 mV/div. Para el generador de onda continua, coloque una frecuencia de salida de 100Hz.



- c) Trabaje con el tubo cerrado, ubicando el pistón en el extremo libre.

- d) Aumente progresivamente y con cuidado la frecuencia en el generador de onda continua; observando el trazo de la onda en el osciloscopio podrá localizar máximos relativos (preste atención a las variaciones de frecuencias que su oído detecta).
- e) Busque los antinodos o vientres (puntos de mayor intensidad del sonido), y estime el λ como distancia entre valor de ellos. Calcule 5 valores distintos.

Ubique los nodos y antinodos mediante la comparación de amplitud de las gráficas. Determine la velocidad del sonido en el aire con los datos.

$$v = \lambda \cdot f \quad (\Delta v/v) = (\Delta \lambda/\lambda) + (\Delta f/f)$$

- f) Realice la experiencia con otras posiciones del pistón y con tubo abierto.
- g) Responda: ¿Si cambia de posición el pistón varía la posición de los nodos o antinodos?
¿Se distribuyen en igual orden los nodos y antinodos en un tubo cerrado que en un tubo abierto?

λ	$\Delta\lambda$	f	Δf	v	Δv

PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 6

ÓPTICA GEOMÉTRICA

Experiencia N° 1: Reflexión

A- Objetivo de la Experiencia

Deducir la relación entre el ángulo de incidencia y el de reflexión.

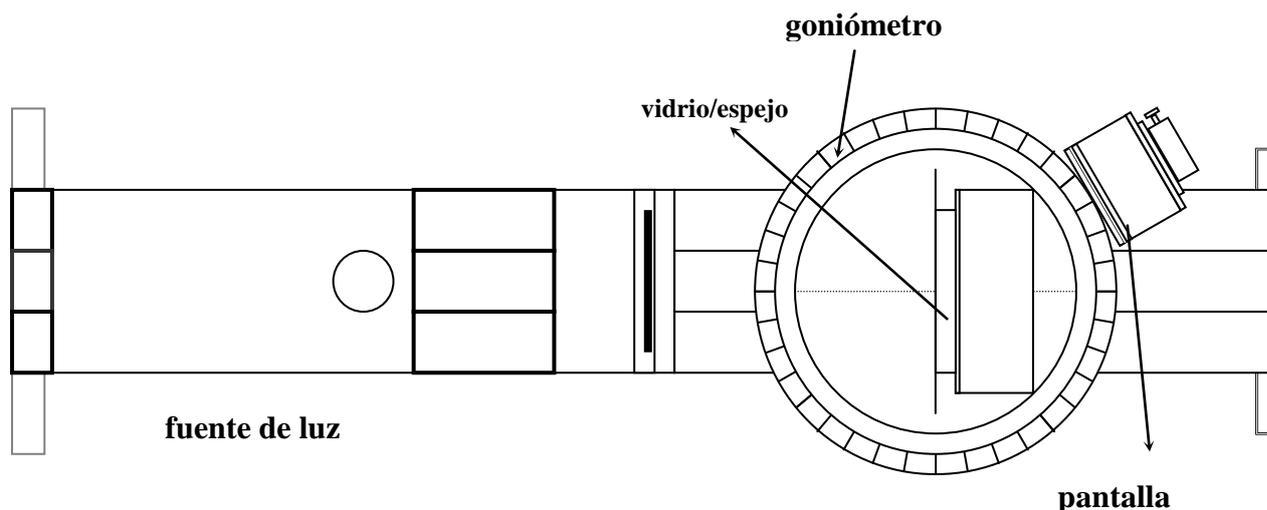
B- Fundamentos teóricos

Expuesto con detalle en el capítulo de Óptica Geométrica del volumen II del libro propuesto por la cátedra.

C- Material necesario

- | | |
|---|-------------------------------|
| - Banco Óptico | - Lámina de vidrio |
| - Fuente de luz incandescente | - Lámina de acrílico |
| - Goniómetro | - Pantalla con escala métrica |
| - Soportes de componentes (con base) | - Láser 0,5 mW |
| - Soportes de componentes para Goniómetro | - Espejo plano |

D- Desarrollo de las experiencias



- Poner el láser a la izquierda del banco óptico y colocar el goniómetro sobre el mismo.
- Hacer que el 0 del goniómetro coincida con la dirección del rayo láser. Colocar el espejo plano con un soporte en el goniómetro de manera que quede perpendicular al rayo láser. Verifique asegurándose que el reflejo coincida al menos con la vertical en la que está la abertura por la que sale el rayo láser.
- Montar la pantalla blanca en el soporte que puede girar alrededor del goniómetro.
- Girar el goniómetro un cierto ángulo $\theta > 15^\circ$ y el espejo girará un ángulo igual.
- Realice un croquis en planta (visto desde arriba) en el que se vean: rayo incidente, rayo reflejado, espejo y normal al espejo. Marque en el croquis los ángulos de incidencia y de reflexión.
- Buscar con la pantalla el rayo reflejado y ver a qué ángulo corresponde.
- ¿Qué ángulo forma ahora la normal del espejo con el 0 del goniómetro?
- Repetir para dos ángulos más y llenar la siguiente tabla.

Ángulo de incidencia (ángulo entre rayo incidente con la normal al espejo)	Ángulo de reflexión (ángulo entre rayo reflejado con la normal al espejo)

- ¿Cuál es la relación entre el ángulo de incidencia y ángulo de reflexión?
- Sacar conclusiones y generalizar para cualquier ángulo. A esta relación se la conoce como **ley de la reflexión**.
- Reemplazar el espejo por la lámina de vidrio y repetir la experiencia. ¿Varía la ley de la reflexión con el material usado? Explicar.

Ángulo de incidencia (ángulo entre rayo incidente con la normal al espejo)	Ángulo de reflexión (ángulo entre rayo reflejado con la normal al espejo)

Experimento N° 2: Refracción y ley de Snell

A- Objetivo de la Experiencia

Medir el ángulo de refracción θ' para una lámina de caras paralelas y verificar la Ley de Snell.

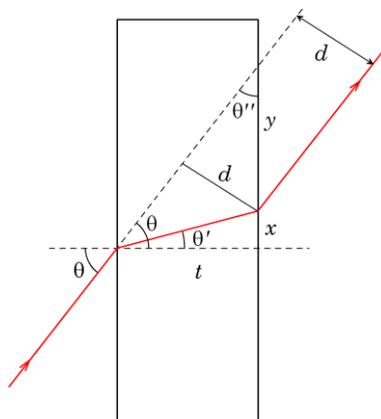
B- Fundamentos teóricos

Expuesto con detalle en el capítulo de Óptica Geométrica del volumen II del libro propuesto por la cátedra.

C- Material necesario

- Banco Óptico
- Goniómetro
- Soportes de componentes
- Lámina de acrílico
- Lámina de vidrio
- Pantalla con escala métrica
- Láser 0,5 mW

D- Desarrollo de las experiencias



La Figura 2.1 un rayo incidiendo en ángulo θ sobre una lámina de caras paralelas.

La refracción debida al material de composición de la lámina determina un ángulo de refracción θ' que produce una desviación d de la trayectoria respecto de la normal del rayo. A partir de los parámetros indicados en la figura, compruebe las siguientes relaciones:

$$\theta + \theta'' = 90^\circ$$

$$\frac{x}{t} = \tan(\theta') \Rightarrow x = t \tan(\theta') \quad [2.1]$$

$$\frac{x+y}{t} = \tan(\theta) \Rightarrow x+y = t \tan(\theta) \quad [2.2]$$

$$\frac{d}{y} = \sin(\theta'') = \sin(90^\circ - \theta) = \cos(\theta) \Rightarrow y = \frac{d}{\cos(\theta)} \quad [2.3]$$

Reemplazando [2.1] y [2.3] en [2.2]:

$$t \tan(\theta') + \frac{d}{\cos(\theta)} = t \tan(\theta) \Rightarrow \boxed{\tan(\theta') = \tan(\theta) - \frac{d}{t \cos(\theta)}} \quad [2.4]$$

Mediante la ecuación [2.4] puede determinarse el ángulo de refracción θ' a partir de la medición del ángulo de incidencia θ y la desviación/corrimiento d .

Procedimiento:

- 1) Ubicar la lámina de acrílico de caras paralelas sobre la platina del goniómetro, con su cara delantera sobre el centro de la platina y perpendicular al cero del transportador del goniómetro.
- 2) Orientar el láser hacia la lámina de modo que el rayo incida en forma perpendicular sobre la cara delantera. Para asegurar la perpendicularidad entre el rayo incidente y la superficie de la lámina, se debe lograr que el rayo reflejado se alinee con el incidente (i.e. la imagen del reflejado debe coincidir con la fuente láser).
- 3) Ubicar la pantalla detrás de la lámina, de modo que el elegido "cero de la escala" graduada coincida con la imagen del rayo sobre ésta. De esta forma, $\theta = 0^\circ$ y $d = 0$.
- 4) Girar la platina del goniómetro un ángulo θ , $40^\circ < \theta < 80^\circ$, y medir el desplazamiento d de la imagen del rayo sobre la pantalla.
- 5) Determinar θ' mediante la relación [2.4].

De acuerdo a la ley de Snell, $n_a \sin(\theta) = n_x \sin(\theta')$, donde n_a y n_x son los índices de refracción del aire y la lámina respectivamente. Por lo tanto, la relación:

$$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta')} \cong n_x \quad [2.5]$$

debe cumplirse para cualquier par de ángulos θ y θ' .

Acrílico, t = mm			
d (mm)	θ	θ'	n_x

6) Efectuar la experiencia para la lámina de vidrio con ángulos de incidencia $40^\circ < \theta < 70^\circ$. Extraiga conclusiones.

Vidrio, t = mm			
d (mm)	θ	θ'	n_x

Experiencia N° 3: Lentes

A- Objetivo de la Experiencia

Medir la distancia focal de lentes. Caracterizar la imagen generada por una lente.

B- Fundamentos teóricos

Expuesto con detalle en el capítulo de Óptica Geométrica del volumen II del libro propuesto por la cátedra.

C- Material necesario

- Banco Óptico
- Soportes de componentes
- Goniómetro
- Lentes varias

D- Desarrollo de las experiencias

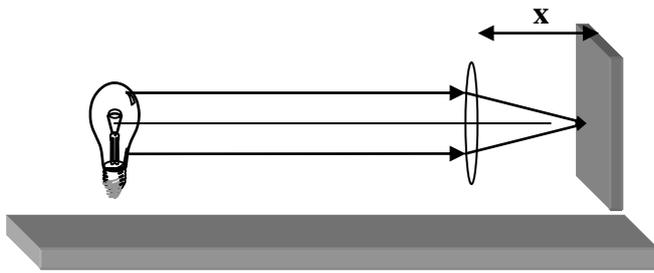
Se define como **foco imagen** al punto del eje principal de la lente donde se forma la imagen de un objeto muy distante de la misma (en el infinito).

Se define como **foco objeto** al punto del eje principal de la lente en el cual tiene que ubicarse un objeto para que su imagen se forme en un punto muy distante de la misma (en el infinito).

