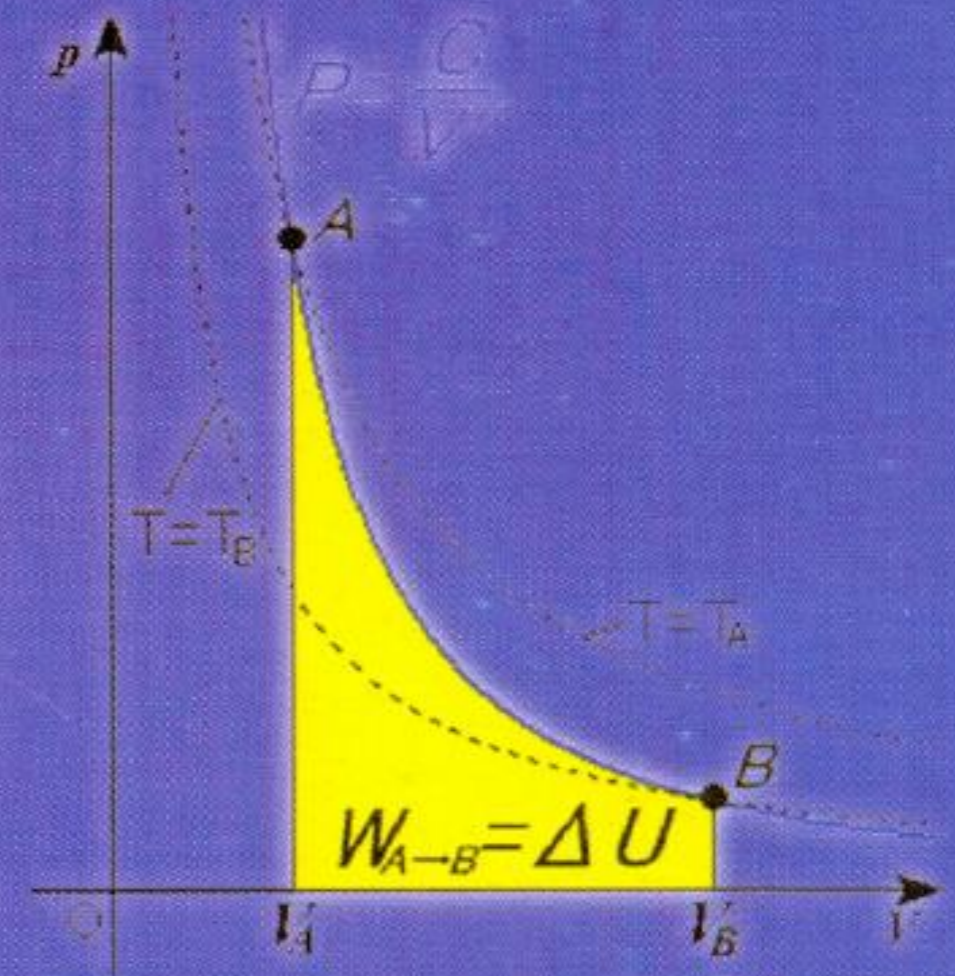
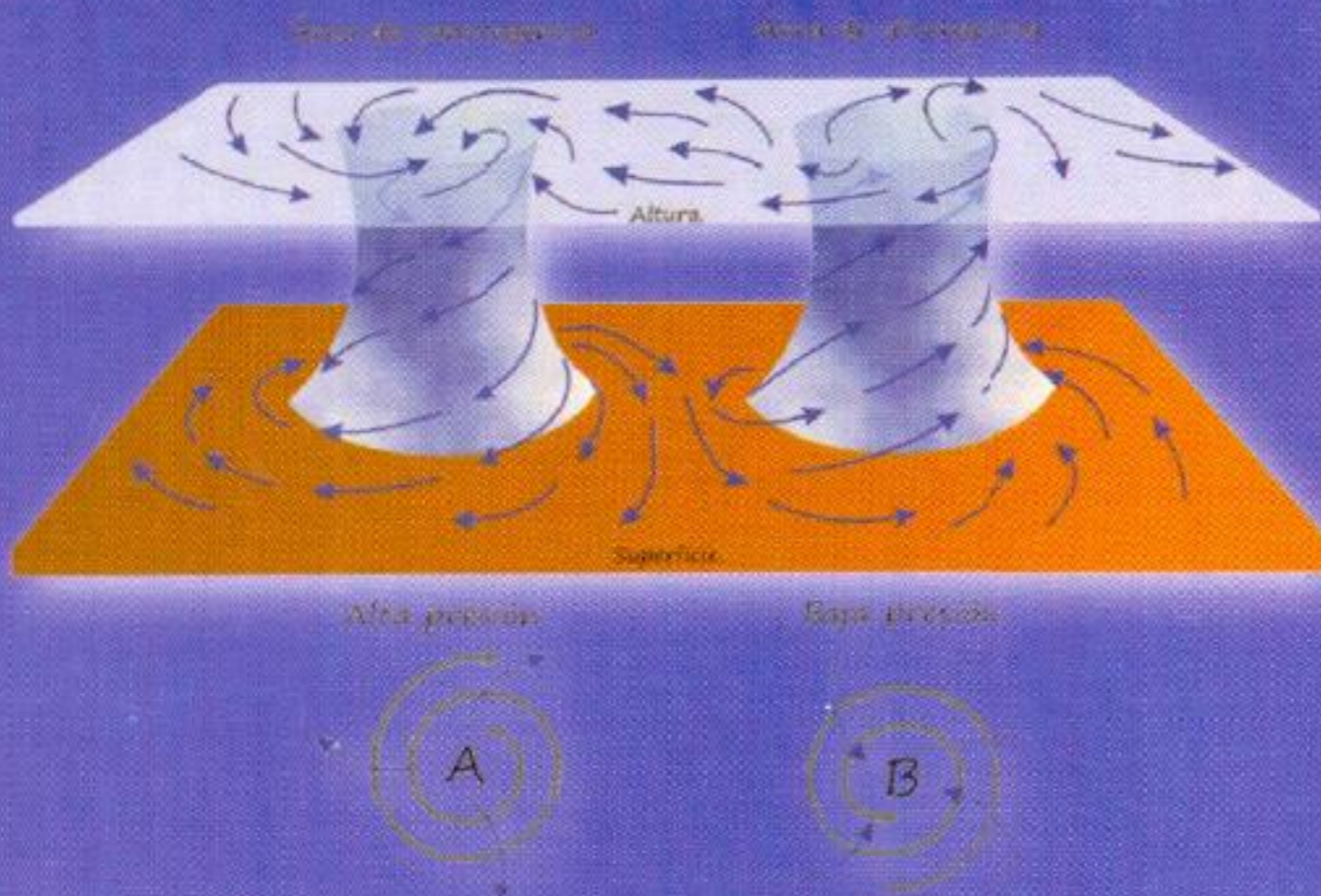
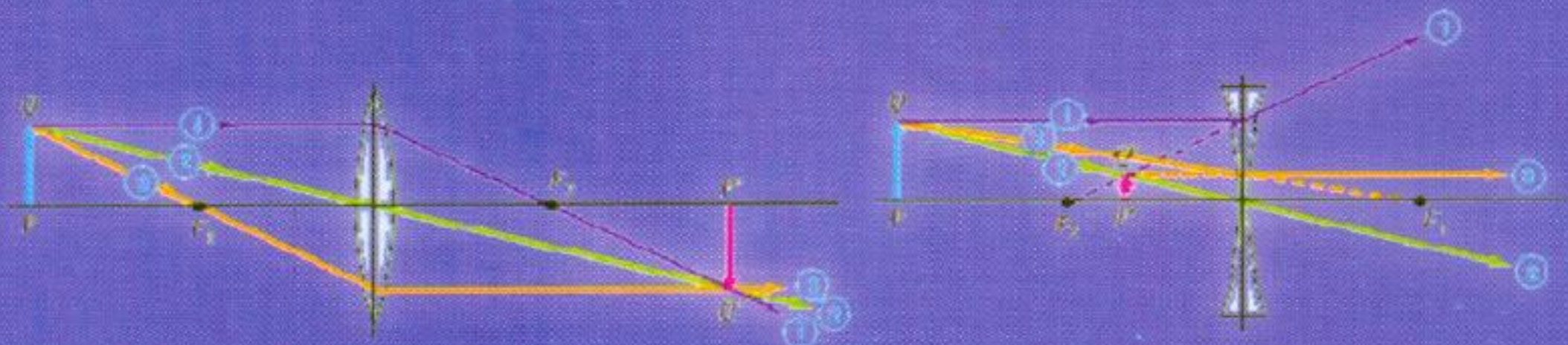


Prácticas de Laboratorio de Física General



$$E = mc^2$$





Universidad
de Alcalá



PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA GENERAL

FREE**LIBROS**.ORG

INTRODUCCIÓN

Este libro de Prácticas de Laboratorio de Física General es el resultado del trabajo realizado en los Talleres de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades de la UNAN-León, dentro del Proyecto de cooperación al desarrollo “Profesionalización y Formación del Profesorado de Ciencias Naturales en la Región Centroamericana del Golfo de Fonseca”, A1/039448/11, financiado por la AECID y del programa FECINCA, entre las universidades UNAN-León, UES (El Salvador), UPNFM (Honduras), UAH (España) y UCM (España).

Las prácticas experimentales se han clasificado en Mecánica, Termodinámica, Electromagnetismo y Óptica. Todas ellas se introducen con un resumen teórico, continúan con la explicación del procedimiento a seguir y la obtención de los resultados experimentales. Finalmente se analizan estos resultados y los errores de las medidas.

A continuación se incluyen algunas prácticas demostrativas o experimentos sencillos, pero muy ilustrativos, para realizar en el aula como introducción o colofón de un tema teórico.

Por último, se ha añadido como Apéndice un pequeño manual de Prácticas de Física de bajo costo. Aunque algunas de estas prácticas coinciden con otras de la primera parte, su metodología es diferente, ya que mientras en las primeras el objetivo es realizar medidas de las magnitudes físicas y estimar los errores, las últimas se limitan a dar a conocer los fenómenos físicos y pueden ser utilizadas en niveles más bajos de la enseñanza.

Nuestro objetivo con la presente edición es que este libro pueda servir de ayuda a los profesores de Enseñanza Secundaria de los tres países centroamericanos para reforzar la componente experimental en la docencia de la Física, que nos parece esencial para una formación adecuada de los alumnos.

Los profesores que han contribuido a la realización de las prácticas de este libro en los talleres de junio 2010 y febrero 2012 son:

- UES: Juan Ernesto Gómez, Gloria Elisabeth Larios, Rafael Cayetano Cartagena, Raúl Antonio Alfaro, Blanca Mirian Ramos y Abel Martínez.
- UPNFM: Héctor Lionel Pineda y Ricardo Humberto García.
- UNAN-León: Edda Guadalupe Romero y Elías Trejos
- UCM: Genoveva Martínez, Eloísa López y Alicia Prados

ÍNDICE

	Pág.
PRÁCTICAS EXPERIMENTALES	
MECÁNICA	7
TERMODINÁMICA	52
ELECTROMAGNETISMO	79
ÓPTICA	137
PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS	156
MANUAL DE PRÁCTICAS	
DE BAJO COSTO	163

MECANICA
PRÁCTICAS EXPERIMENTALES.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 1
“ESTUDIO DEL PÉNDULO SIMPLE”

I. OBJETIVOS

Que los estudiantes:

- ❖ Verifiquen la relación entre el periodo de oscilación y la longitud de un péndulo simple.
- ❖ Determinen el valor de g en el laboratorio.

II. FUNDAMENTACION TEORICA

Un péndulo simple se define como una partícula de masa m suspendida del punto “O” por un hilo inextensible de longitud l y de masa despreciable. Al poner a oscilar el péndulo su movimiento es periódico. Período de oscilación (T): es el tiempo que tarda el péndulo en realizar una vuelta completa y volver a la posición inicial. Para ángulos pequeños, menores de 15° , el período del péndulo viene dado por la ecuación

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo l la longitud del hilo y g la aceleración de la gravedad.

Si la partícula se desplaza desde “O” a una posición θ_0 (ángulo que hace el hilo con la vertical) y luego se suelta, el péndulo comienza a oscilar (figura 1)

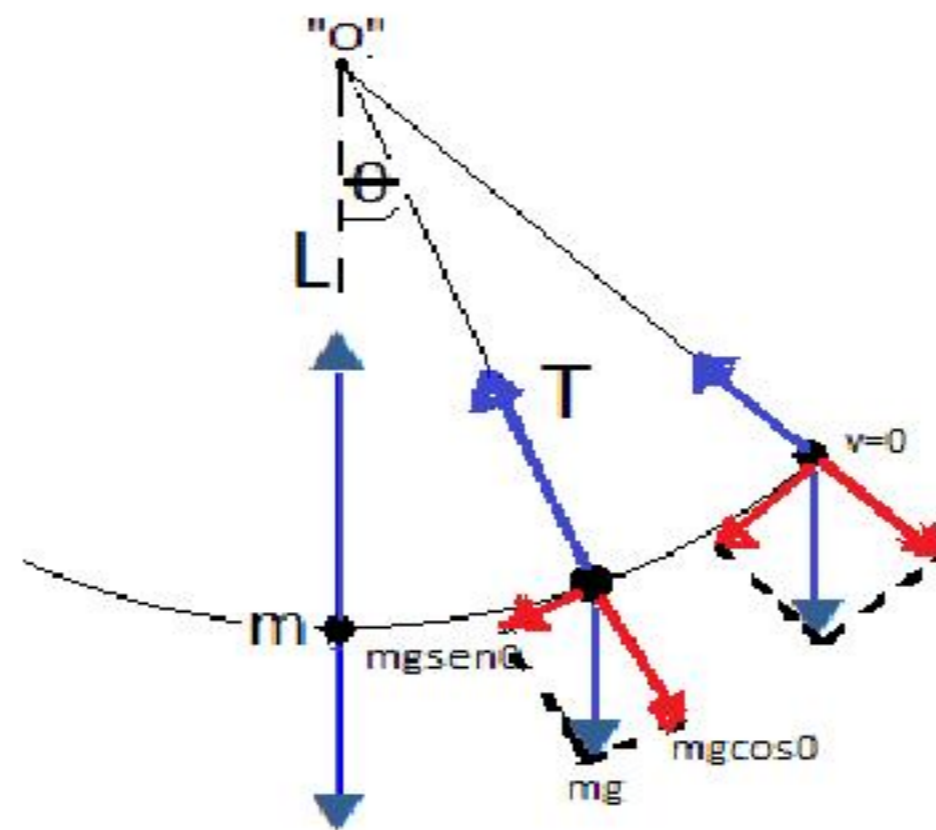


Figura 1.
Péndulo simple

El péndulo describe un arco de una circunferencia de radio L . Las fuerzas que actúan sobre la partícula de masa m son dos: el peso mg y la tensión T del hilo.

Descomponemos el peso en la acción simultánea de dos componentes, $mg \cdot \sin \theta$ en la dirección tangencial y $mg \cdot \cos \theta$ en la dirección radial

Ecuación del movimiento en la dirección radial

La aceleración de la partícula dirigida hacia el centro de su trayectoria circular es:

$$a = \frac{v^2}{l} \quad (\text{Ec. 2})$$

La segunda ley de Newton se escribe:

$$ma = T - mg \cos \theta \quad (\text{Ec. 3})$$

Conocido el valor de la velocidad v en la posición angular θ podemos determinar la tensión T del hilo.

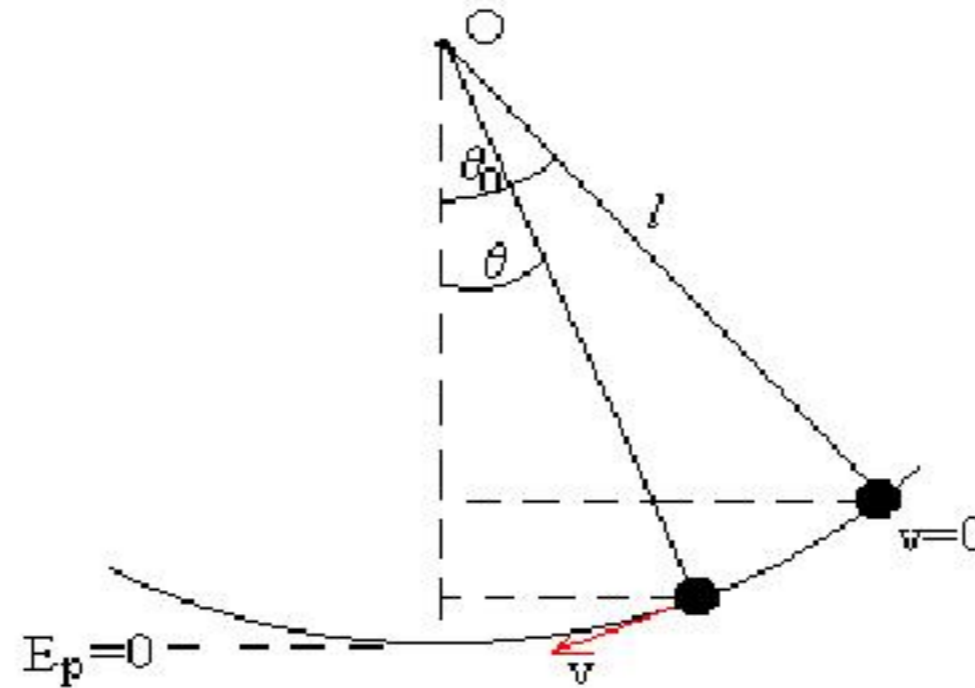
La tensión T del hilo es máxima, cuando el péndulo pasa por la posición de equilibrio,

$$T = mg + \frac{m v^2}{l} \quad (\text{Ec.4})$$

Es mínima, en los extremos de su trayectoria cuando la velocidad es cero, $T = mg \cos \theta_0$

Principio de conservación de la energía

En la posición $\theta=\theta_0$ el péndulo solamente tiene energía potencial, que se transforma en energía cinética cuando el péndulo pasa por la posición de equilibrio

**Figura 2**

Variación de la energía potencial y cinética del péndulo simple

Comparemos dos posiciones del péndulo: En la posición extrema $\theta=\theta_0$, la energía es solamente potencial.

$$E = mg(l - l \cos \theta_0) \quad (\text{Ec. 5})$$

En la posición θ , la energía del péndulo es parte cinética y la otra parte potencial

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + mg(l - l \cos \theta) \quad (\text{Ec. 6})$$

Por conservación de energía, al igualar las ecuaciones 5 y 6 se obtiene la velocidad con que oscila la masa del péndulo:

$$v^2 = 2gl(\cos \theta - \cos \theta_0) \quad (\text{Ec. 7})$$

Conociendo la velocidad, se puede determinar el valor en la tensión en la cuerda utilizando la Ec. 4.

La tensión de la cuerda no es constante, sino que varía con la posición angular θ . Su valor máximo se alcanza cuando $\theta=0$, el péndulo pasa por la posición de equilibrio (la velocidad es máxima). Su valor mínimo, cuando $\theta=\theta_0$ (la velocidad es nula).

Se mide el tiempo que tarda en realizar un cierto número de oscilaciones. El tiempo para una oscilación se calcula dividiendo dicho tiempo entre número de oscilaciones.

III. TAREA PREVIA

- 1) ¿Qué tipo de proporcionalidad representa la relación entre el período y la longitud de un péndulo simple?
- 2) ¿Qué representa la pendiente de la gráfica T contra L.?
- 3) ¿Influye el valor de la masa del péndulo en su período de oscilación?
- 4) Escriba algunas aplicaciones del péndulo simple

IV. MATERIAL Y EQUIPO

- Un soporte
- Un cronómetro
- Hilo
- Una calculadora
- Una cinta métrica
- Una tijera
- Un transportador
- Dos varillas
- Una prensa nuez
- Masa (esfera o bola metálica)
- Papel milimetrado
- Una balanza
- Una cinta adhesiva

V. PRECACUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD

- ❖ Revise el estado y la cantidad del equipo asignado
- ❖ Asegure que las varillas esté bien sujetas con la prensa nuez
- ❖ No deje caer los cronómetros y la cinta métricas
- ❖ Mantenga en su mesa de trabajo sólo el equipo a utilizar
- ❖ Después de cortar el hilo cierre la tijera
- ❖ No juegue con la esfera metálica y las cintas métricas
- ❖ Deje el equipo ordenado y entregarlo al profesor o instructor

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 1) Mida la masa de la esfera
- 2) Sujete la esfera a un hilo de 15 cm de longitud como se muestra en la Fig. 3. La longitud del péndulo se mide desde el extremo fijo al centro de la esfera.



Figura 3

Montaje experimental del péndulo en posición de equilibrio

- 3) Separe el hilo de su posición de equilibrio hasta un ángulo de 13° y déjelo oscilar libremente, mida el tiempo que tarda en dar 10 oscilaciones completas. Repita la medida 10 veces sin cambiar la longitud. Anotar los resultados en la tabla No. 1. Repita el numeral para las longitudes: (30, 45, 60 y 75) cm.



Figura 4

Montaje experimental

VII. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS

Masa de la esfera (g): _____

Tabla No. 1: Valores de tiempos de oscilación de un péndulo simple

L (cm)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)	t ₆ (s)	t ₇ (s)	t ₈ (s)	t ₉ (s)	t ₁₀ (s)
15										
30										
45										
60										
75										

VIII. INDICACIONES PARA EL ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- 1) Utilizando los datos de la tabla No. 1. Determine el tiempo promedio para cada longitud (el tiempo promedio se obtiene a través de la media aritmética). Anote sus resultados en la tabla No. 2
- 2) Calcule el período de oscilación utilizando la Ec. 1 para las diferentes longitudes. Anote sus resultados en la tabla No 2.
- 3) Tomando el período obtenido a través de la Ec 1 como valor teórico (V_T) y el valor del tiempo promedio como valor medido (V_M). Determine el porcentaje de error con la siguiente ecuación

$$\% e = \left| \frac{V_T - V_M}{V_T} \right|$$

Tabla No 2: Valores del período de oscilación de un péndulo simple

L (cm)	t promedio (s)	T promedio (s)	% e
15			
30			
45			
60			
75			

- 4) Utilizando los datos de la tabla No.2. Realice en papel milimetrado el gráfico Período contra longitud
- 5) A partir del gráfico anterior. Cuál es la relación de proporcionalidad entre el periodo de oscilación y la longitud de péndulo simple
- 6) Encuentre la ecuación matemática del gráfico
- 7) ¿Influye el valor de la masa del péndulo en su período de oscilación?
- 8) Escribe tus conclusiones.

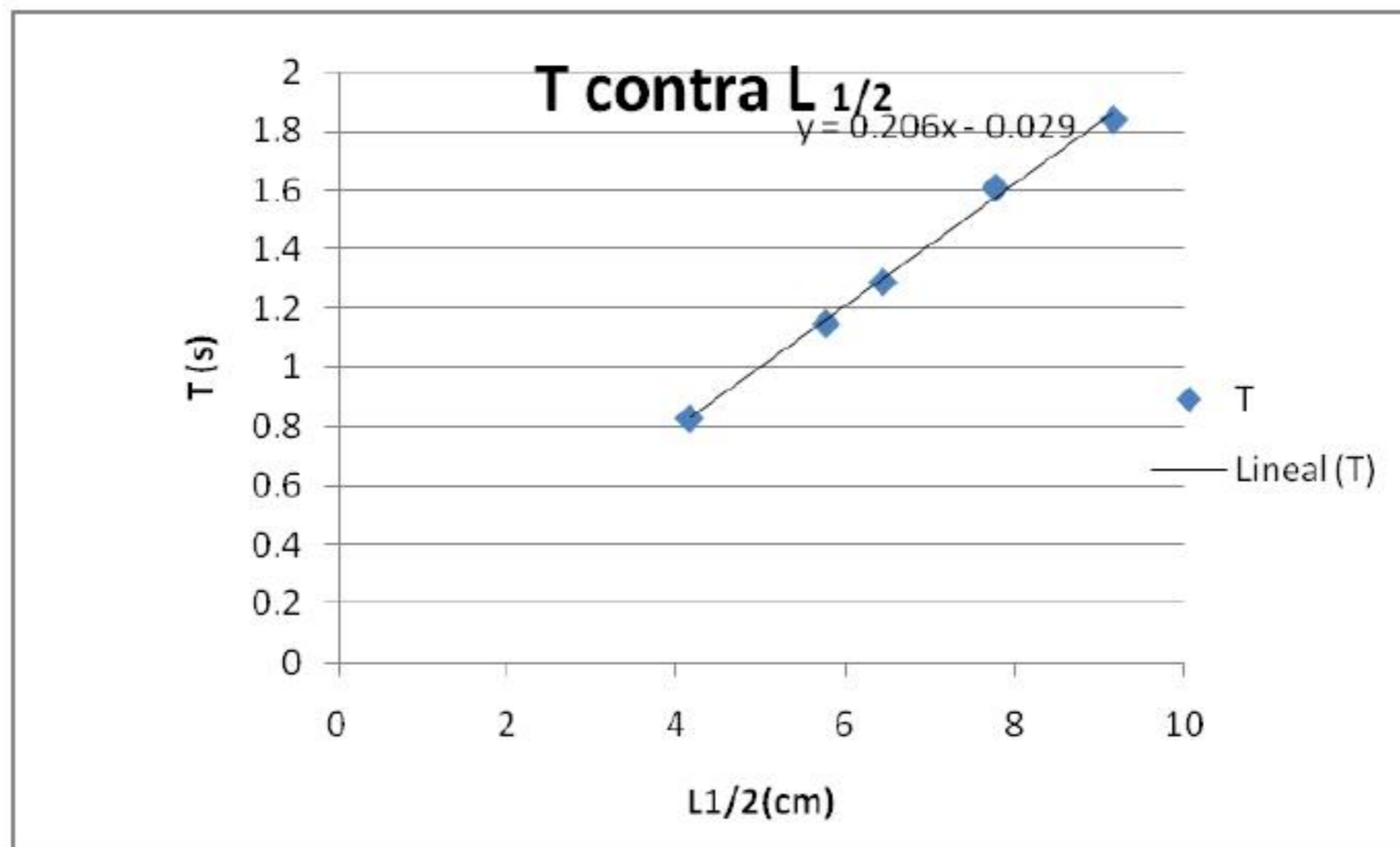
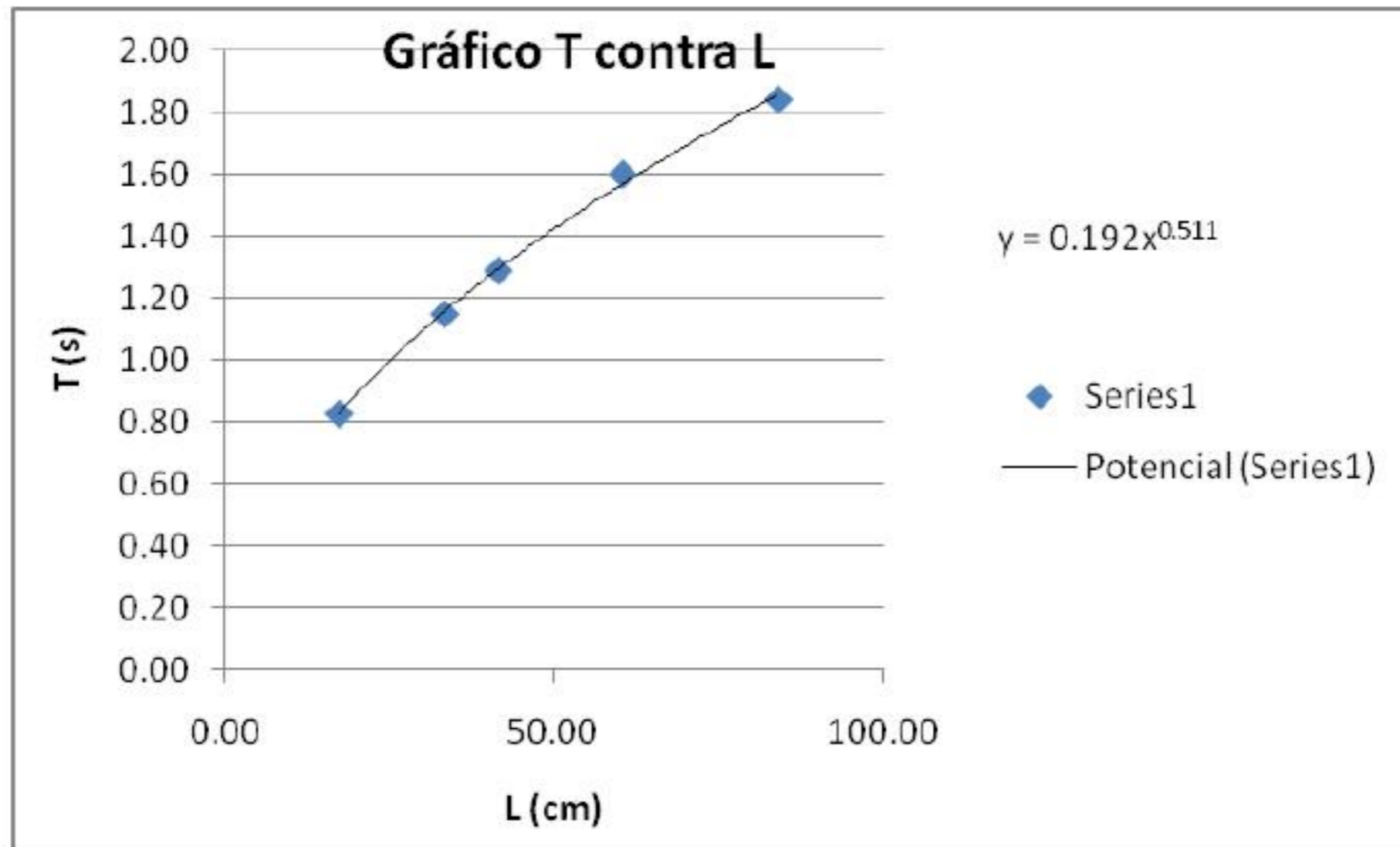
RESULTADOS EXPERIMENTALESMasa de la esfera, $m = (48.65 \pm 0.01) \text{ g}$ **Tabla No. 1:** Valores de tiempos de oscilación de un péndulo simple

L (cm)	t₁(s)	t₂(s)	t₃(s)	t₄(s)	t₅(s)	t₆(s)	t₇(s)	t₈(s)	t₉(s)	t₁₀(s)
17.3	8.30	8.81	8.69	8.56	8.59	8.62	8.44	8.66	8.69	8.70
33.3	11.61	11.50	11.47	10.93	11.50	11.53	11.56	11.56	11.57	11.53
41.5	12.53	12.47	12.68	12.91	12.88	12.93	12.78	12.48	12.57	13.04
60.4	16.29	16.21	15.90	15.88	15.90	16.09	16.19	15.88	16.06	16.04
84.0	18.34	18.47	18.25	18.53	18.50	18.63	18.35	18.13	18.75	18.56

Tabla No 2: Valores del período de oscilación de un péndulo simple

L (cm)	L^{1/2} (cm)	t promedio (s)	T promedio (s)	% e	g(cm/s²)
17.30	4.16	8.61	0.86	3.6 %	991.4
33.30	5.77	11.5	1.15	0.9 %	994.0
41.50	6.44	12.9	1.29	1.6 %	984.5
60.40	7.77	16.1	1.61	0.6 %	919.9
84.00	9.16	18.4	1.84	1.1 %	979.5

Gráficas.



Valor de $g = 973.86 \text{ cm/s}^2$

El porcentaje de error es: 0.6 %

9) Escribe tus conclusiones

La experiencia del péndulo es muy significativa porque a partir de ella se refuerzan muchos conceptos como : gravedad, periodo, masa y además se refuerzan los gráficos ; pues se obtiene de la forma lineal así como relaciones de proporcionalidad elevadas a un exponente. En esta práctica se pudo comprobar que el periodo es independiente de la masa y que depende directamente de la longitud ($L^{1/2}$), de los valores obtenidos se pudo comprobar que a mayor longitud del péndulo se comete menos error al efectuar la medida.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 2
“EQUILIBRIO DE UN CUERPO RIGIDO”

I. OBJETIVOS

Que los estudiantes:

- ❖ Verifiquen las condiciones de equilibrio para un cuerpo rígido.

II. FUNDAMENTACION TEORICA

Cuerpo rígido. Se define como un cuerpo ideal cuyas partes (partículas que lo forman) tienen posiciones relativas fijas entre sí cuando se somete a fuerzas externas, es decir es no deformable.

Cuando un cuerpo está en equilibrio, debe de estar en reposo o en estado de movimiento rectilíneo uniforme. Si todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo tienen un solo punto de intersección y la suma vectorial es igual a cero, el sistema debe estar en equilibrio. Al estudiar el equilibrio debemos considerar no sólo la magnitud y dirección de cada una de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, sino también su punto de aplicación.

La primera condición de equilibrio nos dice: *Que la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es igual a cero:*

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{0} \quad (\text{Ec. 1})$$

En tales casos la suma de todas las componentes en x es cero ($\sum F_x = 0$) y la suma de todas las componentes en y es cero ($\sum F_y = 0$) y se dice que hay equilibrio traslacional.

En la figura 1 se aplican dos fuerzas iguales pero opuestas se aplican hacia la derecha y hacia la izquierda

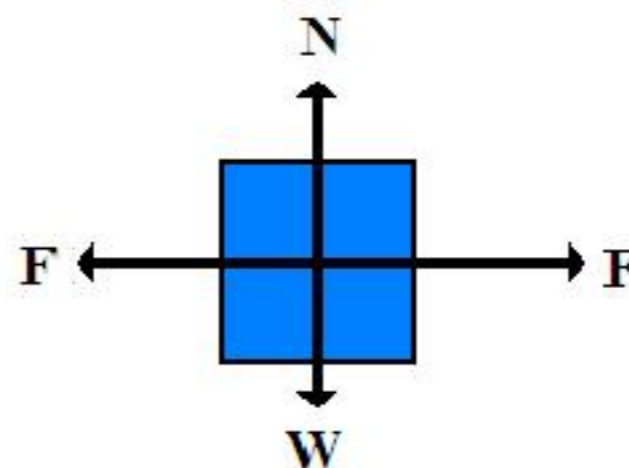


Figura 1

Fuerzas en equilibrio

En la figura 2 el cuerpo gira aun cuando la suma vectorial de las fuerzas siga siendo igual a cero y las fuerzas F no tienen la misma línea de acción, no hay equilibrio

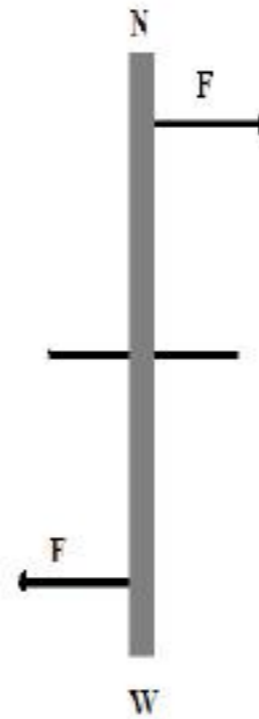


Figura 2

Fuerzas que no tienen la misma línea de acción

La línea de acción de una fuerza es una línea imaginaria extendida indefinidamente a lo largo del vector en ambas direcciones. Cuando las líneas de acción no se interceptan en un mismo punto, puede producirse rotación respecto a un punto llamado eje de rotación

Momento de torsión

Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, el cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos **momento** de la fuerza.

El momento de la fuerza es un vector que se calcula así

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (\text{Ec. 2})$$

Su módulo se calcula así:

$$\tau = Fr \sin \theta \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

\mathbf{F} : la fuerza aplicada, \mathbf{r} : el brazo de palanca, θ : el ángulo entre \mathbf{F} y \mathbf{r}

Las unidades del momento de torsión son $\text{N}\cdot\text{m}$. Sentidos del momento de una fuerza: antihorario [(a) +], horario [(b) -]



Brazo de palanca de una fuerza es la distancia perpendicular desde la línea de acción de la fuerza al eje de rotación figura 3

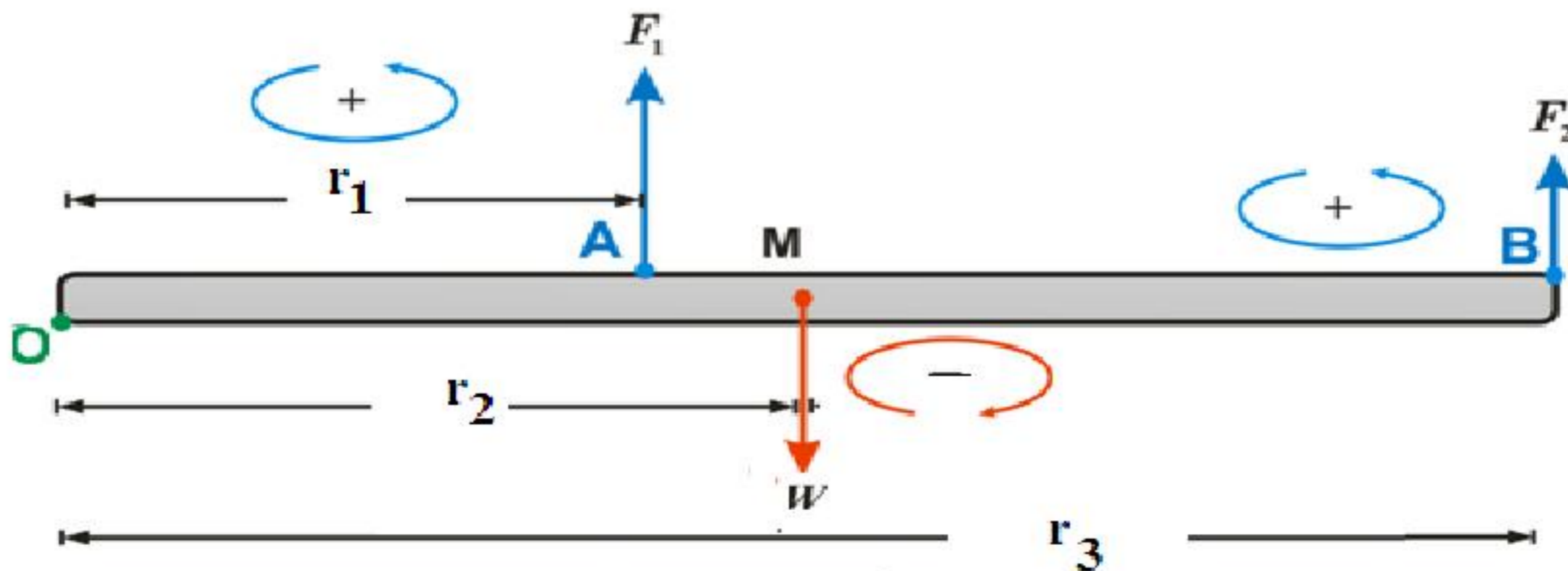


Figura 3
Brazos de palanca

La segunda condición de equilibrio nos dice: *la suma vectorial de todos los momentos de torsión alrededor de cualquier eje de rotación debe ser igual a cero*

Matemáticamente se expresa así:

$$\sum \tau = 0, \quad \sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 0 \quad (\text{Ec. 4})$$

Existe equilibrio total cuando la primera y segunda condición se satisface. En tales casos pueden escribirse tres ecuaciones independientes

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum \tau = 0$$

III. TAREA PREVIA

- 1) Cuáles son las condiciones que se cumplen para que exista el equilibrio traslacional y rotacional?
- 2) ¿Cuándo existe equilibrio dinámico?
- 3) ¿Qué es el centro de masas de un cuerpo?
- 4) ¿Qué es el centro de gravedad de un cuerpo?
- 5) ¿En todos los cuerpos el centro de masa y el centro de gravedad se ubican en el mismo punto? _____ ¿Por qué?