Distancia focal imagen

Procedimiento

- 1) Coloque la lámpara en un extremo de la mesa y una pantalla en el otro extremo de la mesa, "cerca" de la pantalla coloque una lente biconvexa.
- 2) Ajuste la posición de la lente hasta obtener la mínima imagen del filamento. En esta posición mida la distancia focal imagen usando una regla.
- 3) Repita el experimento con otras lentes y llene la tabla que está a continuación. Observe si la distancia focal coincide con los valores indicados por el fabricante, si no es así, explique por qué.

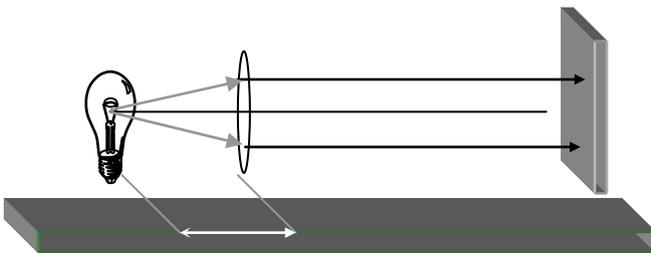


Lente	f _{medida}	f _{fabricante}
1		
2		
3		
4		

Distancia focal objeto

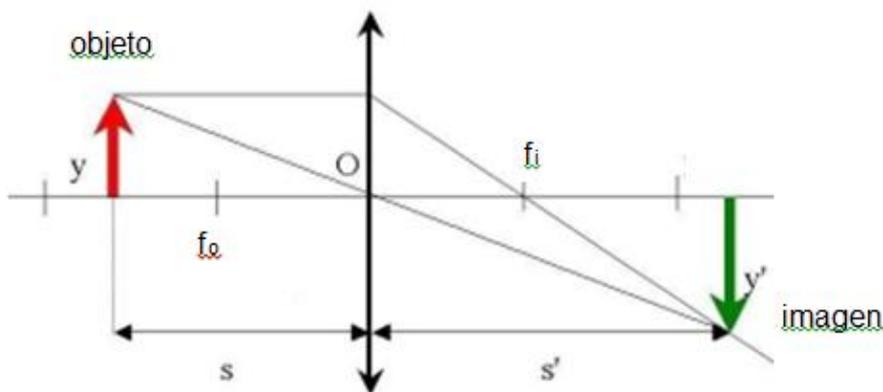
Procedimiento:

- 1) Use el filamento como fuente puntual (considerando que está ubicado aproximadamente a 21 mm de la cara frontal de la caja) y acerque la lente a la fuente de luz.
- 2) Ajuste la posición de la lente hasta que el tamaño de la imagen sobre la pantalla no dependa de la distancia pantalla–lente, lo que sucede cuando los rayos emergentes de la lente son paralelos al eje principal.
- 3) Repita el experimento con otras lentes y llene la tabla que está a continuación. Observe si la distancia focal coincide con los valores indicados por el fabricante, si no es así, explique por qué.



Lente	f _{medida}	f _{fabricante}
1		
2		
3		
4		

Imagen y aumento



Usando las ecuaciones de las lentes

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

y la de aumento

$$m = \frac{-s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

Procedimiento:

- 1) Mida los brazos de la cruz de la diapositiva (y).
- 2) Coloque una lente biconvexa entre la diapositiva con la cruz (objeto) y la pantalla.
- 3) Elija una distancia del objeto a la lente (s) y usando la ecuación de las lentes calcule a qué distancia se formará la imagen (s') y coloque la pantalla a esa distancia de la lente, donde la imagen debe ser nítida.
- 4) Mida el tamaño de la imagen (y') y calcule el aumento de la lente (m) para esas distancias.
- 5) Observe si la imagen resultante es derecha o invertida.
- 6) Llene el siguiente cuadro usando dos distancias objeto diferentes.

f	s	s'	y	y'	m	Derecha o invertida
48 mm						
127 mm						

TRABAJO PRÁCTICO N° 10 POLARIZACIÓN

Introducción

La **polarización** es una característica de todas las ondas transversales. Para el caso de una onda en una cuerda tensa que se encuentra a lo largo del eje x , y los desplazamientos de la cuerda que implica la onda únicamente tienen la dirección del eje y , expresamos que la onda está **linealmente polarizada** (en la dirección y); asimismo, como la cuerda siempre ocupa planos definidos por el eje x (que corresponde a la dirección de propagación de la onda) y por el eje y (que corresponde a los desplazamientos de la cuerda), decimos que la onda está **polarizada en un plano** (en el plano $x; y$).

Para ondas electromagnéticas linealmente polarizadas, se aplican iguales denominaciones adoptando como dirección de polarización la dirección del vector campo eléctrico \vec{E} .

En un haz de luz natural \vec{E} tiene cualquier orientación normal a la dirección de propagación; pero, cuando el haz está linealmente polarizado, \vec{E} tiene solo una orientación. Esta orientación y la dirección de propagación, define el correspondiente plano de polarización de un haz de luz polarizada.

Un filtro polarizador o simplemente **polarizador**, es un elemento que permite la transmisión de ondas linealmente polarizadas; es decir, ondas con cierta dirección de polarización. Esta dirección está definida en el polarizador por su "**eje de polarización**". Según su función en el dispositivo o sistema en que se use, a dicho filtro también se lo denomina **analizador**.

Ley de Malus:

Si hacemos incidir un haz de luz polarizada, de intensidad $I_{\text{máx}}$, sobre un analizador cuyo eje de polarización forma un ángulo ϕ con el plano de polarización del haz, pasará a través del elemento, un haz de intensidad I_{ϕ} dada por:

$$I_{\phi} = I_{\text{máx}} \cos^2 \phi \quad (10.1) \quad (\text{Ley de Malus})$$

Ley de Brewster:

Si un haz de luz natural incide en la superficie lisa de material no conductor, el haz reflejado se polariza parcialmente en un plano paralelo a la superficie reflectora; esta polarización es total para cierto ángulo de incidencia θ_p , dado por:

$$\theta_p = \text{arc tg } n_{21} \quad (10.2) \quad (\text{Ley de Brewster})$$

Donde n_{21} es el índice de refracción del segundo medio respecto al primero.

Experiencia 10.1

Ley de Malus. Microondas

Introducción. Microondas

El equipo que disponemos, mostrado en la Fig. 10.1, está formado básicamente por un transmisor y un receptor de microondas.

El transmisor provee una señal coherente, linealmente **polarizada**, con una frecuencia de 10,525 GHz y longitud de onda de 2,85 cm, que es emitida mediante un cuerno que determina su plano de polarización y permite direccionar la onda.

La potencia de salida del transmisor (10 mW) está encuadrada holgadamente dentro de los niveles de seguridad estándar. No obstante,

NO DEBE MIRARSE DIRECTAMENTE AL CUERNO DE SALIDA CUANDO EL TRANSMISOR ESTÁ ENCENDIDO.

El receptor de microondas, que posee un cuerno idéntico al del transmisor, detecta únicamente la radiación que llega polarizada en el plano que determina la posición de su cuerno (ambos cuernos, de transmisión y de recepción, deben estar paralelos para que la transferencia de la señal sea óptima).

El receptor tiene además un medidor que, para señales de baja amplitud (como es nuestro caso), da una lectura que es muy aproximadamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente. Este medidor tiene cuatro rangos de medida que se pueden seleccionar a efectos de controlar su sensibilidad.

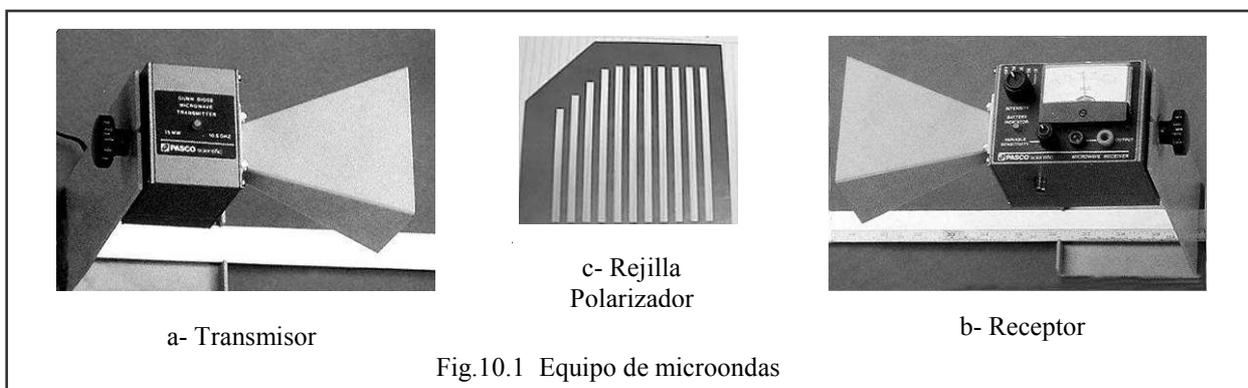
Objetivo

- Verificar la ley de Malus operando un sistema de radiación de microondas.

Equipamiento

Transmisor a- y receptor b- de microondas.

Dos goniómetros (instrumentos adosados al receptor y al polarizador).



Procedimiento

La onda que emite el transmisor está linealmente polarizada en la dirección que define su cuerno. El receptor solo detecta ondas polarizadas linealmente en la dirección que define su cuerno. La lectura M del medidor es directamente proporcional a la intensidad de la onda detectada.

Rotando axialmente el receptor, tomando lectura del medidor y de las respectivas posiciones angulares, se obtiene la información para comprobar la ley de Malus.

Disponer el equipo alineando el transmisor con el receptor.

Activar el transmisor.

Girar el receptor ubicando sus cuernos paralelos a los cuernos del transmisor.

Ajustar los controles del medidor de modo que su lectura M sea a fondo de escala.

Girar 180° el receptor en incrementos de $\Delta\phi = 15^\circ$, y construir tabla de valores de $M - \phi$.

Graficar $M = f(\phi)$

¿Corrobora el gráfico lo expresado por la ley de Malus?

Ejercicio complementario

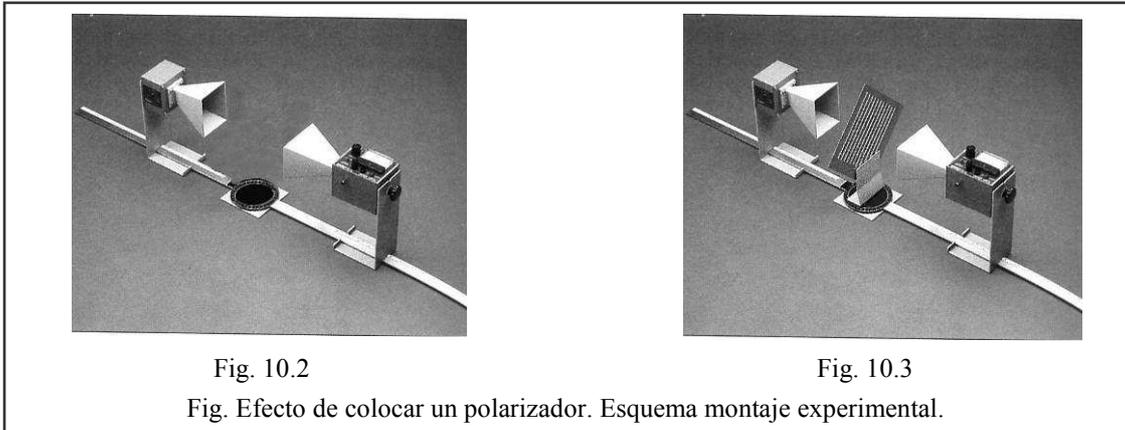
Objetivo

- Analizar el efecto de colocar un polarizador entre el transmisor y el receptor.