IV. MATERIAL Y EQUIPO

- ❖ Regla con agujeros
- ❖ Hilo de nylon
- ❖ Balanza granataria
- ❖ Base soporte con pivote
- ❖ Juego de pesas
- ❖ Cinta métrica
- ❖ Porta pesas

V. PRECACUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD

- ❖ Revise el estado y la cantidad del equipo asignado
- ❖ Asegure que las varillas esté bien sujetas con la prensa nuez
- ❖ No deje caer los la cinta métrica y las pesas
- ❖ Mantenga en su mesa de trabajo sólo el equipo a utilizar
- ❖ No juegue con las masas y la cinta métrica
- ❖ Deje el equipo ordenado y entregarlo al profesor o instructor

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

PARTE A: Pivote ubicado en el centro de masa de la regla

- 1) Mida la masa de la regla. Anote valores en la tabla N° 1
- 2) Localice el centro de gravedad de la regla y mida esa distancia
- 3) Seleccione el agujero en el que coincide con el centro de gravedad e introduzca el pivote.
- 4) Ubique una masa m_1 en un porta pesa en un agujero de la regla a una distancia r_1 del pivote como se muestra en la figura 4.
- 5) Anote los resultados en la tabla N° 1

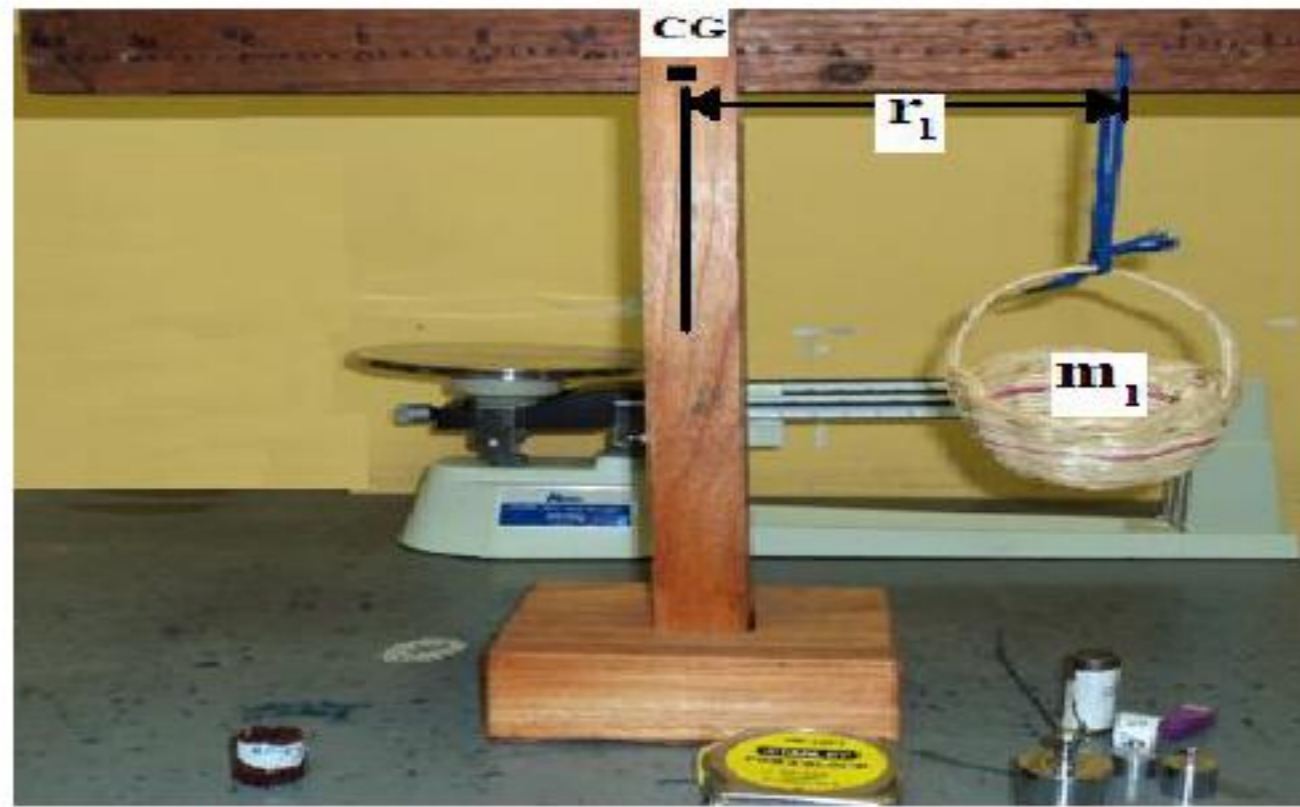


Figura 4

Montaje experimental, cuando el pivote está ubicado en el centro de gravedad de la regla y se ubica una masa m_1

- 6) En el otro extremo de la regla suspender un porta pesas y agregarle la masa necesaria hasta que se produzca equilibrio, ver figura 5. Anote los resultados en la tabla N° 1.



Figura 5

Montaje experimental, cuando el pivote está ubicado en el centro de gravedad de la regla

- 7) Quite la regla del pivote junto con las pesas suspendidas, mida con un dinamómetro la fuerza que el pivote ejerce sobre el sistema regla-pesas (Figura 6)

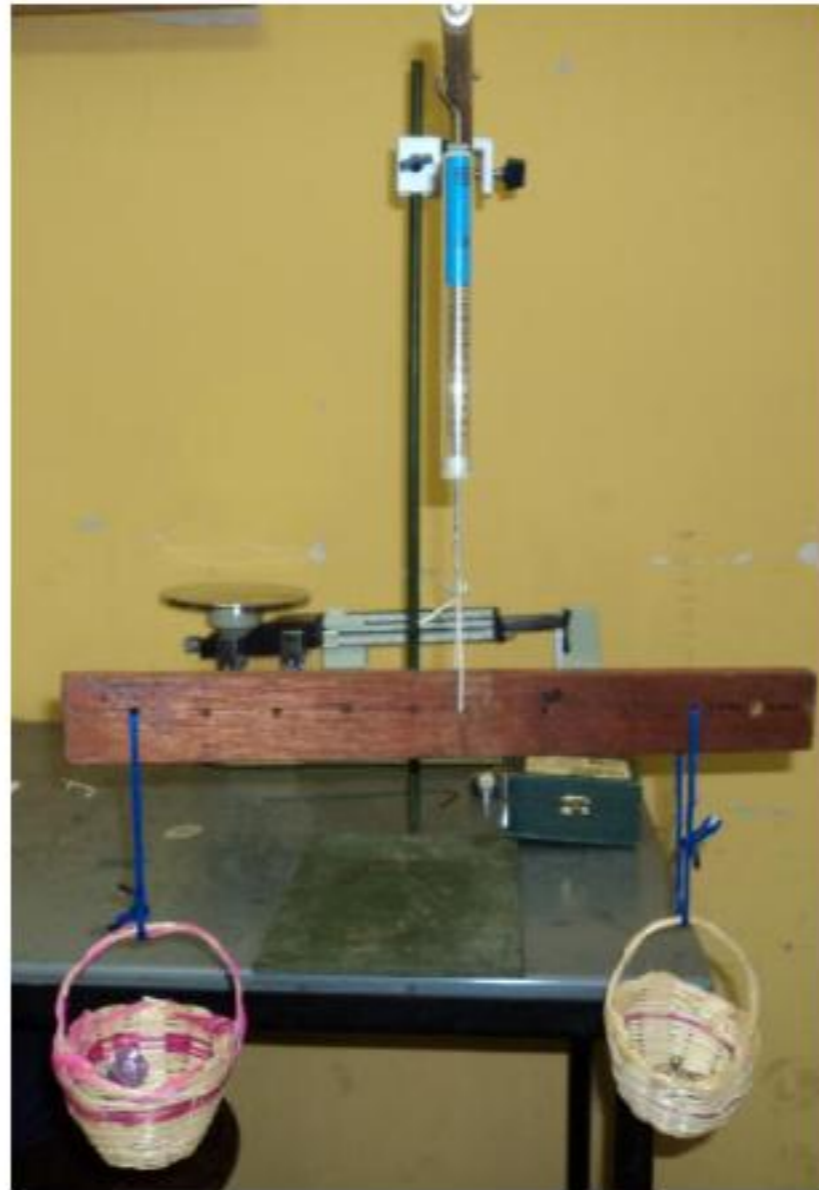


Figura 6
Medida de la fuerza ejercida por el pivote

PARTE B: Pivote ubicado a una distancia r del centro de masa de la regla

- 8) Seleccione un agujero a una distancia r del centro de masa e introduzca el pivote y suspenda la masa m_1 en un agujero a una distancia r del pivote (figura 7) y anote resultados en la tabla N° 2

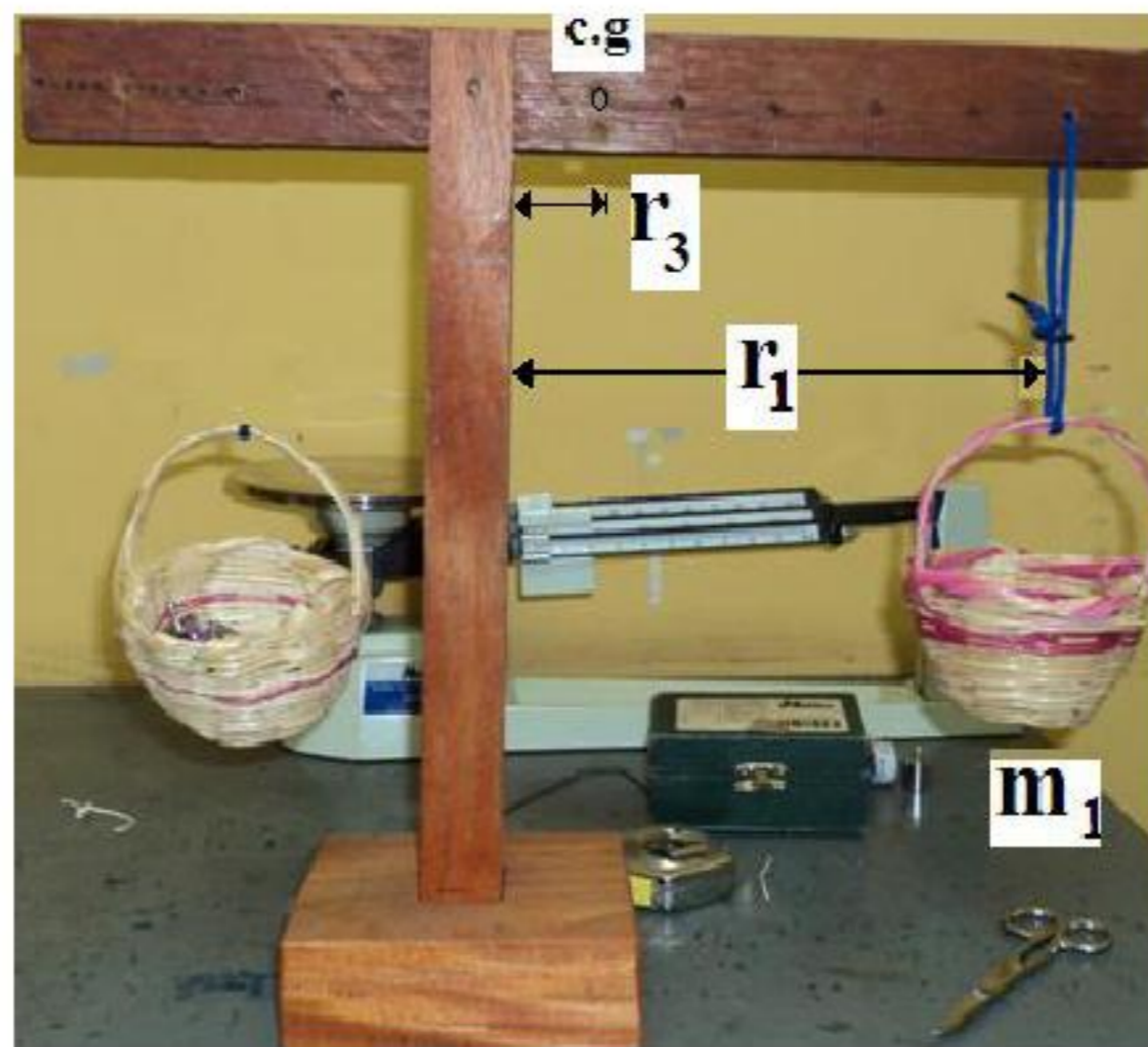


Figura 7

Montaje experimental, cuando el pivote está ubicado a una distancia r del centro de gravedad

- 9) En el otro extremo de la regla suspenda un porta pesas y agregarle la masa necesaria hasta que se produzca equilibrio (figura 8). Anote resultados en la tabla N° 2.

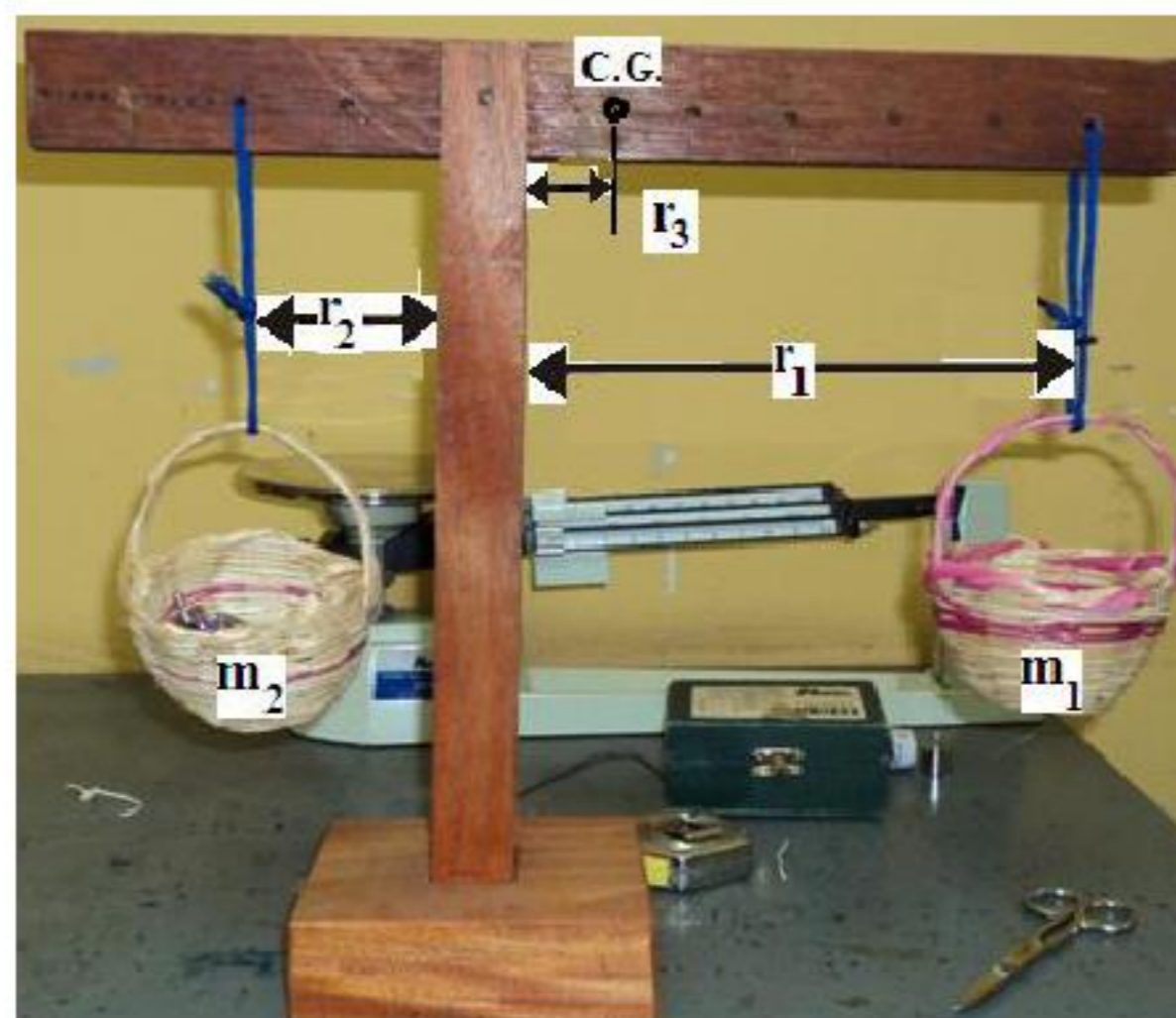


Figura 8

Montaje experimental, cuando el pivote está ubicado a una distancia r del centro de gravedad y las masas están en equilibrio

VII. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS**PARTE A: Pivote ubicado en el centro de masa de la regla****Tabla No. 1** Valores de masa y distancias

Objetos	m (kg)	r (m)
Regla		
Masa 1		
Masa 2		

Fuerza ejercida por el pivote _____

PARTE B: Pivote ubicado a una distancia r del centro de masa de la regla**Tabla No. 2** Valores de masa y distancias

Objetos	m (kg)	r (m)
Regla		
Masa 1		
Masa 2		

VIII. INDICACIONES PARA EL ANALISIS DE LOS RESULTADOS**PARTE A: Pivote ubicado en el centro de masa de la regla**

- 1) Utilice los datos de la tabla No. 1 para encontrar el valor de la fuerza aplicada y el momento de torsión para cada objeto. Deje constancia de los cálculos realizados y complete la tabla N° 3

Tabla N° 3 Momento de torsión para diferentes objetos

Objetos	m (kg)	r (m)	F (N)	T (Nm)
Regla				
Masa 1				
Masa 2				
		Σ		

- 2) Escriba la fuerza ejercida por el pivote _____
- 3) ¿Cómo es el valor de la fuerza ejercida por el pivote sobre el sistema regla – masas, comparada con la ΣF _____ Explicar.
- 4) Realice un esquema de los momentos de torsión encontrados en el numeral 1.
- 5) Aplique la segunda condición de equilibrio para los resultados de la tabla No. 3

PARTE B: Pivote ubicado a una distancia r del centro de masa de la regla

- 6) Utilice los datos de la tabla No. 2 para que encuentre el valor de la fuerza aplicada y el momento de torsión para cada objeto. Deje constancia de los cálculos realizados y complete la tabla N° 4

Tabla N° 4 Momento de torsión para diferentes objetos

Objetos	m (kg)	r (m)	F (N)	T (Nm)
Regla				
Masa 1				
Masa 2				

- 7) Realice un esquema de los momentos de torsión encontrados en el numeral 6.
 8) Aplique la segunda condición de equilibrio para los datos de la tabla No. 4
 9) ¿Qué valor se esperaba para la $\Sigma\tau$? _____ Justifique
 10) Si el valor de $\Sigma\tau$ no es como el esperado, ¿a qué puede atribuirse la diferencia?
 11) ¿Por qué se ubica el centro de gravedad de la regla a la mitad de ella?
 12) Escriba sus conclusiones y comentarios.

RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL**PARTE A: Pivote ubicado en el centro de masa de la regla****Tabla No. 1** Valores de masa y distancias

Objetos	m (kg)	r (m)
Regla	0.11569	0.2020
Masa 1	0.10680	0.1270
Masa 2	0.08110	0.1670

Fuerza ejercida por el pivote **$F = 2.90$ N**

PARTE B: Pivote ubicado a una distancia r del centro de masa de la regla**Tabla No. 2** Valores de masa y distancias

Objetos	m (kg)	r (m)
Regla	0.11569	0.0470
Masa 1	0.41200	0.2110
Masa 2	0.16520	0.0850

Tabla N° 3 Momento de torsión para diferentes objetos

Objetos	m (kg)	r (m)	F (N)	T (Nm)
Regla	0.11569	0.2020	1.1334	0.2289
Masa 1	0.10680	0.1270	1.0466	0.1329
Masa 2	0.08110	0.1670	0.7948	0.1327
		Σ	2.97	

13) Escriba la fuerza ejercida por el pivote: **2.90 ± 0.01 N**

14) ¿Cómo es el valor de la fuerza ejercida por el pivote sobre el sistema regla – masas, comparada con la ΣF **2.97 N** .

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 3

“LEY DE HOOKE”

I. OBJETIVOS

Que los estudiantes:

- ❖ Verifiquen la Ley de Hooke
- ❖ Calculen la constante de elasticidad de un resorte
- ❖ Determinen el límite de elasticidad.

II. FUNDAMENTACION TEORICA

Un cuerpo elástico se define como aquel que puede recuperar su forma y tamaño original cuando la fuerza que lo deformó deja de actuar sobre él. Muchos cuerpos son elásticos si la fuerza deformante no sobrepasa un cierto valor, denominado **límite elástico**, que depende de cada cuerpo y de cada sustancia. Si sobrepasamos éste límite elástico, el cuerpo ya no recupera su forma original; asimismo, podemos llegar al **límite de rotura**, que es la fuerza máxima que puede soportar un determinado cuerpo sin romperse.

Algunos cuerpos, una vez que han sido deformados, no se recuperan instantáneamente, lo hacen más lentamente y pueden recobrar o no totalmente su forma original. Esto es lo que sucede cuando arrugamos un papel y los soltamos, aunque no recupera totalmente su forma original, observamos que cuando lo dejamos libre, se desarruga lentamente. Ejemplos de cuerpos elásticos son las bandas de hule, los trampolines, las camas elásticas, las pelotas de fútbol y un resorte que se alarga. Los alargamientos son proporcionales a las fuerzas, es decir, que una fuerza doble produce un alargamiento doble. Esto que sucede en el resorte es general para todos los cuerpos elásticos: **la deformación de un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza que la produce (Ley de Hooke)** y matemáticamente se representa como:

$$F = KX \quad (\text{Ec 1})$$

La constante k se llama constante de elasticidad de un resorte y es una medida de la relación entre la fuerza aplicada y la deformación del resorte. Esta constante es propia de cada tipo de material. Cuanto más grande sea k , más fuerza es necesario aplicar para conseguir la misma deformación. La ley de Hooke no se limita al caso de los resortes en espiral, de hecho se aplica a la deformación de todos los cuerpos elásticos.

Bajo la acción de las fuerzas algunos cuerpos se deforman, es decir, se modifican sus dimensiones. Algunos cuerpos se deforman muy poco (**cuerpo rígido**), por ejemplo: un bloque de vidrio, de acero, una piedra. Otros, como la cera, la goma de borrar se deforman más fácilmente. Son cuerpos deformables. Pero además de la mayor o menos deformación que sufre un cuerpo al actuar sobre él una fuerza, su comportamiento también varía. Hay

cuerpos que se deforman cada vez que se aplica una fuerza sobre ellos, pero no recuperan su forma original, debido a la plasticidad, son llamados **cuerpos plásticos**.

Otro tipo de energía potencial es la que poseen los cuerpos elásticos deformados. Tal como es el caso de un resorte comprimido o estirado. Para deformar un resorte es necesario realizar un trabajo y éste es almacenado en forma de energía potencial.

Para deformar un resorte se debe aplicar una fuerza determinada. El trabajo hecho por dicha fuerza, para comprimir o estirar un resorte desde cero hasta una deformación x , se calcula utilizando la ecuación:

$$W = \frac{1}{2} K X^2 \quad (\text{Ec 2})$$

Esta expresión representa a la energía entregada al resorte ya sea para comprimirlo o estirarlo.

III. TAREA PREVIA

- 1) Definir los conceptos siguientes: elasticidad, esfuerzo de compresión, constante de elasticidad del resorte, deformación, esfuerzo de tensión, límite elástico.
- 2) Escribir el enunciado de la ley de Hooke
- 3) Escriba algunas aplicaciones de la Ley de Hooke

IV. MATERIAL Y EQUIPO

- Varilla soporte
- Un resorte
- Una prensa nuez
- Juego de masa
- Una cinta métrica
- Porta pesas
- O dispositivo de Ley de Hooke

V. PRECACUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD

- ❖ Revise el estado y la cantidad del equipo asignado
- ❖ Asegure que las varillas esté bien sujetas con la prensa nuez
- ❖ No deje caer la cinta métrica
- ❖ Mantenga en su mesa de trabajo sólo el equipo a utilizar
- ❖ No sobrepase el límite de elasticidad del resorte
- ❖ Deje el equipo ordenado y entregarlo al profesor o instructor.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 1) Mida la longitud inicial del resorte tal como aparece en la figura 1

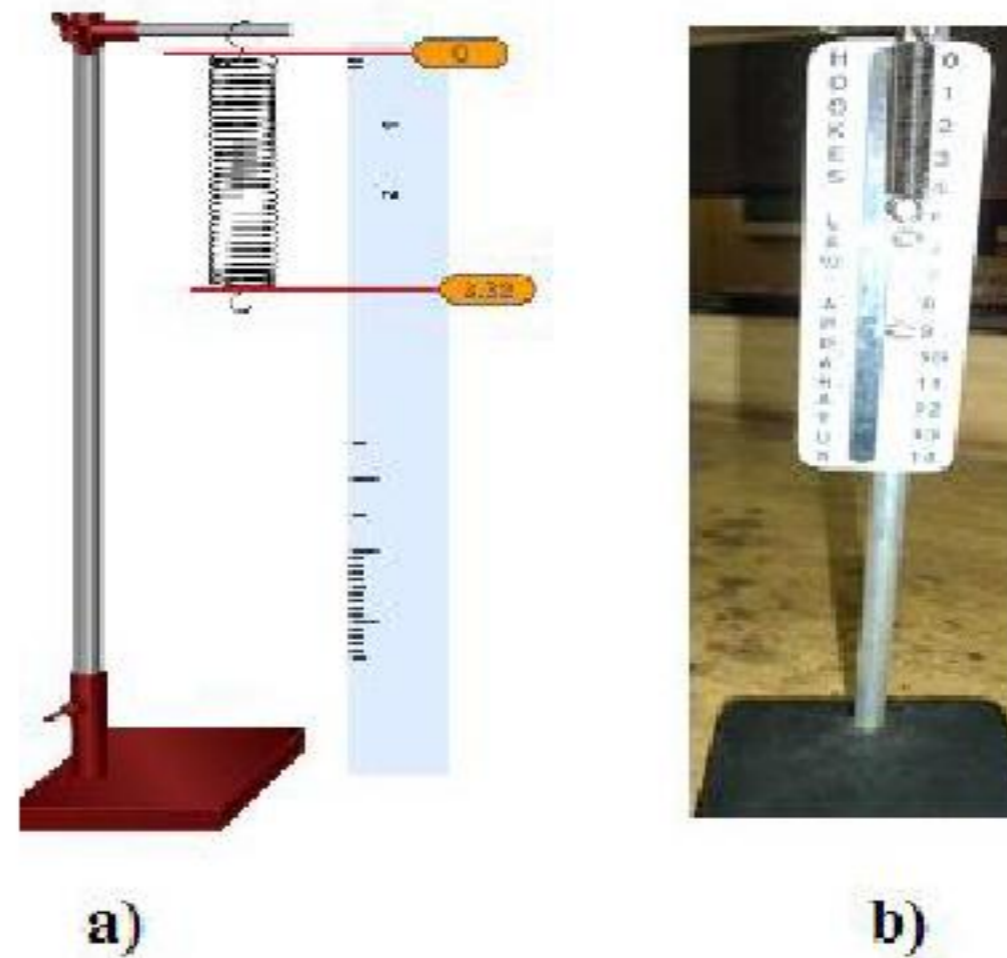


Figura 1

Medida de la longitud inicial de un resorte: a) con equipo de bajo costo
b) dispositivo de Ley de Hooke

- 2) Coloque en el extremo inferior del resorte un porta pesas de 0.01 kg y mida la longitud del resorte L (Figura 2) Anote sus resultados en la tabla N° 1

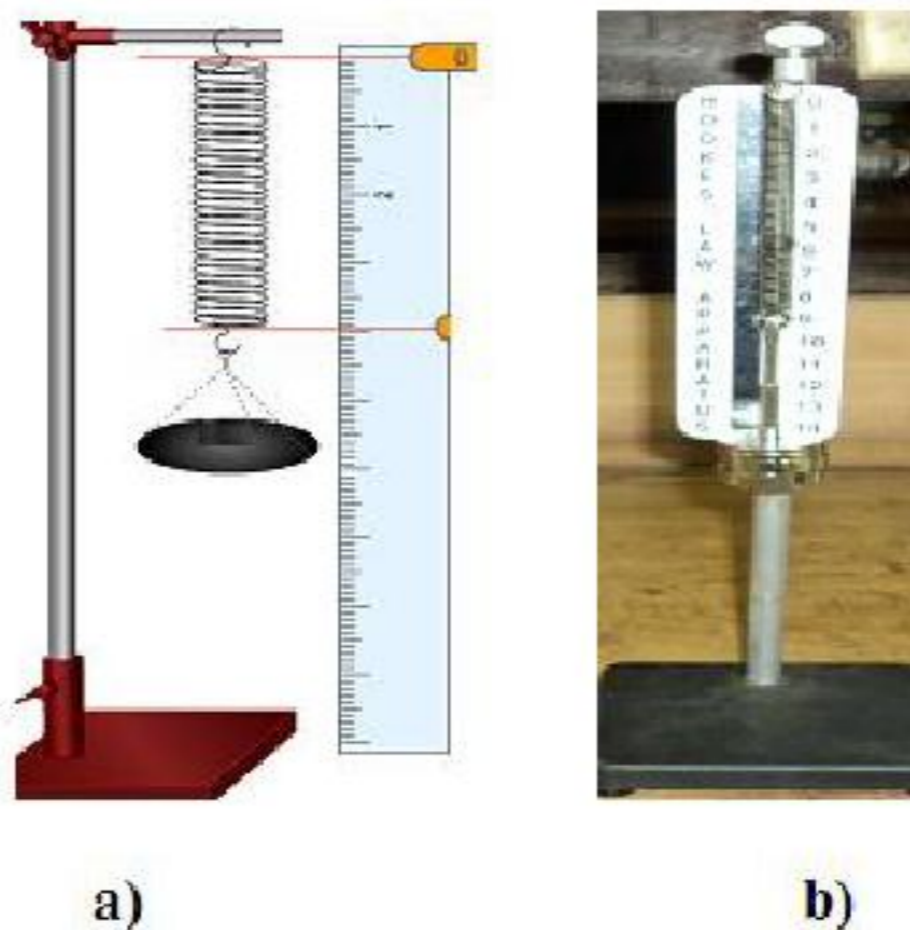


Figura 2

Montaje experimental, medida de la longitud final de un resorte: a) con equipo de bajo costo, b) dispositivo de Ley de Hooke

- 3) Agregue una masa de 0.01 kg al porta pesas y mida la nueva longitud. Anote sus resultados en la tabla No. 1.
- 4) Repita el procedimiento del numeral anterior con incrementos de 0.01 kg hasta completar la tabla No. 1

VII. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS

Longitud inicial del resorte (m) _____

Tabla No. 1: Valores de longitud del resorte

m (kg)	L (m)
0.01	
0.02	
0.03	
0.04	
0.05	
0.06	
0.07	
0.08	

VIII. INDICACIONES PARA EL ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- 5) Utilizando los datos de la tabla No. 1. Determine la fuerza que ejerce el resorte, la deformación y la constante de elasticidad. Anote sus resultados en la tabla No. 2

Tabla No. 2: Valores de la constante elástica del resorte

m (kg)	L (m)	ΔL (m)	F (N)	K (N/m)
0.01				
0.02				
0.03				
0.04				
0.05				
0.06				
0.07				
0.08				

- 6) Encuentre el valor promedio de la constante elástica del resorte
- 7) Determine la energía potencial elástica para cada observación
- 8) Utilice los datos de la tabla N° 2, y construya un gráfico Fuerza contra deformación en papel milimetrado
- 9) Utilice la parte lineal del gráfico anterior, encontrar la ecuación experimental del gráfico.
- 10) En base a la ecuación del numeral anterior, ¿cuál es el valor de la constante elástica del resorte?
- 11) Comparar las respuestas obtenidas en el numeral 2 y 6.
- 12) Trace en el gráfico el valor limítrofe entre la región de elasticidad y el de plasticidad del resorte y para qué valor de $F - \Delta L$
- 13) Por interpolación del gráfico $F - \Delta L$, encontrar la deformación del resorte si se coloca una masa de 0.025 kg
- 14) Escriba dos aplicaciones de la Ley de Hooke
- 15) Escriba sus conclusiones.

VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA PRÁCTICA

Longitud inicial del resorte (m): **0.0450 ± 0.0001**

Tabla No. 1: Valores de longitud del resorte

m (kg)	L_f (m)
0.01	0.0500
0.02	0.0540
0.03	0.0610
0.04	0.0650
0.05	0.0700
0.06	0.0750
0.07	0.0810
0.08	0.0860

Tabla No. 2 Valores de constante elástica de un resorte

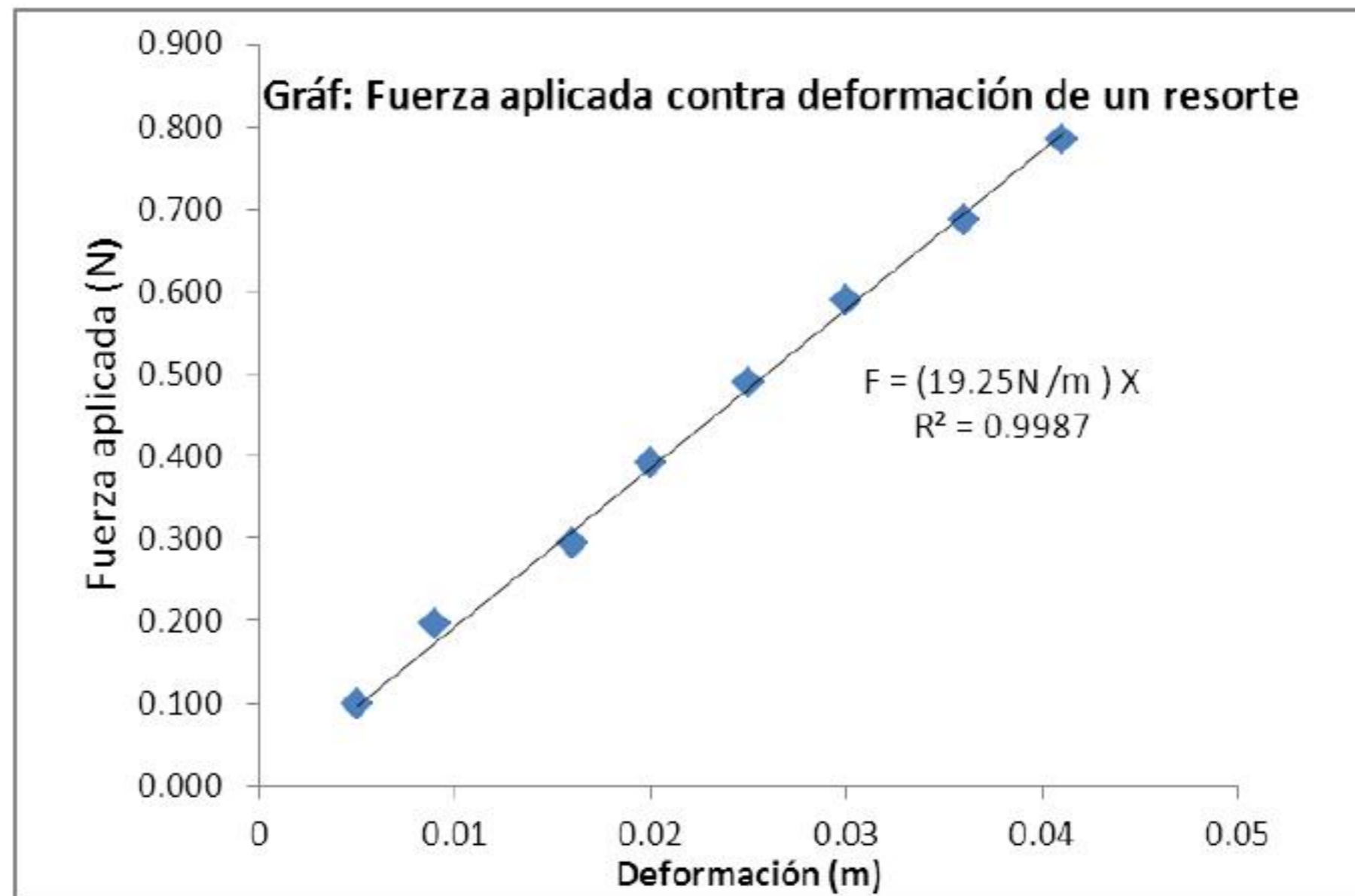
m (kg)	L (m) ±0.0001	ΔL (m) ±0.0001	F (N)	K (N/m)
0.01	0.0500	0.0050	0.098	19.60
0.02	0.0540	0.0090	0.196	21.78
0.03	0.0610	0.0160	0.294	18.38
0.04	0.0650	0.0200	0.392	19.60
0.05	0.0700	0.0250	0.490	19.60
0.06	0.0750	0.0300	0.588	19.60
0.07	0.0810	0.0360	0.686	19.06
0.08	0.0860	0.0410	0.784	19.12

El valor de la deformación se encontró con la ecuación: $\Delta L = L_f - L_i$ y la constante elástica a partir de la ecuación 1

- a) El valor de la constante elástica promedio del resorte utilizando la ecuación fue de $K = 19.59 \text{ N/m} \pm 0.01 \text{ N/m}$

Tabla No. 3 Valores energía potencial elástica de un resorte

Observaciones	ΔL (m) ± 0.0001	K (N/m)	U_e (J) $\times 10^{-3}$
1	0.0050	19.60	0.245
2	0.0090	21.78	0.392
3	0.0160	18.38	2.35
4	0.0200	19.60	3.92
5	0.0250	19.60	6.13
6	0.0300	19.60	8.82
7	0.0360	19.06	12.4
8	0.0410	19.12	16.1



- b) $F = (19.25 \text{ N/m})\Delta L$, la tendencia es lineal debido a que no deformó el resorte completamente, porque era el del equipo de la Ley de Hooke de la UNAN
- c) El valor de K a partir del gráfico es de 19.25 N/m
- d) El valor de la constante elástica promedio del resorte utilizando la ecuación fue de $K = 19.59 \text{ N/m} \pm 0.01 \text{ N/m}$ y a partir del gráfico fue de $K = 19.25 \text{ N/m}$
- e) Cómo el resorte no se deforme completamente, no se pueden evidenciar las regiones de elasticidad y plasticidad.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 4

“COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y CINÉTICO DE MADERA SOBRE VIDRIO”

I. OBJETIVOS

Que los estudiantes determinen los coeficientes de fricción estático y cinético de madera sobre vidrio.

II. FUNDAMENTACION TEORICA

El conocimiento de los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación son de vital importancia en la formación de profesionales en tecnología mecánica ya que estos son una de las causas mayoritarias de fallos en la industria. Cuando un cuerpo se mueve sobre una superficie o a través de un medio viscoso, como el aire o el agua, hay una resistencia al movimiento debido a que el cuerpo interactúa con sus alrededores. Dicha resistencia recibe el nombre de fuerza de fricción. Las fuerzas de fricción automáticamente se oponen al movimiento, nunca lo favorecen y de hecho existen aun cuando no se produzca movimiento relativo. La fuerza de fricción es muy importante en la vida cotidiana.

Esta fuerza es siempre tangencial a la superficie en los puntos de contacto con el cuerpo, y tiene un sentido tal que se opone al movimiento posible o existente del cuerpo respecto a esos puntos. Por otra parte estas fuerzas de fricción están limitadas en magnitud y no impedirán el movimiento si se aplican fuerzas lo suficientemente grandes.

En la interacción entre dos superficies aparecen diversos fenómenos cuyo conocimiento es de vital importancia. La fuerza de fricción es debida a varios efectos que suponen aportación de energía. Son tres fenómenos fundamentales que aparecen y se describen a continuación:

Fricción: Efecto que proviene de la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto cuando permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas.

Desgaste: Consiste en la desaparición de material de la superficie de un cuerpo como consecuencia de la interacción con otro cuerpo.

Adhesión: Capacidad para generar fuerzas normales entre dos superficies después de que han sido mantenidas juntas. Es decir, la capacidad de mantener dos cuerpos unidos por la generación anterior de fuerzas de unión entre ambos.

La fuerza de fricción estática f_s máxima es igual a la mínima fuerza necesaria para iniciar el movimiento. La fuerza de fricción cinética f_k que actúa entre dos superficies que se deslizan con movimiento uniforme ($v=cte$) es igual a la mínima fuerza necesaria para conservar dicho movimiento.

La relación entre la magnitud de la máxima fuerza de fricción estática f_s y la magnitud de la fuerza normal N se llama **coeficiente de fricción estático** μ_s , y se calcula así

$$\mu_s = \tan \theta \quad (\text{Ec 1})$$

La relación entre la magnitud de la fuerza de fricción cinética f_k y la magnitud de la fuerza normal N se llama **coeficiente de fricción cinético** μ_k . La fuerza de fricción cinética se calcula así

$$f_k = \mu_k N \quad (\text{Ec 2})$$

El coeficiente de fricción cinético se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\mu_k = \frac{f_k}{N} \quad (\text{Ec 3})$$

Leyes fundamentales de la fricción

- ❖ La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza que se ejerce perpendicularmente (normal) a las superficies de contacto.
- ❖ La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto. Por esta razón objetos grandes y pequeños del mismo par de materiales, presentan el mismo coeficiente de fricción.
- ❖ La fuerza de fricción teóricamente es independiente de la velocidad de deslizamiento (aunque no es así en la práctica debido a la sensibilidad de los materiales de fricción a la presión, a la velocidad y a la temperatura).
- ❖ La fricción depende de las sustancias en contacto.
- ❖ La fricción depende del estado en que se encuentre las superficies (grado de pulimentación, barnizado, grasa, etc.)
- ❖ La fricción por deslizamiento es independiente de la forma y el área de la superficie en contacto.
- ❖ Para que un cuerpo se mueva con velocidad constante es necesario que la suma de las fuerzas que actúan sobre él sea igual a cero. De esta manera, si sobre un cuerpo

- ❖ actúa una fuerza horizontal constante y el movimiento es horizontal y a velocidad constante, se puede decir que dicha fuerza anula a la fuerza de fricción que existe entre el cuerpo y la superficie (figura 1).