Procedimiento

Como polarizador utilizará la rejilla mostrada en la Fig. 10.1 c-.

Observar que el polarizador transmitirá ondas linealmente polarizadas en la dirección de su eje de polarización (dirección normal a las rejillas). Asimismo, que interesa el ángulo (ω) formado por el eje de polarización y la dirección de polarización del haz emitido por el transmisor.



Ensayo preliminar

Disponer el equipo como muestra la Fig. 10.2 y activar el transmisor. Observar que los cuernos (transmisor; receptor) están colocados mutuamente perpendiculares. ¿Cuál es la señalización del medidor?

Colocar el polarizador (rejilla) de manera que $\omega = 45^\circ$, como muestra la Fig. 10.3. ¿Cuál es la señalización del medidor?

Ensayo cuantitativo

Disponer el equipo ubicando paralelos los cuernos del transmisor, del receptor y el eje de polarización de la rejilla ($\omega = 0^\circ$).

Activar el transmisor y ajustar los controles del medidor de modo que su lectura M sea a fondo de escala. Registrar esta lectura.

Modificar la posición del polarizador (rejilla) ubicándolo de manera que $\omega = 45^\circ$ y posteriormente $\omega = 90^\circ$; registrando las correspondientes lecturas del medidor.

Comparar entre si las tres lecturas registradas y explicar resultado con referencia al ángulo ω .

Experiencia 10.2

Ley de Malus. Luz natural.

Introducción. Luz natural.

Una lámpara común de filamento proporciona luz visible, no polarizada o natural; es decir su radiación comprende ondas linealmente polarizadas en todas las direcciones transversales posibles y de longitudes de onda de todo el espectro visible.

Para verificar la ley de Malus se requiere luz polarizada.

Para obtener luz polarizada a partir de luz natural, en la práctica, se utiliza un filtro "Polaroid".

Objetivo

- Verificar la ley de Malus operando un sistema óptico con luz natural.

Equipamiento

Banco óptico.

Artefacto con lámpara de filamento incandescente; suministra al sistema luz natural.

Polarizador: placa filtro "Polaroid" con indicación de su eje de polarización y limbo circular graduado, adosada al artefacto.

Analizador: placa filtro "Polaroid" con indicación de su eje de polarización y limbo circular graduado, con accesorios para montaje en banco óptico.

Fotómetro, incluido accesorios (fibra óptica y portaobjeto) para montaje en el banco.

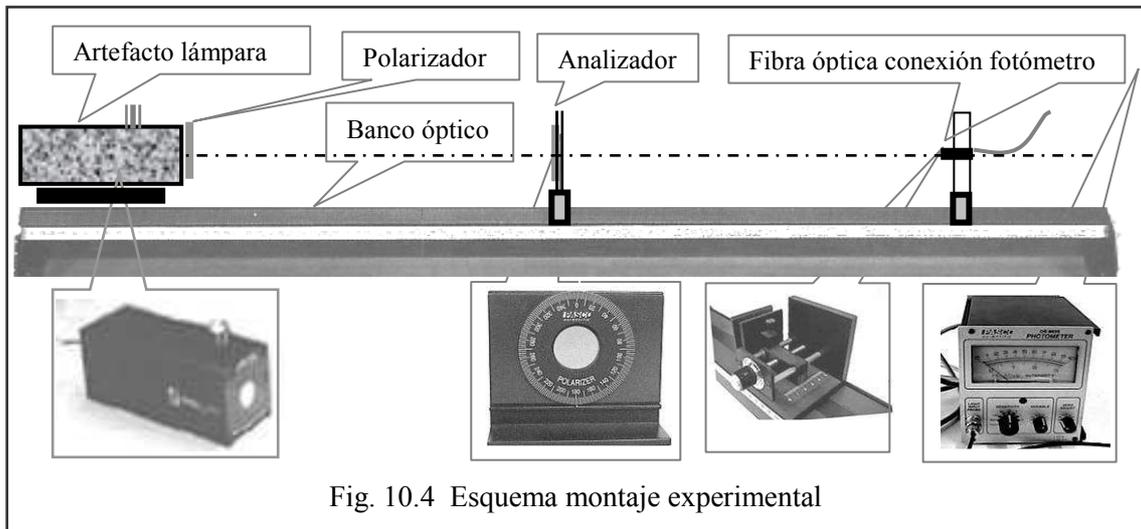


Fig. 10.4 Esquema montaje experimental

Procedimiento

Disponer los elementos como indica la Fig. 10.4. Controlar alineación de elementos, incluido extremo de la fibra óptica. Examinar el polarizador y el analizador ubicando en ellos sus respectivos ejes de polarización (o ejes de transmisión).

Rotar el analizador de modo que la posición angular de su eje de transmisión varíe, desde 90° hasta 270° , con respecto al eje del polarizador. Tomar intervalos de $\Delta\phi = 10^\circ$. Construir tabla de valores medidos con el fotómetro y correspondientes ángulos. Graficar.

¿Corresponde la gráfica a lo expresado por la ley de Malus?

¿Qué magnitud indica el fotómetro en su instrumento analógico?

¿Por qué podemos aseverar que, con las mediciones que proporciona este instrumento, podemos verificar la ley de Malus?

Experiencia 10.3

Ley de Brewster. Polarización por reflexión. Fuente láser.

Introducción: fuente láser

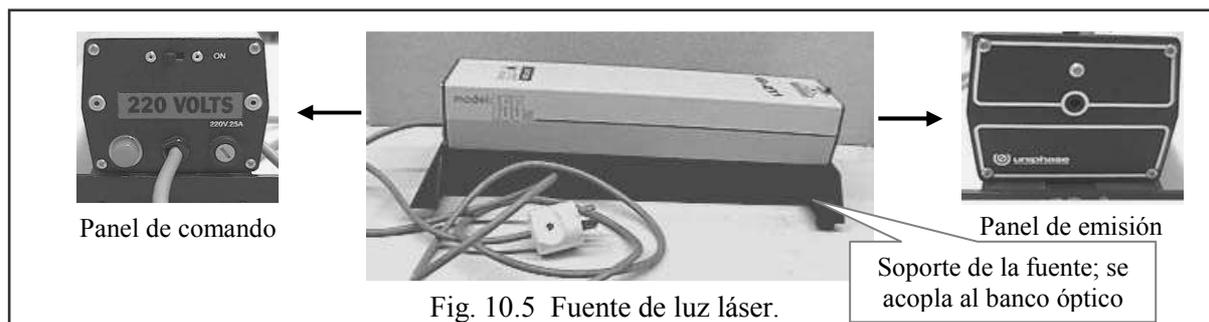


Fig. 10.5 Fuente de luz láser.

La fuente que disponemos es un láser de helio-neón (mostrado en la Fig. 10.5) que entrega un haz de ondas coherentes, de longitud de onda $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ (visible; rojo).

En todos los trabajos que realizaremos utilizando esta fuente, la dispondremos en su soporte que se acopla al banco de óptica respectivo y la operación preliminar a todo ensayo será controlar la correcta alineación del haz (o sea de la fuente).

NO MIRAR DIRECTAMENTE EL HAZ DE LUZ LÁSER

Si bien la fuente que disponemos es de reducida potencia, puede producir daños en los ojos. En todos los ensayos y experiencias en que se utilizará esta fuente observaremos en una pantalla la figura de iluminación resultante de la incidencia del haz, interpretando así el resultado.

Objetivo

- Determinar el índice de refracción de una resina acrílica aplicando la ley de Brewster.

Equipamiento

Fuente de luz láser.

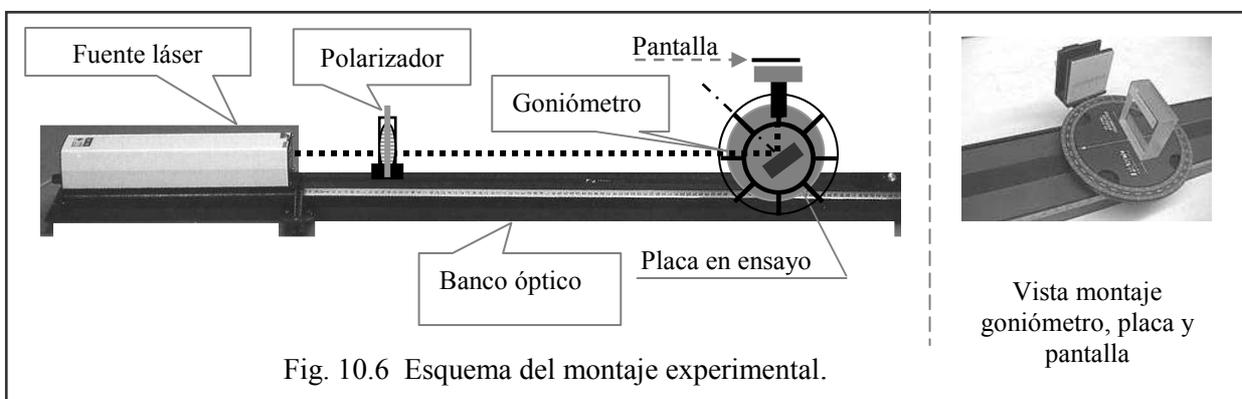
Banco óptico.

Goniómetro.

Polarizador (placa Polaroid) con accesorios para montaje en el banco e indicación de su eje de polarización.

Procedimiento

Preparar el equipo como indica la Fig. 10.6. Controlar alineación del láser.



Rotando el polarizador, verificar si la luz que entrega el láser está polarizada.

¿Cuál sería el comportamiento a esperar en cada uno de los dos casos?

Ubicar el polarizador para que polarice en el plano horizontal (eje 0° - 180° horizontal).

Rotar la base del goniómetro hasta que la imagen reflejada sea mínima.

¿Por qué es mínima?

Mida el ángulo hallado θ_p , y calcule $n = \text{tg } \theta_p$.