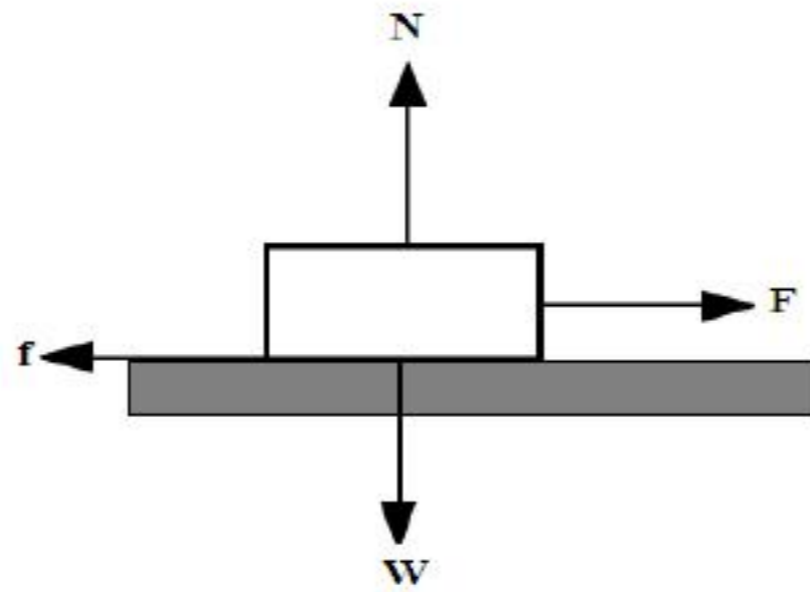


Figura 1
Diagrama de cuerpo libre

μ_s y μ_k , son constantes adimensionales y los valores dependen de la naturaleza de las dos superficies (Tabla N° 1).

Tabla N° 1 Valores de coeficientes de fricción

Materiales	μ_s	μ_k
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Madera sobre madera	0.25 - 0.5	0.20
Vidrio sobre vidrio	0.94	0.4

III. TAREA PREVIA

- 1) Escriba tres aplicaciones de la fuerza de fricción
- 2) ¿Existe realmente una superficie lisa? Explicar.
- 3) De qué depende el coeficiente de fricción

IV. MATERIAL Y EQUIPO

- Polea con soporte
- Porta pesas
- Juego de masas
- Hilo de nylon
- Bloque de madera
- Plano inclinado
- Transportador
- Vidrio de ventana
- Balanza
- Varillas
- Prensa nuez

V. PRECACUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD

- ❖ Revise el estado y la cantidad del equipo asignado
- ❖ Asegure que las varillas esté bien sujetas con la prensa nuez
- ❖ No deje caer la cinta métrica y las masas
- ❖ Mantenga en su mesa de trabajo sólo el equipo a utilizar
- ❖ No ubique gran cantidad de masa en el porta pesas porque podría arrastrar rápidamente el bloque
- ❖ Deje el equipo ordenado y entregarlo al profesor o instructor.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

PARTE A: FRICCIÓN ESTÁTICA

- 1) Coloque el bloque de madera sobre el vidrio como se muestra en la figura 2, a partir de la posición horizontal $\theta = 0^\circ$, levantar el plano suavemente y aumentar el ángulo de inclinación hasta que el bloque empieza a deslizarse. Anote el ángulo de inclinación en la tabla No. 2
- 2) Repita el procedimiento del numeral anterior hasta completar la tabla No. 2



Figura 2
Montaje experimental para medir el coeficiente de fricción estático

PARTE B: FRICCIÓN CINÉTICA

- 3) Ate la cuerda al bloque y el otro extremo de la cuerda al porta pesas construyendo el sistema tal como se muestra en la figura 3.

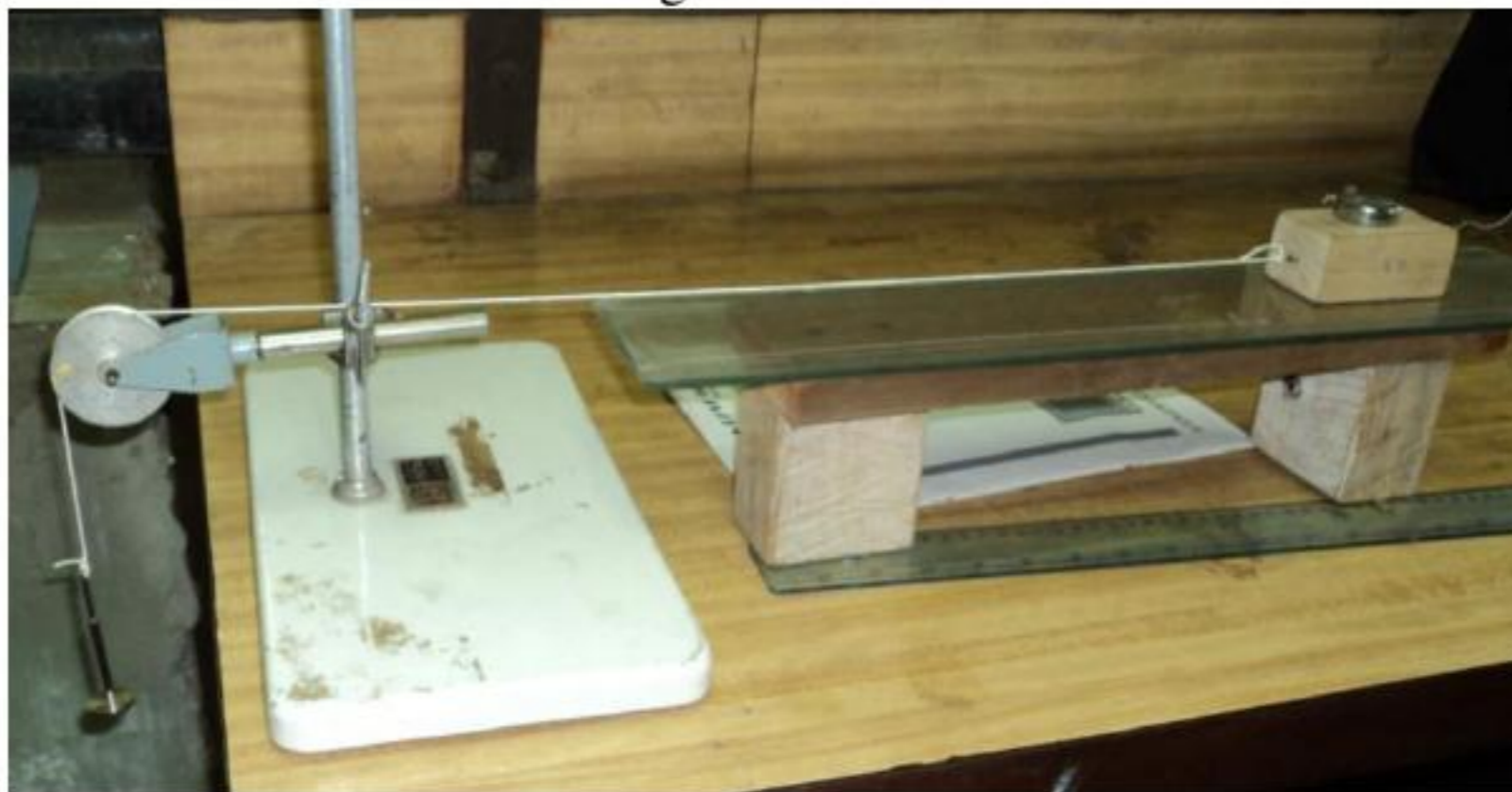


Figura 3
Montaje experimental para medir coeficiente de fricción cinético

- 4) Agregue una masa de 0.025 kg al bloque de madera y coloque en el porta pesa la masa necesaria que éste se mueva a con velocidad constante (figura 3). Anote resultados en la tabla No. 3
- 5) Repita el numeral 4 haciendo incrementos de 0.025 kg hasta completar la tabla No.3

VII. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS

PARTE A: FRICCIÓN ESTÁTICA

Masa del bloque (kg) _____

Tabla No. 2: Valores de ángulo de inclinación

Observación	θ ($^{\circ}$) ± 0.1
1	19.5
2	18.9
3	20.0
4	20.5
5	19.9
6	19.0
7	21.0
8	19.5

PARTE B: FRICCIÓN CINÉTICA

Tabla No. 3 Masa del bloque y porta pesa

Observación	Masa bloque (kg) ± 0.00001	Masa porta pesas (kg)
1	0.08115	0.025
2	0.010615	0.030
3	0.13115	0.040
4	0.15615	0.045
5	0.18115	0.055
6	0.20615	0.060
7	0.23115	0.065
8	0.25615	0-070

VIII. INDICACIONES PARA EL ANALISIS DE LOS RESULTADOS

PARTE A: FRICCION ESTATICA

- 1) Utilizando los datos de la tabla N° 2. Calcule el valor del coeficiente de fricción estático y complete la tabla N° 4

Tabla No. 4: Valores de coeficiente de fricción estático de la madera sobre vidrio

Observación	θ (°)	μ_s
1	19.5	0.35
2	18.9	0.34
3	20.0	0.37
4	20.5	0.37
5	19.9	0.36
6	19.0	0.34
7	21.0	0.38
8	19.5	0.35

- 2) Determine el valor promedio del coeficiente de fricción estático de la madera sobre el vidrio y compárelo con el valor teórico

El valor obtenido fue de $\mu_s = 0.36 \pm 0.01$

PARTE B: FRICCION CINÉTICA

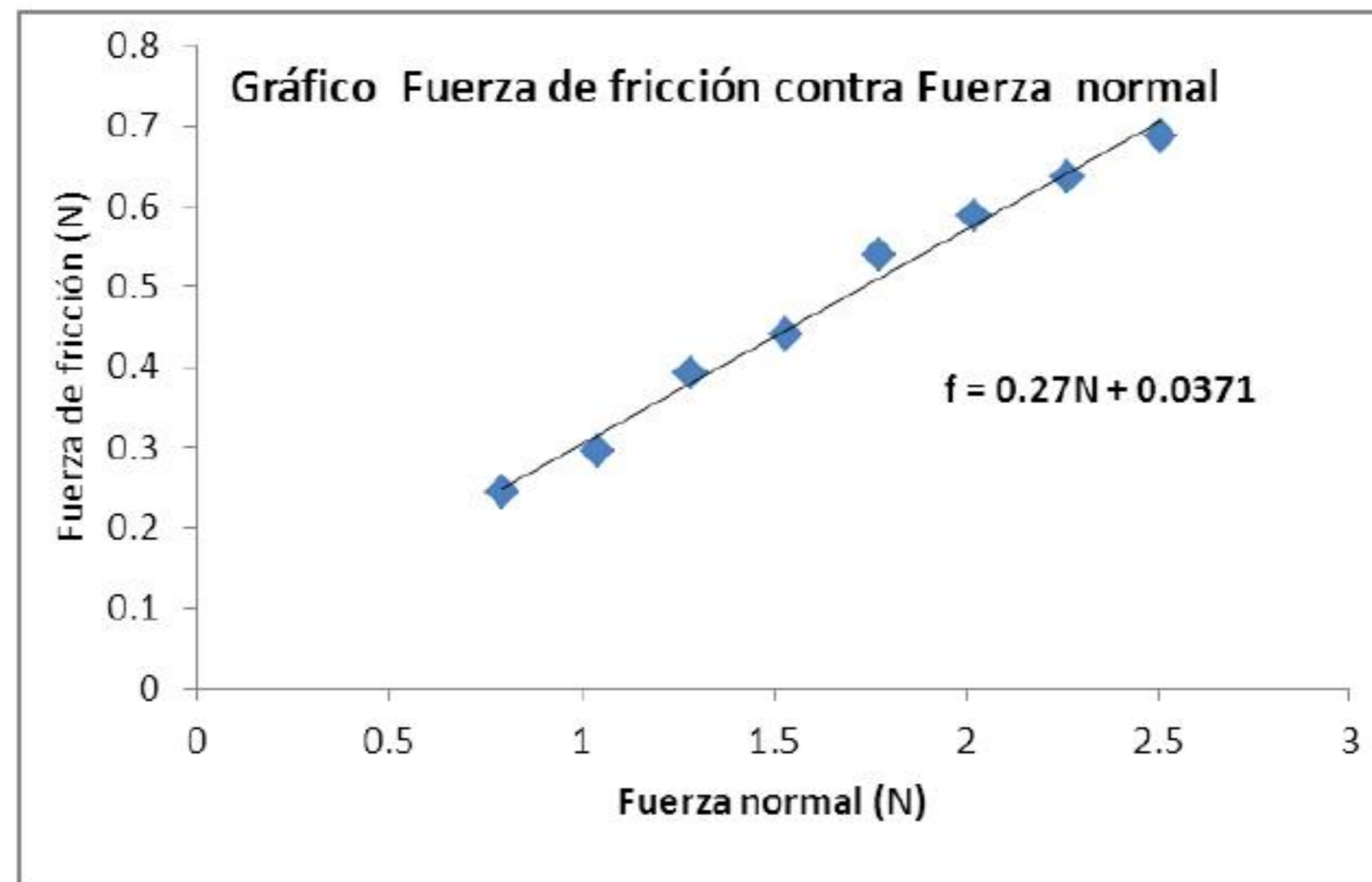
- 3) Encontrar el valor de F(N), N(N) y el coeficiente de fricción cinético. Anote sus resultados en la tabla No. 5

Tabla No. 5 Valores de coeficientes de fricción cinético

Observación	Masa bloque (kg)	Masa porta pesas (kg)	F (N)	N(N)	μ_k
1	0.08115	0.025	0.245	0.795	0.31
2	0.010615	0.030	0.294	1.040	0.28
3	0.13115	0.040	0.392	1.285	0.31
4	0.15615	0.045	0.441	1.530	0.29
5	0.18115	0.055	0.539	1.775	0.30
6	0.20615	0.060	0.588	2.021	0.29
7	0.23115	0.065	0.637	2.265	0.28
8	0.25615	0.070	0.686	2.510	0.27

El valor de μ_k promedio de la madera sobre vidrio es de: **0.29 ± 0.01**

- 4) Utilizando los datos de la tabla No. 5, realice el gráfico F contra N en papel milimetrado



- 5)Cuál es la relación de proporcionalidad entre F y N
F es directamente proporcional a N
- 6) Escriba la ecuación matemática del gráfico F contra N
 $F = 0.27 N + 0.03$
- 7) Determine el valor del coeficiente de fricción cinético a partir de la ecuación anterior
 $\mu_k = 0.27$
- 8) ¿Depende el coeficiente de fricción de la clase del material en contacto? si ¿Por qué?
Cada superficie tiene su propia rigurosidad, entra mas rugosa es la superficie mayor es el coeficiente de fricción
- 9) Escribir las aplicaciones que tiene la fuerza de fricción
- Al caminar
 - Al tomar el lápiz para escribir

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 5
“MOVIMIENTO DE PROYECTILES”

I. OBJETIVOS

1. Verificar de manera experimental el “Alcance “ (R) de un proyectil lanzado a cierto ángulo
2. Mostrar que la trayectoria del proyectil es de forma parabólica
3. Aplicar el cálculo de error con los datos obtenidos

II. MARCO TEÓRICO

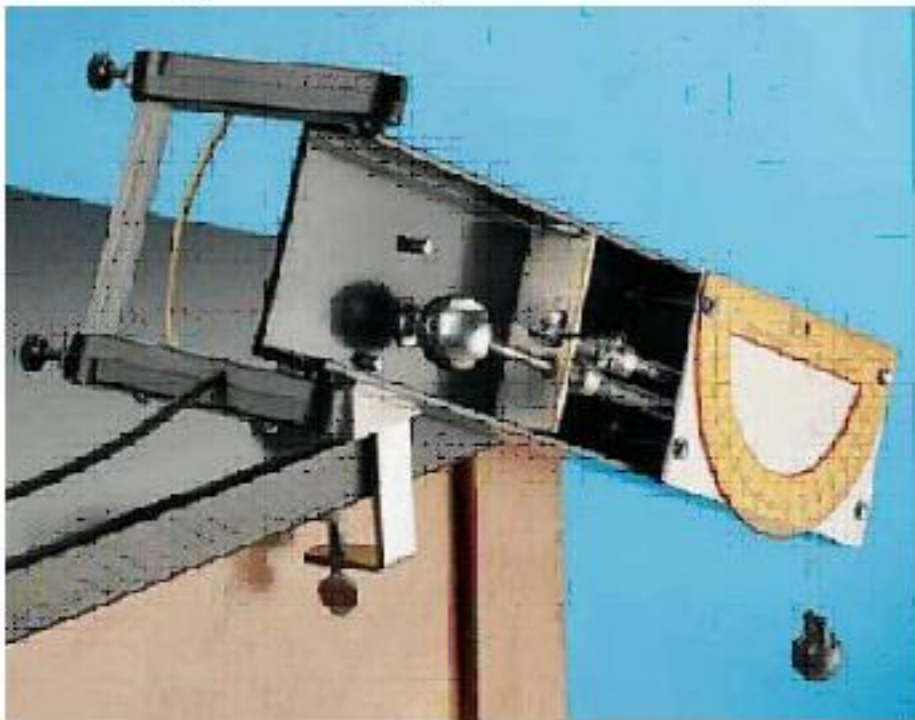
El alcance de un proyectil lanzado con una velocidad inicial V_0 a un ángulo α requiere conocer el tiempo de vuelo del proyectil usando las ecuaciones para el movimiento vertical y horizontal

$$y = y_0 + v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$x = x_0 + v_0 \cos \alpha t$$

Donde y_0 y x_0 son las coordenadas iniciales vertical y horizontal del proyectil, siendo x e y sus coordenadas horizontal y vertical respectivamente, cuando da en el blanco.

Para lograr los objetivos se requiere:



1. Disponer de un “lanza proyectiles”, un proyectil esférico de acero, una cinta métrica, un cronómetro, papel carbón, cinta adhesiva.
2. Hacer por lo menos diez lanzamientos del proyectil para cada uno de los ángulos ($\alpha=30^\circ, 45^\circ$ y 60°)

Medir con una cinta métrica cada posición del proyectil cuando cae sobre la mesa, y simultáneamente con un cronómetro su tiempo de vuelo, obteniendo un valor promedio. Repetir este procedimiento para cada uno de los ángulos propuestos para los lanzamientos.

4. Anotar los datos obtenidos en la siguientes tablas

$\alpha = 30^\circ$	
t (seg)	x(m)
t_p	X_p

$\alpha = 45^\circ$	
t (seg)	x(m)
t_p	X_p

$\alpha = 60^\circ$	
t (seg)	x(m)
t_p	X_p

5. Calcular la velocidad inicial v_0 para cada ángulo, recordando que en la posición de su máxima altura la componente vertical de la velocidad del proyectil es nula; esto es $v_y = v_0 \text{sen}\alpha - g t_s$ donde t_s es la mitad del tiempo de vuelo del proyectil.
6. Comparar los valores de R medidos con la cinta y los de R calculados con la ecuación teórica,

$$R = \frac{v_0^2}{g} \text{sen}(2\alpha)$$

y encontrar el error porcentual.

III. CUESTIONARIO

- ¿Es el alcance para $\alpha = 60^\circ$ mayor que para $\alpha = 45^\circ$ y para $\alpha = 30^\circ$? Explique
- ¿Es la velocidad del proyectil constante en toda su trayectoria? Explique

IV. RESUMEN

En esta práctica de laboratorio se ha verificado que el Alcance (R) de un proyectil medido directamente con una cinta métrica resulta numéricamente igual al valor teórico obtenido mediante el cálculo usando la ecuación del alcance:

$$R = \frac{v_0^2}{g} \text{sen}(2\alpha)$$

en la cual v_0 es la magnitud de la velocidad inicial del proyectil, α el ángulo de inclinación del lanzamiento y g la aceleración de caída libre.

V. PROCEDIMIENTO

Se usó un “lanza proyectiles” colocado sobre una mesa de laboratorio, y se hicieron lanzamientos a diferentes ángulos, registrando los impactos en una hoja de papel, para medir el alcance y el tiempo de vuelo del proyectil en cada caso, como se indica en las siguientes tablas.

$\alpha = 30^\circ$	
t (seg)	x(m)
0.6	2.47
0.5	2.43
0.6	2.46
0.5	2.42
0.5	2.46
0.6	2.46
0.5	2.46
0.6	2.47
0.5	2.42
0.6	2.46
$t_p = 0.55$	$x_p = 2.44$

$\alpha = 45^\circ$	
t (seg)	x(m)
0.8	2.84
0.9	2.82
0.8	2.88
0.7	2.84
0.8	2.81
0.8	2.84
0.8	2.82
0.7	2.86
0.7	2.85
0.8	2.84
$t_p = 0.78$	$x_p = 2.84$

$\alpha = 60^\circ$	
t (seg)	x(m)
1.0	2.51
1.0	2.52
1.0	2.49
1.0	2.51
1.0	2.46
1.0	2.51
1.0	2.53
1.0	2.48
1.0	2.48
1.0	2.45
$t_p = 1.0$	$x_p = 2.49$

Se calculó la velocidad inicial v_0 a partir de la expresión $v_y = v_0 \text{sen}\alpha - g t_s$, considerando que el tiempo de vuelo del proyectil t_v es el doble del tiempo de subida t_s para el cual la componente vertical de la velocidad v_y es cero. Se encontró el valor $v_0 = 5.4 \text{ m/s}$.

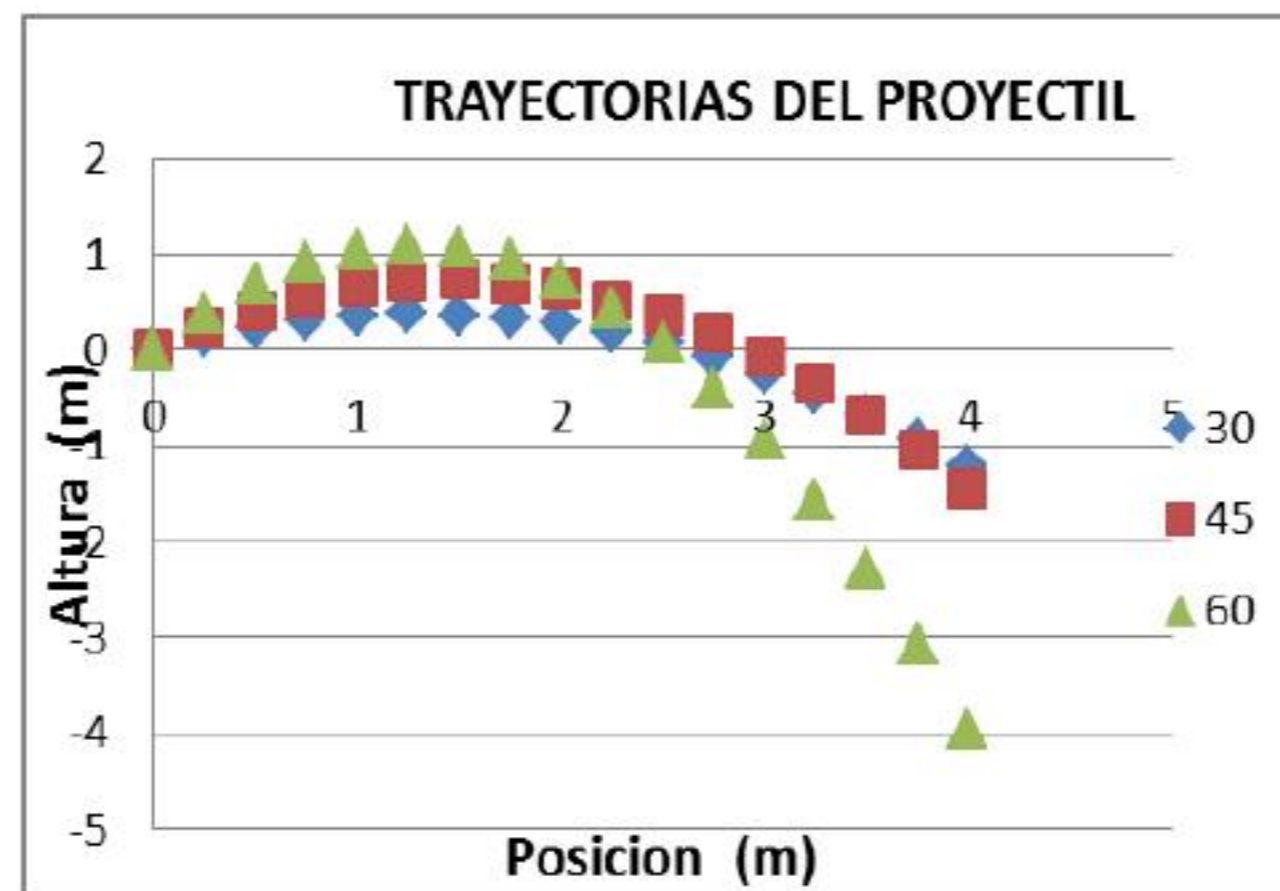
Con este valor de v_0 se calculó la posición del proyectil usando la ecuación

$$R = \frac{v_0^2}{g} \text{sen}(2\alpha)$$

Para los tres ángulos de lanzamiento del proyectil seleccionados se obtuvieron los valores de R como indica la siguiente tabla:

α	30°	45°	60°
R (m)	2.58	2.98	2.57

Las trayectorias para cada ángulo se indican en el siguiente gráfico:



Se calculó el error porcentual para R_{medido} directamente y para $R_{calculado}$ con la ecuación del alcance, para cada ángulo, y se obtuvieron los valores indicados en la tabla:

α	30°	45°	60°
R calculado (m)	2.58	2.98	2.57
R medido (m)	2.44	2.84	2.49
Error (%)	5.7	4.9	3.2

VI. CUESTIONARIO

¿Es el alcance para $\alpha = 60^\circ$ mayor que para $\alpha = 45^\circ$ y para $\alpha = 30^\circ$?

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el cálculo y los gráficos, y dentro del error calculado, el alcance del proyectil es el mismo para los ángulos de 30° y de 60° .

Para el ángulo de 45° se observa que el alcance resulta ser el máximo.

¿Es la velocidad del proyectil constante en toda su trayectoria?

La velocidad del proyectil es un vector que cambia de dirección a lo largo de la trayectoria, de manera que no es constante. Si se consideran las componentes horizontal y vertical del movimiento del proyectil se observa que la componente horizontal no es afectada por la gravedad y por ello la componente de la velocidad se mantiene constante en toda la trayectoria; La componente vertical de este movimiento, en cambio, es afectada por la gravedad y por ello la componente de la velocidad cambia, es decir no es constante en toda la trayectoria.

VII. CONCLUSIONES

Se ha logrado el objetivo de verificar la ecuación del Alcance con un error menor del 10 %

VIII. RECOMENDACIONES

1. El lanza proyectiles debe tener un diseño más estable o sostenerse de manera que se mantenga fijo para lograr mayor precisión en las medidas.
2. El proyectil debe ser más pequeño para disminuir el efecto de la fricción del aire.
3. El cronómetro debe ser de mayor precisión para lograr medir centésimas de segundo.
4. Se debe usar una mesa más grande para evitar registrar los impactos en otra mesa , o se debe usar un lanza proyectiles de menor potencia

PRACTICA EXPERIMENTAL No 6**“VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DEL TEOREMA DE TORRICELLI”****I. OBJETIVOS**

- 1) Verificar experimentalmente el teorema de Torricelli.
- 2) Determinar el coeficiente de velocidad C_V de un fluido que sale a través de un agujero en la pared de un recipiente.
- 3) Determinar las pérdidas de carga que sufre un fluido que sale a través de un agujero en la pared de un recipiente.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO.

El depósito cilíndrico de la figura 1, de sección A_1 , tiene un orificio pequeño en la pared cerca de su base, de sección A_2 , con A_2 mucho más pequeña que A_1 . Aplicando el teorema de Bernoulli a los puntos 1 y 2 situados en la superficie libre del fluido y en el centro del orificio en la pared, se tendrá que:

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (\text{Ec. 1})$$

Si se supone que la velocidad del fluido en la sección mayor A_1 es despreciable ($v_1 \approx 0$) comparada con la velocidad del fluido v_2 en la sección menor A_2 ; que el elemento de fluido delimitado por las secciones A_1 y A_2 está en contacto con el aire a la misma presión ($p_1 = p_2 = p_0$); y que la diferencia de alturas entre los puntos 1 y 2 es $h = Y - y$, siendo h la altura de la columna de fluido o la profundidad a la que se encuentra el orificio, la Ec. 1 se convierte en:

$$\rho g Y - \rho g y = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \Rightarrow \quad gh = \frac{1}{2} v^2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = \sqrt{2gh}} \quad (\text{Ec. 2})$$

La expresión 2 corresponde al teorema de Torricelli, y predice únicamente el valor de la velocidad teórica de salida del fluido a través del agujero en el punto 2 de la figura 1.

En la práctica, la velocidad de salida sufre pérdidas que no admiten un cálculo analítico, por lo que deben ser caracterizada por un parámetro denominado “coeficiente de velocidad C_V ”, el cual debe ser determinado experimentalmente. El proceso de obtención experimental de C_V puede realizarse por medio de dos métodos diferentes:

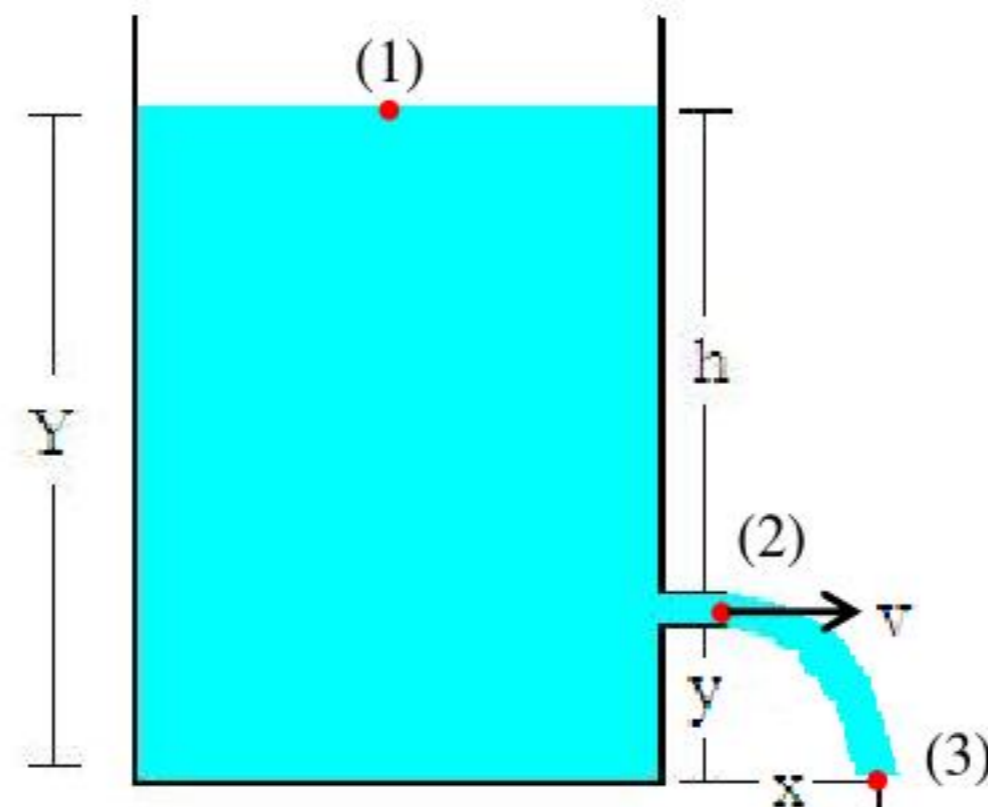


Fig. 1. Descarga de un depósito cilíndrico

- Medición directa de la velocidad real v_R , que se realiza colocando un tubo de Pitot en el orificio de salida (punto 2).
- Método de la trayectoria. Si se mide la posición de un punto corriente abajo sobre la trayectoria de un chorro libre que va desde el orificio en el punto 2 hasta el punto 3 en una superficie horizontal, como se muestra en la figura 1, es posible calcular la velocidad real v_R . Si se desprecia la resistencia del aire, la componente horizontal de la velocidad no cambia y por tanto se obtendrá una posición de coordenada x a lo largo del chorro (punto 3) por medio de la expresión:

$$\begin{aligned} x_3 - x_2 &= v_{0x} t \\ x &= v_R t \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v_R = \frac{x}{t}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde t es el tiempo requerido por una partícula de fluido para viajar desde el centro del agujero hasta el punto 3. Durante ese tiempo cada partícula habrá descendido una cierta distancia “ y ” bajo la acción de la gravedad; como la componente vertical de la velocidad inicial (en el orificio) es nula, se verificará que:

$$\begin{aligned} y_3 - y_2 &= v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 \\ -y &= -\frac{1}{2} g t^2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t = \sqrt{\frac{2y}{g}}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Si se elimina el tiempo t en las expresiones 3 y 4, se obtiene:

$$v_R = \frac{x}{\sqrt{\frac{2y}{g}}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v_R = x \sqrt{\frac{g}{2y}}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Para calcular el coeficiente de velocidad C_V se debe efectuar el cociente entre la velocidad real, v_R , y la teórica, v , es decir:

$$C_v = \frac{v_R}{v} \quad (\text{Ec. 6})$$

Y por lo tanto, el teorema de Torricelli ya corregido será:

$$v_R = C_v \sqrt{2gh} \quad (\text{Ec. 7})$$

De la ecuación 7 se evidencia que $C_v < 1$, esto es por las pérdidas de carga en el flujo que sale por el orificio. Estas pérdidas de carga pueden determinarse aplicando la ecuación de Bernoulli con un término de pérdidas, h_p , para la distancia entre los puntos 1 y 2 de la figura 1:

$$\frac{p_1}{\rho g} + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_p \quad (\text{Ec. 8})$$

Considerando despreciable la velocidad en la superficie libre del fluido (punto 1), sustituyendo el valor de la velocidad real en el punto 2 y tomando la presión atmosférica local como presión de referencia ($p_1 = p_2 = p_0$) y h como la profundidad del punto 2, se obtiene que las pérdidas de carga serán:

$$h_p = h(1 - C_v^2) \quad (\text{Ec. 9})$$

III. MATERIAL Y EQUIPO

Materiales requeridos

- Una botella plástica de 2.5 L
- Balde plástico de unos 10 L
- Tubo de sifón (manguera para transfusión de suero)
- Una cubeta plástica rectangular
- Un rollo de tirro (cinta adhesiva)
- Un punzón delgado
- Un mechero de alcohol
- Trozos de plastilina o chicle

Equipo de medida

- Un vernier
- Una escuadra de 60°
- Una regla plástica de 60 cm
- Una regla plástica de 30 cm

IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- 1) Montar el equipo como se muestra en la figura 2.



Fig. 2. Montaje experimental

- 2) Colocar una franja de tirro vertical en la botella.
- 3) Colocar el primer agujero (más profundo) a una altura definida (6 cm) desde el nivel de referencia (colocado en la parte superior de la regla horizontal)
- 4) Elegir el nivel del agua en la parte superior de la botella.
- 5) Medir el diámetro de los agujeros.
- 6) A partir del agujero 1, colocar hacia arriba, el resto de los agujeros distantes 2 cm uno del otro. El agujero menos profundo debe quedar como mínimo a 4 cm del nivel del agua.
- 7) Cubra con dos trozos de tirro cada agujero, y luego llene la botella hasta el nivel de agua elegido. Instale la manguera.
- 8) Comience las medidas del alcance horizontal a partir del agujero menos profundo. Verifique esta medida unas tres veces, manteniendo fijo el nivel del agua.
- 9) Realice las medidas para el resto de los agujeros, tomando las recomendaciones anteriores.

V. SUGERENCIAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- 1) Calcule el área de sección y la profundidad de los agujeros.

- 2) Calcule la velocidad de salida de cada agujero aplicando la ecuación de Torriceli.
- 3) Calcule la velocidad de salida de cada agujero aplicando el método de la trayectoria.
- 4) Realice las gráficas “v frente a h” para los datos teóricos y reales de la velocidad de salida.
- 5) Obtenga el coeficiente de velocidad C_v como un valor promedio (a partir de los valores de velocidad) y a partir de gráfico. En ambos casos incluya la incertidumbre.

VI. PREGUNTAS.

- 1) A partir de la gráfica “v frente a h”, ¿qué puede decir sobre el comportamiento de las variables?
- 2) ¿A qué se debe la diferencia entre la velocidad teórica y la velocidad medida?
- 3) Proponga una experiencia para revisar la dependencia del coeficiente de velocidad C_v con el área de sección de los agujeros.
- 4) Proponga una experiencia para determinar el coeficiente de descarga C_D del fluido a través del agujero.

VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Diámetro de los agujeros: $D = 1.85 \text{ mm}$

Área de sección de los agujeros: $A = 0.027 \text{ cm}^2$

Nivel de referencia del agua: 26.00 cm

Medida	Y (cm)	X (cm)	h (cm)	V_{teo} (m/s)	V_{real} (m/s)	Discrepancia (%)	C_v	h_p (cm)
1	22.00	11.00	4.00	88.54	51.91	41.4	0.59	2.63
2	20.00	15.00	6.00	108.44	74.25	31.5	0.68	3.19
3	18.00	18.00	8.00	125.22	93.91	25.0	0.75	3.50
4	16.00	19.50	10.00	140.00	107.91	22.9	0.77	4.06
5	14.00	17.50	12.00	153.36	103.53	32.5	0.68	6.53
6	12.00	22.00	14.00	165.65	140.58	15.1	0.85	3.92
7	10.00	23.50	16.00	177.09	164.50	7.1	0.93	2.19
8	8.00	20.50	18.00	187.83	160.44	14.6	0.85	4.87
9	6.00	20.00	20.00	197.99	180.74	8.7	0.91	3.33

Coeficiente de velocidad (valor medio): $C_v = 0.78$ con una desviación estándar de 0.12.

TERMODINÁMICA

PRÁCTICAS EXPERIMENTALES

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 1

“LEYES DE ENFRIAMIENTO Y CALENTAMIENTO”

IX. OBJETIVOS

- 1.- Demostrar mediante el modelo matemático las leyes de enfriamiento y calentamiento de Newton, es decir, la rapidez con que cambia la temperatura de un cuerpo en relación a la temperatura ambiente y el tiempo.
- 2.- Desarrollar habilidades en la medición de temperaturas utilizando el termómetro.
- 3.- Comprobar la relación entre la variación de la temperatura y el tiempo.

X. MARCO TEÓRICO

ENFRIAMIENTO:

En un proceso de enfriamiento natural, cuando la diferencia de temperatura entre un cuerpo y su medio no es demasiado grande el calor transferido en la unidad de tiempo desde el cuerpo hacia el medio es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio externo. Se considera que la temperatura alcanzada por el cuerpo en distintos intervalos de tiempo es positiva.

La ley de enfriamiento establece que el cambio de temperatura de un cuerpo a una temperatura dada T en el tiempo Δt es proporcional a la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la temperatura inicial del medio hasta que llega un punto en que esta temperatura prácticamente se mantiene constante. Esta relación se expresa mediante la ecuación:

$$\Delta T = -k (T - T_a) \Delta t$$

Siendo:

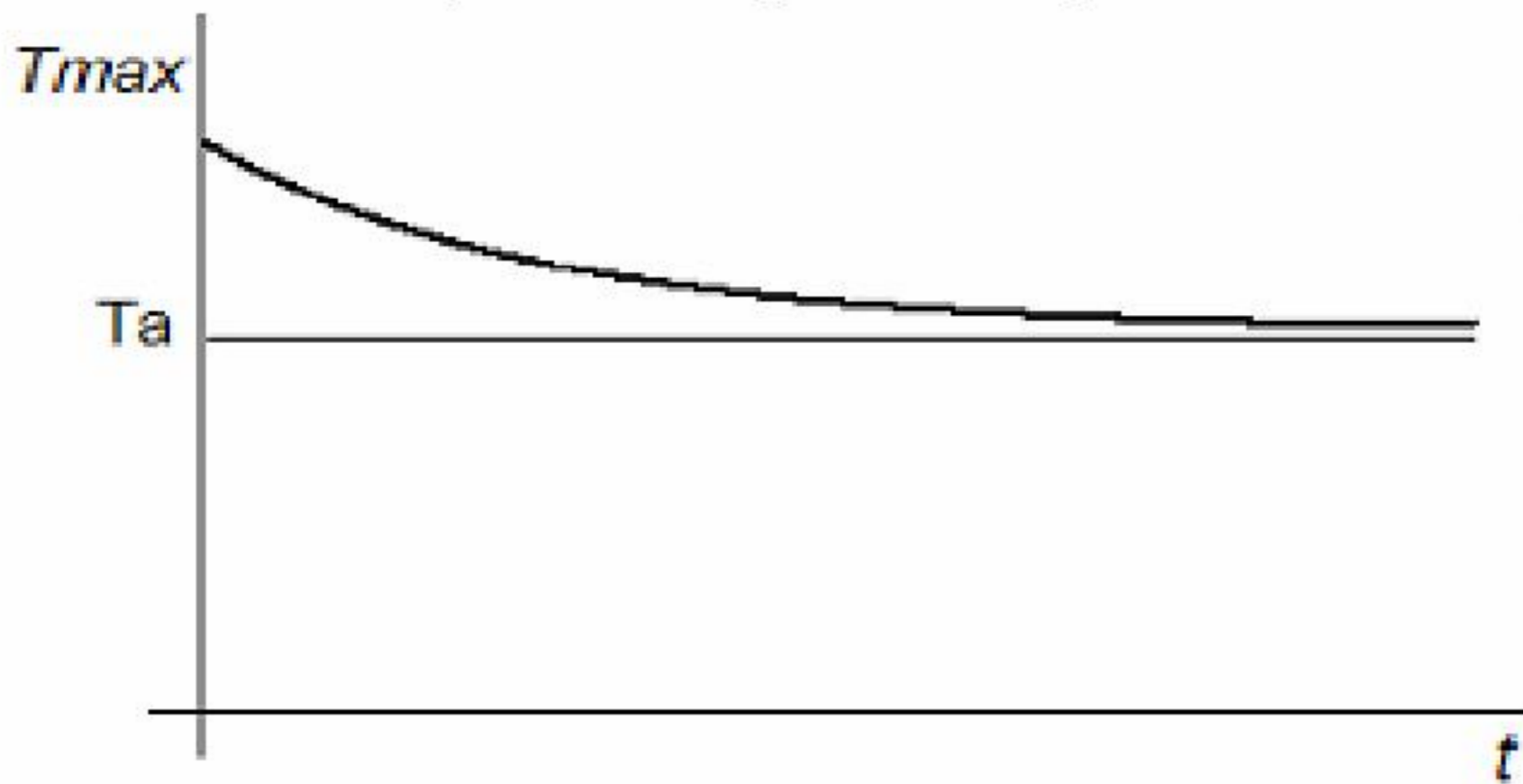
ΔT la variación de temperatura del cuerpo

T_a : la temperatura final alcanzada por el cuerpo

k : Es una constante característica del cuerpo que depende de su masa y su capacidad calorífica.

Puesto que el enfriamiento del cuerpo se debe a la diferencia de temperatura con el ambiente y, en cada instante, la temperatura T es diferente, la relación entre el enfriamiento y el tiempo transcurrido no es lineal. La magnitud del enfriamiento es cada vez menor y la temperatura tiende a alcanzar la temperatura ambiente, tal como indica la gráfica adjunta.

Representación gráfica de un proceso de enfriamiento



Lo que se corresponde con la ecuación exponencial:

$$T = T_a + (T_{ini} - T_a) e^{-kt}$$

T_a : Temperatura ambiente

T_{ini} : Temperatura inicial del cuerpo

En los casos límite (para $t=0$, se obtiene $T = T_{ini}$, para $T \rightarrow \infty$, se obtiene $T=T_a$)

CALENTAMIENTO

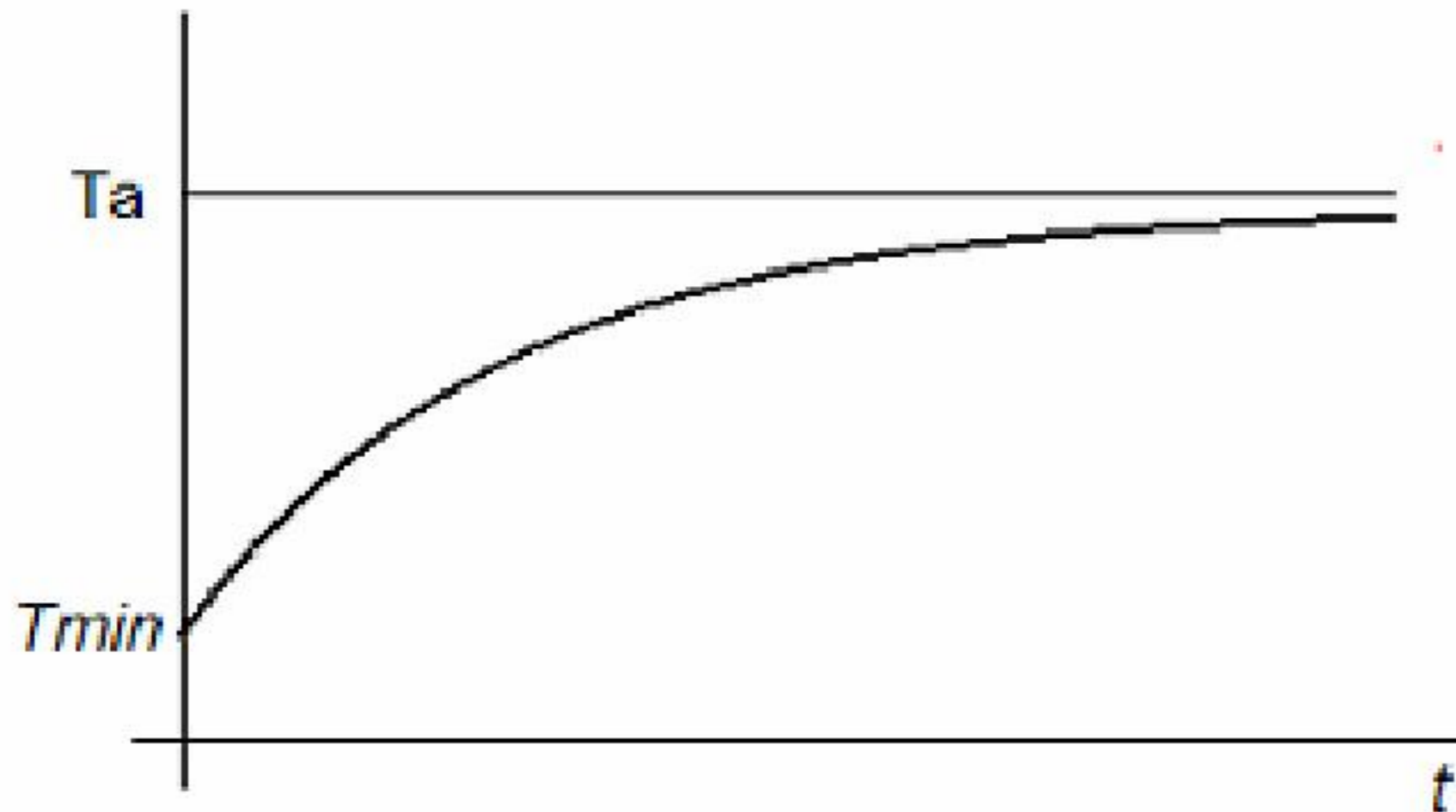
De manera análoga al proceso de enfriamiento en un proceso de calentamiento cuando la diferencia de temperatura entre un cuerpo y su medio no es demasiado grande el calor transferido en la unidad de tiempo desde el medio hacia el cuerpo es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio externo y se expresa por la misma ecuación.

Teniendo en cuenta que ahora la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la temperatura ambiente es negativa y el incremento de temperatura del cuerpo es positivo. Dicho incremento es:

$$\Delta T = k (T_a - T) \Delta t$$

Puesto que el calentamiento del cuerpo se debe a la diferencia de temperatura con el ambiente y, en cada instante, la temperatura T es diferente, la relación entre el calentamiento y el tiempo transcurrido no es lineal. La magnitud del calentamiento es cada vez mayor, tal como indica la gráfica adjunta.

Representación gráfica de un proceso de calentamiento



Lo que se corresponde con la ecuación exponencial:

$$T = T_a - (T_a - T_{\min}) e^{-kt}$$

T_a : Temperatura ambiente

T_{\min} : Temperatura mínima del cuerpo que se calienta

En los casos límite (para $t=0$, se obtiene $T = T_{\min}$, para $T \rightarrow \infty$, se obtiene $T=T_a$)

XI. TAREA PREVIA

1.- Si en un recipiente se tiene cierta cantidad de agua en ebullición sobre una hornilla ¿a qué temperatura se encuentra? Se baja y se deja sobre la mesa ¿Qué pasa con su temperatura al transcurrir el tiempo?, ¿Qué temperatura final alcanza? ¿Cuál será el comportamiento si la cantidad de agua es mayor?

2.- Se saca una bolsa con pollo del refrigerador y se deja encima de un plato, ¿Cómo evoluciona su temperatura? ¿Qué temperatura máxima puede llegar a alcanzar?

IV.- MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO

Recipiente para calentar líquido
Hornilla eléctrica o mechero
Termómetro
Agua



V. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD

- 1.- Tener mucho cuidado de conectar la hornilla en la red.
- 2.- Usar con mucho cuidado los utensilios de vidrio, incluyendo el termómetro.
- 3.- Cuidar que el termómetro no toque el recipiente, solo el líquido.
- 4.- Tener cuidado con el agua cuando ya está caliente, sobre todo al bajarla de la hornilla.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Tarea 1: Calentamiento

- En un recipiente (de vidrio o metal), poner a calentar 300 ml de agua en la hornilla o a la llama de un mechero.

Montaje experimental



Con el termómetro hacer mediciones de la temperatura adquirida por el agua cada minuto, durante 10 minutos o hasta que alcance el punto de ebullición. Registrar los valores de temperatura en la Tabla No 1.

Tarea 2: Enfriamiento

- Quitar el termómetro por unos instantes.
- Bajar el recipiente con agua caliente con mucho cuidado utilizando una toalla, ponerlo en la mesa, introducir el termómetro nuevamente.
- Registrar la temperatura en este momento y los valores de temperatura cada 3 minutos a medida que va enfriando y durante 30 minutos. Registrar los resultados en la Tabla No 2.
-

VII.- HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS**Tarea 1: Calentamiento****Tabla No 1: Calentamiento**

t(minutos)										
T (°C)										
$\Delta T(^{\circ}C)$										

Tarea 2: Enfriamiento**Tabla No 2: Enfriamiento**

t(minutos)										
T (°C)										
$\Delta T(^{\circ}C)$										

Gráfica No 1 y Gráfica No 2

VIII. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS**Tarea 1: Calentamiento**

- 1.- Construya la gráfica $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ vs t para el proceso de calentamiento.
- 2.- Construya la gráfica de $T(^{\circ}\text{C})$ vs t para el proceso de calentamiento
- 3.- ¿Qué tipo de relación existe entre ΔT y t ?
- 4.- ¿Qué tipo de relación existe entre T y t ?
- 5.- ¿Qué sucede con la temperatura alcanzada por el cuerpo cuando se acerca cada vez más a la temperatura de ebullición?
- 6.- ¿Cuál sería el comportamiento de estas magnitudes si la cantidad de agua se duplica o se reduce a la mitad?

Tarea 2: Enfriamiento

- 1.- Construya la gráfica $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ vs t para el proceso de enfriamiento
- 2.- Construya la gráfica de $T(^{\circ}\text{C})$ vs t para el proceso de enfriamiento
- 3.- ¿Qué tipo de relación existe entre ΔT y t ?
- 4.- ¿Qué tipo de relación existe entre T y t ?
- 5.- ¿Qué sucede con el cambio de temperatura alcanzada por el cuerpo cuando se acerca cada vez más a la temperatura ambiente?
- 6.- ¿Cuál sería el comportamiento de estas magnitudes si la cantidad del agua se duplica o se reduce a la mitad?

VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA PRÁCTICA**Tabla No 1: Calentamiento**

t (s)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840
T ($^{\circ}\text{C}$)	37.2	40	43.3	45	47.2	49.4	51.1	52.7	54.4	56.1	57.2	58.8	59.4	60
ΔT ($^{\circ}\text{C}$)		2.8	3.3	1.7	2.2	2.2	1.7	1.6	1.7	1.7	1.1	1.6	0,6	0,6

Tabla No 2: Enfriamiento

t (s)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840
T (°C)	94	89	85	81	78	75	72	70	68	66	64	62	61	60
ΔT(°C)		5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 2
“ENTALPÍA DE FUSIÓN DEL HIELO”

I. OBJETIVOS

Determinar la entalpía de fusión del hielo, ΔH_f , utilizando el método de las mezclas. Previamente, ha de determinarse el equivalente en agua del calorímetro, K , para cuantificar su aporte al balance energético del proceso.

II. MARCO TEÓRICO

La entalpía de fusión del hielo, ΔH_f , se define como la cantidad de calor necesaria para pasar la unidad de masa de hielo del estado sólido al líquido a la temperatura de fusión del mismo.

Si la presión bajo la cual se produce el cambio de fase se mantiene constante e igual a 1 atmósfera, la temperatura de fusión también se mantiene constante y es igual a 0°C . (ΔH_f también solía denominarse calor “latente” de fusión ya que, durante este cambio de estado, el calor que absorbe el hielo no origina cambio alguno de su temperatura como si estuviera “oculto o escondido”). Al fundirse el hielo, esta ganancia de energía se transforma en el trabajo de contracción de volumen (el hielo es menos denso que el agua a la misma temperatura) y, sobre todo, en aumentar su entropía (o desorden interno).

Cuando una masa m de hielo cambia de estado sólido al líquido, a presión y temperatura constantes, absorbe de su entorno una energía igual a:

$$Q = m \Delta H_f \text{ (ecuación 1),}$$

(a presión atmosférica y 0°C , $\Delta H_f = 79 \text{ kcal/kg} = 333.5 \text{ kJ/kg}$). Podemos determinar el calor latente de fusión del hielo, ΔH_f , midiendo cómo varía la temperatura de una mezcla de agua y hielo cuando éste se funde. Si no existen cambios de estado, el incremento de calor Q que absorbe o cede un cuerpo de masa m y de calor específico c , entre una temperatura inicial T_o y una temperatura final T_f , es:

$$Q = m c (T_f - T_o) \text{ (ecuación 2).}$$

En el caso del agua, $c = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 4184 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$). Para evitar intercambios de calor con el medio ambiente, debemos hacer la mezcla dentro de un calorímetro, el cual es, simplemente, un recipiente cerrado y térmicamente aislado con el exterior.

Cuando en el interior de un calorímetro se coloca un líquido a temperatura distinta de la suya, el calorímetro absorbe (o cede) algo de calor. A la hora de establecer el balance

calorimétrico (calor cedido igual a calor absorbido) podemos imaginar que el calorímetro se comporta como una cantidad de agua adicional que se calentara o enfriara al mezclarse con diferentes masas de agua. Se define así el equivalente en agua del calorímetro (K), como la masa de agua que absorbería (o cedería) la misma cantidad de calor que el calorímetro, para modificar su temperatura desde la inicial del calorímetro hasta la final del mismo.

Para determinar K , se mezclan masas de agua a distintas temperaturas, se mide la temperatura final de equilibrio, y se calcula el balance calorimétrico del proceso.

Este procedimiento se denomina **método de las mezclas** y vamos a utilizarlo también para la determinación de ΔH fundiendo un trozo de hielo (cuya temperatura sea de 0°C) en agua dentro del calorímetro y observando la variación de temperaturas hasta alcanzar el equilibrio térmico. Así el valor de ΔH_f se deducirá aplicando de nuevo la ley de conservación de la energía para un sistema aislado.

III. TAREA PREVIA

- 1.- Si tienes una determinada cantidad de agua a temperatura ambiente en un recipiente y le agregas un trozo de hielo ¿Qué sucede con la temperatura del agua?
- 2.- Si en el agua contenida en el recipiente introdujéramos cantidades de hielo diferentes hasta que se funda, ¿la temperatura del agua será diferente en cada caso?. Argumente su respuesta.

IV. MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO

Calorímetro.

Balanza.

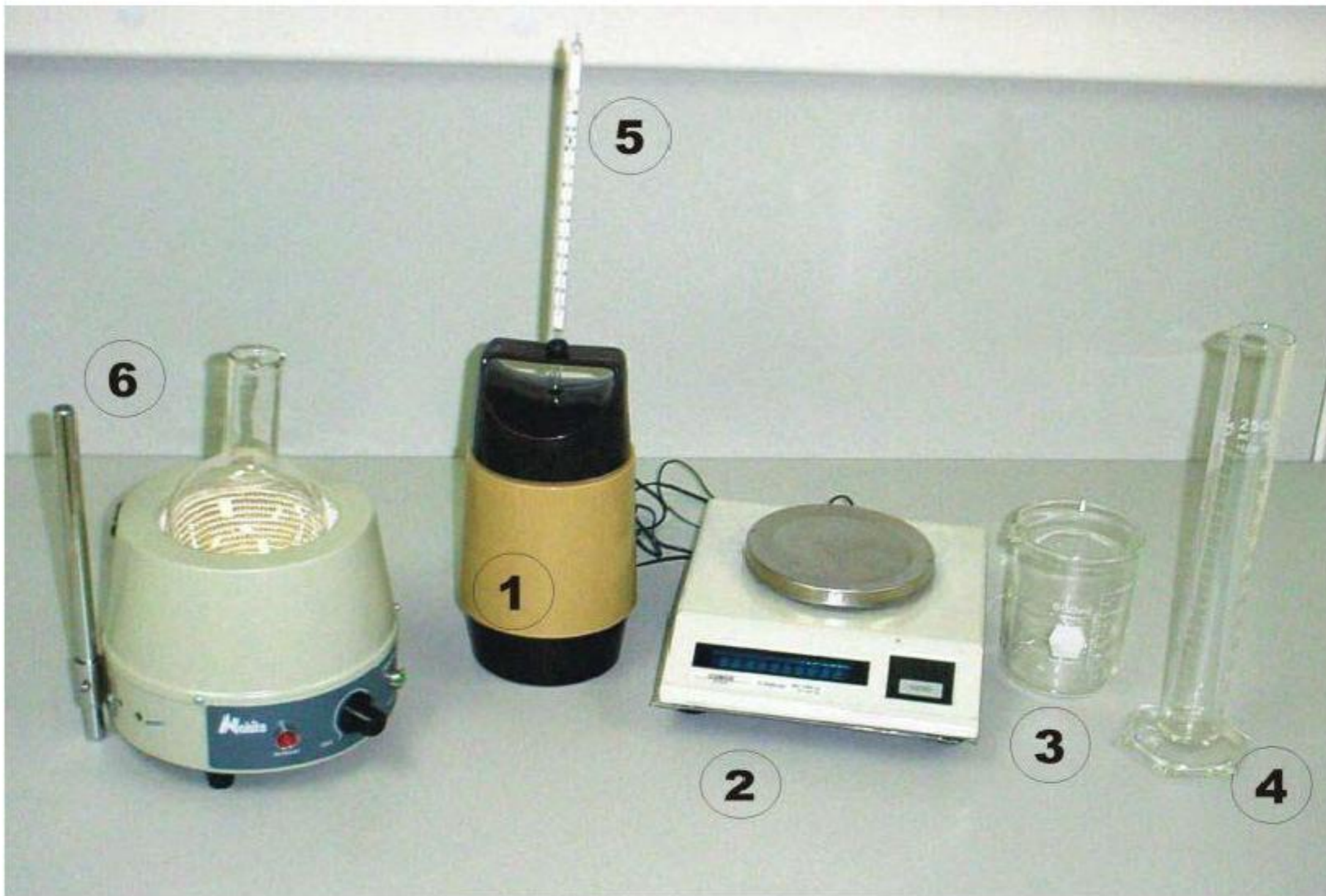
Vaso de precipitado.

Termómetro.

Hornilla.

Probeta.

Agua, hielo.



V. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD



- 1.- Tener mucho cuidado de conectar la hornilla en la red.
- 2.- Usar con mucho cuidado los utensilios de vidrio, incluyendo el termómetro.
- 3.- Cuidar que el termómetro no toque el recipiente solo el líquido
- 4.- Tener cuidado con el agua cuando ya está caliente. Sobre todo al bajarla de la hornilla.
- 5.- Durante la realización del experimento el calorímetro debe mantenerse tapado.
- 6.- Para minimizar el intercambio de calor con el medio ambiente, sólo se destapará mientras se introduzca algo en él.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Tarea 1.-Determinación del equivalente en agua del calorímetro

- 1.- Pesa el calorímetro vacío y seco, y anota el valor de la masa obtenido, M_{cal} .
- 2.- Tomar una cantidad de agua (aproximadamente unos 200 cm^3) y, utilizando la hornilla, calentar hasta unos 10°C por encima de la temperatura ambiente del laboratorio.

3.- Verter esta agua en el calorímetro y cerrarlo. Determinar ahora la masa del calorímetro con el agua, $M_{(cal+agua,1)}$. La masa de agua añadida, M_{agua} , se obtendrá por diferencia entre las dos pesadas anteriores:

$$M_{agua} = M_{cal+agua1} - M_{cal} \quad (\text{ecuación 3})$$

4.- Agitar suavemente el calorímetro y observar cómo evoluciona el nivel del mercurio en el termómetro del calorímetro; cuando este nivel se estabilice, anotar el valor de la temperatura del sistema (calorímetro + agua1), T_1 .

5.- Mientras se estabiliza la temperatura en el calorímetro, tomar otros 200 cm³ de agua y enfriarlos añadiendo un poco de hielo picado (hasta unos 10°C por debajo de la temperatura ambiente). Cuando se ha enfriado el agua y en **la mezcla no queda nada de hielo**, se toma nota de la temperatura de esta agua fría, T_2 , se vierte en el calorímetro y se tapa.

6.- Obtener el valor de la masa de agua fría añadida, M_b , pesando de nuevo el calorímetro con el agua caliente y fría. Si la masa total es ahora $M_{(cal+agua,1+2)}$, la masa de agua fría es:

$$M_b = M_{(cal+aguas1+2)} - M_{(cal+agua1)} \quad (\text{ecuación 4})$$

7.- Seguidamente agitar suavemente el calorímetro con la mezcla de agua. Observar la indicación en el termómetro y cuando se estabilice su lectura anotar la temperatura final de equilibrio de la mezcla, T_{final} . Al llegar al equilibrio térmico, el calorímetro y el agua caliente han disminuido su temperatura (la temperatura absoluta es una medida de la energía cinética de traslación de las moléculas) cediendo calor al agua fría, que a su vez aumenta así su temperatura. Según la ecuación (2), podremos escribir el principio de conservación de la energía como la ecuación de balance calorimétrico en el equilibrio:

$$c (M_a + K)(T_1 - T_{final}) = c M_b (T_{final} - T_2) \quad (\text{ecuación 5})$$

De la ecuación 5 el valor del equivalente en agua del calorímetro (K) será:

$$K = (M_b (T_{final} - T_2) / (T_1 - T_{final})) - M_a \quad (\text{ecuación 6})$$

Tarea 2.-Determinación de la entalpía de fusión del hielo

1.- Para determinar la entalpía de fusión del hielo, ΔH_f , tomar aproximadamente unos 40 gramos de hielo granizado (la medida precisa de esta masa se realizará más tarde, por diferencia de pesadas) y secarlo lo más posible, sin tocarlo directamente con los dedos.

2.- En el calorímetro tenemos el agua que queda de la primera parte de la práctica. Justo antes de echar el hielo en el calorímetro, leer y anotar nuevamente la temperatura de equilibrio del calorímetro con la mezcla de agua, T_3 (esta temperatura deberá coincidir prácticamente con la última que se hizo, T_{final} , pero puede diferir ligeramente debido a que

al no ser el calorímetro un aislante perfecto intercambia energía térmica, por radiación, con el ambiente).

3.- Introducir el hielo en el calorímetro, taparlo y seguir atentamente la evolución de la temperatura del sistema (calorímetro más mezcla de hielo y agua), cada 30 segundos durante varios minutos, hasta que todo el hielo se haya fundido. Para comprobar que el hielo se ha fundido, no se debe estar destapando continuamente el calorímetro; se sabrá porque la temperatura deja de bajar estabilizándose en un cierto valor mínimo durante unos minutos.

4.- Anotar esta temperatura, que denominaremos T'_{final} . Para medir la masa de hielo, M_H , pesa una vez más el calorímetro con todo lo que contiene, y anota su masa $M_{(\text{cal} + \text{aguas 1+2} + \text{hielo fundido})}$. Entonces:

$$M_H = M_{(\text{cal} + \text{aguas 1+2} + \text{hielo fundido})} - M_{(\text{cal} + \text{aguas 1+2})} \quad (\text{ecuación 7})$$

5.- Atendiendo al principio de conservación de la energía en este último experimento, el calor cedido por el conjunto formado por el agua caliente y el calorímetro, mientras disminuye su temperatura desde T_3 hasta la de equilibrio T'_{final} , es absorbido por el hielo primero para fundirse (entalpía o calor “latente” de fusión) y luego, ya en estado líquido, para elevar su temperatura desde la $T_{\text{fusión}} = 0^\circ\text{C}$ hasta la temperatura de equilibrio T'_{final} .

Este balance calorimétrico se expresa como:

$$c(M_{\text{cal} + \text{aguas 1+2}} - M_{\text{cal}} + K) (T_3 - T'_{\text{final}}) = M_H \Delta H_f + M_H c (T'_{\text{final}} - T_{\text{fusión}}) \quad (\text{ecuación 8}).$$

Por tanto, la entalpía de cambio de estado sólido a estado líquido ΔH_f , vendrá dada por:

$$\Delta H_f = \frac{c(M_{\text{cal} + \text{aguas 1+2}} - M_{\text{cal}} + K) (T_3 - T'_{\text{final}}) - c M_H (T'_{\text{final}} - T_{\text{fusión}})}{M_H}$$

VII.- HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS DATOS EXPERIMENTALES

Rellena la **tabla 1** de las medidas directas realizadas, expresándolas en concordancia con su error experimental, asociado a la precisión de los aparatos de medida:

Tabla 1

APARATO DE MEDIDA	PRECISIÓN (unidades)
Balanza	
Termómetro	

Tabla 2: Medidas Directas

MEDIDAS DIRECTAS	(VALOR \pm Incertidumbre) unidades
Mcal	(200.9 \pm 0.05) gr
M(cal + agua,1)	(305.4 \pm 0.05) gr
T del ambiente	30°C
T ₁	42°C
T ₂	22°C
M(cal+ aguas,1+2)	(397.6 \pm 0.05) gr
T _{final}	33°C
T ₃	33°C
T' final	18°C
M(cal+ agua,1,2 + hielo fundido)	(430 \pm 0.05) gr

Tabla 3: Medidas Indirectas

MEDIDAS INDIRECTAS	VALOR
Ma	104.5 g
Mb	92.2 g
M _H	32.4 g
K	8.2 g
ΔH_f	78 cal/g

VIII. RESUMEN DE RESULTADOS

(A) Calcular a continuación la incertidumbre de medida indirecta para M_H , a partir de las incertidumbres de medida directa correspondientes (ver ecuación 7), indicando los cálculos realizados para obtener el resultado de ΔM_H .

FÓRMULA GENÉRICA CALCULADA

$$\Delta M_H =$$

Rellenar la siguiente tabla expresando el valor de las medidas indirectas en concordancia con la incertidumbre calculada:

Tabla 4

Variable	Valor	Incertidumbre	(VALOR \pm Incertidumbre) unidades
M_H			

(B) A continuación, reflejar los cálculos de la incertidumbre de medida indirecta para la entalpía de fusión del hielo $\Delta(\Delta H_f)$, suponiendo, para simplificar, que en la ecuación (9) las incertidumbres de K , c y $T_{\text{fusión}}$ son nulas, o sea:

$$\Delta H_f = \Delta H_f (M_{(cal+aguas1+2)}, M_{cal}, M_H, T_3, T'_{\text{final}})$$

FÓRMULA GENÉRICA CALCULADA

$$\Delta(\Delta H_f) =$$

Reflejar en las dos primeras columnas el valor de ΔH_f y el resultado de $\Delta(\Delta H_f)$ sin redondeos y, en la última columna, expresar adecuadamente $\Delta H_f \pm \Delta(\Delta H_f)$ en las unidades correspondientes. (Utilizar la segunda fila para reflejar los cálculos en el Sistema Internacional de unidades):

Tabla 5

Variable	Valor	Incertidumbre	(VALOR \pm Incertidumbre) unidades
ΔH_f			
ΔH_f			

(C) Discutir el resultado obtenido para ΔH_f comparándolo con su valor teórico, comentando el error relativo cometido y analizando brevemente las posibles fuentes de error.

IX. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

1.- Si el equivalente en agua del calorímetro es tal que $K = 50 \text{ g}$, ¿significa esto que la masa del calorímetro es igual a 50 gramos?.

¿Te parece lógico tu resultado experimental obtenido para K ?

2.- Para determinar el valor del equivalente en agua del calorímetro, se ha sugerido tomar aproximadamente las mismas cantidades de agua, ajustando las temperaturas de modo que el agua caliente esté unos 10°C por encima de la temperatura ambiente del laboratorio y la fría unos 10°C por debajo. ¿Cómo afectan de esta manera las pérdidas y/o ganancias de energía térmica (entre la temperatura ambiente y las del interior del calorímetro) al desarrollo de la práctica?

X. HOJA DE CONSTANCIA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

Tabla 1

APARATO DE MEDIDA	PRECISIÓN (unidades)
Balanza	
Termómetro	

Tabla 2: Medidas Directas

MEDIDAS DIRECTAS	(VALOR \pm Incertidumbre) unidades
Mcal	
M(cal + agua,1)	
T del ambiente	
T_1	
T_2	
M(cal+ aguas,1+2)	
Tfinal	
T_3	
T' final	
M(cal+ agua,1,2 + hielo fundido)	

Tabla 3: Medidas Indirectas

MEDIDAS INDIRECTAS	VALOR (unidades S.I)
Ma	
Mb	
MH	
K	
ΔH_f	

Tabla 4

Variable	Valor	Incertidumbre	(VALOR \pm Incertidumbre) unidades
M_H			

Tabla 5

Variable	Valor	Incertidumbre	(VALOR \pm Incertidumbre) unidades
ΔH_f			
ΔH_f			

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 3

“DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EFICAZ SOBRE UNA PLACA METÁLICA A PARTIR DE LOS PROCESOS DE CAMBIOS DE ESTADO”

I. OBJETIVOS

Determinar la potencia eficaz sobre una placa metálica a partir de los cambios de estado experimentados por el agua desde el estado sólido hasta vapor.

II. MARCO TEÓRICO

Los cambios de estado de la materia tienen mucha importancia en Física. Los primeros que se estudiaron tenían que ver, esencialmente, con los enlaces moleculares y su evolución con la temperatura. Ejemplos de ellos son las transformaciones sólido –líquido–vapor de muchas sustancias y los cambios de estructura cristalina de los sólidos. Con la misma técnica fenomenológica se aborda el estudio de las transiciones de fase ferromagnéticas y ferroeléctricas y otros fenómenos cooperativos, que tanta importancia han adquirido en los últimos decenios. Por esta razón es interesante hacer un estudio experimental de uno de los cambios de estado más familiares; la transformación sólido–líquido – vapor en el caso del agua.

Fusión y vaporización del agua

Con un sencillo experimento, y sin apenas aparatos de medida, se pueden estudiar los cambios de estado que sufre el agua; si calentamos un trozo de hielo desde la temperatura a la que se encuentra (algunos grados centígrados bajo cero) hasta que el agua en que se ha transformado hierve, convirtiéndose en vapor (a 100°C), los procesos que tienen lugar son los siguientes:

- a) La masa de hielo se calienta desde su temperatura inicial T_h hasta 0°C, consumiendo una cantidad de calor Q_h :

$$Q_h = m c_h (0^\circ\text{C} - T_h)$$

Donde $c_h = 0,55 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ es el calor específico del hielo.

- b) El hielo se transforma en agua a 0°C, consumiendo una cantidad de calor Q_f (calor de fusión):

$$Q_f = m L_f$$

Donde L_f es el valor latente de fusión del agua. Su valor es:

$$L_F = 79,71/\text{g} \text{ (a la presión atmosférica)}$$

- c) El agua se calienta desde 0°C hasta 100°C en que comienza a hervir, consumiendo una cantidad de calor Q_a :

$$Q_a = mc_a (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

Siendo $c_a = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ el calor específico del agua.

- d) A 100°C el agua hierve y se transforma en vapor, para lo que consume una cantidad de calor Q_v :

$$Q_v = m L_v$$

Donde L_v es el calor latente de vaporización del agua. Su valor es:

$$L_v = 536,5 \text{ cal/g} \text{ (a la presión atmosférica)}$$

En los cambios de estado (fusión y vaporización) la temperatura del agua permanece constante durante todo el proceso. El calor absorbido por el hielo durante la fusión se invierte en debilitar el enlace entre las moléculas de agua, que pasan de formar una estructura rígida a otra fluida. En el proceso de vaporización el calor se invierte en romper el enlace entre las moléculas de agua, de manera que quedan completamente liberadas formando un gas perfecto. Parece lógico que sea necesario mayor aporte energético en este segundo caso (vaporización) que en el primero (fusión).

Para determinar el valor de la potencia eficaz sobre la placa se puede llevar a cabo un experimento consistente en provocar el cambio de estado del agua en estado sólido (hielo) hasta alcanzar el estado gaseoso (vapor de agua) de tal manera que este vapor incida sobre una placa metálica y la pueda calentar lo más uniforme posible. Si se determina el tiempo invertido en realizar estos procesos indicados y suponemos que el calor Q suministrado por la placa es proporcional al tiempo t de utilización de la misma se tendrá: $Q = K t$, Donde Q es la cantidad de calor y K es la potencia eficaz suministrada por el vapor procedente del cazo.

Sabiendo que $Q = mc \Delta T = Kt$, se tendrá $t = (c \Delta T / K) m$,

Donde c y ΔT son constantes. Si se realiza una representación gráfica de distintas m en función de t obtendremos una línea recta cuya pendiente depende de K .

III.- TAREA PREVIA

- 1.- ¿Consideras que el tiempo que tarda un trozo de hielo hasta pasar del estado sólido a líquido y luego a vapor depende de la masa de hielo que tengamos?
- 2.- ¿Será posible calentar una placa metálica con el vapor de agua, si éste le incide directamente?

IV.- MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO

- Hornilla
- Agua
- Balanza
- Recipiente metálico ancho (cazo)
- Placa metálica
- Sistema aislante
- Termómetro
- Cronómetro

V. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD



- I. Tener mucho cuidado de conectar la hornilla en la red.
- II. Usar con mucho cuidado el termómetro y cuidar que no toque el recipiente solo el líquido.
- III. Tener cuidado con el agua cuando ya está caliente.
- IV. Tener cuidado de no tocar la placa metálica.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 1.- Poner una masa de hielo (aproximadamente 50 cm^3) a que se derrita hasta alcanzar una temperatura de unos 20 grados.
- 2.- Calentar esta masa (50 cm^3) de agua desde la temperatura de 20 grados hasta que se pone a hervir y anotamos el tiempo invertido en conseguirlo así como la temperatura final
- 2.- Repetir el experimento aumentando la masa de 50 gramos en 50 gramos para obtener 10 diferentes valores y registrar estos valores en la tabla I.

VII.- HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS**Tabla 1**

Tiempo empleados en calentar diversas masas de agua desde la temperatura ambiente (20°C) hasta la temperatura de ebullición (a la presión atmosférica).

m (g)										
t (s)										

VIII. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 1) Representar gráficamente los valores de la tabla 1.
- 2) Con las medidas de temperatura inicial y final para cada masa obtener el valor de K.

IX. HOJA DE CONSTANCIA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Tabla 1. Tiempo empleados en calentar diversas masas de agua desde la temperatura ambiente (20°C) hasta la temperatura de ebullición (a la presión atmosférica).

m (g)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
t (s)	25	37	65	74	102	106	140	140	167	183

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 4

“DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DE UN SÓLIDO”

I. OBJETIVOS

- Determinar el calor específico de un sólido midiendo el calor que éste cede a una masa conocida de agua fría, dentro de un calorímetro aproximadamente adiabático.

II. MATERIAL

- Calorímetro
- Agua y una estufa
- Balanza
- Cuerpos de diferentes materiales
- Un termómetro

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Sabemos por experiencia que los distintos cuerpos experimentan variaciones de temperatura distintas al recibir la misma cantidad de calor. Por ejemplo, cuando dejamos el coche al Sol, las partes metálicas se calientan más que el vidrio de las ventanillas.

La calorimetría es una disciplina, encuadrada en la termodinámica, que se dedica al estudio de este fenómeno físico. Para cuantificarlo se define la *capacidad calorífica de un cuerpo* como la cantidad de calor que necesita para aumentar en 1°C su temperatura. Matemáticamente se expresa como el cociente entre la cantidad de calor suministrado a un cuerpo, ΔQ , y el incremento de su temperatura, ΔT :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Tradicionalmente la unidad de capacidad calorífica es cal/°C aunque en el SI se mide en J/K, siendo 1cal=4,18J.

Sin embargo, es conveniente generalizar la definición de capacidad calorífica para todos los cuerpos. Para ello, debe definirse una nueva magnitud que sea independiente de la masa del cuerpo. Dicha magnitud se conoce como *capacidad calorífica por unidad de masa o calor específico* y es la cantidad de calor que hay que suministrar a 1g de una sustancia para elevar 1°C su temperatura.

$$c_e = \frac{C}{m} = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

Tradicionalmente se mide en cal/gr·°C aunque en el SI el calor específico se mide en J/kg·K.

Todos los métodos calorimétricos se basan en dos principios:

1. Principio de igualdad de los intercambios de calor: Cuando dos cuerpos se ponen en contacto, de forma que estén aislados del exterior, la cantidad de calor que pierde uno es igual a la cantidad de calor que gana el otro,

$$\Delta Q_{perdido} = \Delta Q_{ganado}$$

2. Principio de las transformaciones inversas: La cantidad de calor que hay que suministrar a un cuerpo para que su temperatura se incremente en ΔT es igual a la cantidad de calor que debería perder para disminuir ese mismo ΔT . Es decir, la ecuación $\Delta Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T$ es válida tanto para el calor ganado como para el calor perdido.

IV. PARTE EXPERIMENTAL

En esta práctica se estudiará el fenómeno de transferencia de calor y se determinará el calor específico de varios materiales. Para ello emplearemos un método que se basa en el principio de la igualdad de los intercambios de calor. De este modo, si ponemos en contacto dos cuerpos a diferentes temperaturas dentro de un recinto adiabático, el sistema evoluciona hasta alcanzar un estado final de equilibrio térmico, en el cual la temperatura de ambos es la misma.

Como recinto aproximadamente adiabático emplearemos un calorímetro. Debido a que éste siempre absorbe algo de calor, el primer paso debe ser obtener experimentalmente su capacidad calorífica. Este calor absorbido por unidad de temperatura es equivalente al que absorbería una determinada cantidad de agua, de ahí que también se le llame equivalente en agua del calorímetro. Esta capacidad se determina por el denominado *método de las mezclas*. Para ello se coloca dentro del calorímetro una masa conocida de agua fría m_f (si el calorímetro es pequeño se recomienda en torno a 80 g). Para determinarla se pesa el calorímetro vacío y posteriormente con el agua dentro y se obtiene la diferencia. Luego se determina su temperatura T_f cerrando el calorímetro y agitando continuamente con el agitador.