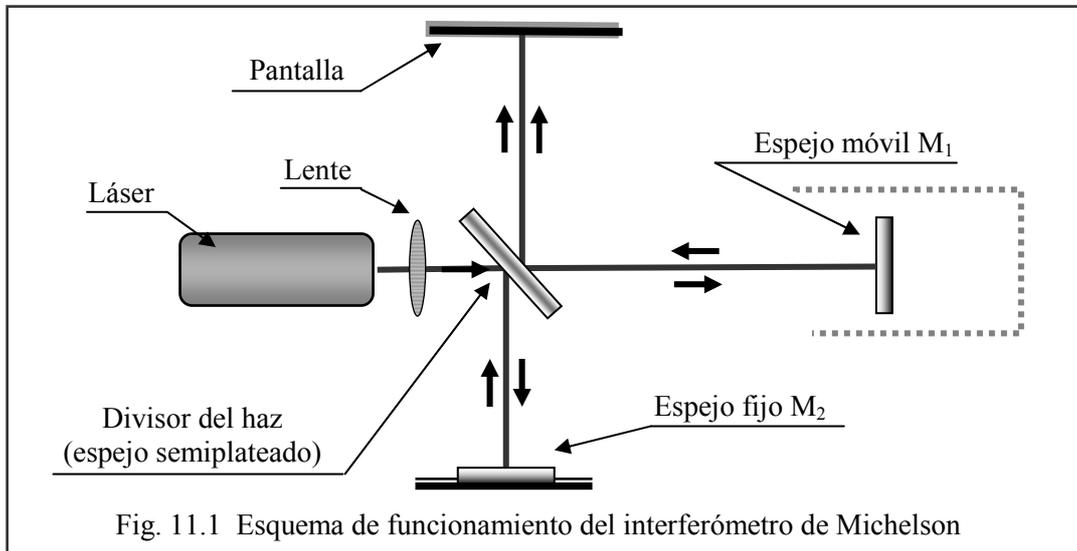
¿Cuánto influye la indeterminación en la lectura del ángulo? ¿Por qué?

¿Qué hubiera sucedido si el polarizador se hubiera colocado para polarizar en el plano vertical? Verificar.

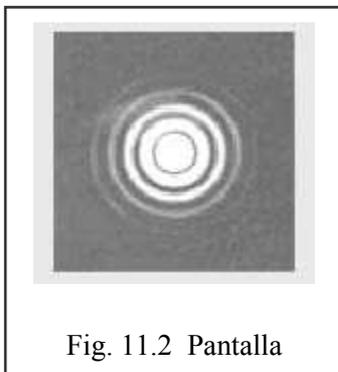
TRABAJO PRÁCTICO Nº 11 INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

Introducción

La Fig. 11.1 muestra esquemáticamente el funcionamiento del interferómetro:



El haz de luz proveniente de un láser incide sobre un espejo semiplatado que refleja el 50 % de la luz incidente hacia un espejo fijo (ajustable) M_2 y transmite el otro 50 % hacia un espejo móvil M_1 . Ambos, M_1 y M_2 , reflejan la luz directamente hacia atrás, haciendo que retorne al espejo semiplatado.



El haz proveniente de M_1 es reflejado hacia la pantalla, y el proveniente de M_2 transmitido, también hacia la pantalla. Como ambos haces provienen de una única fuente (láser) mantienen una absoluta coherencia entre sí, y van a interferir al actuar simultáneamente sobre la pantalla. Si entre el láser y el espejo semiplatado colocamos una lente, el haz se dispersa, y de este modo lograremos que en la pantalla aparezca un patrón de interferencia formado por anillos circulares oscuros y brillantes, alternados, como indica la Fig. 11.2.

Principio de funcionamiento

Moviendo el espejo M_1 (ello es posible mediante un tornillo micrométrico), se modifica el camino que debe recorrer uno de los rayos. Puesto que ese camino es atravesado en dos oportunidades, al desplazar M_1 una distancia $\lambda/4$, el camino óptico del rayo varió en $\lambda/2$. Esto hace que, donde antes teníamos un máximo de interferencia (anillo brillante), ahora tengamos un mínimo (anillo oscuro). Si movemos M_1 una distancia adicional de $\lambda/4$, provocaremos un nuevo desplazamiento de las franjas y la apariencia de la imagen no se podrá distinguir de la original.

Moviendo lentamente el espejo M_1 una distancia d_m , “pasarán” N franjas en el patrón de interferencia que estamos observando en la pantalla, y se cumplirá la relación:

$$2 d_m = N \lambda \quad (11.1)$$

Precauciones a tener en cuenta al operar el instrumento y hacer las mediciones;

Llevar el tornillo micrométrico hasta 0, y después volverlo por lo menos hasta 1, e iniciar la medida a partir de esa posición, y **cuidando de girar siempre en el mismo sentido**. La no realización de ese giro previo, o el cambio de sentido en la rotación del tornillo se traducirá en un error importante, que invalidará la medición.

Contar un número grande de franjas (sugerencia: 50 por lo menos).

Ante una indeterminación, o falla en la cuenta, el error cometido es inversamente proporcional al número total de franjas contadas.

Experiencia 11.1

Objetivo

- Comprobar la calibración del tornillo micrométrico del interferómetro

Equipamiento:

Interferómetro

Láser

Base para alineación del láser

Accesorios del interferómetro

Procedimiento:

La relación (11.1) vincula dos variables: λ y d_m , y nos permite calcular cualquiera de ellas a partir de la otra, contando N.

En nuestro caso, por disponer de una fuente láser cuya longitud de onda es perfectamente estable y conocida con mucha precisión ($\lambda = 632,8$ nm), nos valdremos de la relación para determinar el desplazamiento d_m , verificando de ese modo la calibración del tornillo micrométrico.

Experiencia 11.2

Objetivo

- Determinar el índice de refracción del aire.

Introducción

En el interferómetro de Michelson, el patrón de interferencia observado depende de la relación de fase entre los dos rayos interferentes. En la Exp. 11.1, se modificó esta relación desplazando uno de los espejos. En esta segunda experiencia, lograremos el mismo efecto modificando el camino óptico que recorre uno de los rayos, intercalando en su trayectoria una celda (tubo) y cambiando la presión del aire que ella contiene.

Para una onda de una frecuencia específica, la longitud de onda λ varía con la relación:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (11.2)$$

en donde λ_0 es la longitud de onda en el vacío, y n el índice de refracción del medio en el cual la onda se está propagando (aire en nuestro caso). Para el vacío, donde la presión es cero, n vale 1 y, para presiones razonablemente bajas, n varía linealmente con la presión.

Determinando experimentalmente la pendiente de esa relación lineal, es posible calcular el índice de refracción n a cualquier presión. Tal es el objetivo de esta experiencia.

Equipamiento

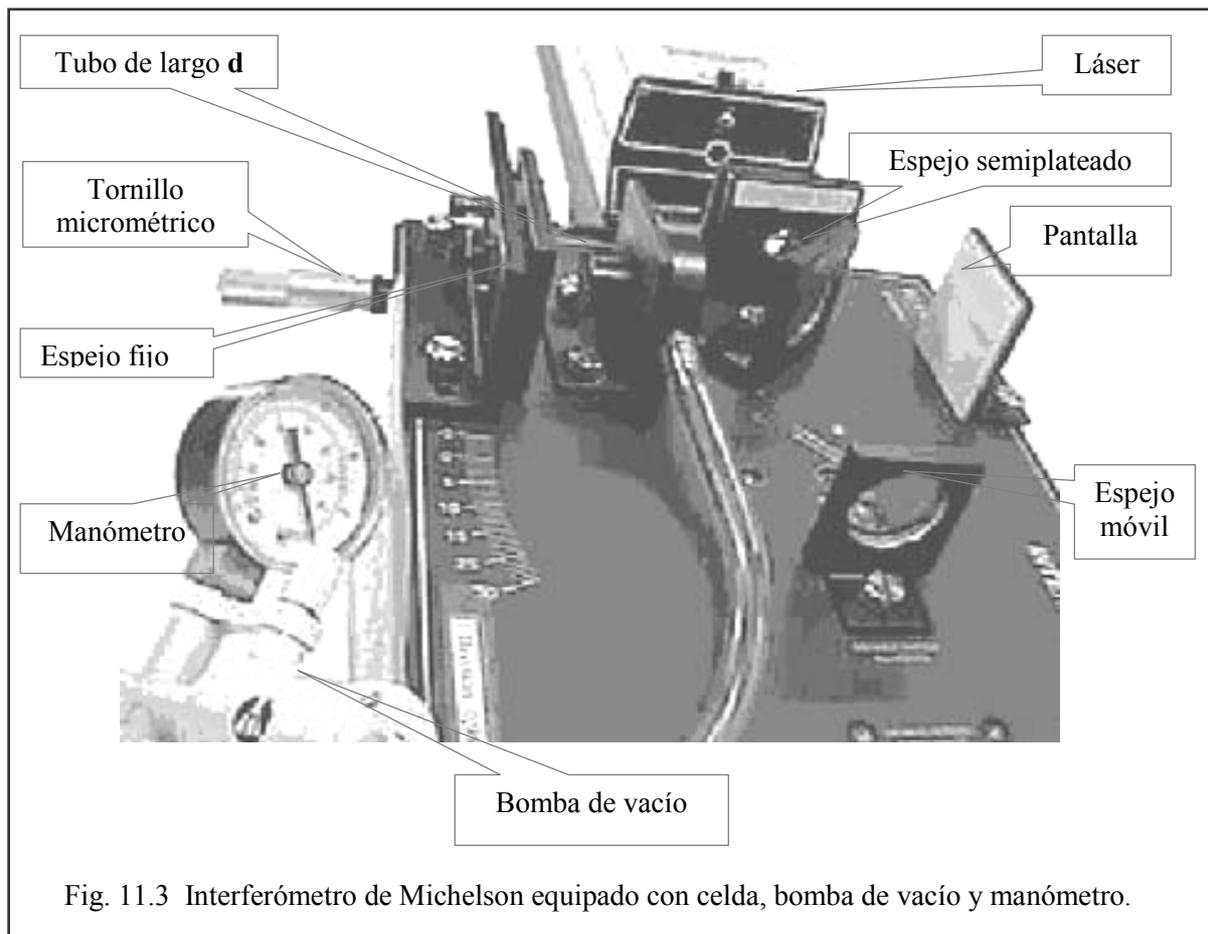
Interferómetro.

Láser.

Base de alineación del láser.

Accesorios del interferómetro.

Celda de vacío, con bomba y manómetro



Procedimiento:

Al montaje básico del interferómetro se le agrega, en el camino del espejo fijo M_2 , una celda para vacío (tubo de largo d conocido), equipada con bomba y manómetro, como muestra la Fig. 11.3.

Uno de los rayos que interfieren, atraviesa en su camino dos veces la celda de largo d . A la presión P_1 “caben” en ella N_1 longitudes de onda:

$$N_1 = 2 \frac{d}{\lambda} = \frac{2d}{\frac{\lambda_0}{n_1}} = \frac{2d n_1}{\lambda_0}$$

A la presión P_2 , después de hacer un vacío parcial en el tubo, esa cantidad habrá variado, y tendremos:

$$N_2 = \frac{2 d n_2}{\lambda_0}$$

En donde n_1 y n_2 son los índices de refracción del aire a las presiones P_1 y P_2 respectivamente, y λ_0 es la longitud de onda utilizada en el vacío.