Por otro lado, se calienta con el mechero unos 40g de agua hasta 60-70°C midiendo con precisión la temperatura que alcanza (T_f). A continuación, se vierte el agua caliente en el calorímetro, se cierra y se agita el agua hasta que se alcance la temperatura de equilibrio (T_M). Finalmente se pesa de nuevo el calorímetro para determinar la masa de agua caliente (m_c) que hemos vertido. Conociendo todas estas magnitudes y aplicando los principios de

la calorimetría ($\Delta Q_{ganado} = \Delta Q_{perdido}$ y $\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$), la capacidad calorífica del aparato viene dada por:

$$C = c_{H_2O} \frac{m_C(T_f - T_M) - m_f(T_M - T_f)}{(T_M - T_f)}$$



Una vez determinado C , se llena el calorímetro con unos 60g de agua fría; la nueva masa m_f se determina, como antes, por pesada. Se espera al menos 5 minutos a que se establezca la temperatura (se recomienda llenar y vaciar varias veces el calorímetro para enfriarlo completamente), se cierra el aparato y se mide la temperatura (T_f) agitando continuamente. Simultáneamente se sumerge uno de los cuerpos de masa m_{sol} en agua y se calienta hasta ebullición, dejando el sólido unos minutos en el agua hirviendo para que se establezca a la temperatura de ebullición. A continuación, se sumerge el sólido en el calorímetro (se coge por el hilo de nylon), se cierra, se agita el agua y se mide a continuación la temperatura del agua (T_M) una vez se haya estabilizado. El calor específico del sólido se determina por:

$$c_{sol} = \frac{m_f c_{H_2O} (T_M - T_f) + C (T_M - T_f)}{m_{sol} (T_{EB} - T_M)}$$

donde T_{EB} es la temperatura de ebullición.

V. CUESTIONES

- 1) Determinar el equivalente en agua del calorímetro con su error.
- 2) Deducir matemáticamente la expresión de la capacidad calorífica del calorímetro.
- 3) Determinar los calores específicos de los materiales de que se dispone con sus respectivos errores. Comparar los valores experimentales con los valores tabulados.
- 4) De las distintas medidas directas que intervienen en la determinación de C y de c_{sol} , ¿cuáles, en cada caso, afectan más al error final?

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 5

“DILATACIÓN TÉRMICA”

I. OBJETIVOS

- Estudiar la dilatación lineal de diferentes materiales en función de la temperatura

II. MATERIAL

- Banco para baño térmico
- Varillas de diferentes materiales
- Dos extensómetros
- Un kitasato
- Un termómetro

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

En general, las sustancias, tanto líquidas como sólidas, sufren un incremento de volumen cuando se aumenta su temperatura. Esto es apreciable a simple vista en muchas ocasiones: los cables de electricidad cuelgan más en un día caluroso que en un día frío, los rieles de las vías de ferrocarril se encuentran separados algunos milímetros entre ellos, un dentista utiliza un material de empaste que tenga la misma razón de expansión que los dientes para que al sufrir un cambio de temperatura no se afloje o apriete en la dentadura, los pistones de un motor automotriz son de aluminio y son un poco más pequeños que los agujeros de acero donde se insertan en el motor para compensar el aumento de volumen al calentarse ambos metales. Una conocida excepción es la del agua, que en el intervalo comprendido entre 0°C y 4°C muestra el comportamiento contrario aumentando su volumen al congelarse.

Este efecto se conoce con el nombre de dilatación y puede ser de tres tipos:

- **Dilatación lineal:** tiene lugar en los cuerpos que presentan una dimensión mucho mayor que las otras dos. La dilatación se produce en la dirección de mayor longitud, considerando que las dimensiones más pequeñas contribuyen muy poco al aumento de volumen del cuerpo. De este modo, la ecuación que describe este comportamiento es:

$$\Delta L = L_o \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Donde ΔL es el incremento de longitud, ΔT el incremento de temperatura, L_0 la longitud inicial (a la temperatura inicial T_0), y α el coeficiente de dilatación lineal.

- **Dilatación superficial:** si el cuerpo es plano, es decir, dos de sus dimensiones son mucho mayores que la tercera, se produce dilatación superficial o de área. La dilatación en las dos dimensiones de mayor longitud es la misma, de modo que se cumple que:

$$\Delta A = 2\alpha \cdot A_0 \cdot \Delta T$$

donde ΔA es el incremento en el área y A_0 el área inicial (a la temperatura T_0 inicial).

- **Dilatación volumétrica:** es el caso más general pues se da cuando las tres dimensiones del cuerpo son de longitudes similares. En el caso de los sólidos el coeficiente de dilatación lineal es el mismo en las tres direcciones (propiedad de isotropía) y se cumple que:

$$\Delta V = 3\alpha \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

Donde ΔV es el incremento de volumen y V_0 el volumen inicial (a la temperatura T_0 inicial). En el caso de los líquidos, el coeficiente de dilatación volumétrica se denomina con la letra β y su ecuación es:

$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

En nuestro caso, estudiaremos la dilatación lineal en varillas de diferentes materiales: hierro, cobre y aluminio. Los valores teóricos de sus respectivos coeficientes de dilatación son:

Material	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Hierro/Acero	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Aluminio	$2,2 \cdot 10^{-5}$

Cabe destacar que los coeficientes de dilatación no son constantes sino que varían ligeramente con la temperatura, aunque en esta práctica despreciaremos dicha variación.

IV. PARTE EXPERIMENTAL

Se introduce la varilla de metal en el tubo de vidrio y se conecta éste mediante un tubo de goma a un kitasato en el que habremos colocado previamente un poco de agua y un termómetro para medir la temperatura del vapor. A cada extremo de la varilla y en contacto con ella, se colocan los dos extensómetros ajustados a cero. Se mide la temperatura inicial, T_o , y la longitud inicial de la varilla, L_o , con sus respectivos errores.



Para realizar el baño térmico, calentamos el agua hasta llevarla a ebullición, momento en el que el vapor de agua entrará en el tubo de vidrio y comenzará a elevar la temperatura de la varilla. A medida que se calienta, la varilla sufrirá dilatación lineal a lo largo de la dirección de mayor dimensión, alcanzando la dilatación máxima una vez la varilla alcance la temperatura del vapor de agua (en torno a los 100°C). Hay que estar atentos porque llegará un momento en el que la dilatación será máxima y a continuación empezará a disminuir debido a que el vapor de agua comienza a condensarse y la temperatura en el tubo comienza a disminuir.

Para determinar el coeficiente de dilatación lineal de la varilla se debe medir la temperatura del vapor de agua, T_f , y la dilatación máxima alcanzada, $\Delta L_{\text{máx}} = L_f - L_o$, con sus respectivos errores. Realizar estas medidas varias veces y obtener un valor promedio de cada magnitud para así disminuir el error total. A continuación, se despeja el coeficiente de dilatación, α , de la siguiente expresión y se sustituyen valores:

$$\Delta L_{\text{máx}} = L_o \cdot \alpha \cdot \Delta T_{\text{máx}}$$

Donde $\Delta T_{\text{máx}} = T_f - T_o$ es el incremento de temperatura que experimenta la varilla.

NOTA: Dado el montaje experimental del que se dispone, únicamente podemos tomar un par de valores ($\Delta T_{\text{máx}}$, $\Delta L_{\text{máx}}$), asociados a la temperatura del vapor y a la dilatación máxima. Sin embargo, si pudiésemos realizar un baño térmico con agua líquida de modo que fuese posible controlar la temperatura, se tomarían varios pares de valores (ΔT , ΔL). A continuación, se representarían en una gráfica los incrementos de longitud, ΔL (en ordenadas) frente a los incrementos de temperatura, ΔT (en abscisas), con sus respectivos errores (barras de error). Por último, se realizaría un ajuste lineal de los puntos representados por el método de mínimos cuadrados, obteniendo así el valor de la pendiente y la ordenada en el origen junto a sus respectivos errores y unidades.

V. CUESTIONES

1. Construir una tabla con los valores medidos, errores y unidades de los incrementos de la temperatura y los incrementos de longitud de la varilla. Hallar los valores promedios y sus errores.
2. Hallar los valores promedios y sus errores. Calcular el error relativo de las medidas:

$$E_r = \frac{\Delta(\overline{\Delta T})}{\overline{\Delta T}} \times 100$$

3. Conociendo el valor de la longitud inicial de las varillas, obtener el valor y el error del coeficiente de dilatación lineal, α , a partir de los valores promedios.
4. Comparar los valores obtenidos experimentales con los valores tabulados y calcular su desviación.

$$desviación = \frac{\alpha_{tabulado} - \alpha_{exp}}{\alpha_{tabulado}} \times 100$$

ELECTROMAGNETISMO

PRÁCTICAS EXPERIMENTALES

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 1

“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA ELECTRICA DE UN CONDUCTOR CON LA GEOMETRÍA.”

I. OBJETIVO.

Investigar la dependencia de la resistencia de un conductor con el diseño geométrico.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

La ley de Ohm. Esta ley tiene el nombre del físico alemán Georg Ohm, que en un tratado publicado en 1827 estudió los valores de la tensión y corriente que pasaba a través de unos circuitos eléctricos simples y presentó una ecuación un poco más compleja que la usada en la actualidad para explicar sus resultados experimentales.

La ley de Ohm establece que la intensidad eléctrica que circula entre dos puntos de un conductor es directamente proporcional a la tensión eléctrica entre dichos puntos, existiendo una constante de proporcionalidad entre estas dos magnitudes (ver figura 1). Dicha constante de proporcionalidad es la conductancia eléctrica, que es inversa a la resistencia eléctrica. La ecuación matemática moderna que describe esta relación es la siguiente:

$$I = GV \text{ o } I = (1/R)V \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde I es la intensidad de corriente que pasa a través del conductor en amperios, V es la tensión entre los extremos del conductor en voltios, G es la conductancia en siemens y R es la resistencia en ohmios.

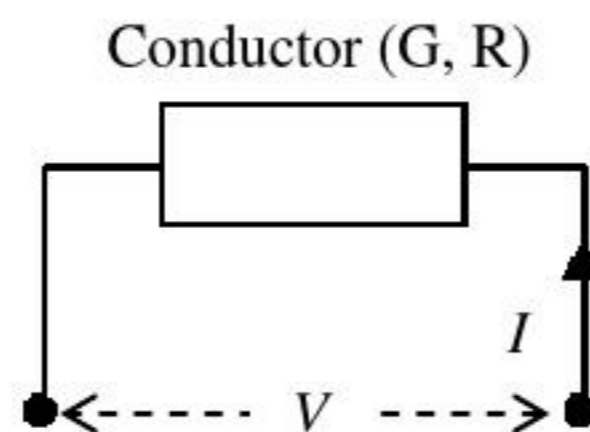


Figura 1.

Ley de Ohm en un conductor.

Específicamente, la ley de Ohm dice que la R en esta relación es constante, independientemente de la corriente o de la tensión. Sin embargo, ya en la práctica, nos damos cuenta que esta afirmación es solo una aproximación pues la resistencia se ve afectada por varios parámetros, siendo el más importante la temperatura. Esta ley se cumple

para circuitos y tramos de circuitos pasivos que, o bien no tienen cargas inductivas ni capacitivas (únicamente tiene cargas resistivas), o bien han alcanzado un régimen permanente.

Tal como indica la ecuación 1, la representación gráfica de los valores V , I es una aproximación lineal, ya que en general la resistencia de un elemento depende de la intensidad de corriente que circule a través del mismo, y la corriente depende de la tensión aplicada que le da origen. El origen de la caída de tensión que tiene lugar en las resistencias se halla en la disipación de energía eléctrica en forma de calor. Esto hace que la temperatura de los distintos elementos aumente, modificándose, así, las propiedades de conducción eléctrica de los mismos. Además, la forma en que la resistencia de un material varía con la tensión a que se lo somete, depende de que se trate de un elemento conductor o de un elemento semiconductor. En el primero la resistencia aumenta con la temperatura, mientras que en el segundo disminuye con ella.

La Ley de Ohm es obedecida con sorprendente precisión por multitud de materiales conductores en un amplio intervalo de valores de V , I y de temperatura del conductor; y significa que para estos conductores la resistencia es independiente de las variaciones en las magnitudes mencionadas. Así, dependiendo del elemento en cuestión, es muy razonable en muchos casos considerar el valor de la resistencia como constante, con lo que la relación entre tensión aplicada e intensidad de corriente es efectivamente lineal. En aquellas ocasiones en las que la relación no es lineal se emplea la relación implícita en la ley de Ohm para determinar el valor de la resistencia para cada temperatura.

En general, los materiales que cumplen con la ecuación 1 (relación lineal), la Ley de Ohm, reciben el nombre de materiales óhmicos, mientras que los materiales que no cumplen con ésta se clasifican como no óhmicos. La Ley de Ohm no es considerada una ley fundamental del electromagnetismo debido a que depende de las propiedades de un medio conductor.

Resistencia de los conductores lineales u óhmicos. La resistencia R de un conductor lineal depende de su geometría de construcción, específicamente de su longitud y sección transversal. En el caso de la sección transversal, lo común es que sea circular para el caso de los conductores cilíndricos, sin embargo, también los hay con secciones cuadradas o rectangulares.

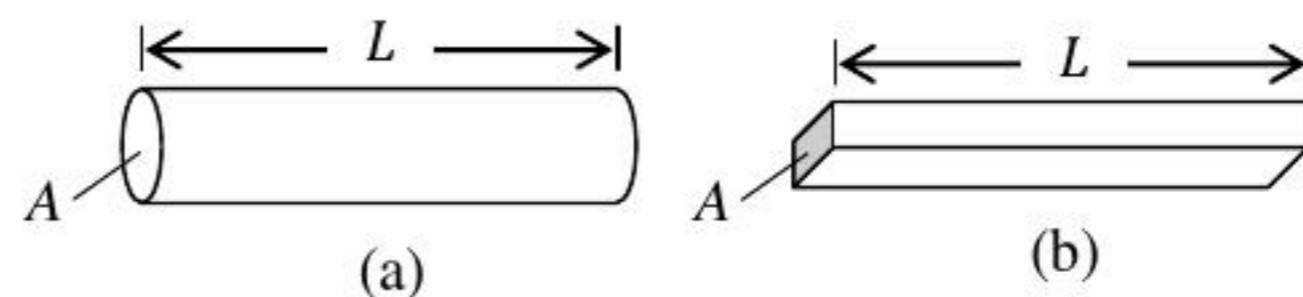


Figura 2.

Geometría de construcción de un conductor lineal.

(a) Conductor cilíndrico (sección circular) y (b) conductor prismático (sección rectangular)

Para este tipo de conductores, se observa que la resistencia y la longitud se relacionan a partir de la siguiente expresión:

$$R = kL \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde R es la resistencia, L es la longitud y k es una constante de proporcionalidad que depende de la resistividad del material y del área de sección transversal.

TAREA PREVIA.

Responde las siguientes interrogantes:

- A partir de la ley de Ohm, ¿qué forma tendrá el gráfico de la resistencia frente a la longitud de un conductor óhmico?
- Investiga cuándo un material es óhmico y cuándo es no óhmico. Explica cuáles de los materiales que observas a tu alrededor cumplen con estas características.
- ¿Cuál material es el mejor conductor a temperatura ambiente?
- ¿Qué un material aislante? ¿Existe un aislante perfecto?
- ¿Cómo se define una material semiconductor?

III. MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el desarrollo de esta práctica se recomienda el siguiente equipamiento:

- Un lápiz de grafito puro (que pueden adquirirse en cualquier librería)
- Un lápiz tipo B6 (mina muy blanda) o similar.
- Varias hojas de papel milimetrado
- Un multímetro digital (tester)
- Una regla de 30 cm.

IV. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Revisa que dispones de todos los materiales y equipos necesarios, y que además estén en buen estado. Anota la cantidad recibida.
- Apaga tu teléfono celular durante la práctica.
- No juegues con el multímetro, ya que es un aparato bastante sensible y puedes dañarlo.
- Al finalizar la práctica, entrega el equipo y los materiales del laboratorio a tu instructor tal como lo recibiste.

V. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Parte A. Trazo lineal.

- 1) Apoyado con la regla, marca sobre el papel milimetrado un trazo lineal bien nítido de un poco más de 20 cm usando el lápiz de grafito puro (ver figura 3). El trazo debe tener 1 mm de ancho. Practica previamente hasta lograr un trazo parejo y uniforme. Tal vez sea necesario repasar con el lápiz unas 6 a 8 veces por el mismo trazo.
- 2) Selecciona en el multímetro el modo de óhmetro y elije el rango más amplio de medición. Cambia este rango si fuera necesario.
- 3) **Resistencia del trazo como función de su longitud.** Mide la resistencia del trazo en tramos de 2 cm. Para ello, coloca la punta negra en la marca de 0 y mueve la punta roja a las marcas 1, 2, 3, etc. Registra las medidas en la tabla No. 1 de la hoja para recolectar datos y medidas.

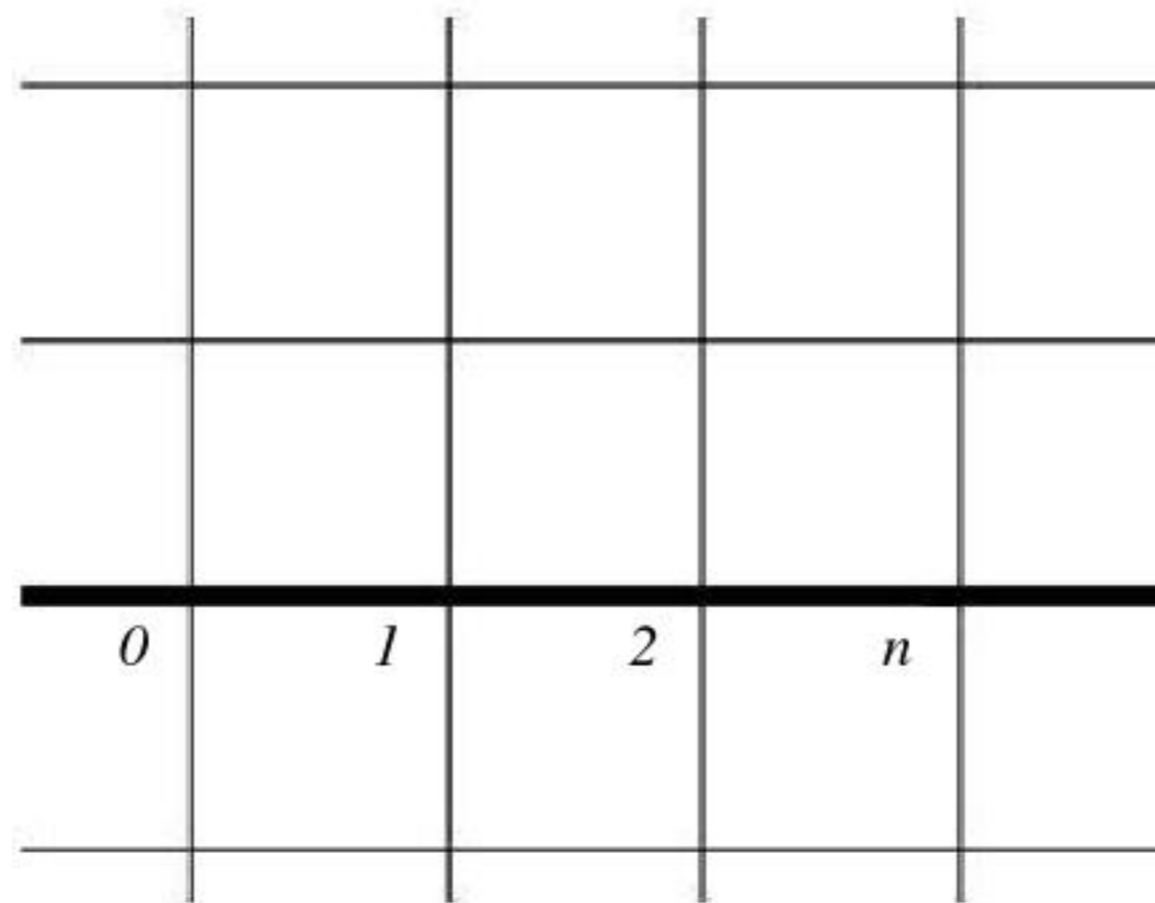


Figura 3.

Trazo lineal del conductor de grafito puro.

- 4) **Resistencia unitaria.** Ahora, toma tramos de 2 cm longitud del trazo y mide la resistencia para cada uno de ellos. Estos tramos pueden ser 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3 y así sucesivamente. Registra los datos en la tabla No 2 de la hoja para recolectar datos y medidas.
- 5) Repite las mediciones usando un lápiz de otro tipo.

Parte B. Trazo escalonado.

- 6) Ahora, con el mismo lápiz de grafito puro marca sobre el papel milimetrado un trazo como el que se muestra en la figura 4. Cada tramo debe tener una longitud de 2 cm.
- 7) **Resistencia del trazo como función de su longitud.** Mide la resistencia del trazo en tramos de 2 cm. Para ello, coloca la punta negra en la marca de 0 y mueve la punta roja

a las marcas 1, 2, 3, etc. Registra las medidas en la tabla No. 3 de la hoja para recolectar datos y medidas.

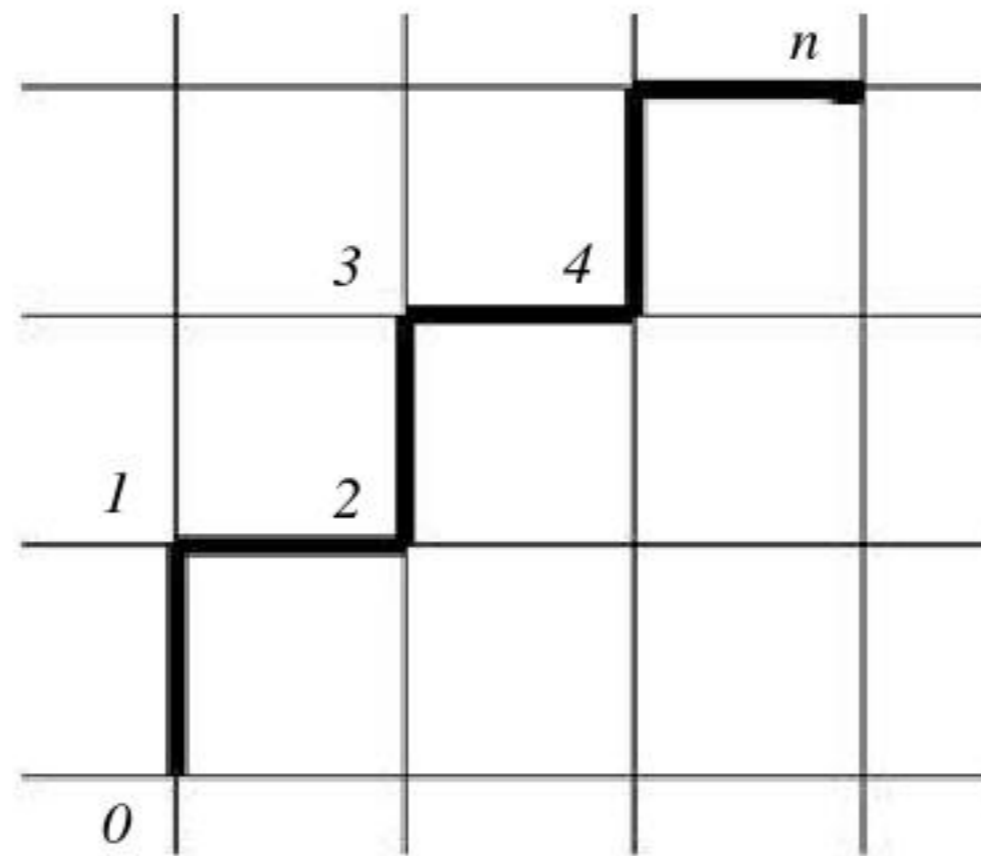


Figura 4.
Configuración escalonada del conductor de grafito puro.

- 8) **Resistencia unitaria.** Mida la resistencia entre distintos nodos. Registre los datos en la tabla No. 4 de la hoja para recolectar datos y medidas.
- 9) Repite las mediciones usando un lápiz de otro tipo.

VI. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS.

Parte A. Trazo lineal.

Tipo de lápiz usado: _____

Tabla No. 1. Medidas de la resistencia en función de la longitud

Tramo	L (cm)	Resistencia (MΩ)
0 – 1	2	
0 – 2	4	
0 – 3	6	
0 – 4	8	
0 – 5	10	
0 – 6	12	
0 – 7	14	
0 – 8	16	
0 – 9	18	

Tabla No. 2. Medidas para determinar la resistencia unitaria.

# tramo	Posición	Resistencia (MΩ)
1	0 – 1	
2	1 – 2	
3	2 – 3	
4	3 – 4	
5	4 – 5	
6	5 – 6	
7	6 – 7	
8	7 – 8	
9	8 – 9	

0 – 10	20	
--------	----	--

Parte B. Trazo escalonado.**Tabla No. 3.** Medidas de la resistencia en función de la longitud

Tramo	L (cm)	Resistencia (M Ω)
0 – 1	2	
0 – 2	4	
0 – 3	6	
0 – 4	8	
0 – 5	10	
0 – 6	12	
0 – 7	14	
0 – 8	16	
0 – 9	18	
0 – 10	20	

10	9 – 10	
----	--------	--

Tabla No. 4. Medidas para determinar la resistencia unitaria.

# tramo	Posición	Resistencia (M Ω)
1	0 – 1	
2	1 – 2	
3	2 – 3	
4	3 – 4	
5	4 – 5	
6	5 – 6	
7	6 – 7	
8	7 – 8	
9	8 – 9	
10	9 – 10	

VII. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**Parte A. Trazo lineal.**

- 1) A partir de los datos de la tabla No. 1, grafica la variación de la resistencia con la longitud. ¿Qué puedes concluir de este gráfico respecto de la dependencia de la resistencia con la longitud? Estima el ancho del trazo del lápiz, averigua la resistividad del grafito de tablas y, a partir de estos datos y del gráfico, estima el espesor de la película de grafito sobre el papel.
- 2) Usa los datos de la tabla No. 2 para caracterizar, mediante un histograma, la uniformidad de las resistencias unitarias definidas por el trazo de lápiz y la longitud unitaria (tamaño de la cuadrícula). Calcula el valor medio de esta resistencia unitaria y su dispersión.

Parte B. Trazo escalonado.

- 3) A partir de los datos de la tabla No. 3, grafica la variación de la resistencia con la longitud. ¿Qué puedes concluir de este último gráfico respecto de la dependencia de la resistencia con la longitud?
- 4) Usa los datos de la tabla No. 4 para caracterizar, mediante un histograma, la uniformidad de las resistencias unitarias definidas por el trazo de lápiz y la longitud

unitaria (tamaño de la cuadrícula). Calcula el valor medio de esta resistencia unitaria y su dispersión.

- 5) Escribe tus conclusiones.

VERIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

Parte A. Trazo lineal.

Tipo de lápiz usado: STABILO HB = 2

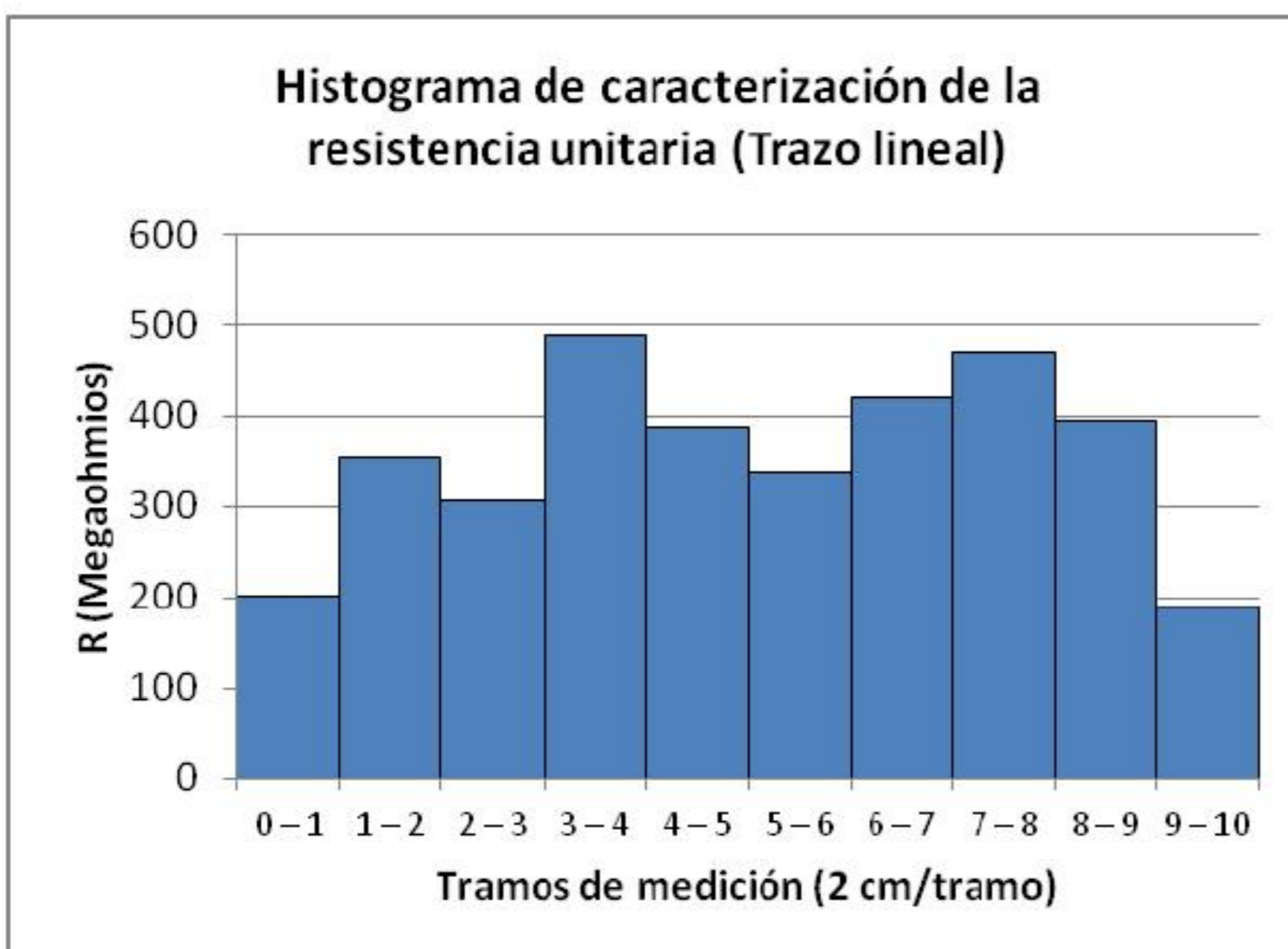
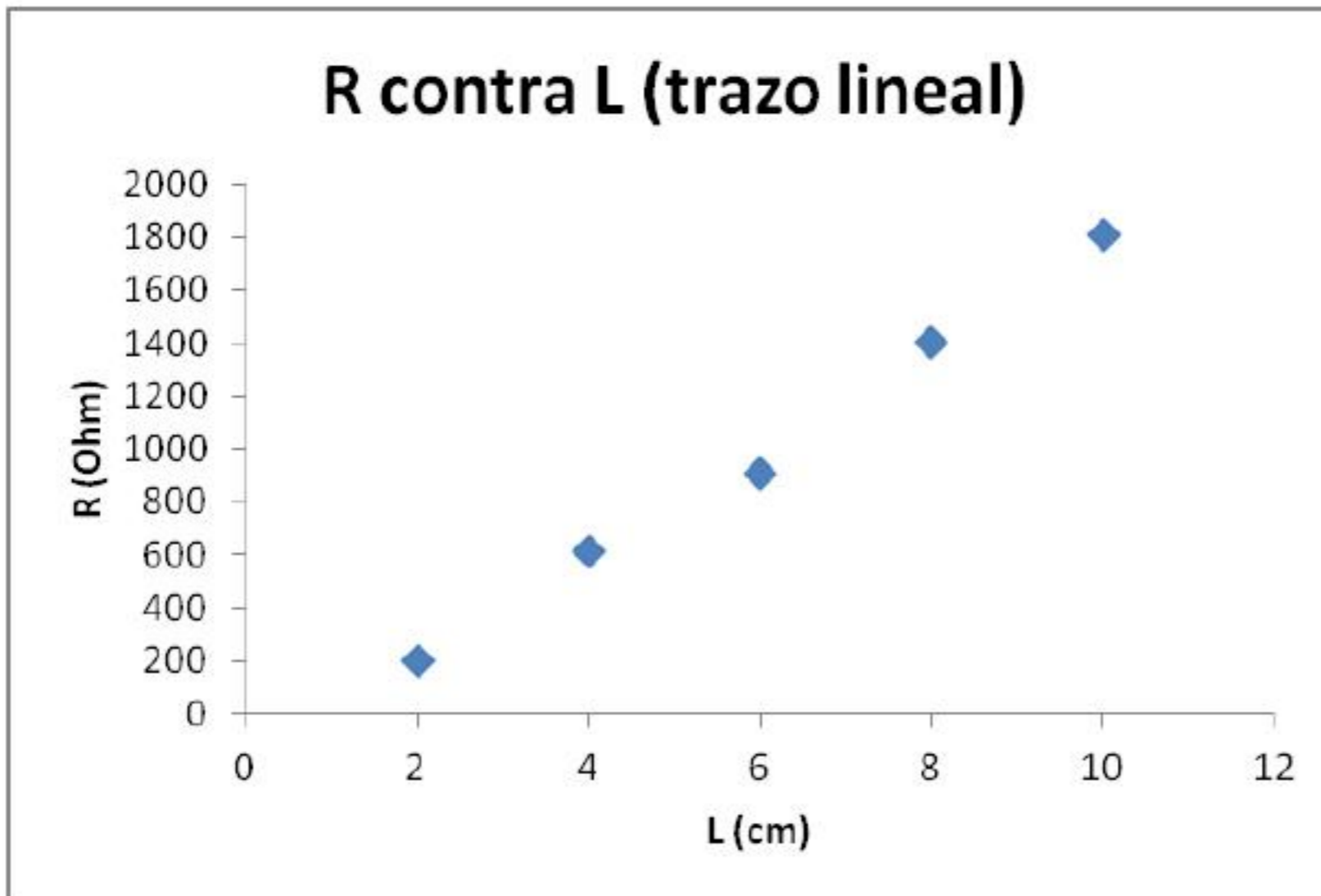
Tabla No. 1. Medidas de la resistencia en función de la longitud

Tramo	L (cm)	Resistencia (M Ω)
0 – 1	2	201
0 – 2	4	613
0 – 3	5	909
0 – 4	6	1404
0 – 5	10	1809

Tabla No. 2. Medidas para determinar la resistencia unitaria.

# tramo	Posición	Resistencia (M Ω)
1	0 – 1	202
2	1 – 2	356
3	2 – 3	307
4	3 – 4	490
5	4 – 5	388
6	5 – 6	339
7	6 – 7	421
8	7 – 8	472
9	8 – 9	395
10	9 – 10	189

Gráficas obtenidas:



Parte B. Trazo escalonado.

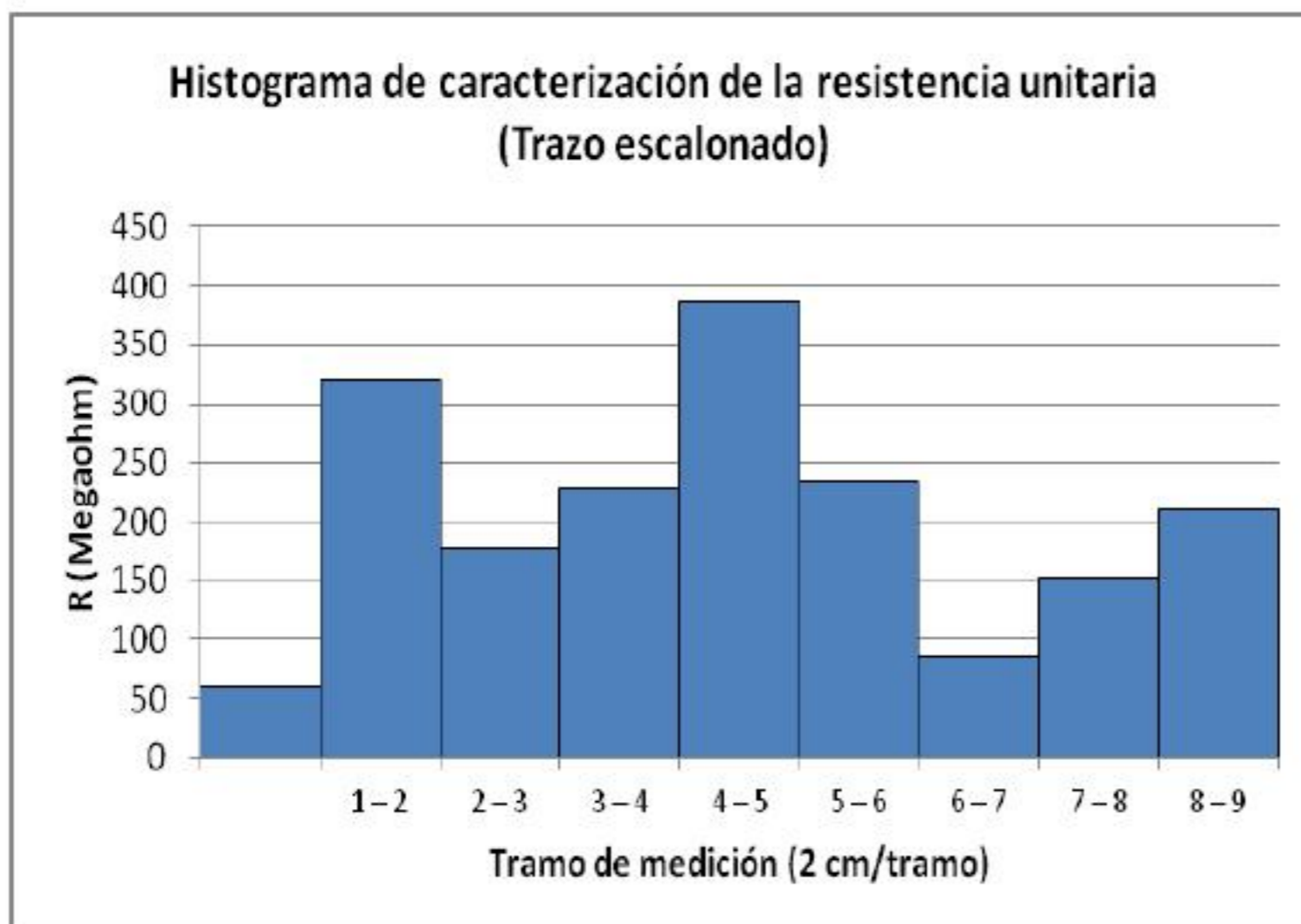
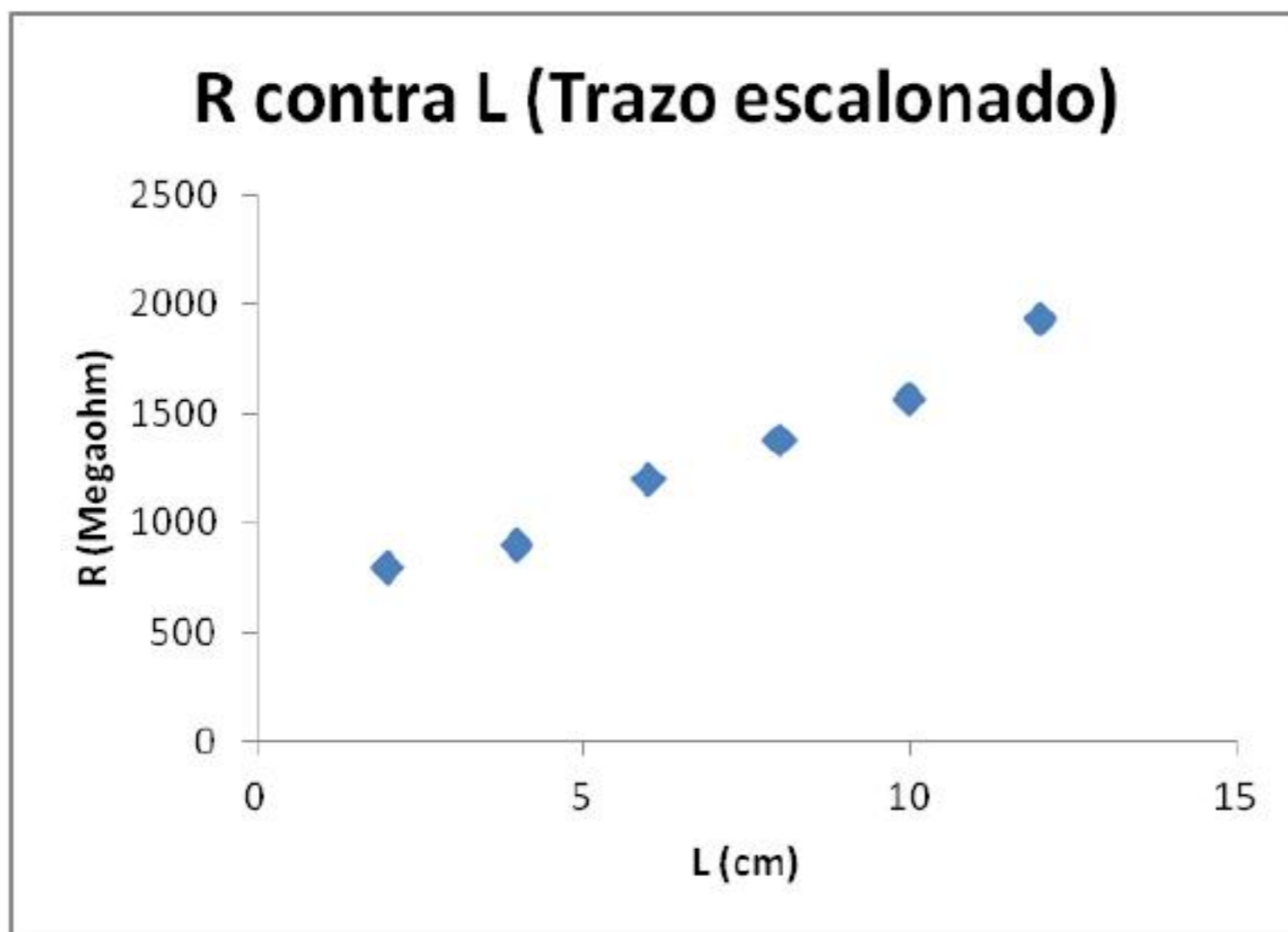
Tabla No. 3. Medidas de la resistencia en función de la longitud

Tramo	L (cm)	Resistencia (M Ω)
0 – 1	2	792
0 – 2	4	903
0 – 3	6	1203
0 – 4	8	1380
0 – 5	10	1564
0 – 6	12	1935

Tabla No. 4. Medidas para determinar la resistencia unitaria.