Al pasar de una situación a la otra, se podrán contar en la pantalla del interferómetro N franjas:

$$N = N_1 - N_2 = \frac{2 d (n_1 - n_2)}{\lambda_0} \quad (11.3)$$

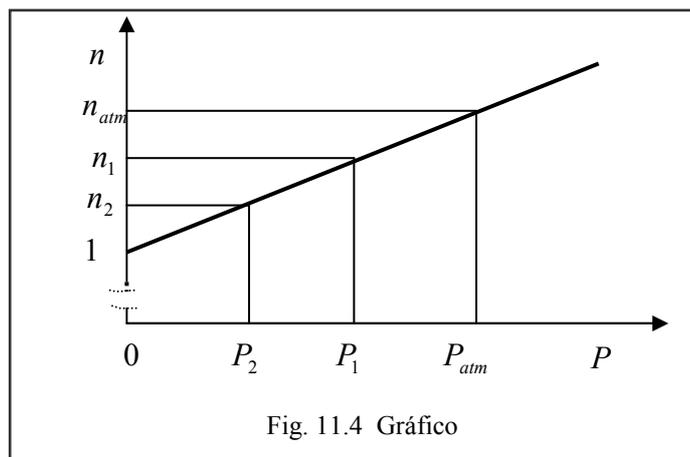
De donde

$$n_1 - n_2 = \frac{N \lambda_0}{2 d} \quad (11.4)$$

Dividiendo miembro a miembro por $(P_1 - P_2)$:

$$\frac{n_1 - n_2}{P_1 - P_2} = \frac{N \lambda_0}{2 d (P_1 - P_2)} \quad (11.5)$$

Si construimos un gráfico $n = f(P)$, esa sería la pendiente de la recta.



Y en definitiva:

$$n_{atm} = 1 + \frac{N \lambda_0 P_{atm}}{2 d (P_1 - P_2)} \quad (11.6)$$

- La experiencia consiste en la determinación de los valores que intervienen en esta última relación; para esto:
- Partiendo del equipo montado como indica la figura, con una presión inicial P_1 , ir accionando la bomba para hacer un vacío parcial en el tubo hasta llegar a un valor de presión final P_2 .
- Los valores de λ_0 (632,8 nm) y d (3,0 cm) son datos garantizados propios del equipo.
- Finalmente calcular el índice de refracción del aire a la presión P_{atm} .

TRABAJO PRÁCTICO N° 12 INTERFERENCIA

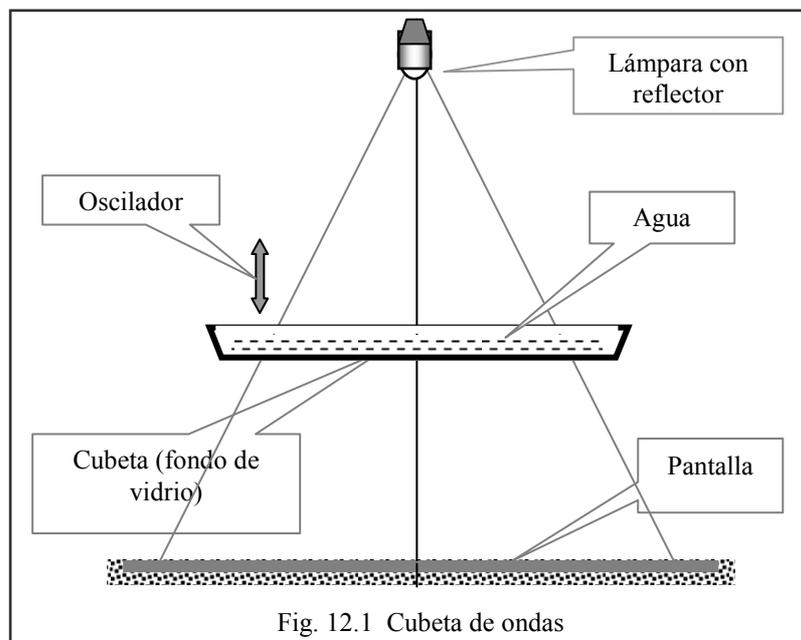
Introducción

Interferencia es un fenómeno que se presenta en todo tipo de ondas; tiene lugar cuando en una región del espacio actúan dos o más ondas simultáneamente superponiendo sus efectos.

En esta experiencia se ensayarán tres sistemas diferentes desde el punto de vista físico, lo que nos permitirá una visión más amplia y global de lo que es, en esencia, un solo fenómeno.

Experiencia 12.1 Cubeta de ondas

La figura muestra esquemáticamente el dispositivo conocido como cubeta de ondas. Es un recipiente de fondo transparente, con agua, en donde se introducen periódicamente osciladores que perturban la posición de equilibrio del agua, generando de ese modo ondas rectas, si el oscilador es rectilíneo o circulares si el oscilador es puntiagudo.



Sobre una pantalla ubicada en la parte inferior, se pueden observar imágenes de las ondas o perturbaciones ondulatorias que se propagan en la superficie del agua. Las ondas forman lentes imperfectas, convergentes y divergentes, que desvían la luz proveniente de la lámpara, haciendo que se visualicen franjas brillantes y oscuras, en correspondencia con las crestas y valles, que se desplazan alejándose del oscilador.

Objetivo

- En una cubeta de ondas, producir, observar y analizar fenómenos ondulatorios.

Procedimiento

Operar la cubeta de ondas con distintos tipos de osciladores a fin de visualizar el origen, formas y propagación de ondas e interpretar conceptos como: “longitud de onda”, “frecuencia”, “frente de onda”, “rayo” y “principio de Huygens”.

Incorporar osciladores apropiados y obstáculos. Observar las imágenes obtenidas e interpretarlas, en cuanto corresponden a fenómenos análogos a los de ondas luminosas (y electromagnéticas en general).

¿Con qué tipo de oscilador logró visualizar ondas de frente de ondas circulares?

¿De qué manera generó dos ondas mutuamente coherentes y logró visualizar el fenómeno de interferencia?

¿Con qué tipo de oscilador logró visualizar ondas de frente de onda recto?

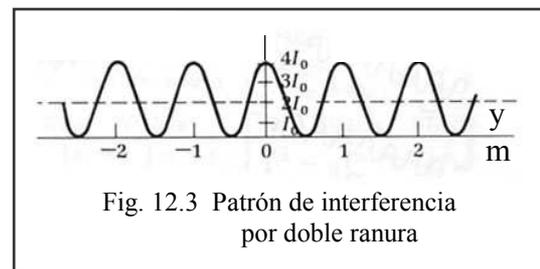
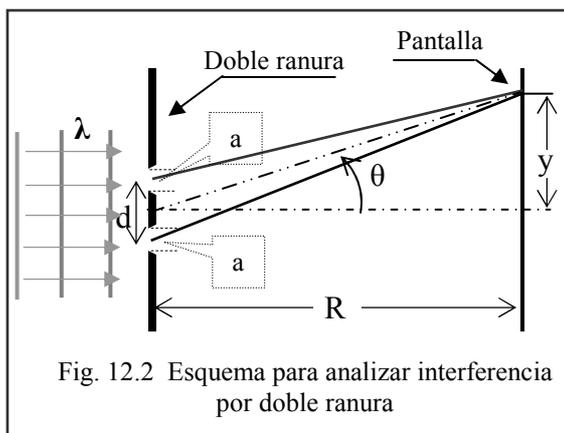
¿Cómo logró visualizar el fenómeno de interferencia de ondas difractadas por una ranura rectangular?

Interferencia de ondas electromagnéticas

Interferencia por doble ranura

Para una doble ranura a la que llega una onda electromagnética de frentes planos y de longitud de onda λ (Fig.12.2), se determina que las posiciones angulares θ para las cuales se ubican los máximos y mínimos de interferencia de las ondas que atraviesan el elemento, están dadas por las ecuaciones siguientes:

$$\text{sen } \theta_{\text{máx}} = m \frac{\lambda}{d} \quad ; \quad \text{sen } \theta_{\text{mín}} = \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{d} \quad ; \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (12.1)$$



Si bien estas relaciones son generales y se cumplen para cualquier λ y d , es evidente, para que los ángulos θ no se hagan indetectables por pequeños, que la separación d entre ranuras debe ser comparable en dimensiones a λ .

La Fig.12.3 muestra el patrón de interferencia por doble ranura.

Realizaremos dos ensayos de interferencia de ondas electromagnéticas, totalmente equivalentes desde el punto de vista físico, pero con una notoria diferencia de las dimensiones involucradas: uno con microondas ($\lambda \approx 10^{-2}$ m) y el otro con luz ($\lambda \approx 10^{-7}$ m).

Experiencia 12.2

Interferencia de microondas

Objetivo

- Operando un equipo de microondas, determinar posiciones angulares de máximos y mínimos de interferencia por doble ranura.

Equipamiento

Transmisor y receptor de microondas ($\lambda = 2,85$ cm; demás especificaciones en Exp. 10.1).

Elementos para construir ranuras: base; dos chapas rectangulares metálicas que actuarán como reflectores y dos espaciadores de 6 y 4 cm.

Banco soporte para montaje de elementos; incluye brazo articulado con goniómetro.

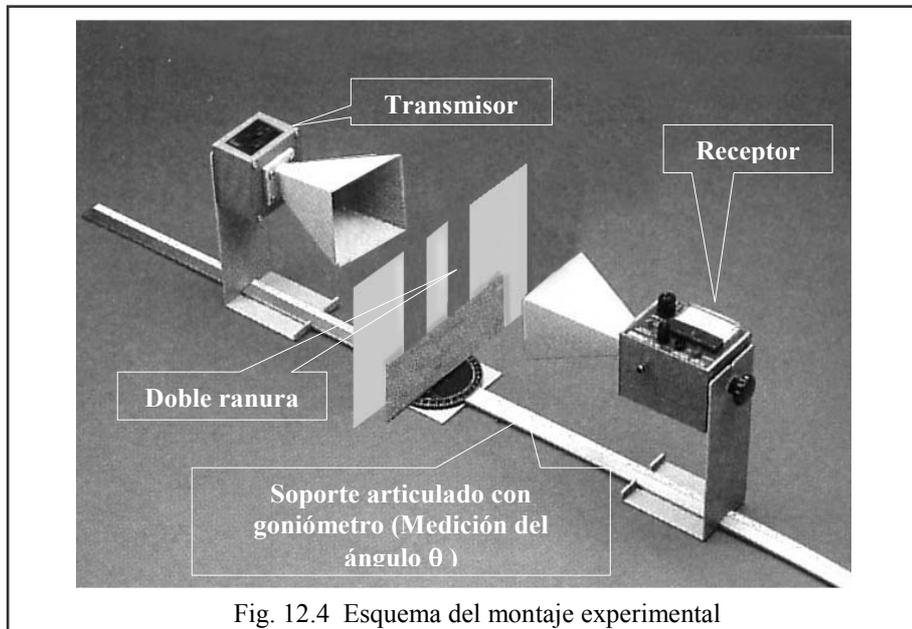


Fig. 12.4 Esquema del montaje experimental

Procedimiento

Preparación del equipo y ensayo preliminar.

Disponer el equipamiento como muestra la Fig. 12.4. Construir la doble ranura, instalando el espaciador de 6 cm de ancho y controlando que las ranuras queden iguales ($a=1,5$ cm).

Ajustar transmisor y receptor disponiendo ejes de polarización coincidentes (0°). Alinear los elementos. Activar y **posicionar** (desplazándolo longitudinalmente) correctamente el transmisor de manera que, ajustando el medidor del receptor, M señale fondo de escala.

Rotar el soporte del receptor de manera que este ocupe diferentes posiciones angulares θ (indicadas en la Fig. 12.2; observar que la pantalla es sustituida por el receptor).

¿Qué sucede con la señalización M del medidor?

Ensayo 1.

Retornar el receptor a su posición original. Observar que $d=7,5$ cm .

Rotar paulatinamente el receptor; medir y registrar los valores θ_{\min} y θ_{\max} (señalizaciones M mínimas y máximas detectadas).

Ensayo 2.

Sustituir el espaciador de 6 cm por el de 4 cm, controlar que las ranuras queden iguales ($a=1,5$ cm). Observar que con esta construcción $d=5,5$ cm . Repetir los ajustes y controles mencionados en el ensayo preliminar.

Rotar paulatinamente el receptor; medir y registrar los valores θ_{\min} y θ_{\max} (señalizaciones M mínimas y máximas detectadas).

Conclusiones

Contrastar los valores θ_{\min} y θ_{\max} comparándolos con los que se obtienen del cálculo teórico.
¿Hay correspondencia?
¿Cómo se modifica en general el patrón de interferencia por doble ranura, al variar la separación d entre ranuras?

Precaución: Observar que en el dispositivo no se cumple la condición $R \gg d$ por lo que es de esperar que no se satisfagan exactamente las relaciones (12.1). En el informe comentar.

Experiencia 12.3

Interferencia de luz monocromática.

Objetivo

Operando un sistema óptico con luz monocromática:

- Determinar cualitativamente el efecto sobre el patrón de interferencia por doble ranura, ensayando elementos de distinto ancho (**a**) y separación (**d**).
- Determinar cualitativamente el efecto de incrementar el número de ranuras. Ranuras de igual ancho (**a**) e igual separación (**d**).

Introducción

En esta experiencia, como receptor de las ondas que pasan por las ranuras, utilizará una pantalla y en esta observará las figuras (de iluminación).

Todo conforme lo indica esquemáticamente la Fig. 12.2. Es de esperar que las figuras (en su intensidad lumínica) respondan al patrón de interferencia mostrado en la Fig. 12.3.

Equipamiento

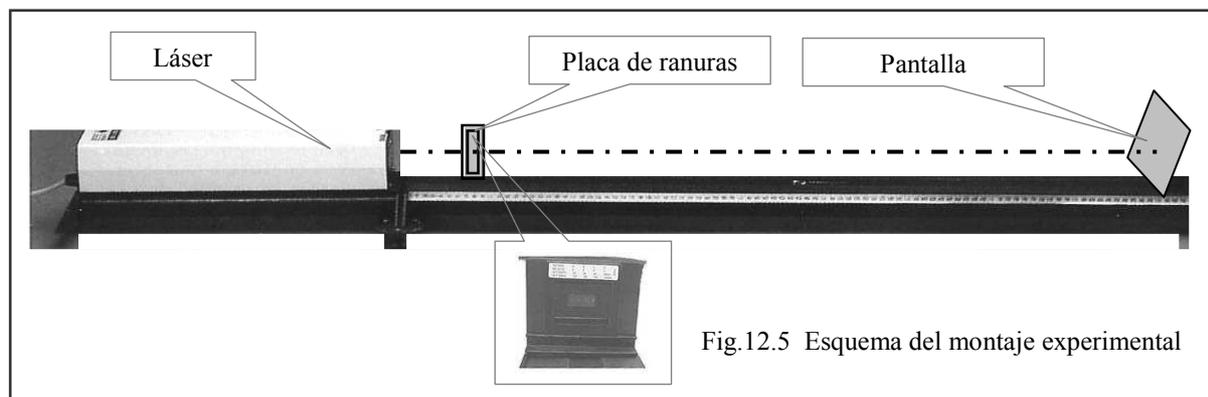
Banco óptico con fuente de luz láser.

Placa con cuatro dobles ranuras de distinto ancho y separación.

Placa con cuatro grupos de ranuras, que poseen 2, 3, 4 y 5 ranuras de igual ancho e igualmente espaciadas.

Pantalla.

Utilizaremos placas que contienen ranuras rectangulares y en otros experimentos, aberturas circulares y rectangulares, redes de difracción, etc. Se trata de elementos ópticos de precisión y muy delicados. Trátelas con sumo cuidado, tomándolas del marco, colocándolas adecuadamente en el portaobjeto respectivo.



Procedimiento

Preliminar

Montar el equipo como muestra la Fig. 12.5.

Activar la fuente láser y controlar su alineación.

I- Interferencia por doble ranura: Efectos de modificar el ancho y separación de las ranuras.

Procedimiento

Examinar la placa de dobles ranura y registrar las características que trae grabada.

Montar la placa en el portaobjeto. Desplazarla lateralmente, de modo de ir intercalando en el camino del haz los distintos pares de ranuras.

Observar para cada doble ranura el efecto, en la figura de la pantalla, que tiene el ancho de las ranuras y la separación entre ellas (específicamente sobre la separación entre franjas brillantes e intensidad).

Comentar resultados con referencia al patrón de doble ranura Fig. 12.3.

II- Interferencia por doble ranura: Efecto de incrementar el número de ranuras.

Procedimiento

Examinar la placa de cuatro grupos de ranuras y registrar las características que trae grabada.

Repetir las operaciones descriptas en el ensayo anterior.

Observar el efecto, en la figura de la pantalla, de incrementar N (específicamente sobre la presencia de máximos principales y secundarios, las intensidades y número de ellos).

Comentar resultados con referencia al patrón de doble ranura Fig. 12.3.

Deducir: en el supuesto de contar con un elemento de muchas ranuras ($N \gg 2$), manteniendo la separación entre ellas: *¿Cuál sería la figura que observaría en la pantalla?*

Experiencia 12.4

Interferencia en películas delgadas

Objetivo

- Observar y analizar el efecto de interferencia que se produce en películas delgadas.

Equipamiento

Fuente de luz: tubo fluorescente 20 W; 220 V. (luz blanca).

Pie, soportes del tubo y accesorios.

Filtros de color.

Cuña de aire preparada con dos placas de vidrio separadas en uno de sus extremos por una cinta de papel.

Procedimiento:

Examinar el dispositivo de trabajo que muestra la Fig. 12.6.

Preliminares: ubicándose en lo posible como indica la Fig. 12.7, observar las franjas de interferencia que se obtienen con luz blanca y colocando filtros de color.

Adoptar, para continuar los ensayos, luz filtrada de color cuya longitud de onda deberá estimar admitiendo que el filtro proporciona luz monocromática (esto es una aproximación razonable a los fines del ensayo; el filtro en realidad deja pasar una banda, que si bien es estrecha, no es una única longitud de onda).

Observar las figuras de interferencia

Presionar levemente las placas, por ejemplo con la punta de un lápiz, y explicar cualitativamente las modificaciones que se producen en las figuras de interferencias.

Entre dos franjas consecutivas: ¿En qué valor se modifica la distancia t de la cuña?

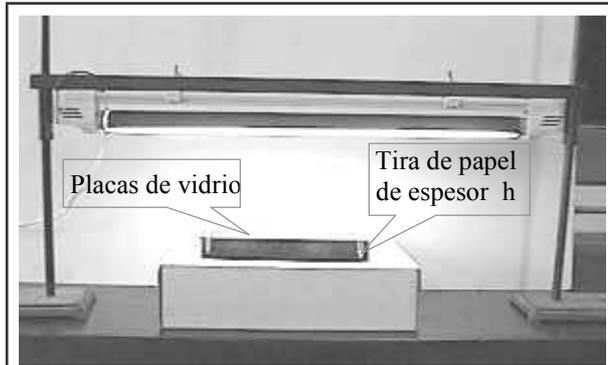


Fig. 12.6 Dispositivo experimental

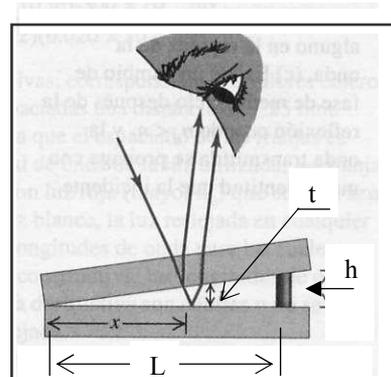


Fig. 12.7 Observación de las franjas

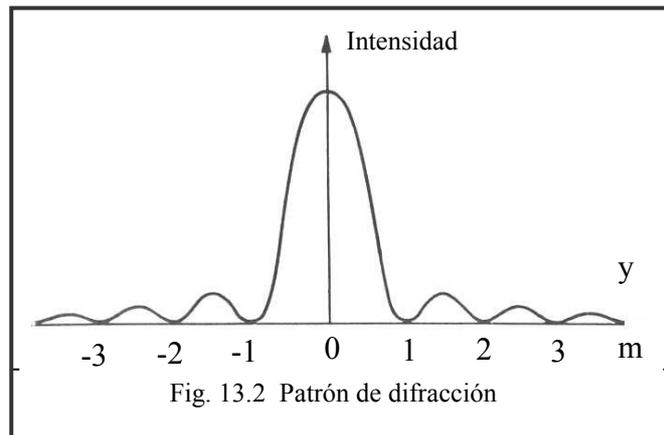
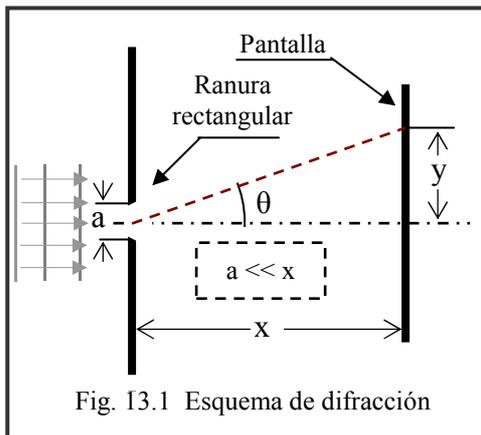
TRABAJO PRÁCTICO N° 13
DIFRACCIÓN

Introducción

Analizaremos el fenómeno de difracción de luz monocromática producidos en ranuras rectangulares y aberturas circulares; supondremos que se cumplen las condiciones para la difracción de Fraunhofer (lo cual es muy aproximadamente cierto si la ranura o la abertura está suficientemente alejada de la fuente de luz y de la pantalla).

La Fig. 13.1 representa esquemáticamente el sistema óptico para analizar la difracción de luz de longitud de onda λ , por una ranura rectangular de largo b y ancho a ; ($a \ll b$).