# tramo	Posición	Resistencia (M Ω)
1	0 – 1	855
2	1 – 2	61
3	2 – 3	320
4	3 – 4	177
5	4 – 5	228
6	5 – 6	386
7	6 – 7	235
8	7 – 8	85
9	8 – 9	153
10	9 – 10	210

Gráficas obtenidas:



OBSERVACIONES:

- Se requiere un óhmetro que tenga una escala de 0 – 20 MΩ.
- Se debe procurar que los trazos sean uniformes para garantizar la homogeneidad de los resultados.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 2**“RESISTENCIA INTERNA DE UNA FUENTE DE TENSIÓN.”****I. OBJETIVO.**

Que los estudiantes:

- Determinen la resistencia interna de una fuente de tensión.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

Una característica importante de toda fuente de tensión es su resistencia interna. Por ejemplo, si tenemos una fuente cuyo voltaje de terminal es ε_0 cuando por ella no pasa corriente, es decir cuando no se está tomando potencia de ella (sin circuito o resistencia de carga); y luego se mide el voltaje cuando la fuente esté conectada a un circuito que sí tome potencia (con resistencia de carga), ésta tensión variará dependiendo de cuánta corriente circula por ella.

En general, una fuente de tensión está formada por circuitos eléctricos o electrónicos complejos, sin embargo para todos los fines prácticos es posible suponer que la fuente de tensión real está formada por una fuente ideal de tensión ε_{th} y una resistencia en serie con la misma R_{th} , llamada resistencia interna de la fuente. Esta última afirmación es el enunciado de un teorema muy útil de la teoría de circuitos llamado Teorema de Thévenin.

Según el teorema de Thévenin, para el circuito de la figura 1, llamando V_R al voltaje medido por el voltímetro conectado a la resistencia R e I a la corriente medida por el amperímetro, tenemos:

$$V_R = \varepsilon_{th} - I \cdot R_{th} \quad (\text{Ec. 1})$$

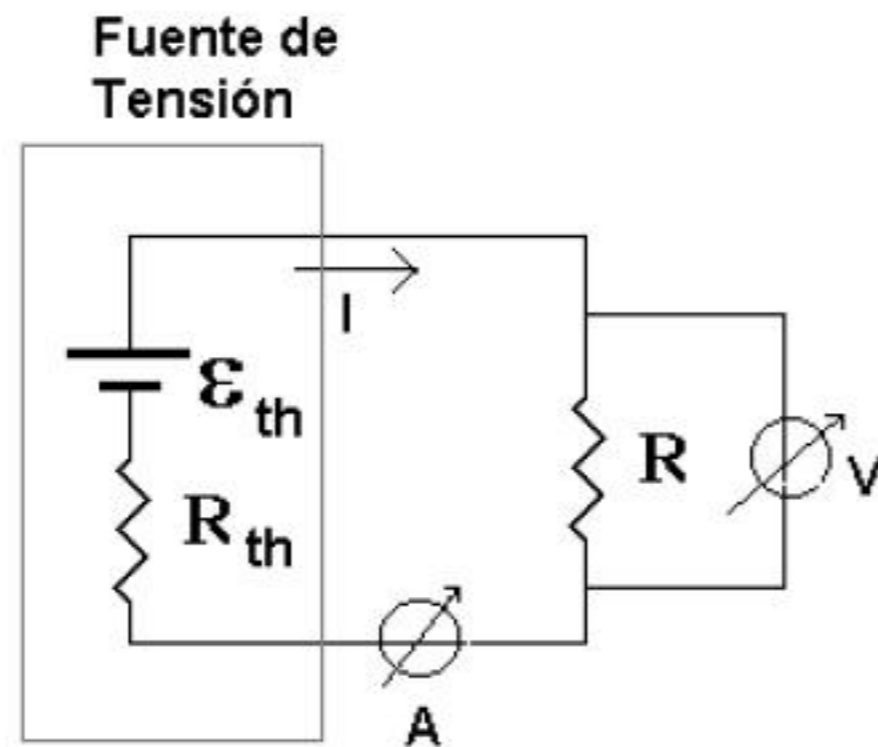


Figura 1.

Circuito para determinar la resistencia interna de la fuente R_{th} y su valor en circuito abierto.

III. TAREA PREVIA.

Responda a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuántos tipos de potencia eléctrica existen?
- Una fuente de alimentación tiene 24 V entre sus terminales cuando se le conecta una resistencia de carga de 50 Ω . Si se le conecta una resistencia carga de 25 Ω , el voltaje entre sus terminales será de 23 V. ¿Cuál es la resistencia interna y el voltaje de salida (circuito abierto) de la fuente de alimentación? ¿Cuál es la potencia entregada por la fuente a la resistencia de carga en cada caso?
- a) Si la resistencia interna de una fuente de alimentación de 250 V (circuito abierto) es de 300 Ω , ¿cuál es el voltaje entre los extremos de una resistencia de carga de 10 k Ω conectada a la fuente de alimentación? ¿Cuál es la potencia entregada por la fuente a la resistencia de carga?

IV. MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el desarrollo de esta práctica se requiere el siguiente equipamiento:

- Cables de conexión.
- Una fuente de voltaje DC variable (0 – 12 V)
- Un reóstato o resistencia externa variable R .
- Dos multímetros: uno se usará como amperímetro y el otro como voltímetro. Asegúrese que la resistencia externa R pueda disipar la potencia eléctrica cuando se aplique la máxima tensión.

V. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Apague su teléfono celular durante la realización de la práctica.
- Revise, según lista en la guía, que dispone de todo el equipo necesario para la práctica, y que además esté en buen estado.
- Si sospecha que alguno de los equipos o materiales está dañado, debe comunicárselo inmediatamente al docente o instructor responsable.
- No juegue con los aparatos eléctricos ni con las conexiones para evitar riesgos.
- No conecte a la red ningún circuito eléctrico sin antes consultar al docente o instructor responsable.
- Al finalizar la práctica, debe dejar entregue el equipo a su instructor tal como lo recibió.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- 1) Monta el equipo siguiendo el diagrama que se muestra en la figura 2.

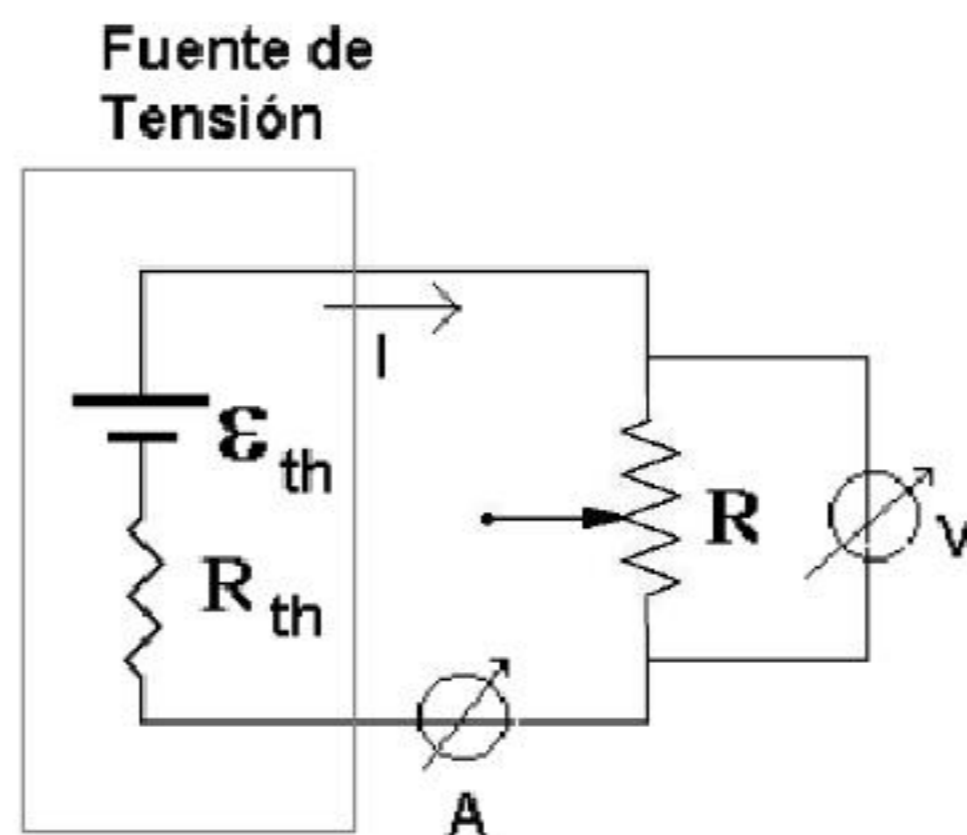


Figura 2.
Montaje experimental.

- 2) Mida V_R e I_R para cierto valor de R elegido en el reóstato.
- 3) Repita el procedimiento para varias salidas de voltaje de la fuente. Registre los resultados en la tabla No. 1 de la hoja para recolectar datos y medidas.

VII. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS.**Tabla No. 1.** Medidas de voltaje y corriente

# de medida	I_R (A)	V_R (V)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

VIII. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- 1) A partir de los datos de la tabla No 1, construye la gráfica V_R contra I_R . ¿Qué forma presenta la gráfica? ¿Se cumple o no el teorema de Thévenin?
- 2) Obtén la ecuación empírica de la gráfica anterior incluyendo su coeficiente de correlación.
- 3) Determina la resistencia interna de la fuente R_{th} y el valor ideal de su tensión ε_{th} .
- 4) Analiza tus resultados y discute la validez del teorema de Thévenin
- 5) Escribe tus conclusiones.

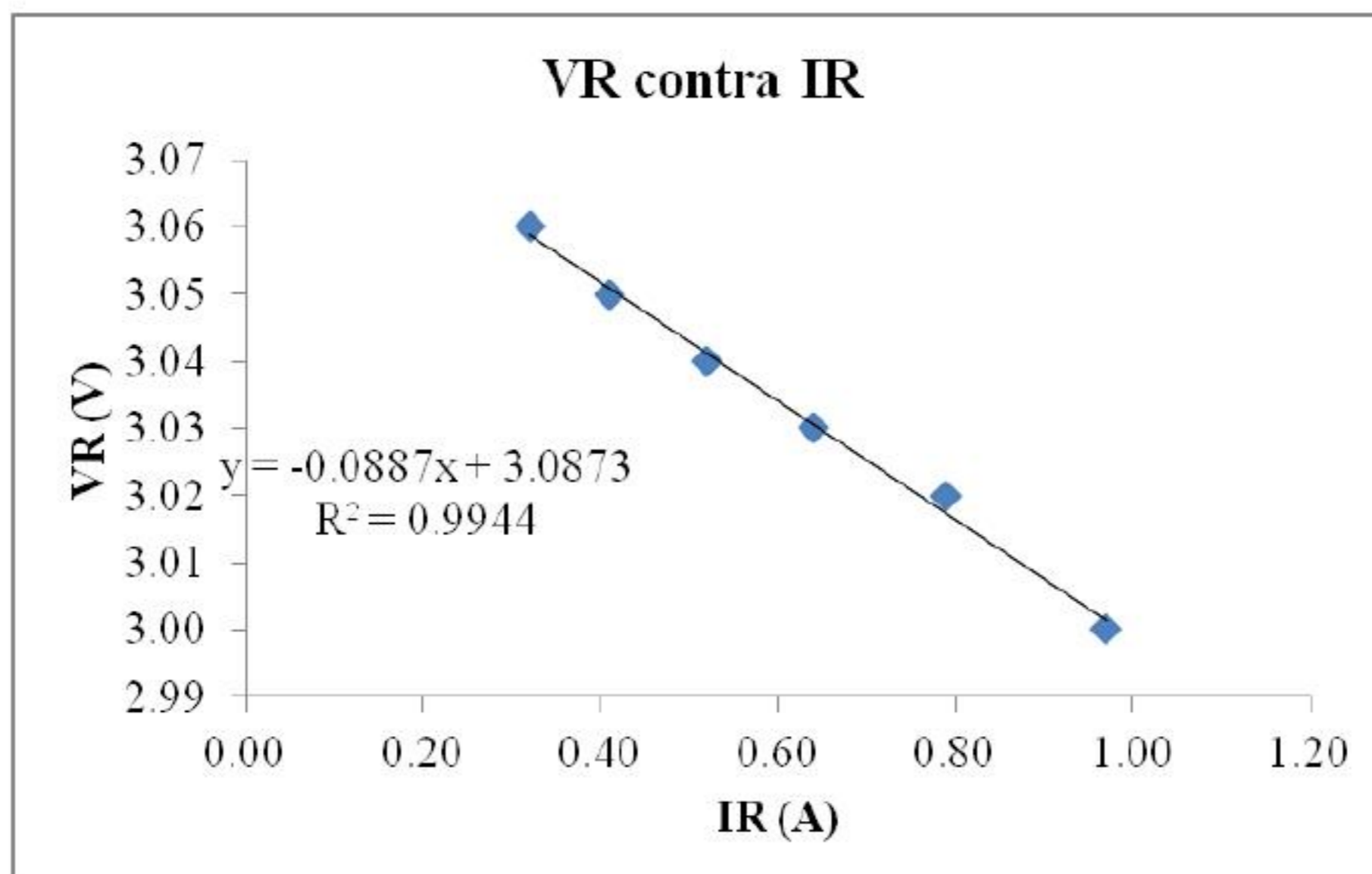
VERIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

(RESULTADOS EXPERIMENTALES)

Observaciones:

# de medida	V_R (V)	I_R (A)
1	3.06	0.32
2	3.05	0.41
3	3.04	0.52
4	3.03	0.64
5	3.02	0.79
6	3.00	0.97

GRAFICA.



Se observa que: $R_{th} = 0.0887 \Omega$ y $\epsilon_{th} = 3.0873 V$.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 3

“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTIVIDAD DE UN CONDUCTOR”

I. OBJETIVO.

Que los estudiantes:

- Determinen experimentalmente la resistividad de diversas muestras de materiales con geometría cilíndrica.
- Aprendan la técnica de las cuatro puntas para medir resistencias.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

La resistividad es una característica propia de un material y tiene unidades de $\Omega \cdot m$ (ohmios-metro). La resistividad indica que tanto se opone el material al paso de la corriente. La resistividad se define como:

$$\rho = R \left(\frac{A}{L} \right) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: ρ es la resistividad medida en $\Omega \cdot m$, R es el valor de la resistencia eléctrica en Ω , L es la longitud del material medida en metros y A es el área transversal medida en m^2 . En la tabla No. 1 se muestran los valores típicos de la resistividad para varios materiales a $23^\circ C$.

De la anterior ecuación se puede deducir que el valor de un resistor, utilizado normalmente en electricidad y electrónica, depende en su construcción, de la resistividad (material con el que fue fabricado), su longitud y su área transversal. Por lo tanto:

$$R = \rho \left(\frac{L}{A} \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

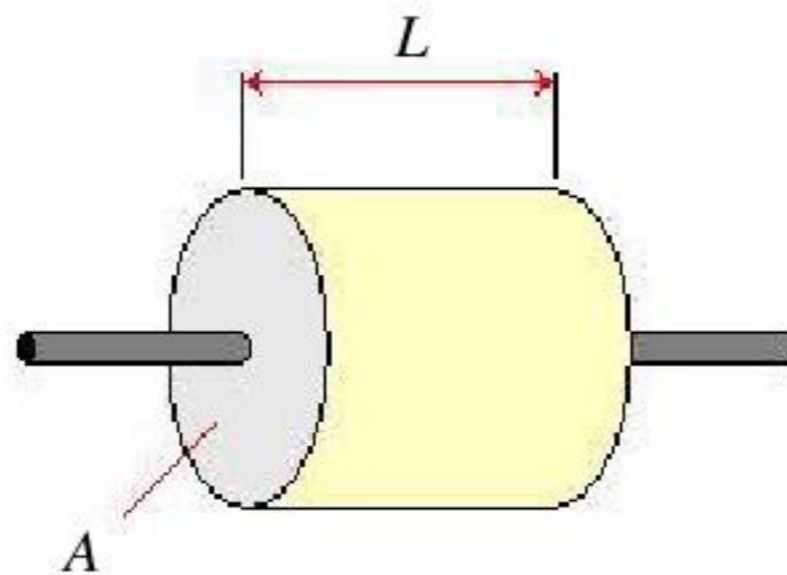


Figura 1.
Geometría de construcción de un resistor.

De la ecuación 2 se deduce que:

- A mayor longitud y menor área transversal del elemento, más resistencia.
- A menor longitud y mayor área transversal del elemento, menos resistencia.

Tabla No 1. Valores típicos de la resistividad de varios materiales a 23 °C.

Material	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Material	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Plata	1.59×10^{-8}	Kanthal	1.10×10^{-6}
Cobre	1.68×10^{-8}	Nicromo	1.50×10^{-6}
Oro	2.20×10^{-8}	Carbón	3.5×10^{-5}
Aluminio	2.65×10^{-8}	Germanio	4.6×10^{-1}
Tungsteno	5.6×10^{-8}	Silicio	6.40×10^2
Hierro	9.71×10^{-8}	Piel humana	5.0×10^5 aprox.
Acero	7.2×10^{-7}	Vidrio	10^{10} a 10^{14}
Platino	1.1×10^{-7}	Hule	10^{13} aprox.
Plomo	2.2×10^{-7}	Sulfuro	10^{15}
Constantán	4.9×10^{-7}	Cuarzo	7.5×10^{17}

La resistividad de los metales aumenta al aumentar la temperatura al contrario de los semiconductores en donde este valor decrece. El inverso de la resistividad se llama conductividad, y se obtiene de la expresión:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde σ es la conductividad eléctrica del material.

Medida experimental de la resistencia. La determinación de la resistividad o conductividad de una muestra es de gran utilidad en muchos experimentos, ya que facilita otras investigaciones de interés, como por ejemplo la variación la conductividad en función de algún otro parámetro como la temperatura, la frecuencia, etc.

Para medir una resistencia de valores intermedios (digamos entre unas decenas de Ω a unos pocos $M\Omega$), tal vez lo más simple es usar un multímetro digital (óhmetro) y conectar como se indica en la figura 2.

La resistencia de interés es R , pero lo que mide el óhmetro es la suma de: $R + R'_{cable} + R_{cable} \approx R$ sólo si $R \gg R'_{cable} + R_{cable}$. Desde luego, esta situación sólo se da en los casos más simples. En general para medir una resistencia será necesario tener en cuenta tanto las resistencias de los cables como los potenciales de contacto que pueden estar presentes al poner en las uniones dos metales distintos (efecto Peltier). Estos potenciales de contactos son comunes en las uniones soldadas. Este método de medición de resistencia se denomina **método a dos puntas**.

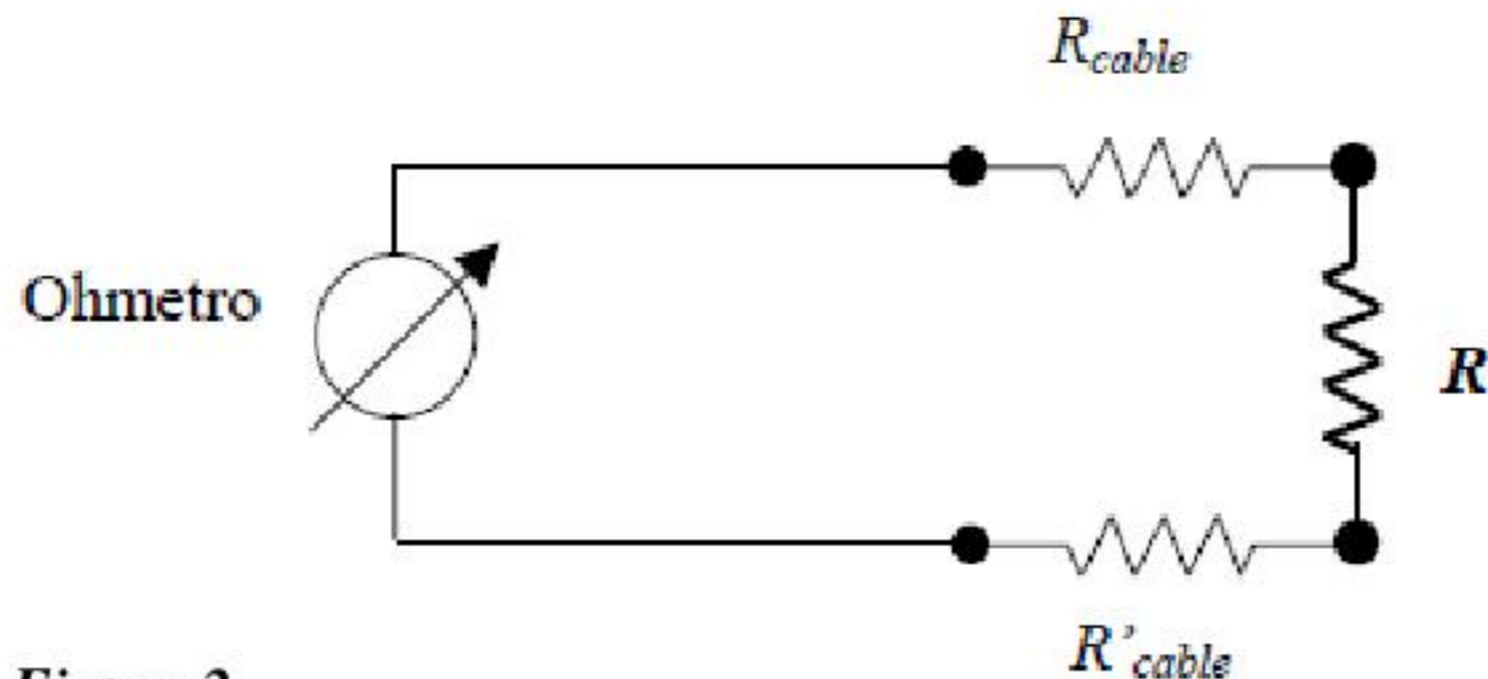


Figura 2.

Determinación de la resistencia de una muestra usando un óhmetro o multímetro. La resistencia de interés es R sin embargo lo que mide el Óhmetro es $R + R'_{cable} + R_{cable}$

Método de las cuatro puntas o método de Kelvin. Este método, ilustrado esquemáticamente en la figura 3, hace uso de dos circuitos vinculados. Por un circuito se hace circular la corriente (circuito exterior en la figura 3). Como los voltímetros modernos tienen altas resistencias internas, por el circuito de medición de la tensión (circuito interior de la figura 3) prácticamente no circula corriente.

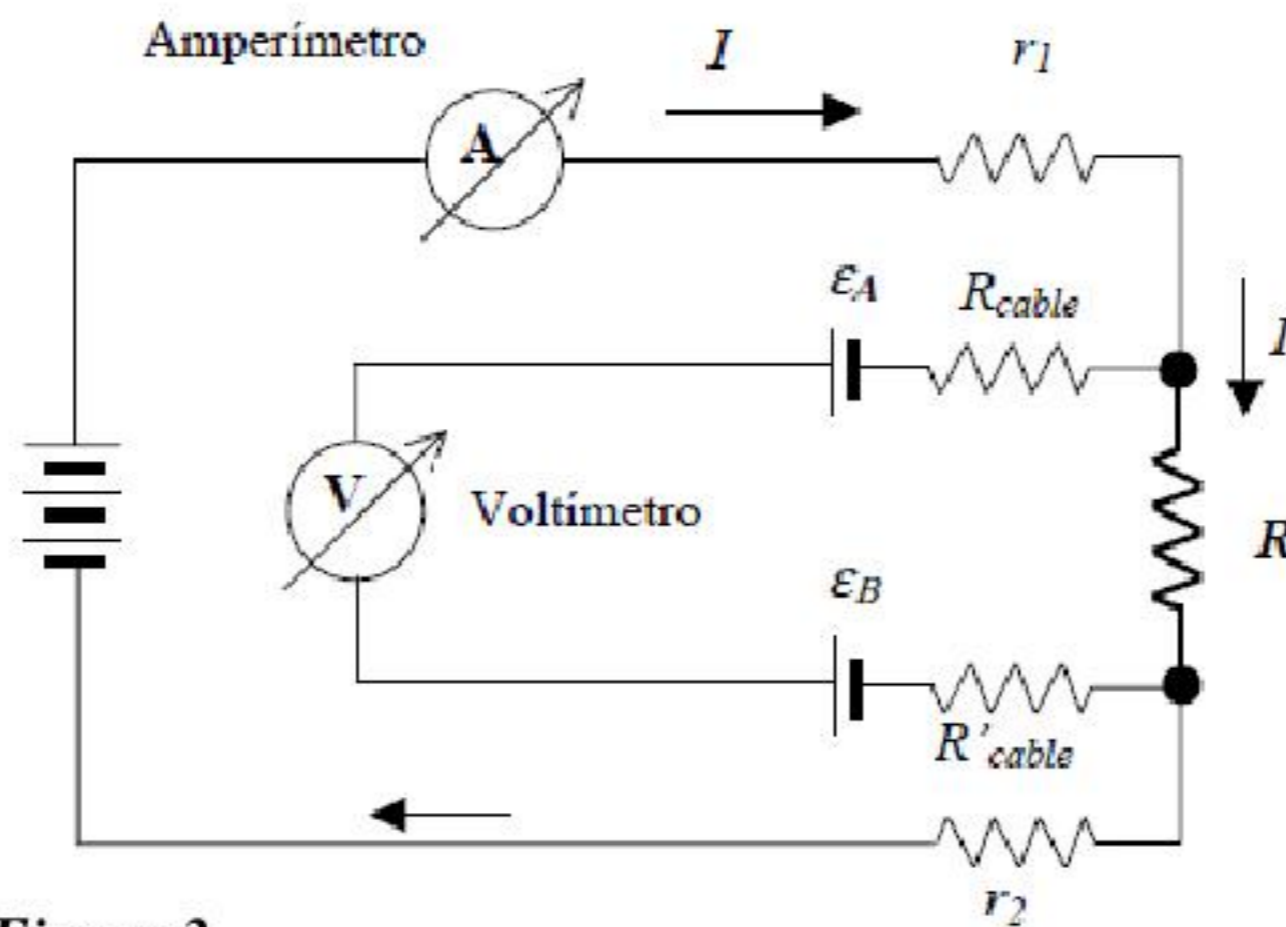


Figura 3.

Determinación de la resistencia de una muestra usando el método de las cuatro puntas. Nótese que como los voltímetros en general tiene alta resistencia ($R_{\text{voltímetro}} > 1\text{M}\Omega$) prácticamente toda la corriente circula por el circuito exterior y no hay caída de tensión en R_{cable} .

Donde r_1 y r_2 son las resistencias de los cables de conexión, R_{cable} y R'_{cable} son las resistencias de las puntas del voltímetro y ε_A y ε_B son las caídas de tensión que aparecen en los contactos de las puntas y las terminales del voltímetro. La medida de la tensión en la resistencia R será en este caso:

$$V^+ = \varepsilon_A + (I^+ \cdot R) - \varepsilon_B \quad (\text{Ec. 4})$$

El superíndice (+) indica que la corriente circula como se indica en la figura 3. Usamos el superíndice (−) cuando la dirección de la corriente se invierte, invirtiendo la fuente, pero sin alterar el resto del circuito. En este caso la medida de la tensión en la resistencia registrada en el voltímetro será:

$$V^- = \varepsilon_A + (I^- \cdot R) - \varepsilon_B \quad (\text{Ec. 5})$$

Restando las ecuaciones (4) y (5) tenemos que $V^+ - V^- = (I^+ - I^-)R$ y, por lo tanto, invirtiendo el sentido de circulación de la corriente y tomando la diferencia de los potenciales medidos, podemos anular el efecto de los potenciales de contacto. Así, al despejar R se obtiene:

$$R = \frac{V^+ - V^-}{(I^+ - I^-)} \cong \frac{V^+ - V^-}{2I} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde la aproximación se cumple sí $I^+ - I^- \approx 2I$. Tenemos así que el método de las cuatro puntas nos permite eliminar simultáneamente el efecto de las resistencias de los cables de conexión como también los potenciales de contacto.

En muchos casos de interés práctico, la fuente de alimentación del circuito (externo) es alterna (AC), y la medición de tensión se debe realizar usando un instrumento que filtre las componentes de continua (DC). Muchos instrumentos poseen la opción de activar este modo de medición, por ejemplo los osciloscopios, multímetros, *lock-in amplifiers*, etc. Si se mide la tensión en modo AC, la ecuación (4) se transforma en:

$$V_{AC} = I_{AC}R \quad (\text{Ec. 7})$$

Ya que en este modo los potenciales de contacto (DC) son filtrados automáticamente por el instrumento medidor. Por lo tanto en este caso es posible simplificar el método de medición de cuatro puntas.

Determinación de la resistividad de una muestra unidimensional. Imaginemos una muestra cilíndrica de área transversal A , cuya resistividad es ρ como se indica en la figura 4. Supongamos que en un punto de la muestra se inyecta una corriente I y por otro se extrae dicha corriente. La caída de tensión entre los electrodos es V . Suponemos que la distancia entre los mismos es " L ". La diferencia de potencial V entre dos puntos separados una distancia L puede expresarse como:

$$V^+ = I^+ \cdot R(L) = I^+ \cdot \rho \left(\frac{L}{A} \right) \text{ y } V^- = I^- \cdot R(L) = I^- \cdot \rho \left(\frac{L}{A} \right) \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde V^+ es la tensión medida cuando la corriente se inyecta en un cierto sentido I^+ y V^- cuando la corriente invierte su dirección. Por lo tanto, resolviendo para ρ a partir de las ecuaciones (8), se tiene que:

$$\rho = \left(\frac{A}{L} \right) \left(\frac{V^+ - V^-}{I^+ - I^-} \right)$$

La ventaja de este método es que nuestra medición de ρ no está afectada por los efectos de los potenciales de contacto o las resistencias finitas de los cables de conexión. Solo la distancia L entre los electrodos de medición y el área transversal A del alambre son relevantes.

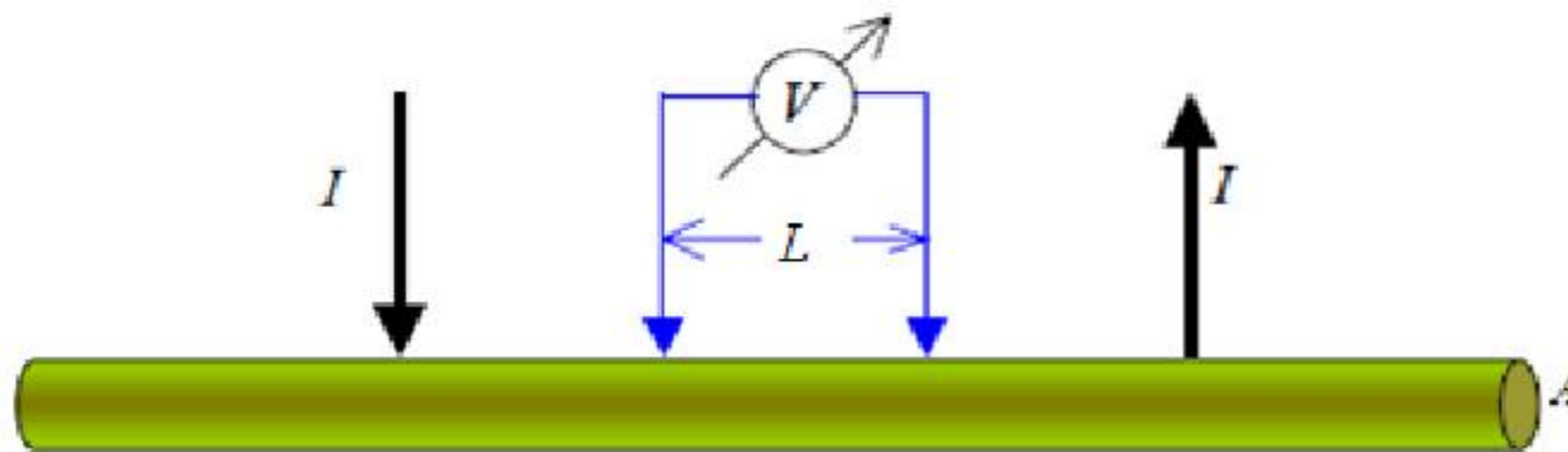


Figura 4.
Método de las cuatro puntas para determinar la resistividad de una muestra cilíndrica de área transversal A .

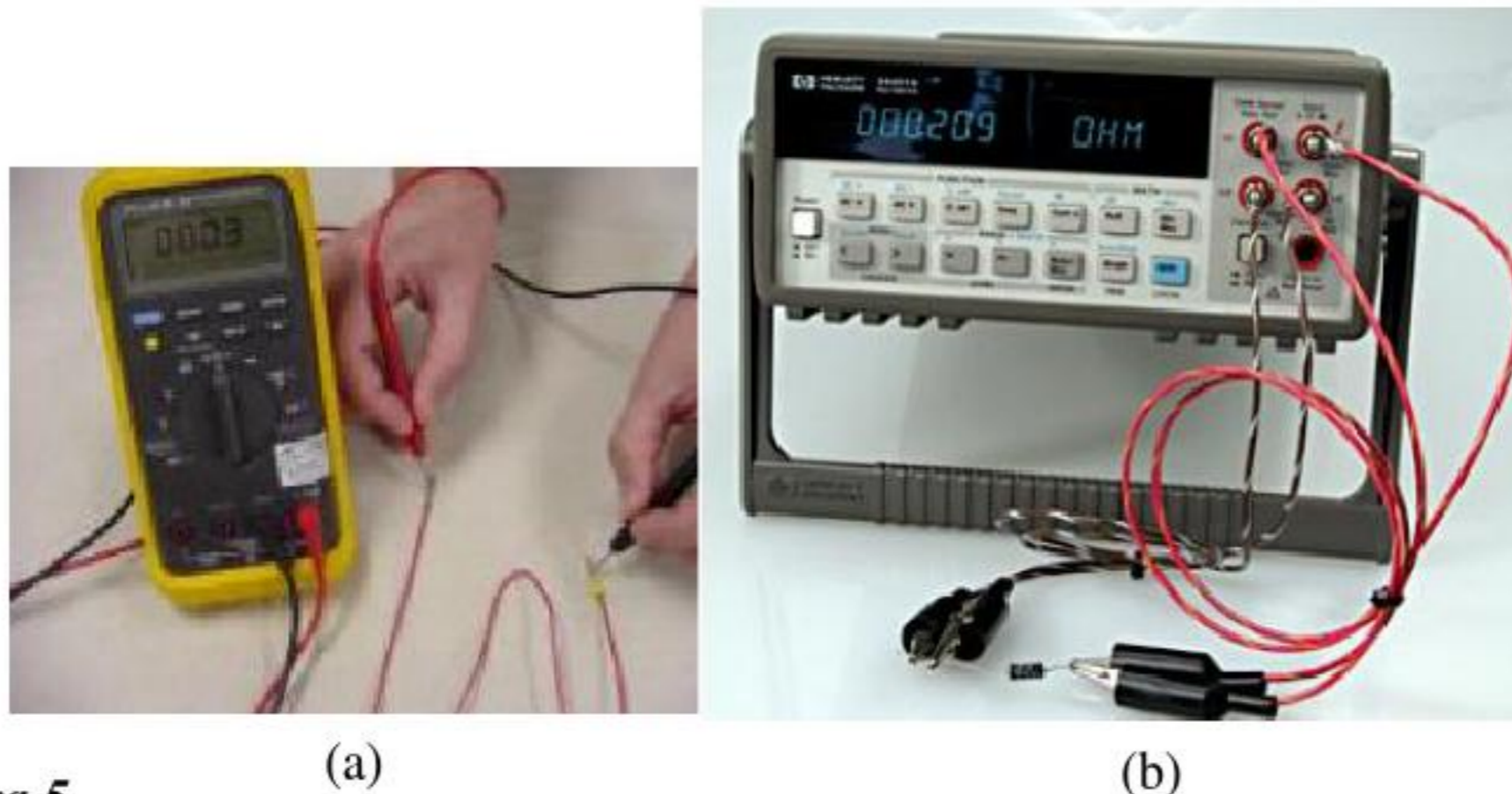


Figura 5.
Ilustración de los métodos de medición de resistencia (a) a dos y (b) a cuatro puntas respectivamente. Nótese que sólo algunos instrumentos especiales poseen un arreglo para medir a cuatro puntas directamente. Sin embargo, siempre es posible diseñar un arreglo con instrumentos convencionales, como se ilustra en la figura 3, para realizar la medición a cuatro puntas.

III. TAREA PREVIA.

Responda a las siguientes cuestiones:

- Se tiene un trozo de alambre de plomo de 2 m de longitud y un diámetro de 1.5 mm. ¿Cuál es resistencia del alambre?
- ¿Cuál material es el mejor conductor eléctrico a temperatura ambiente?
- ¿Cómo se determina la pureza de una muestra metálica?

IV. MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el desarrollo de esta práctica se recomienda el siguiente equipamiento:

- Un micrómetro.
- Una fuente de voltaje DC
- Dos multímetros digitales: Uno se usará como amperímetro y el otro como voltímetro.
- Cables de conexión y clips tipo cocodrilo.
- Muestras de alambres o conductores cilíndricos ($\approx 99\%$ de pureza) esmaltados o cubiertos de aislante: nicromo y cobre, ambas muy delgadas. Si se dispone de alambres de otros materiales conductores también se pueden usar.

V. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Revisa que dispones de todos los materiales y equipos necesarios, y que además estén en buen estado. Anota la cantidad recibida.
- Apaga tu teléfono celular durante se efectúe la práctica.
- No juegues con los multímetros ni con la fuente de tensión, ya que son aparatos bastante sensibles y puedes dañarlos.
- Al finalizar la práctica, entrega el equipo y los materiales del laboratorio a tu instructor tal como lo recibiste.

VI. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Parte A. Muestra 1.

- 1) Mide el diámetro del alambre. Registra este valor en la tabla No. 1 de la hoja para recolectar datos y medidas.
- 2) Programa una tensión de alrededor de 2 V en la fuente. Luego, corta una muestra de alambre de modo que el trozo utilizado tenga una resistencia razonable (5Ω o mayor). Esto lo puedes verificar usando diferentes longitudes y las resistividades dadas en la tabla del fundamento teórico. Con estos datos elige los rangos de medición apropiados en los multímetros para medir estas tensiones y las corrientes correspondientes.
- 3) Monta el equipo siguiendo el diagrama del circuito que se muestra en la figura 6.