Se determina que, al pasar luz monocromática a través de una ranura rectangular de dimensiones adecuadas (ancho a pequeño, dimensión comparable con la longitud de onda λ), se produce una distribución de la intensidad que responde a un patrón característico, como el que muestra la Fig. 12.2, con una zona brillante intensa en el centro (máximo central de orden 1) y zonas brillantes que se van debilitando rápidamente en intensidad hacia los costados (máximos secundarios); todos simétricos con respecto a $\theta = 0$. Esta configuración se puede observar en la pantalla.



La posición angular del centro de los mínimos de difracción (puntos donde la intensidad es nula), viene dada por la relación:

$$\text{sen } \theta_{\text{min}} = m \frac{\lambda}{a} \quad (m = \pm 1; \pm 2; \dots) \quad (13.1)$$

Para una abertura circular de diámetro d , se obtiene un patrón análogo; la configuración tiene simetría radial y el centro del primer mínimo aparece para un ángulo θ_{min} que cumple la relación:

$$\text{sen } \theta_{\text{min}} = 1,22 \frac{\lambda}{d} \quad (13.2)$$

Experiencia 13.1

Objetivo

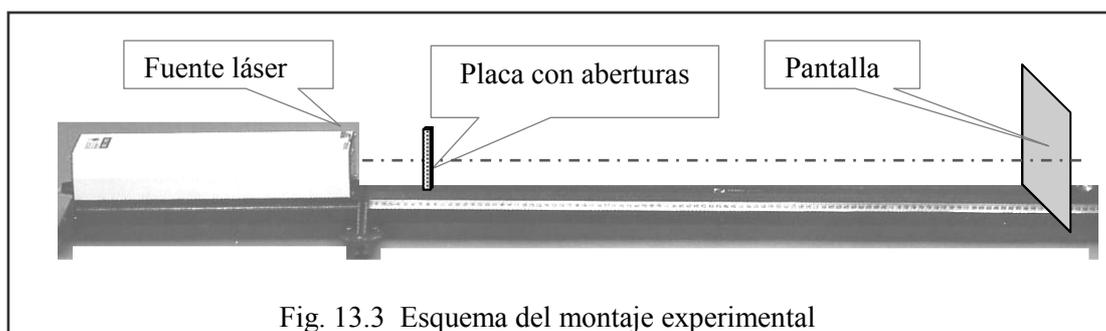
- Analizar figuras en la pantalla, que corresponden a fenómenos de difracción de luz monocromática por ranuras rectangulares y aberturas circulares, a efectos de comprobar cualitativamente su dependencia con el ancho a y el diámetro d , respectivamente.
- Determinar el ancho a de una ranura rectangular a partir de la figura, lograda en la pantalla, que corresponde a su patrón de difracción de luz monocromática.

Equipamiento

Fuente de luz monocromática: láser ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$).
Banco óptico con accesorios (portaobjetos y pantalla)
Placa con ranuras rectangulares de diferente ancho.
Placa con aberturas circulares de diferente diámetro.

Procedimiento

Efectuar el montaje de elementos como muestra la Fig. 13.3 y alinear fuente láser.



Difracción por ranuras rectangulares

Examinar la placa de ranuras rectangulares y registrar los datos (ancho a de cada ranura) que trae grabados.

Colocar la placa en el portaobjeto del banco. Desplazarla lateralmente de manera que intercale en el camino del haz las distintas ranuras. Observar el efecto que tiene modificar el ancho a de ranura sobre la correspondiente figura de difracción que obtiene en la pantalla (específicamente sobre el ancho de la zona brillante central; es decir, del ancho del máximo central). Comentar resultados.

Difracción por aberturas circulares

Examinar la placa de aberturas circulares y registrar los datos (diámetro d de cada abertura) que trae grabados.

Proceder igual que en el anterior. Observar el efecto que tiene modificar el diámetro d de la abertura en la figura de difracción de la pantalla. Comentar resultados.

Determinación del ancho a de una ranura rectangular a partir de su figura de difracción.

Colocar nuevamente en el portaobjeto la placa con ranuras rectangulares, elegir una ranura y colocarla interceptando el haz obteniendo, en la pantalla, la correspondiente figura de difracción.

Medir la distancia x (placa – pantalla) y, sobre la figura de la pantalla, medir la distancia y (posición lineal del primer mínimo).

Con los valores obtenidos, calcular el ancho a de la ranura aplicando la relación (13.1).

Comparar el resultado con el valor, del ancho de la ranura elegida, grabado en la placa. Comentar resultado.

Experiencia 13.2

Objetivo

- Corroborar la posición angular de los mínimos de difracción que corresponden a difracción de luz monocromática por ranuras rectangulares (ecuación 13.1).

- Corroborar la posición angular de los mínimos de difracción que corresponden a difracción de luz monocromática por aberturas circulares (ecuación 13.2).

Equipamiento

Fuente láser ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

Banco óptico.

Portaobjeto común y portaobjeto para montaje fibra óptica (Fig. 13.4)

Fotómetro con conexión fibra óptica (Fig. 13.5)

Placas con aberturas rectangulares y aberturas circulares.



Procedimiento

Sustituir la pantalla del equipo por el portaobjeto fibra óptica y conectar el fotómetro. Controlar alineación del sistema óptico. Observar que el instrumento señalará valores proporcionales a la intensidad de la radiación detectada mediante el extremo de la fibra óptica y que este lo desplazará ocupando diferentes posiciones lineales y .

Referencias: Figs. 13.1 y 13.2.

Ensayo difracción por ranura rectangular

Adoptar una ranura de la placa y tomar nota de su ancho a . Colocar la placa en el portaobjeto del banco de manera que la ranura produzca difracción del haz.

Medir y registrar la distancia x (placa – extremo fibra óptica).

Desplazar transversalmente el extremo de la fibra óptica, detectando la posición de los mínimos, a efectos de medir la distancia $2y$ (distancia entre las posiciones lineales de los mínimos de orden $m = \pm 1$). Tomar nota de la distancia $2y$.

Verificar si, con los valores obtenidos, se satisface la ecuación (13.1).

Ensayo difracción por abertura circular

Adoptar una abertura circular de la placa y proceder en forma similar al ensayo anterior; tomando nota del diámetro d de la abertura, midiendo y registrando las distancias x y $2y$.

Verificar si, con los valores obtenidos, se satisface la ecuación (13.2).

TRABAJO PRÁCTICO N° 14 ESPECTROMETRÍA – REDES DE DIFRACCIÓN

Introducción

La luz blanca ordinaria (luz del sol, luz de lámparas incandescentes, etc.) es una superposición de ondas cuyas longitudes de onda cubren, en forma continua, todo el espectro visible; por consiguiente, el espectro de la luz blanca ordinaria será un **espectro continuo de colores**.

En cambio, si la luz es producida por una lámpara eléctrica de descarga en un gas, solo aparecen unos cuantos colores que corresponden a longitudes de onda específicas y características de cada gas. En este caso tendremos los denominados **espectros de líneas**.

Al hacer incidir un haz de luz sobre una rejilla de difracción (también denominada red de difracción), esta “separa” las longitudes de onda presentes, pues cada una de ellas es desviada un cierto ángulo θ cuyo valor responde a la conocida relación para los máximos de interferencia:

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d} \quad (m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots) \quad (14.1)$$

En esta expresión:

d es el espaciamiento de las líneas de la red. (Las redes vienen normalmente especificadas por N , su número de líneas por mm, por consiguiente, $d = \frac{1}{N}$).

m es el “orden” del espectro (generalmente se opera con $m = 1$).

θ es el ángulo de desviación de la línea de longitud de onda λ del espectro.

Esta propiedad de las redes de difracción se aplica para medir longitudes de onda del espectro visible.

Los procesos de medición se denominan espectroscopia o **espectrometría de red**, y los instrumentos utilizados espectrómetros de red.

Experiencia 14.1

I-Espectrómetro de red. Espectro continuo de colores

Objetivo

- Montar y operar un espectrómetro de red utilizando un banco de óptica a efectos de visualizar el espectro continuo de colores y verificar valores típicos de longitudes de onda correspondientes a diferentes colores.

Equipamiento

Banco óptico.

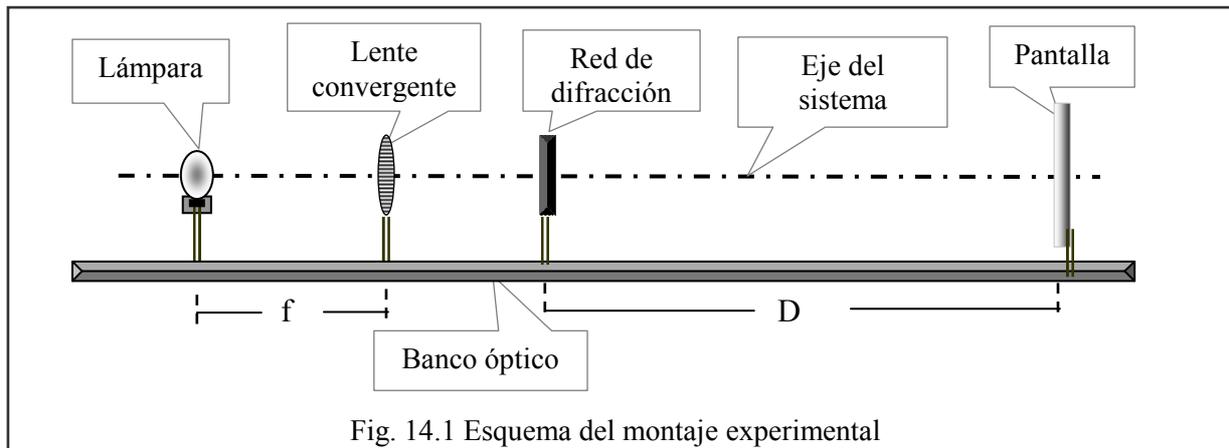
Fuente de luz: lámpara de filamento, halogenada; 12 V, 40 W.

Lente convergente de distancia focal f .

Red de difracción.

Pantalla.

Regla milimetrada. Figura y tabla: espectro de la luz solar.



Procedimiento:

Controlar el equipamiento y montaje de elementos que muestra la Fig. 14.1.

Tomar nota de la característica de la red de difracción; calcular su espaciamento d .

Preliminares: Ajustar la separación lámpara lente a la distancia focal f . Posicionar la pantalla de manera que se observe la totalidad del espectro de primer orden.

Medir las posiciones lineales (en la pantalla) de los colores que se observen tomando x en el centro de cada franja de color; calcular las respectivas posiciones angulares θ y las correspondientes longitudes de onda. Aplicar la relación (14.1).

Confrontar valores calculados de longitudes de onda con los señalados en la figura y tabla del equipo.

Experiencia 14.2

II- Espectrómetro de red

Objetivo

- Utilizando un espectrómetro de red determinar las longitudes de onda emitidas por el hidrógeno dentro del espectro visible y verificar la fórmula de Balmer.

Introducción.

El espectrómetro de red consta de:

Un colimador, con una ranura de ancho ajustable en su extremo, que toma la luz del tubo de descarga gaseosa, y la dirige al elemento desviador (en nuestro caso una red de difracción, también podría ser un prisma).

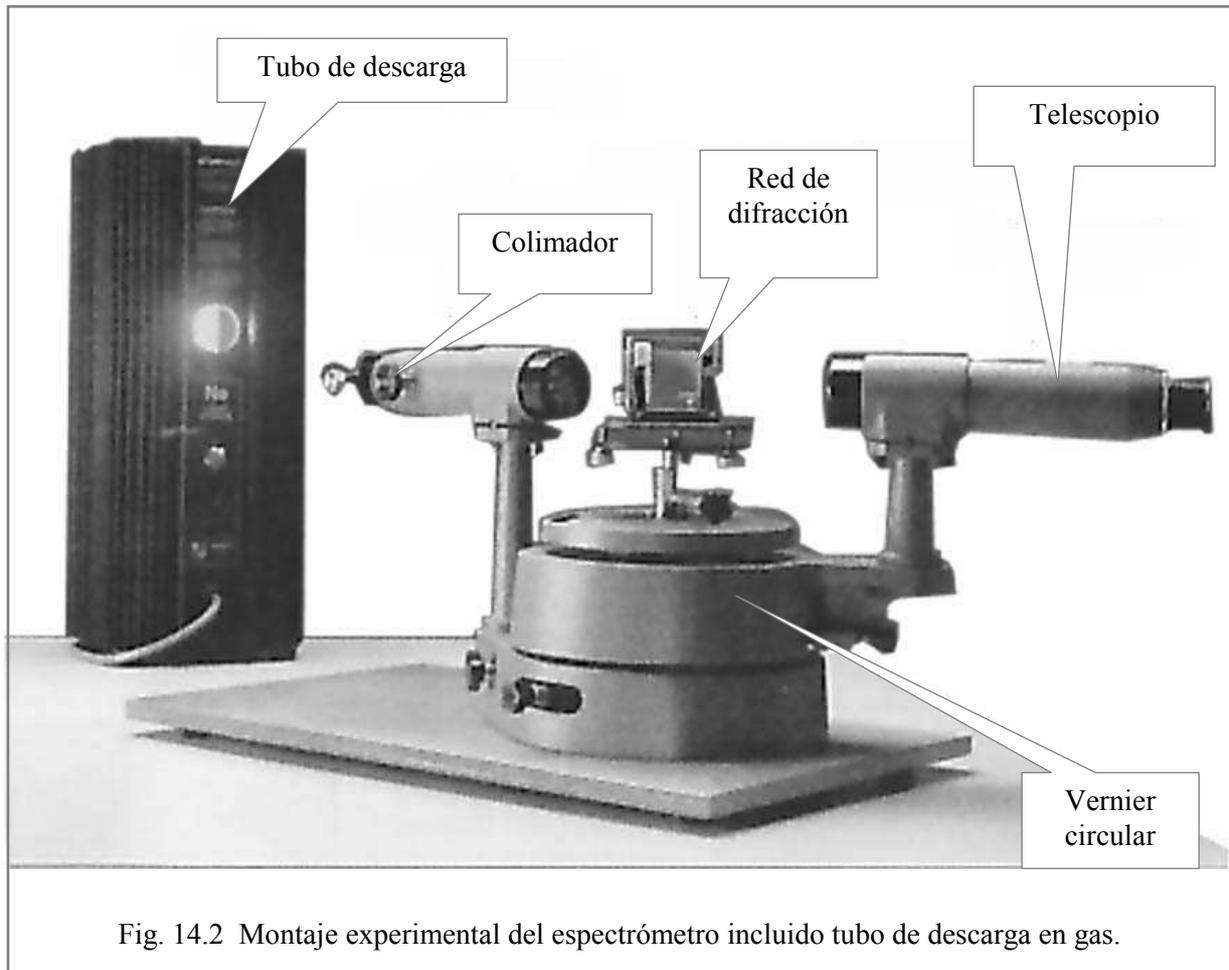
Una base en donde se coloca la red de difracción.

Un telescopio montado en un plato giratorio, con un vernier, que permite determinar con mucha precisión su posición angular (indeterminación $30''$ de arco).

Cada gas tiene un espectro característico, que lo identifica unívocamente. En nuestro caso trabajaremos con la parte visible del espectro de emisión del hidrógeno, cuyas longitudes de onda vienen dadas por la fórmula de Balmer (consultar en textos Guía de Estudio “*serie de Balmer*”)

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\left(\frac{1}{2^2} \right) - \left(\frac{1}{n^2} \right) \right] \quad n = 3; 4; 5; \dots \quad (14.2)$$

en donde $R_H = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ (Constante de Rydberg)



Equipamiento

Espectrómetro.

Red de difracción.

Tubo de descarga gas hidrógeno, con su correspondiente fuente de alimentación.

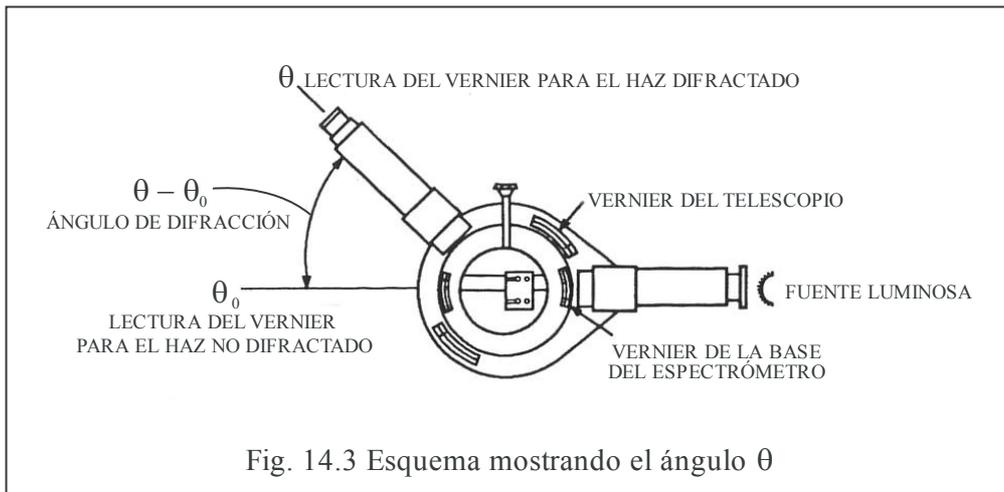
Precauciones

- **El tubo de descarga funciona con alta tensión.**
- **En funcionamiento, su temperatura se eleva considerablemente.**

Procedimiento

Examinar la red de difracción, tomando nota de su característica y determinar la constante de espaciamento d .

Preparar el equipo como indica la figura 14.2 y conectar el tubo de descarga



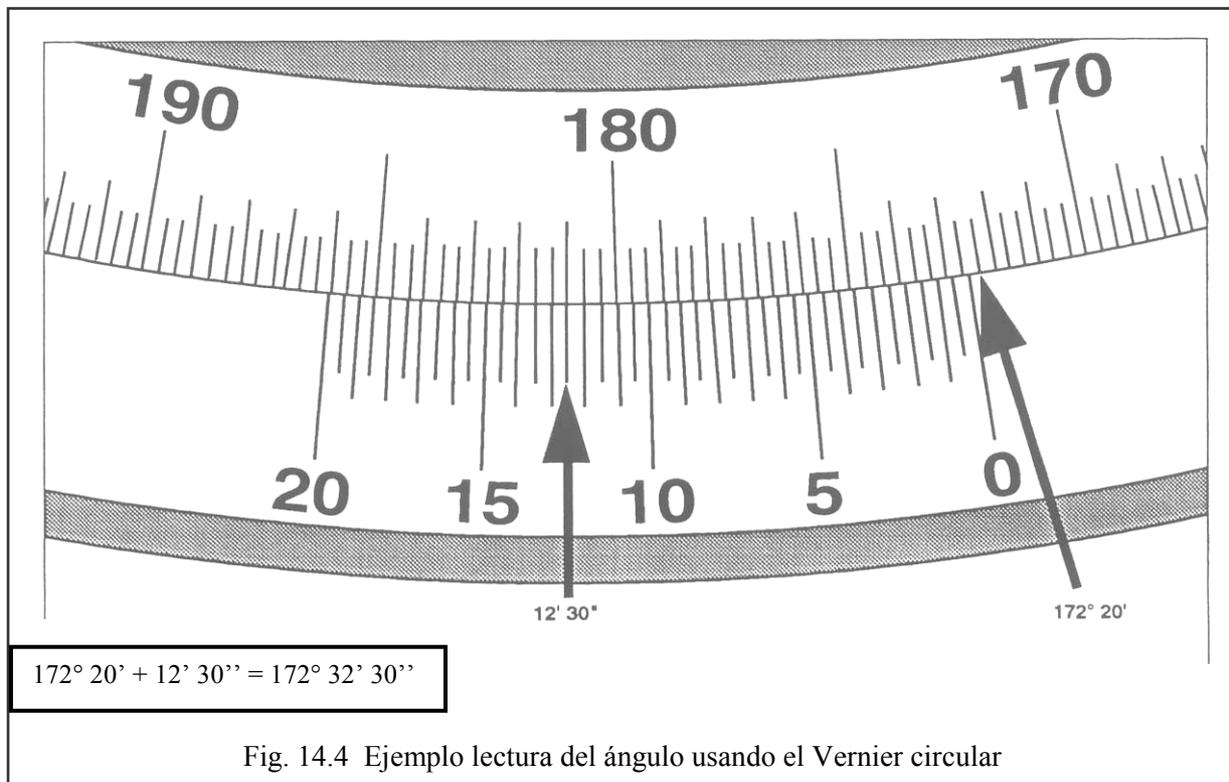
Leer la posición angular θ_0 , correspondiente al espectro de orden cero, con respecto a la cual se harán todas las medidas de ángulos (Procedimiento mostrado por las Fig. 14.3 y 14.4)

Determinar, por diferencia con θ_0 , la posición angular de las distintas líneas de emisión del espectro de primer orden y calcule las respectivas longitudes de onda aplicando la relación (14.1).

Calcular las longitudes de onda aplicando la fórmula de Balmer para $n = 3; 4$ y 5

Comparar resultados longitudes de onda medidas con el espectrómetro vs. longitudes de onda calculadas.

Describir conclusiones.



Comentario

En la Exp. 14.1 ha utilizado un espectrómetro de red, montando elementos en un banco óptico, “visualizando” en una pantalla el espectro de la luz emitida por una lámpara de filamento (luz blanca); ha comprobado que la luz blanca ordinaria incluye todas las longitudes de onda visibles, ha tomado como referencia el espectro de la luz solar (que figura en la Tabla) y ha comprobado los valores típicos de longitudes de onda que se adjudican en la práctica a cada color.

En la Exp. 14.2 ha utilizado un espectrómetro de red de fabricación normal y determinado con suma precisión las longitudes de onda de la radiación emitida por el hidrógeno dentro del espectro visible aplicando una técnica instrumental que se denomina **espectroscopía** o **espectrometría**.

Esta técnica tiene muchas aplicaciones prácticas en análisis y determinación de propiedades y componentes químicos de sustancias.