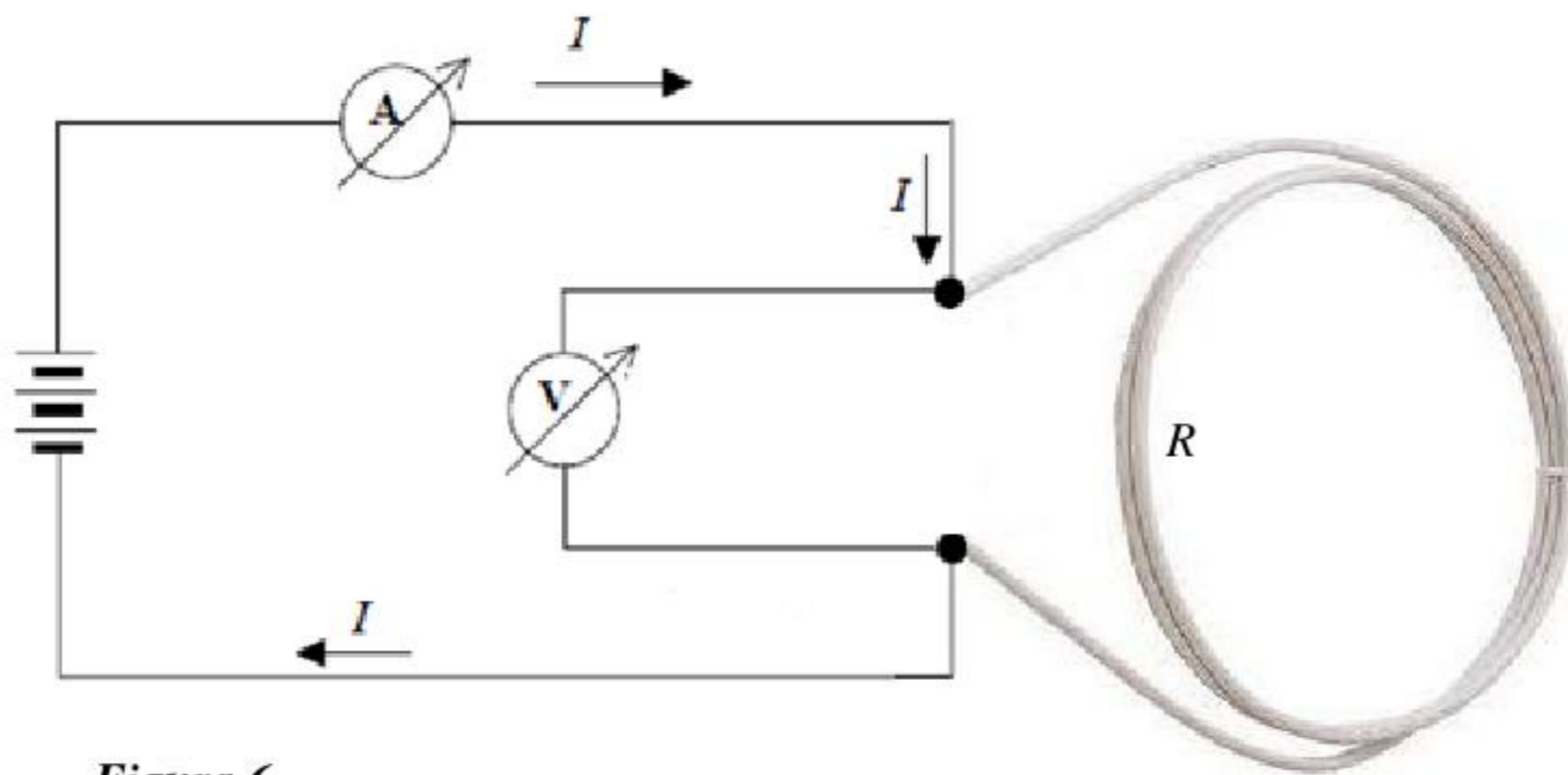


Figura 6.

Diagrama del circuito que se debe montar para efectuar las mediciones de tensión y corriente.

- 4) Verifica que los electrodos o puntas de inyección de corriente y de medición de la tensión están bien conectados. Si fuera necesario, debes usar una resistencia limitadora de corriente ($50 \Omega / 5 \text{ W}$ puede ser adecuado) en serie con la fuente, de este modo se podrá hacer circular una corriente de hasta 100 mA.
- 5) **Sentido (+).** Aumenta paulatinamente la tensión en la fuente, tomando las lecturas de voltaje y corriente en los multímetros hasta completar cinco mediciones. Es conveniente no sobrepasar los 6 V en la fuente. Registra estos datos en la tabla No. 1 de la hoja para recolectar datos y medidas.
- 6) **Sentido (-).** Cambia el sentido de inyección de la corriente y repite las mediciones de voltaje y corriente. Completa con estos valores la tabla No. 1 de la hoja para recolectar datos y medidas.

Parte B. Muestra 2.

- 7) Repite el proceso anterior con la muestra de alambre de otro material conductor. Registra los valores obtenidos en la tabla No. 2 de la hoja para recolectar datos y medidas.

VII. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS.**Parte A. Muestra 1.****Tabla No 1.** Medidas de tensión y corriente.

Tipo de material: _____

Longitud, $L =$ _____ m Diámetro, $D =$ _____ mm

# de medida	Sentido (+)		Sentido (-)	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
1				
2				
3				
4				
5				

Parte B. Muestra 2.**Tabla No 2.** Medidas de tensión y corriente.

Tipo de material: _____

Longitud, $L =$ _____ m Diámetro, $D =$ _____ mm

# de medida	Sentido (+)		Sentido (-)	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
1				
2				
3				
4				
5				

VIII. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**Parte A. Muestra 1.**

- Determina el área transversal del alambre.
- A partir de los datos de la tabla No. 1, calcula la resistencia de la muestra para cada par de valores de V e I . Completa la tabla No. 3.

Tabla No. 3. Resistencia de la muestra de alambre.

<i># de medida</i>	$V^+ - V^-$ (V)	$I^+ - I^-$ (A)	R (Ω)
1			
2			
3			
4			
5			

- Obtén la resistencia promedio de la muestra.
- A partir del valor de resistencia media, calcula la resistividad del material. Expresa este resultado con su respectiva incertidumbre.
- Discute el grado de acuerdo con los valores encontrados de tablas correspondientes. Para ello, compara el valor experimental de la resistividad con el valor que está dado en tablas a través de la diferencia relativa porcentual.

Parte B. Muestra 2.

- Determina el área transversal del alambre.
- A partir de los datos de la tabla No. 2, calcula la resistencia de la muestra para cada par de valores de V e I . Completa la tabla No. 4.

Tabla No 4. Resistencia de la muestra de alambre.

<i># de medida</i>	$V^+ - V^-$ (V)	$I^+ - I^-$ (A)	R (Ω)
1			
2			
3			
4			
5			

- Obtén la resistencia promedio de la muestra.

- A partir del valor de resistencia media, calcula la resistividad del material. Expresa este resultado con su respectiva incertidumbre.
- Discute el grado de acuerdo con los valores encontrados de tablas correspondientes. Para ello, compara el valor experimental de la resistividad con el valor que esta dado en tablas a través de la diferencia relativa porcentual.
- Escribe tus conclusiones.

VERIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

(RESULTADOS EXPERIMENTALES)

Muestra 1: Nicromo

Diámetro, $D = (0.29 \pm 0.01) \text{ mm}$

Longitud, $L = (100.00 \pm 0.05) \text{ cm}$

Área transversal, $A = 6.61 \times 10^{-8} \text{ m}^2$

$$\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta D}{D} = 2 \left(\frac{0.01}{0.29} \right) = 6.9\%$$

$$\Delta A = 6.9\% (6.61 \times 10^{-8} \text{ m}^2) = 0.46 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \approx 0.5 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

Entonces: $A \pm \Delta A = (6.6 \pm 0.5) \times 10^{-8} \text{ m}^2$

Sentido +		Sentido -					
I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	R (Ω)	ΔR (Ω)	ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	$\Delta \rho$ ($\Omega \cdot \text{m}$)
0.18	3.87	-0.18	-3.89	22	1	1.4×10^{-6}	0.2×10^{-6}
0.20	4.16	-0.20	-4.23	21	1	1.4×10^{-6}	0.2×10^{-6}
0.23	4.85	-0.23	-4.77	21	1	1.4×10^{-6}	0.2×10^{-6}
0.25	5.27	-0.25	-5.15	21	1	1.4×10^{-6}	0.2×10^{-6}
0.29	5.87	-0.29	-5.92	20	1	1.3×10^{-6}	0.2×10^{-6}

Resistencia: $R \pm \Delta R = (21 \pm 1) \Omega$

Propagación de incertidumbres para la resistencia:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta(V^+ - V^-)}{(V^+ - V^-)} + \frac{\Delta(I^+ - I^-)}{(I^+ - I^-)}$$

Resistividad de nicromo: $\rho \pm \Delta \rho = (1.4 \pm 0.2) \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$

Propagación de incertidumbres para la resistencia:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta L}{L}$$

Diferencia relativa porcentual del valor experimental con respecto al valor de tablas:

$$\%E = \left| \frac{V_T - V_E}{V_T} \right| \times 100 = \left| \frac{1.50 - 1.4}{1.50} \right| \times 100 = 6.7\%$$

Muestra 1: Cobre

Diámetro, $D = (0.11 \pm 0.01)$ mm Longitud, $L = (224.00 \pm 0.05)$ cm

Área transversal, $A = 9.50 \times 10^{-9}$ m²

$$\frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta D}{D} = 2 \left(\frac{0.01}{0.11} \right) = 18.2\%$$

$$\Delta A = 18.2\% (9.50 \times 10^{-9} \text{ m}^2) = 1.73 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \approx 2 \times 10^{-9} \text{ m}^2$$

Entonces: $A \pm \Delta A = (10 \pm 2) \times 10^{-9} \text{ m}^2$

Sentido +		Sentido -					
I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	R (Ω)	ΔR (Ω)	ρ (Ω.m)	Δρ (Ω.m)
0.36	2.07	-0.36	-2.05	5.7	0.2	2.6×10^{-8}	0.6×10^{-8}
0.38	2.16	-0.38	-2.19	5.7	0.2	2.6×10^{-8}	0.6×10^{-8}
0.44	2.50	-0.44	-2.56	5.8	0.2	2.6×10^{-8}	0.6×10^{-8}
0.50	2.88	-0.50	-2.88	5.8	0.1	2.6×10^{-8}	0.6×10^{-8}
0.57	3.33	-0.57	-3.33	5.8	0.1	2.6×10^{-8}	0.6×10^{-8}

Resistencia: $R \pm \Delta R = (5.8 \pm 0.2)$ Ω

Resistividad de cobre: $\rho \pm \Delta\rho = (2.6 \pm 0.6) \times 10^{-6}$ Ω.m

Diferencia relativa porcentual del valor experimental con respecto al valor de tablas:

$$\%E = \left| \frac{V_T - V_E}{V_T} \right| \times 100 = \left| \frac{1.68 - 2.6}{1.68} \right| \times 100 = 54.8\%$$

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 4

“RESISTENCIA INTERNA DE UN VOLTÍMETRO”

I. OBJETIVO.

Que los estudiantes:

- Determinen la resistencia interna de un voltímetro.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

Un voltímetro es un instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial (denominada también: voltaje y tensión eléctrica) entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Podemos clasificar los voltímetros por los principios en los que se basa su funcionamiento:

- *Voltímetros electromecánicos.* Estos voltímetros, en esencia, están constituidos por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en voltios. Existen modelos para corriente continua y para corriente alterna.



Figura 1.
Voltímetro electromecánico, también conocido como analógico.

- *Voltímetros electrónicos.* Añaden un amplificador para proporcionar mayor impedancia de entrada (del orden de los 20 MΩ) y mayor sensibilidad. Algunos modelos ofrecen medida de “verdadero valor eficaz” para corrientes alternas. Los que no miden el verdadero valor eficaz es porque miden el valor de pico a pico, y suponiendo que se trata de una señal sinusoidal (alterna) perfecta, calculan el valor eficaz por medio de la siguiente fórmula:

$$V_{rms} = \frac{V_{pp}}{\sqrt{2}} \quad (\text{Ec. 1})$$

- *Voltímetros vectoriales.* Se utilizan con señales de microondas. Además del módulo de la tensión dan una indicación de su fase. Se usan tanto por los especialistas y reparadores de aparatos eléctricos, como por aficionados en el hogar para diversos fines; la tecnología actual ha permitido poner en el mercado versiones económicas y al mismo tiempo precisas para el uso general. Son dispositivos presentes en cualquier casa de ventas dedicada a la electrónica.

- *Voltímetros digitales.* Dan una indicación numérica de la tensión, normalmente en una pantalla tipo LCD. Suelen tener prestaciones adicionales como memoria, detección de valor de pico, verdadero valor eficaz (rms), autorango y otras funcionalidades. El sistema de medida emplea técnicas de conversión analógico – digital (que suele ser empleando un integrador de doble rampa) para obtener el valor numérico mostrado en una pantalla numérica LCD. El primer voltímetro digital fue inventado y producido por Andrew Kay de “Non – Linear Systems” (y posteriormente fundador de Kaypro) en 1954.



Figura 2.
Voltímetro digital equipado con electrodos de puntas “roma”.

Utilización de un voltímetro. Para efectuar la medida de la tensión el voltímetro ha de colocarse en paralelo con el elemento de interés; esto es, en derivación sobre los puntos entre los que tratamos de efectuar la medida. Esto nos lleva a que el voltímetro debe poseer una resistencia interna lo más alta posible, a fin de que no produzca un consumo apreciable de corriente, lo que daría lugar a una medida errónea de la tensión. Para ello, en el caso de instrumentos basados en los efectos electromagnéticos de la corriente eléctrica, estarán dotados de bobinas de hilo muy fino y con muchas espiras, con lo que con poca intensidad de corriente a través del aparato se consigue el momento necesario para el desplazamiento de la aguja indicadora. La figura 3 muestra la disposición del voltímetro en un circuito formado por una fuente de alimentación E y una resistencia de carga R_C .

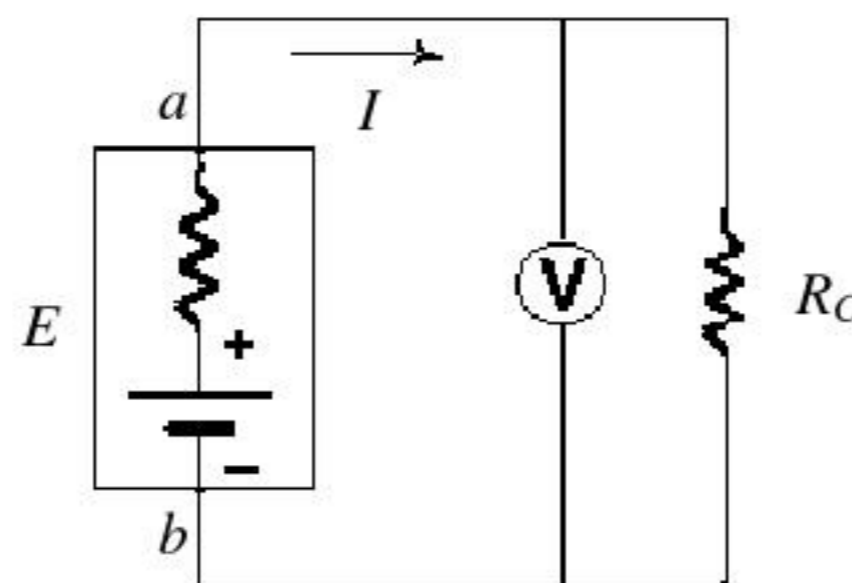


Figura 3.
Conexión de un voltímetro en un circuito.

En la actualidad existen dispositivos digitales que realizan la función del voltímetro presentando unas características de aislamiento bastante elevadas empleando complejos circuitos de aislamiento. En la figura 3 se puede observar la conexión de un voltímetro (V) entre los puntos de a y b de un circuito, entre los que queremos medir su diferencia de potencial.

En algunos casos, para permitir la medida de tensiones superiores a las que soportarían los devanados y órganos mecánicos del aparato o los circuitos electrónicos en el caso de los digitales, se les dota de una resistencia de elevado valor colocada en serie con el voltímetro, de forma que solo le someta a una fracción de la tensión total. A continuación se ofrece la fórmula de cálculo de la resistencia serie necesaria para lograr esta ampliación o multiplicación de escala:

$$R_{amp} = R_V(N - 1) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde N es el factor de multiplicación ($N \neq 1$), R_{amp} es la resistencia de ampliación del voltímetro y R_V es su resistencia interna.

Cálculo de la resistencia interna de un voltímetro. Para obtener el valor de la resistencia interna de un voltímetro R_V , éste se debe conectar en serie con una resistencia de referencia R conocida. Ambas resistencias deben ser orden cercano, y como sabemos que R_V es bastante grande (varios cientos de $k\Omega$), entonces R también debe ser de ese orden. El circuito se debe alimentar con una fuente de tensión variable DC, como muestra la figura 4.

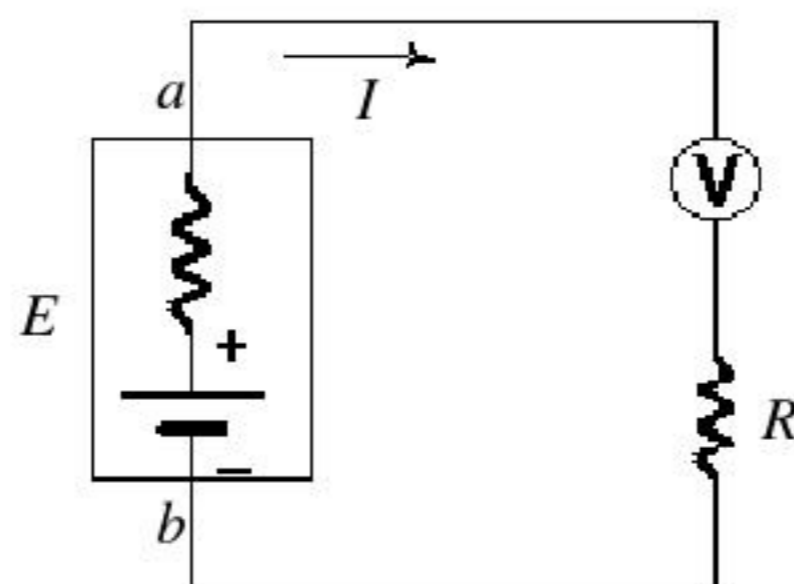


Figura 4.
Circuito para determinar la resistencia interna de un voltímetro R_V .

Se programa una salida E en la fuente de tensión y se verifica con el voltímetro (figura 5a). Este valor se denomina V_0 . Es conveniente que V_0 corresponda al 80% del máximo que puede medir el voltímetro a fondo de escala. Por ejemplo, si la escala usada es de $0 - 50\text{ V}$, se toma $V_0 = 40\text{ V}$. Luego, se monta el circuito como se muestra en la figura 5b y se mide la tensión nuevamente. Este valor es V_1 .

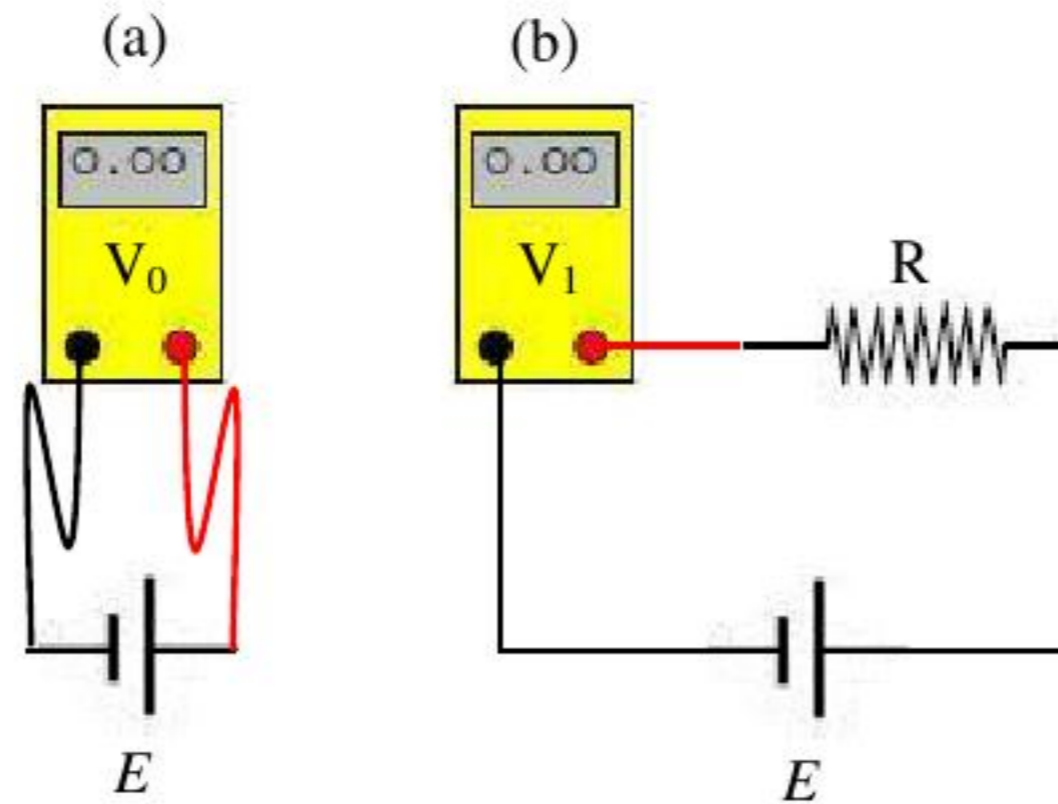


Figura 5.
Montaje experimental. (a) Medición de V_0 . (b) medición de V_1 .

Al analizar el circuito se observa que la relación de voltajes es $V_0 = V_1 + RI$, mientras que la intensidad de corriente se obtiene como $I = V_0 / (R + R_V)$. Al sustituir la intensidad en la relación de voltajes, se obtiene:

$$R_V = \frac{RV_1}{V_0 - V_1} \quad (\text{Ec. 3})$$

A partir de la ecuación 3, se observa que para realizar el cálculo de la resistencia interna del voltímetro se puede presentar dos casos:

- 1) *R de referencia fija*: Se varía la salida de la fuente de tensión y se realizan las medidas de V_0 y V_1 para cada caso. Finalmente se obtiene el valor promedio de R_V y su respectivo error.
- 2) *E fijo*: Se varía el valor de R y se registran las lecturas del voltímetro para cada caso. Luego se hace la gráfica de " R contra $1/V_1$ " y la intersección de la recta con el eje de ordenadas es el valor de la resistencia interna del voltímetro.

En esta práctica se utilizará el primer caso (R fija) para realizar el cálculo de la resistencia interna del voltímetro.

III. MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el desarrollo de esta práctica se requiere el siguiente equipamiento:

- Cables de conexión.
- Una fuente de voltaje DC variable (0 – 12 V)
- Cinco resistencias de carbón de 100 k Ω / 5 W o similares.
- Dos multímetros digitales: uno se usará como voltímetro y el otro como amperímetro y óhmetro.

IV. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Apague su teléfono celular durante se efectúe la práctica.
- Revise, según lista en la guía, que dispone de todo el equipo necesario para la práctica, y que además esté en buen estado.
- Si sospecha que alguno de los equipos o materiales está dañado, debe comunicárselo inmediatamente al docente o instructor responsable.
- No juegue con los aparatos eléctricos ni con las conexiones para evitar riesgos.
- No conecte ningún circuito sin antes consultar al docente o instructor responsable.
- Al finalizar la práctica, debe dejar entregue el equipo a su instructor tal como lo recibió.

V. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- 1) Combina las resistencias en serie y mide la resistencia usando el método voltímetro – amperímetro. El valor nominal de cada resistor puede ser el obtenido con el óhmetro para tener una idea del orden de magnitud. Registra los resultados en la tabla No. 1 de la hoja para recolectar datos y medidas.
- 2) Monta el equipo como se muestra en la figura 5. La resistencia R usada es la combinación en serie de todos los resistores disponibles.
- 3) Programa en la fuente de tensión una salida de voltaje de 2 V. Usa el voltímetro para medir los voltajes V_0 y V_1 .
- 4) Cambia las salidas de voltaje en la fuente de tensión con incrementos de 2 V y repita las mediciones de V_0 y V_1 para cada caso. Registra los resultados en la tabla No. 2 de la hoja para recolectar datos y medidas.
- 5) Si el voltímetro tiene varias escalas, repite el procedimiento para cada una de ellas.

VI. HOJA PARA RECOLECTAR DATOS Y MEDIDAS.**Tabla No. 1.** Medidas de resistencia usando el método voltímetro - amperímetro.

Resistor	$I_R \pm \Delta I_R$ (mA)	$V_R \pm \Delta V_R$ (V)
R		

Tabla No. 2. Medidas de voltaje realizadas con el voltímetro.

Escala del voltímetro usada: _____

Salida de la fuente de tensión	Fuente - voltímetro	Fuente – voltímetro – resistencia
E (V)	$V_0 \pm \Delta V_0$ (V)	$V_1 \pm \Delta V_1$ (V)
2		
4		
6		
8		
10		
12		

VII. INDICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- A partir de los datos de la tabla No. 1, obtén la resistencia de referencia con su respectiva incertidumbre.
- A partir de los datos de la tabla No. 2, obtén la resistencia interna del voltímetro para cada medición. Complete la tabla No. 3.

Tabla No. 3. Calculo de la resistencia interna del voltímetro.

Escala del voltímetro usada: _____

$V_0 \pm \Delta V_0$ (V)	$V_1 \pm \Delta V_1$ (V)	$R_V \pm \Delta R_V$ (Ω)

- A partir de los datos de la tabla No. 4, calcula la resistencia media con su respectivo error cuadrático.
- Escribe tus conclusiones.

VERIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

(RESULTADOS EXPERIMENTALES)

Resistencia de referencia

$$R = \frac{8.79 \text{ V}}{0.13 \text{ mA}} = \frac{8.79 \text{ V}}{0.13 \times 10^{-3} \text{ A}} = 67615.38 \Omega = 67.6 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R}{67.6 \text{ k}\Omega} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta V}{V} = \frac{0.01}{0.13} + \frac{0.01}{8.79} = 7.81\%$$

$$\Delta R = 7.81\% R = 7.81\% (67.6 \text{ k}\Omega) = 5.3 \text{ k}\Omega$$

Por lo tanto: $R \pm \Delta R = (68 \pm 5) \text{ k}\Omega$

Escala del voltímetro: 0 – 20 V

Los datos no se tomaron en la parte alta de la escala, sin embargo, los errores de las mediciones de voltajes no son significativos en comparación con el error del denominador de la ecuación usada para calcular R_V .

E (V)	V_0 (V)	V_1 (V)	R_V (Ω)	R_V (Ω)	ΔR_V (Ω)	$(\bar{R}_V - R_V)^2$
	1.99	1.87	1059666.7	1.06×10^6	2.6E+05	1.46×10^7
	3.58	3.36	1038545.5	1.04×10^6	1.7E+05	2.99×10^8
	5.15	4.84	1061677.4	1.06×10^6	1.5E+05	3.40×10^7
	6.75	6.34	1051512.2	1.05×10^6	1.3E+05	1.88×10^7
	7.8	7.33	1060510.6	1.06×10^6	1.2E+05	2.18×10^7
	10.48	9.85	1063174.6	1.06×10^6	1.1E+05	5.37×10^7
	8.77	8.24	1057207.5	1.06×10^6	1.2E+05	1.85×10^6
	9.39	8.82	1052210.5	1.05×10^6	1.2E+05	1.32×10^7
	11.71	11.00	1053521.1	1.05×10^6	1.1E+05	5.40×10^6
	12.28	11.54	1060432.4	1.06×10^6	1.1E+05	2.10×10^7

Cálculo de la resistencia interna media del voltímetro:

$$\bar{R}_V = 1.06 \times 10^6 \Omega = 1.06 \text{ M}\Omega$$

Propagación de la incertidumbre:

$$\frac{\Delta R_V}{R_V} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta(V_0 - V_1)}{(V_0 - V_1)}$$

Para la primera fila:

$$\frac{\Delta R_V}{1.06 \text{ M}\Omega} = \frac{5}{68} + \frac{0.01}{1.87} + \frac{0.02}{0.12} = 24.55\%$$

$$\Delta R_V = 24.55\% (1.06 \text{ M}\Omega) = 0.26 \text{ M}\Omega \approx 0.3 \text{ M}\Omega$$

Calculo del error cuadrático medio:

$$\sum (\bar{R}_V - R_V)^2 = 4.84 \times 10^8$$

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{\sum (\bar{R}_V - R_V)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4.84 \times 10^8}{10-1}} = 7.33 \times 10^3 = 0.0073 \times 10^6 \approx 0.01 \times 10^6$$

El error más probable será:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.01 M\Omega}{\sqrt{10}} = 3.2 \times 10^3 \Omega$$

OBSERVACIÓN:

En definitiva se realizaron muchas medidas. Si hubiésemos calculado el coeficiente de dispersión no habríamos dado cuenta que bastaba con 3 medidas solamente. Veamos los primeros tres datos:

V_0 (V)	V_I (V)	R_V (Ω)	R_V (Ω)
1.99	1.87	1059666.7	1.06×10^6
3.58	3.36	1038545.5	1.04×10^6
5.15	4.84	1061677.4	1.06×10^6

$$\%D = \frac{|x_{mayor} - x_{menor}|}{\bar{x}} = \frac{|1.06 - 1.04|}{1.05} = 1.90\% < 5\%$$

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 5
“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA CON LA TEMPERATURA”



OBJETIVOS.

Estudio de la variación de la resistencia eléctrica de un conductor con la temperatura.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La variación de la temperatura produce una variación en la resistencia eléctrica. En la mayoría de los metales aumenta su resistencia al aumentar la temperatura, por el contrario, en otros elementos como el carbono o el germanio la resistencia disminuye. En algunos materiales la resistencia llega a desaparecer cuando la temperatura baja lo suficiente. En este caso se habla de superconductores.

Experimentalmente se comprueba que para los metales si la temperatura no es muy elevada, la resistencia a cierta temperatura R_T , viene dada por la expresión:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$$

donde

- R_0 = Resistencia de referencia a la temperatura T_0 .
- α = Coeficiente de temperatura. Para el cobre $\alpha=0,00393$.
- T_0 = Temperatura de referencia en la cual se conoce R_0

El coeficiente de temperatura, habitualmente simbolizado como α , cuantifica la relación entre la variación de la resistencia de un material y el cambio de temperatura. Es el cambio relativo de la resistencia cuando la temperatura se cambia un 1K. Este coeficiente se expresa según el Sistema Internacional de Unidades en 1/K. Su expresión matemática toma la forma:

$$\alpha(T) = \frac{1}{R(T_0)} \cdot \frac{\partial R(T)}{\partial T}$$

Si el coeficiente de temperatura es prácticamente constante en el intervalo de temperaturas entre T_0 y T , es decir, la magnitud física depende linealmente de la temperatura, entonces puede realizarse la siguiente aproximación:

$$\alpha = \frac{1}{R(T_0)} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{1}{R(T_0)} \cdot \frac{R(T) - R(T_0)}{T - T_0}$$

En este caso, el coeficiente determina el aumento o disminución de la resistencia eléctrica de acuerdo con la variación de temperatura y la naturaleza de cada material.

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

Coeficientes de temperatura	
Material	Coeficiente a 20 °C (1/K)
Plata	$3,8 \times 10^{-3}$
Cobre	$3,9 \times 10^{-3}$
Aluminio	$3,9 \times 10^{-3}$
Tungsteno	$4,5 \times 10^{-3}$
Acero	$5,0 \times 10^{-3}$
Mercurio	$0,9 \times 10^{-3}$
Carbón	$-0,5 \times 10^{-3}$
Germanio	$-4,8 \times 10^{-2}$

Se usó el puente de hilo para medir la resistencia como se indica en la figura

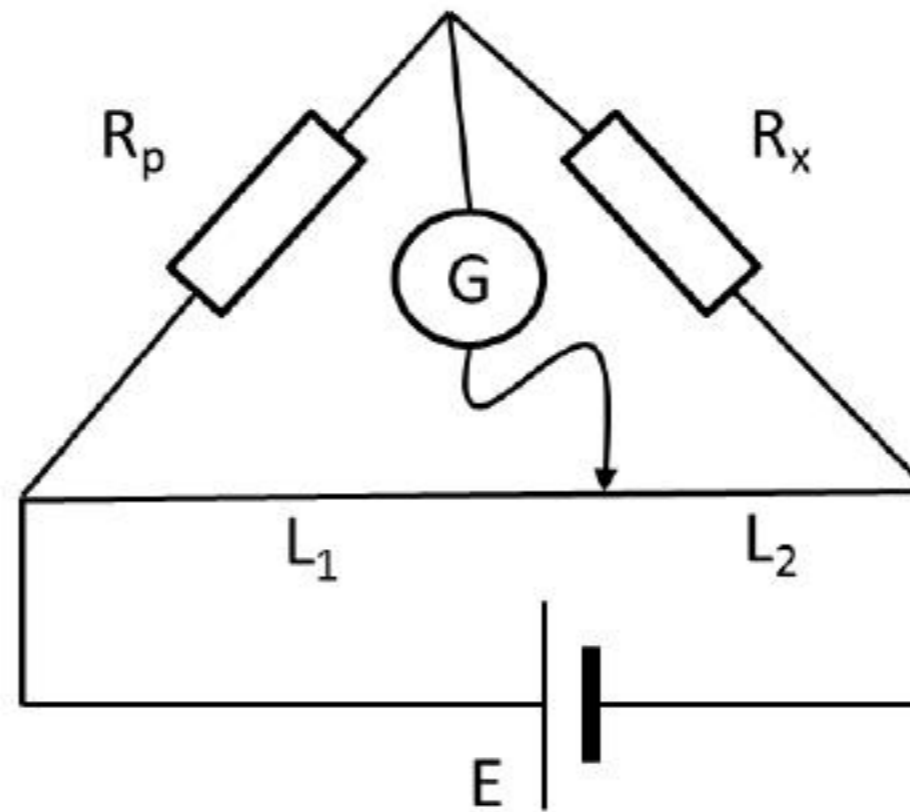


Figura 5. Puente de hilo

Donde:

- E: fuente de tensión
- L_1+L_2 : longitud total del hilo
- G: galvanómetro o microamperímetro
- R_p : resistencia de referencia o patrón
- R_x : resistencia a medir

Cuando el puente está en equilibrio, es decir cuando moviendo el cursor se consigue que el microamperímetro o galvanómetro (G) marque 0, entonces se verifica:

$$\frac{R_p}{L_1} = \frac{R_x}{L_2}$$

- Se usó una resistencia de referencia de $R_p=10 \Omega$
- El voltaje de salida programado en la fuente de alimentación fue $V= 2.10 \text{ V}$.
- Se utilizó alambre de Cu de $\varnothing 0.11\text{mm}$ y primero se hizo una estimación de la longitud del alambre necesaria para que la resistencia a medir R_x fuese del mismo orden que la resistencia de referencia R_p , ¿Cuál sería la longitud L de alambre necesaria? Probamos con $L = 1.00 \text{ m}$

$$L = 1.00 \text{ m} \quad \Delta L = 0.05 \text{ cm} \quad D = 0.11 \text{ mm} \quad \Delta D = 0.01 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.11 \times 10^{-3})^2}{4} = 9.50 \times 10^{-9} \text{ m}^2$$

$$R = \rho \left(\frac{L}{A} \right) = (1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{(1.00 \text{ m})}{(9.50 \times 10^{-9} \text{ m}^2)} = 3.52 \Omega$$

- Si se hubiese utilizado un alambre de cobre de 0.63 mm de diámetro, se habrían necesitado 93 metros para tener una resistencia no muy diferente a la de referencia.
- Cálculo de la resistencia del alambre usando el puente de hilo:

$$\frac{R_x}{L_2} = \frac{R}{L_1} \Rightarrow R_x = R \left(\frac{L_2}{L_1} \right)$$

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{\Delta L_2}{L_2}$$

- El valor en tablas del coeficiente térmico de resistencia es: $\alpha = 3.98 \times 10^{-3} \text{ (C}^\circ\text{)}^{-1}$

MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el desarrollo de esta práctica se requiere el siguiente equipamiento:

- Cables de conexión.
- Resistencia de referencia
- Una fuente de voltaje DC variable (0 – 12 V)
- Puente de hilo / Microamperímetro
- Recipiente de *pyrex*
- Hornillo
- Termómetro de Hg
- Hilos de diferentes materiales para la medida de su resistividad

PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Apague su teléfono celular durante se efectúe la práctica.
- Revise, según lista en la guía, que dispone de todo el equipo necesario para la práctica, y que además esté en buen estado.
- Si sospecha que alguno de los equipos o materiales está dañado, debe comunicárselo inmediatamente al docente o instructor responsable.
- No juegue con los aparatos eléctricos ni con las conexiones para evitar riesgos.
- No conecte ningún circuito sin antes consultar al docente o instructor responsable.

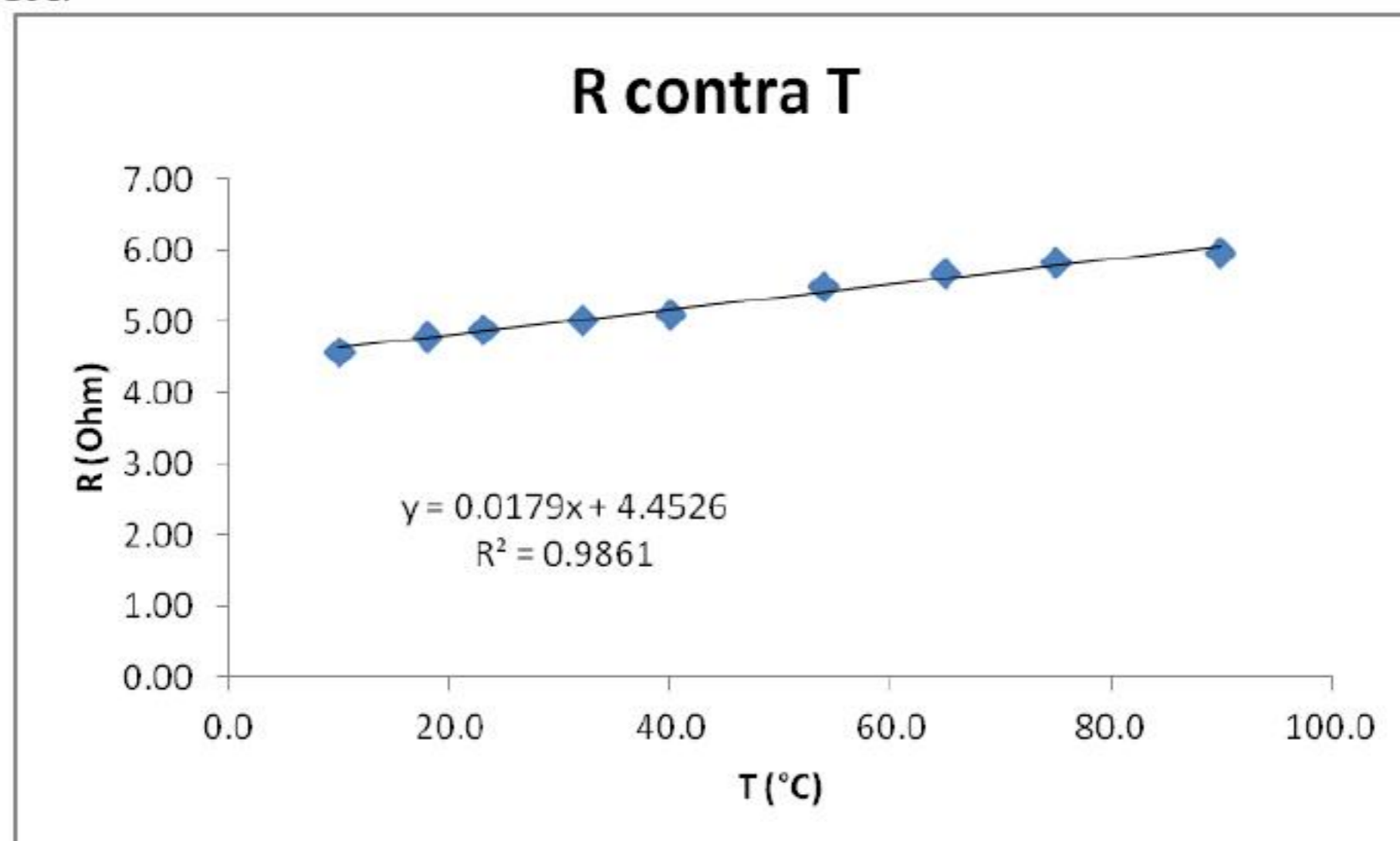
- Al finalizar la práctica, debe dejar entregue el equipo a su instructor tal como lo recibió.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las medidas a diferentes temperaturas se realizaron calentando inicialmente la resistencia a medir dentro de un recipiente de *pyrex* con agua hirviendo y posteriormente enfriando.

T (°C)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	R (Ω)
10.0	68.60	31.40	4.58
18.0	67.60	32.40	4.79
23.0	67.15	32.85	4.89
32.0	66.60	33.40	5.02
40.0	66.20	33.80	5.11
54.0	64.50	35.50	5.50
65.0	63.80	36.20	5.67
75.0	63.20	36.80	5.82
90.0	62.60	37.40	5.97

GRÁFICA.



$$R_0 = 4.45 \, \Omega \quad \text{y} \quad R_0 \alpha = 0.0179 \Rightarrow \alpha = \frac{0.0179}{4.45} = 3.93 \times 10^{-3} (C^\circ)^{-1}$$

El valor en tablas es: $\alpha = 3.98 \times 10^{-3} (C^\circ)^{-1}$. Por lo que error relativo es.

$$\%E = \left| \frac{3.98 - 3.93}{3.98} \right| \times 100 = 1.26\%$$

- Para que los resultados sean buenos, al alambre se le debe retirar muy bien el esmalte en los contactos
 - El termómetro debe ser bueno, preferiblemente debe ser de mercurio.
 - La resistencia de referencia debe ser estable para que no afecte las mediciones. Las de carbón se calienta por lo que modifican su valor.
-

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 6
“CARACTERÍSTICA DE UN DIODO SEMICONDUCTOR”

OBJETIVOS.

Medición de la curva característica (I, V) de un diodo semiconductor.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La mayor parte de los dispositivos electrónicos modernos están fabricados a partir de semiconductores. Si los conductores son materiales que disponen de electrones libres y los aislantes carecen de ellos, los semiconductores se encuentran en una situación intermedia: a la temperatura de 0 K se comportan como aislantes, pero mediante una aportación de energía puede modificarse esta situación, adquiriendo un comportamiento más cercano al de los conductores.

Los materiales semiconductores de uso común en la tecnología *microelectrónica* son el silicio, el germanio y el arseniuro de galio. Se trata de elementos del grupo IV de la tabla periódica, o bien combinaciones de elementos de los grupos III y V. De todos ellos, el más empleado actualmente es el silicio.

El silicio es un elemento con una gran cantidad de aplicaciones. Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (después del oxígeno) con un porcentaje en peso del 25,7%. Está presente en multitud de materiales, tan diversos como la arena, la arcilla, el vidrio o el hueso. El silicio puro no se encuentra en la naturaleza, pero bajo las condiciones adecuadas pueden obtenerse en forma de estructuras monocristalinas. En éstas los átomos se disponen según una red tipo diamante con simetría cúbica, en donde cada átomo forma enlaces covalentes con otros cuatro adyacentes. Por tanto, al no existir portadores libres, el silicio puro y monocristalino a 0 K se comporta como un material aislante.

En los materiales conductores la circulación de corriente es posible gracias a la existencia de electrones libres. En los semiconductores también son los electrones los responsables de la corriente. Sin embargo, puesto que en este caso provienen de un enlace covalente y no de una nube electrónica, el fenómeno es más complejo, y para su explicación se introduce un nuevo portador de carga ficticio: el *hueco*.

Si se eleva la temperatura del monocristal de silicio por encima de 0 K, parte de la energía térmica permite liberar alguno de los electrones. Ello produce dos efectos:

1. Aparece un electrón libre capaz de moverse a través de la red en presencia de un campo eléctrico.
2. En el átomo al que se asociaba el electrón aparece un defecto de carga negativa, es decir, una carga positiva, que se denomina hueco.

Globalmente, el cristal mantiene la neutralidad eléctrica, ya que no ha ganado ni perdido cargas. Cuando se producen electrones libres en un semiconductor únicamente por agitación térmica, existen huecos y electrones en números iguales, porque cada electrón térmicamente excitado deja detrás de sí un hueco. Un semiconductor con un número igual de huecos y electrones se denomina *intrínseco*.

Recapitulando, los semiconductores se diferencian:

- *de los aislantes:* La energía para liberar un electrón es menor en el semiconductor que en el aislante. Así a temperatura ambiente el primero dispone ya de portadores libres.
- *de los conductores:* Los semiconductores poseen dos tipos de portadores de carga: el electrón y el hueco.

En el caso del silicio puro monocristalino, el número de portadores libres a temperatura ambiente es lo suficientemente bajo como para asegurar una alta resistividad.

Si se eleva la temperatura sobre la de ambiente se aumentará la tasa de pares electrón/hueco generados. Llegará un momento en el que, si la temperatura es lo suficientemente elevada, dejará de operar correctamente. En el caso del silicio, esta temperatura es de 125 °C.

MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO.

Para el desarrollo de esta práctica se requiere el siguiente equipamiento:

- 2 Multímetros
- Cables de conexión.
- Una fuente de voltaje DC variable (0 – 12 V)
- Puente de hilo / Microamperímetro
- Fuente de tensión patrón para calibración
- Diodo a medir

PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Apague su teléfono celular durante se efectúe la práctica.
- Revise, según lista en la guía, que dispone de todo el equipo necesario para la práctica, y que además esté en buen estado.

- Si sospecha que alguno de los equipos o materiales está dañado, debe comunicárselo inmediatamente al docente o instructor responsable.
- No juegue con los aparatos eléctricos ni con las conexiones para evitar riesgos.
- No conecte ningún circuito sin antes consultar al docente o instructor responsable.
- Al finalizar la práctica, debe dejar entregue el equipo a su instructor tal como lo recibió.

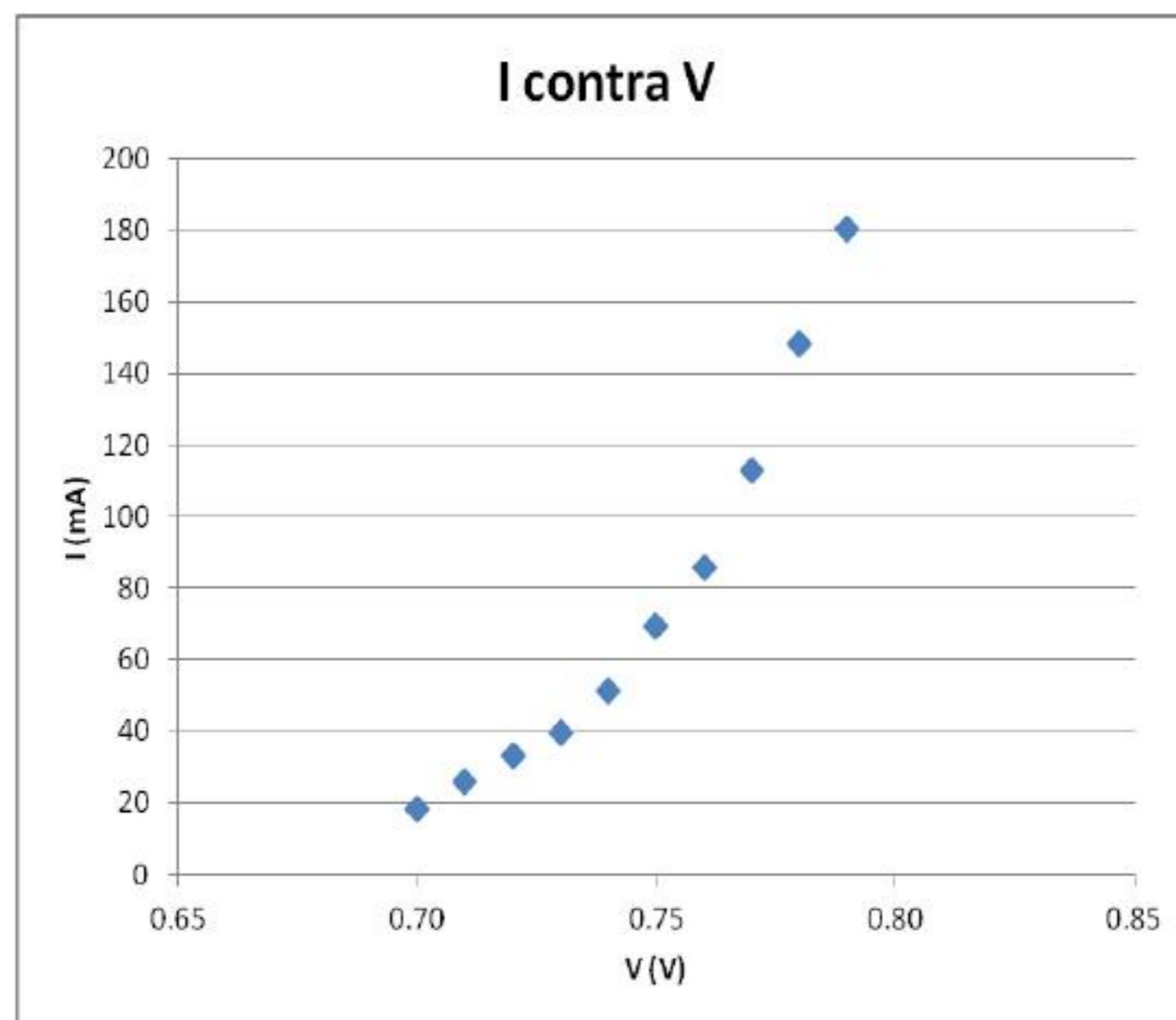
CARACTERÍSTICA DEL DIODO USANDO VOLTÍMETRO Y AMPERÍMETRO

Diodo en polarización directa.



Se obtuvieron los valores siguientes:

V (V)	I (mA)
0.79	180.3
0.78	148.3
0.77	112.9
0.76	85.9
0.75	69.6
0.74	51.2
0.73	39.6
0.72	33.3
0.71	26.2
0.70	18.5

GRÁFICA.

Para el diodo en polarización en inversa no se obtuvieron datos.

MEDIDA USANDO EL PUENTE DE HILO COMO POTENCIÓMETRO

Se ha utilizado el hilo del puente como resistencia para el montaje potenciométrico como se indica en la figura 1. Este montaje se utiliza para alimentar un circuito desde valores de tensión pequeños hasta el valor máximo E. Se calibra el hilo previamente utilizando una pila patrón de tensión E' (E' < E) colocada en oposición a la fuente de alimentación E. En nuestro caso E' = 2.34 V encontrando el equilibrio del puente con L₁ = 57.05 cm

$$\frac{V}{L_1} = \frac{2.34 \text{ V}}{57.05 \text{ cm}} \Rightarrow V = \left(\frac{2.34 \text{ V}}{57.05 \text{ cm}} \right) L_1$$

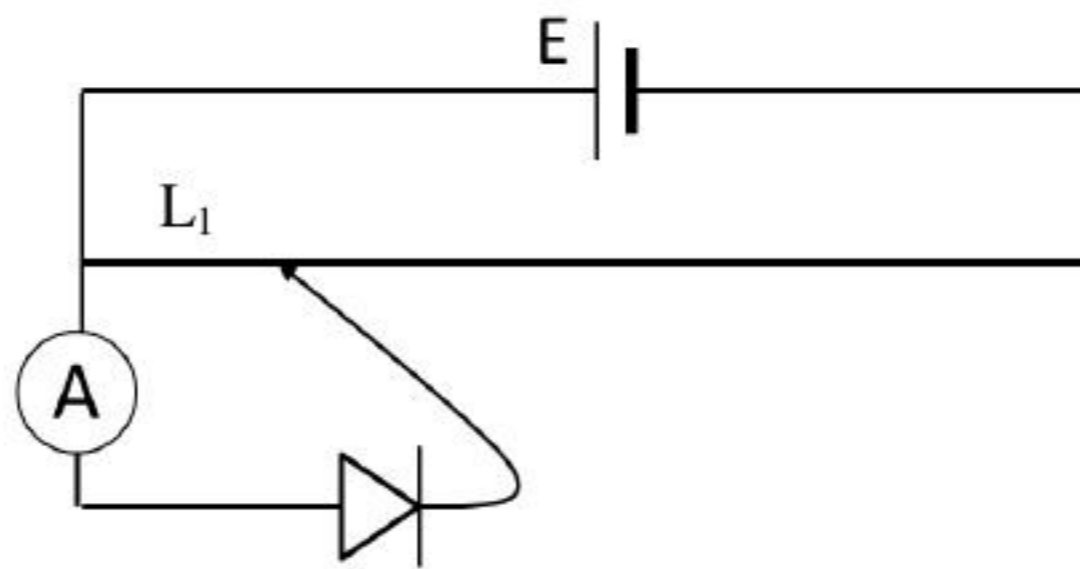
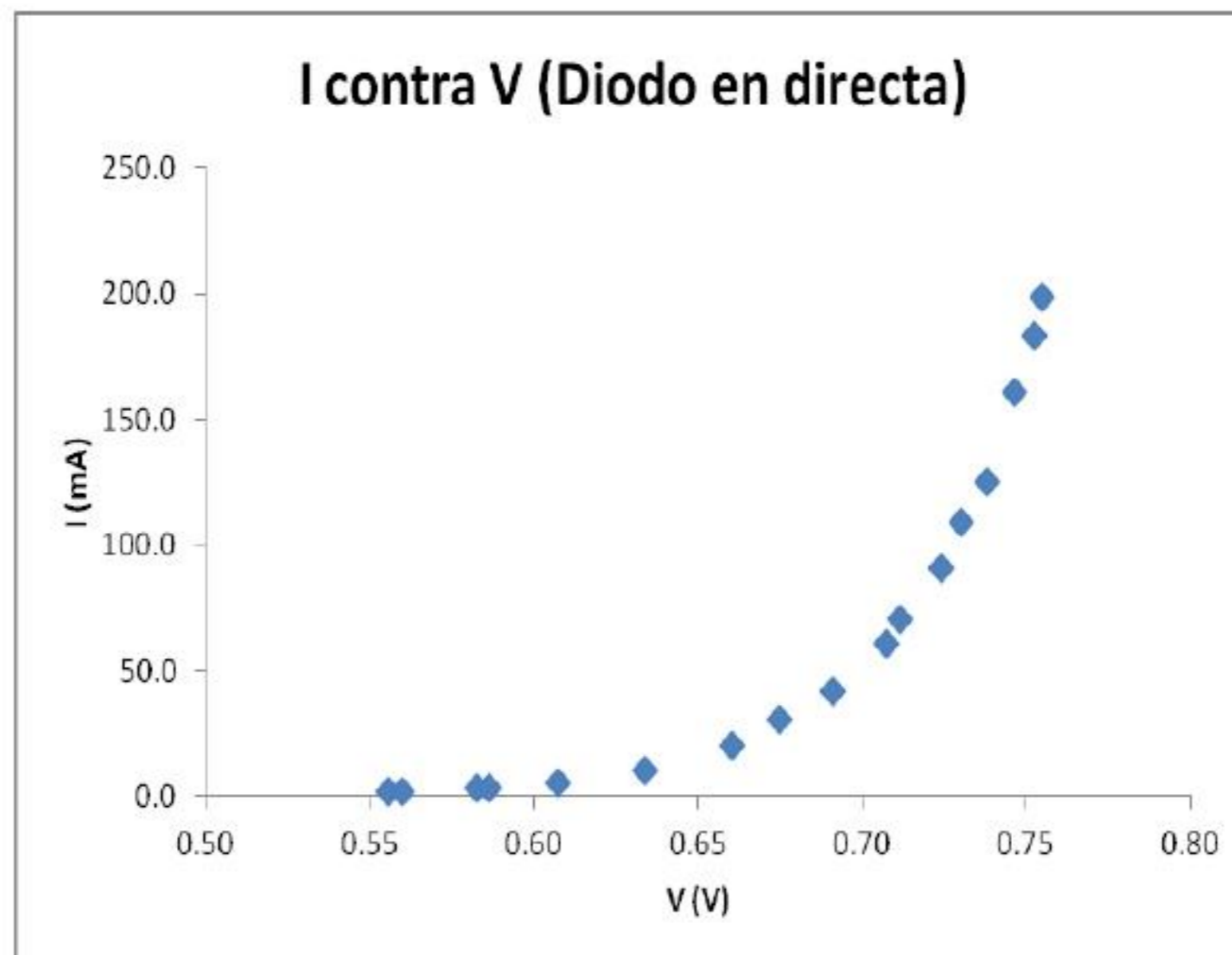


Figura 1. Montaje potenciométrico



Se obtuvieron los valores expresados en la tabla siguiente:

I (mA)	L₁ (cm)	V (V)
1.8	13.55	0.56
2.0	13.65	0.56
3.3	14.20	0.58
3.8	14.30	0.59
5.9	14.80	0.61
10.8	15.45	0.63
20.0	16.10	0.66
31.1	16.45	0.67
41.8	16.85	0.69
61.0	17.25	0.71
70.3	17.35	0.71
90.9	17.65	0.72
109.2	17.80	0.73
125.4	18.00	0.74
161.1	18.20	0.75
183.1	18.35	0.75
198.5	18.40	0.75



Con el diodo en polaridad inversa no se obtuvieron datos perceptibles.

CONCLUSIÓN:

Se tiene mejor precisión usando el método potenciométrico que con el método voltímetro – amperímetro.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 7

“CARACTERIZACION DE UNA FUENTE DE TENSION DC VARIABLE”

I. OBJETIVOS.

- 4) Estudiar el comportamiento de la potencia eléctrica entregada por una fuente de tensión DC variable.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO.

La potencia disipada por un dispositivo en la transformación de la energía eléctrica en la energía calorífica se calcula por medio de la expresión:

$$P = i V \quad (\text{Ec. 1})$$

Por la ley de ohm $V = i R$, la expresión anterior se puede escribir de las formas siguientes:

$$P = i^2 R \quad \text{y} \quad P = \frac{V^2}{R} \quad (\text{Ec. 2})$$

Máxima transferencia de potencia. Toda fuente de tensión eléctrica tiene una resistencia interna, que puede ser grande o pequeña dependiendo de la fuente. Sea cual fuera el caso, esta resistencia limita la cantidad de potencia que puede suministrar la fuente.

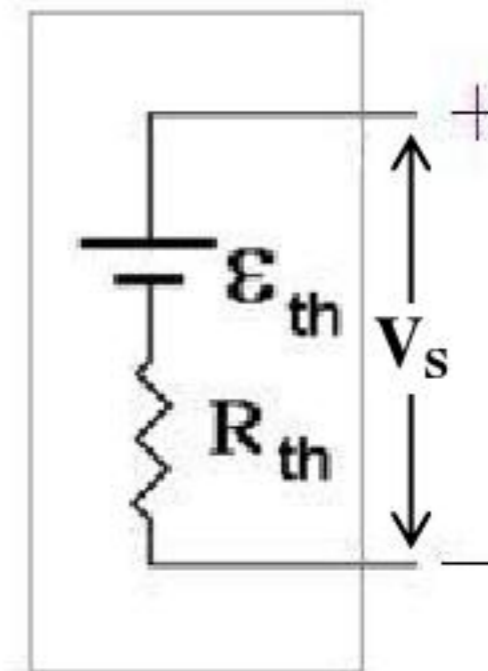


Fig. 1. Esquema de una fuente de tensión.

Donde ϵ_{th} es una fuente ideal de tensión en serie con R_{th} , denominada resistencia interna de la fuente, y V_s es el voltaje entre las terminales de la fuente.

La resistencia interna provoca una caída de tensión e impone un límite superior a la corriente que puede entregar el generador y, por consiguiente, limita también la potencia que puede suministrar.

Considere que una fuente de tensión real está conectada a una resistencia de carga R_C como se muestra en la figura 2.

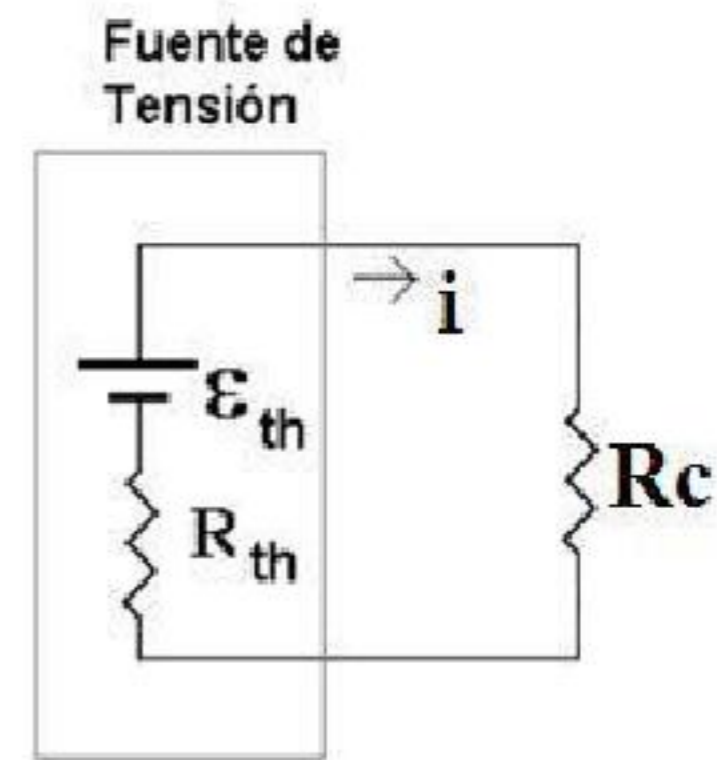


Fig. 2. Fuente de tensión conectada a una resistencia de carga R_C .

La intensidad de corriente en el circuito está dada por:

$$i = \frac{V_s}{R_{th} + R_C} \quad (\text{Ec. 3})$$

La potencia en la resistencia de carga R_C está dada por:

$$P = i^2 R_C \quad (\text{Ec. 4})$$

Para conseguir la condición de máximo, hay que derivar la potencia con respecto a la resistencia de carga R_C e igualar a cero:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial R_C} &= \frac{\partial}{\partial R_C} \left[\frac{V_s^2 R_C}{(R_{th} + R_C)^2} \right] = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{V_s^2}{(R_{th} + R_C)^2} + V_s^2 R_C (-2)(R_{th} + R_C)^{-3} R_C = 0 \\ &\Rightarrow \quad \frac{V_s^2}{(R_{th} + R_C)^2} - \frac{2V_s^2 R_C}{(R_{th} + R_C)^3} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{2V_s^2 R_C}{(R_{th} + R_C)^3} = \frac{V_s^2}{(R_{th} + R_C)^2} \\ &\Rightarrow \quad \frac{2R_C}{(R_{th} + R_C)} = 1 \quad \Rightarrow \quad 2R_C = R_{th} + R_C \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_C = R_{th}} \end{aligned}$$

Por tanto, una fuente de tensión entrega la máxima potencia a una resistencia de carga R_C cuando el valor de esta resistencia es igual a la resistencia interna R_{th} de la propia fuente. Luego, el valor de la potencia máxima transmitida es:

$$P_{\max} = \frac{V_s^2}{4R_C} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dado que la resistencia de una fuente de voltaje es muy pequeña, y para evitar extraer una corriente excesiva de la fuente, lo que podría quemarla, se pondrá en serie con la fuente una resistencia externa simulando ser la resistencia de la fuente.

III. MATERIAL Y EQUIPO

- Cables de conexión
- Tenaza o pinza
- Fuente de tensión DC variable (0 – 12 V)
- Reóstato o resistencia variable (0 – 10 Ω)
- 3 multímetros: Amperímetro, voltímetro y óhmetro

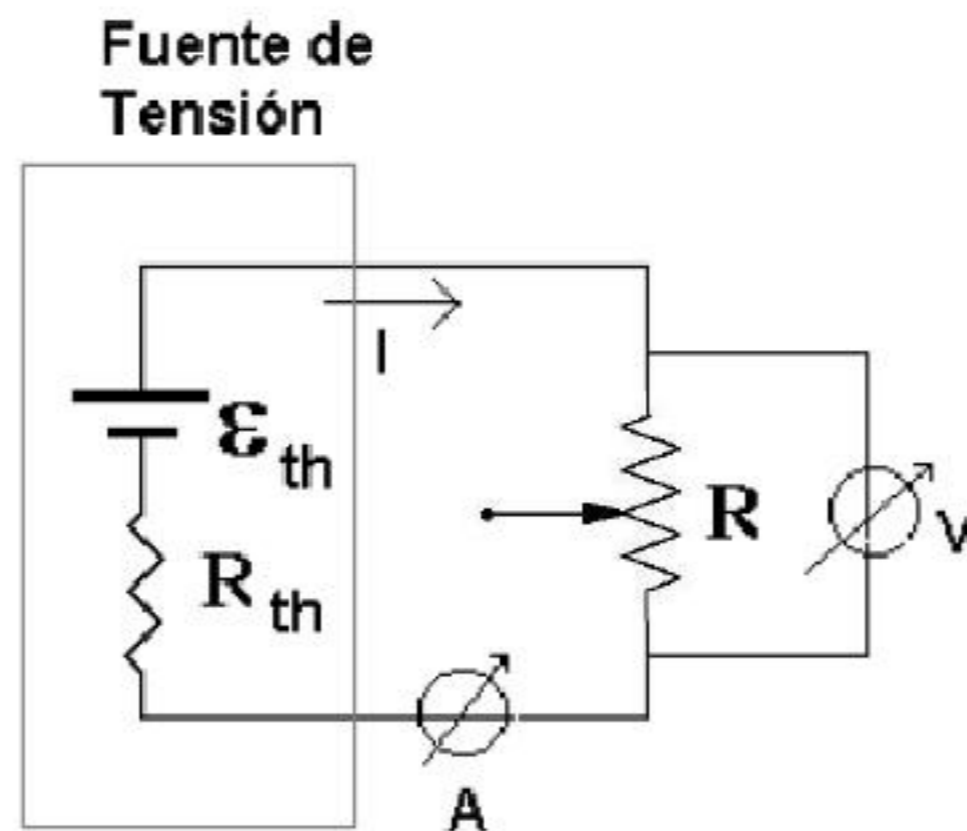


Fig. 3. Montaje experimental.

IV. PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD.



- Apague su teléfono celular durante se efectúe la práctica.
- Revise, según lista en la guía, que dispone de todo el equipo necesario para la práctica, y que además esté en buen estado.
- Si sospecha que alguno de los equipos o materiales está dañado, debe comunicárselo inmediatamente al docente o instructor responsable.
- No juegue con los aparatos eléctricos ni con las conexiones para evitar riesgos.
- No conecte ningún circuito sin antes consultar al docente o instructor responsable.
- Al finalizar la práctica, debe dejar entregue el equipo a su instructor tal como lo recibió.

V. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- 1) Monte el equipo como se muestra en la figura 3.
- 2) Lleve al tope las perillas de tensión e intensidad de la fuente, y mida la tensión y la corriente máxima entregadas por la fuente DC sin carga.
- 3) Conecte el reóstato a la fuente de tensión y varíe la resistencia R de 1.0Ω a 10Ω en pasos de 0.5Ω . Tome las lecturas de corriente y de voltaje en R para cada caso.

VI. SUGERENCIAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- 1) Calcule la potencia máxima entregada por la fuente de tensión.
- 2) Calcule la potencia entregada por la fuente de tensión para cada valor de resistencia de carga.
- 3) Construya las curvas “ P frente a R ”, “ i^2 frente a R ” y “ V^2 frente a R ”.

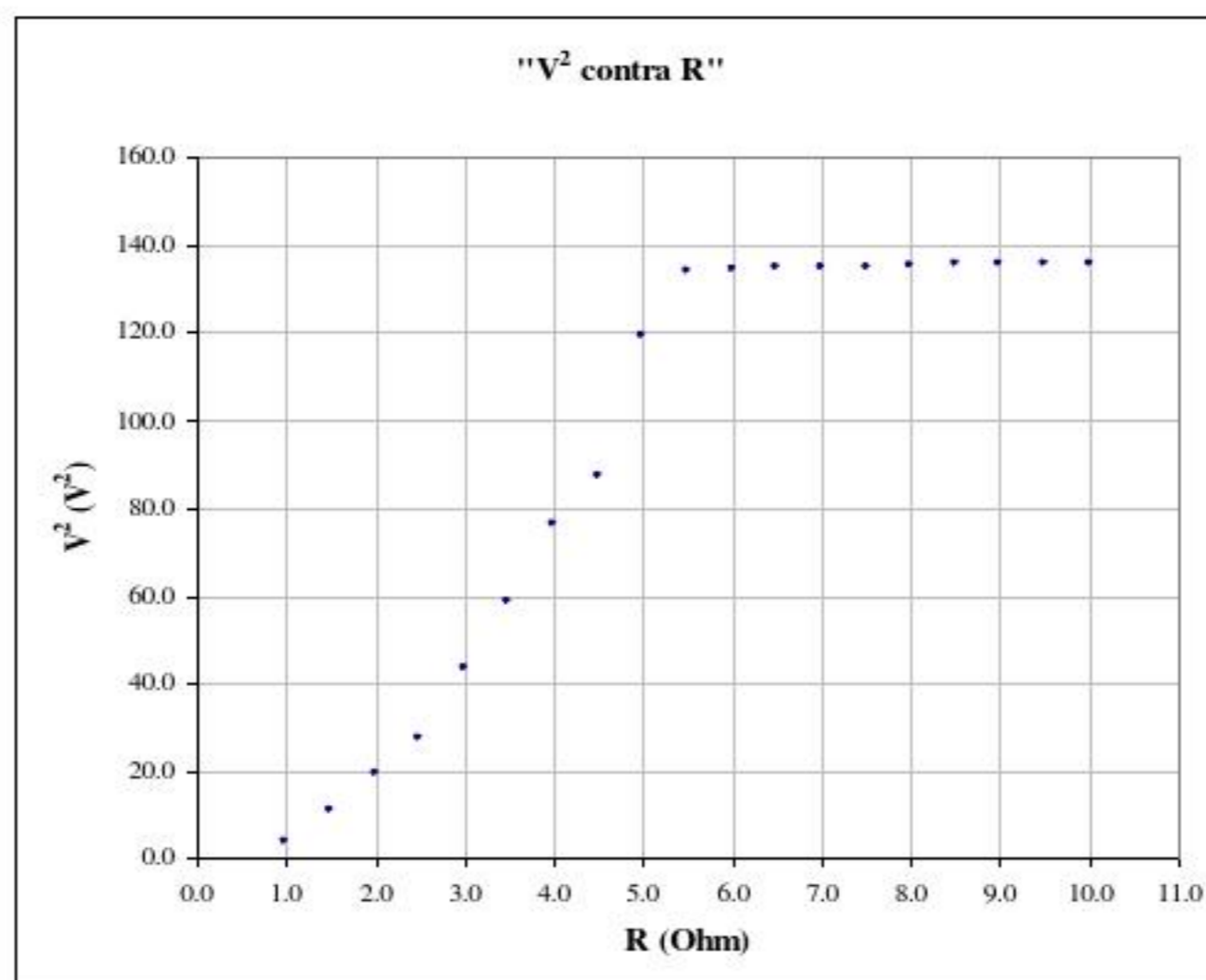
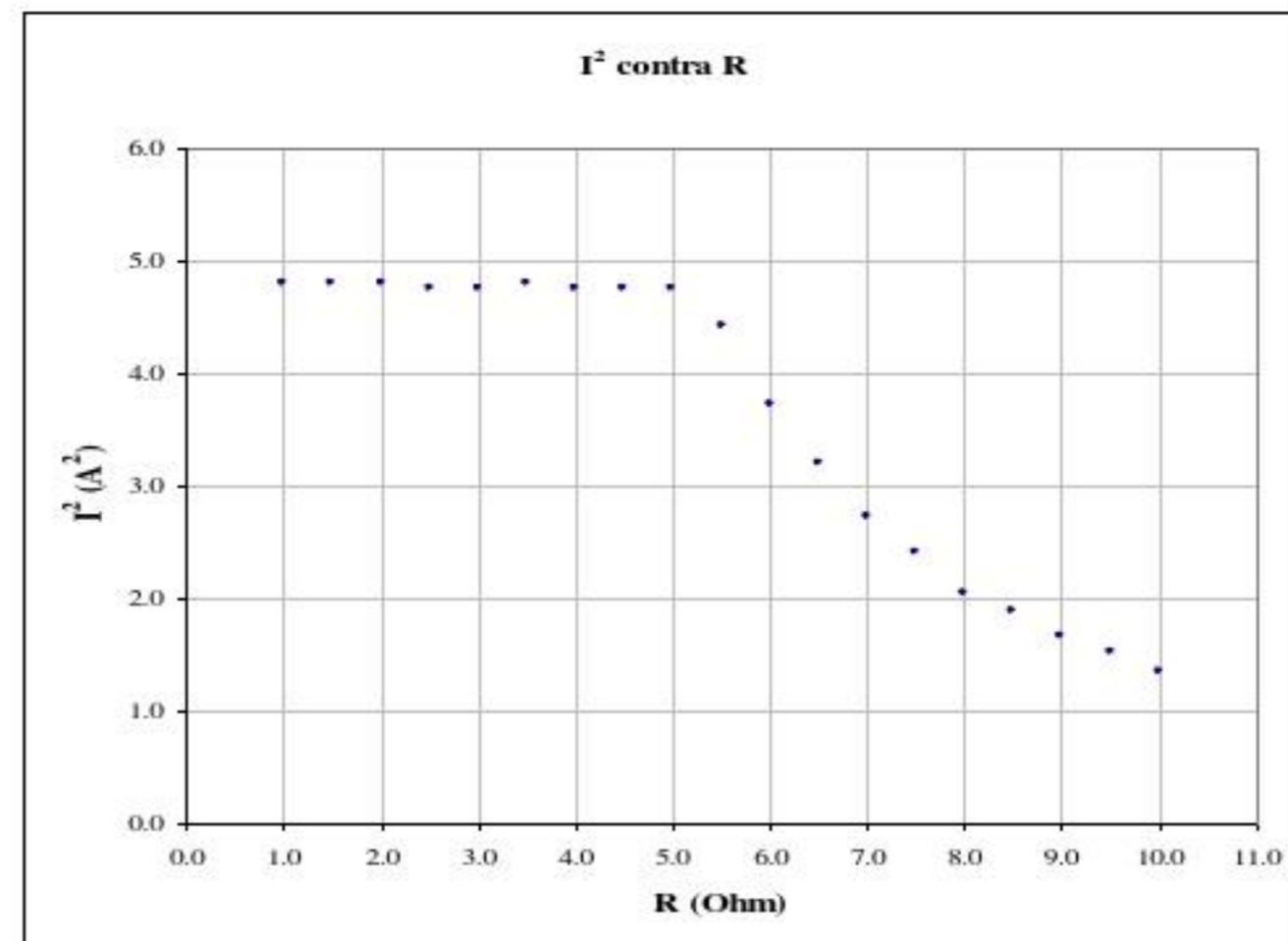
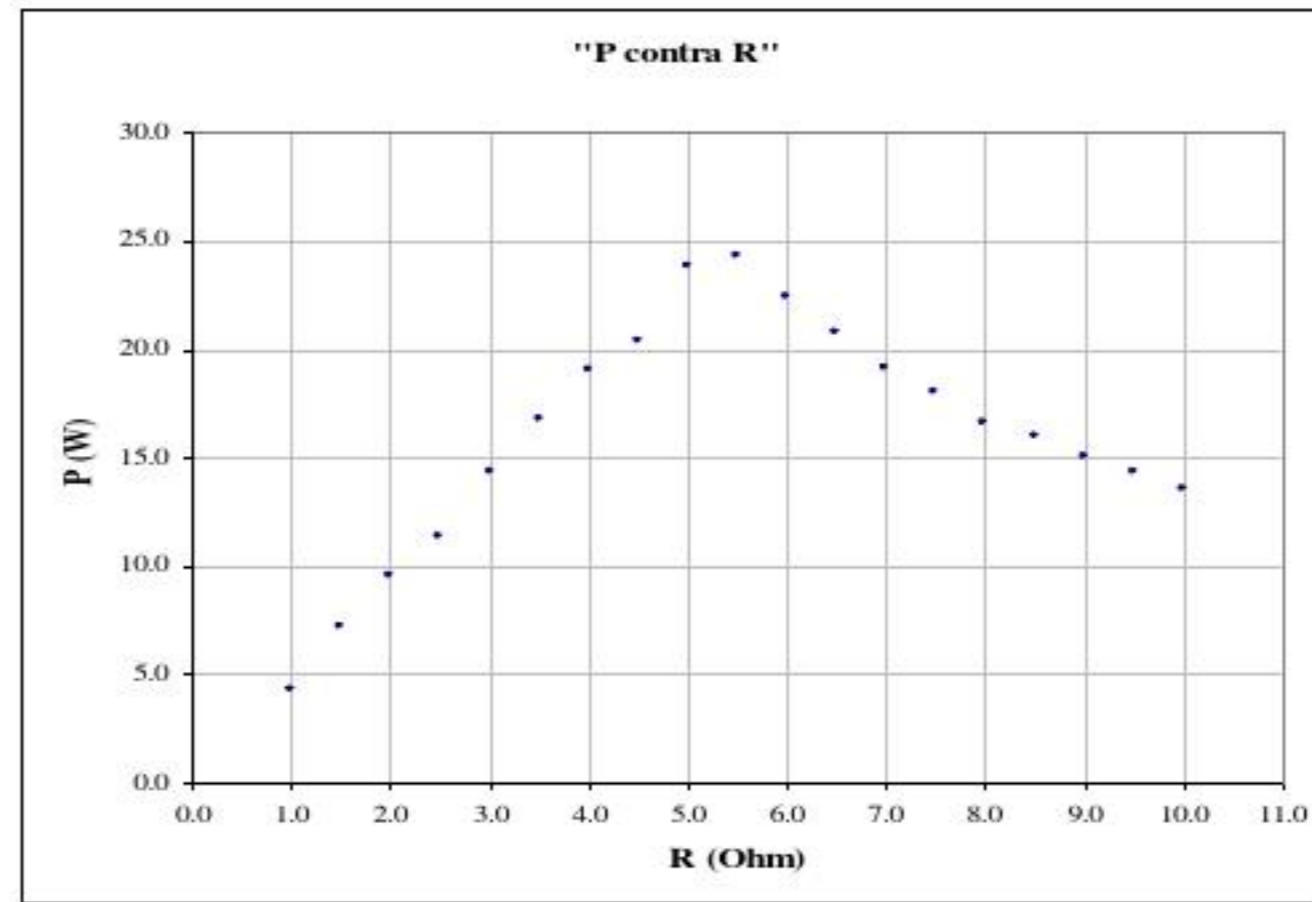
VII. PREGUNTAS.

- 1) ¿Qué puede decir de la forma de las curvas que resultan?
- 2) A partir de los resultados obtenidos, ¿cómo se podría calcular la resistencia interna de la fuente?
- 3) ¿Qué sucedería con la potencia máxima entregada por la fuente si la resistencia de carga se aumentara a valores en el orden de los $k\Omega$?

VIII. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Valores medidos			Valores calculados		
R (Ω)	i (A)	V (V)	P (W)	i ² (A ²)	V ² (V ²)
1.0	2.19	1.96	4.29	4.80	3.84
1.5	2.19	3.28	7.18	4.80	10.76
2.0	2.19	4.38	9.59	4.80	19.18
2.5	2.18	5.22	11.38	4.75	27.25
3.0	2.18	6.57	14.32	4.75	43.16
3.5	2.19	7.66	16.78	4.80	58.68
4.0	2.18	8.74	19.05	4.75	76.39
4.5	2.18	9.34	20.36	4.75	87.24
5.0	2.18	10.92	23.81	4.75	119.25
5.5 (*)	2.10	11.58	24.32	4.41	134.10
6.0	1.93	11.59	22.37	3.72	134.33
6.5	1.79	11.61	20.78	3.20	134.79
7.0	1.65	11.60	19.14	2.72	134.56
7.5	1.55	11.60	17.98	2.40	134.56
8.0	1.43	11.63	16.63	2.04	135.26
8.5	1.37	11.65	15.96	1.88	135.72
9.0	1.29	11.65	15.03	1.66	135.72
9.5	1.23	11.64	14.32	1.51	135.49
10.0	1.16	11.65	13.51	1.35	135.72

Cuando el valor de la resistencia de carga (*) coincide con el valor de la resistencia interna la potencia proporcionada por la fuente es máxima: $P_{\max} = 24.32 \text{ W}$ (4.7% de pérdidas).



ÓPTICA

PRÁCTICAS EXPERIMENTALES

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 1

“FORMACIÓN DE IMÁGENES POR UNALENTE DELGADA”

Objetivos

- Estudiar sistemas ópticos simples.
- Estudiar la formación de imágenes y determinar la distancia focal de una lente convergente.

Fundamentación teórica

Las lentes, en términos generales, corresponden simplemente a una combinación de dos interfaces refractantes, en donde por lo menos una de ellas es curva. Las lentes son consideradas delgadas si el material del que están hechas es lo suficientemente delgado como para que los rayos de luz en su interior sean despreciablemente cortos. Las lentes delgadas, al estar formadas por materiales transparentes, crearán imágenes debido a la refracción o transmisión de la luz a través de ellas y que proviene de un objeto.

En el laboratorio, nos ocuparemos específicamente de las lentes cuyas superficies refractantes sean esféricas, con índice de refracción “ n ”. Estas lentes pueden ser Biconvexas (convergente) o Bicóncavas (divergente).



Biconvexa

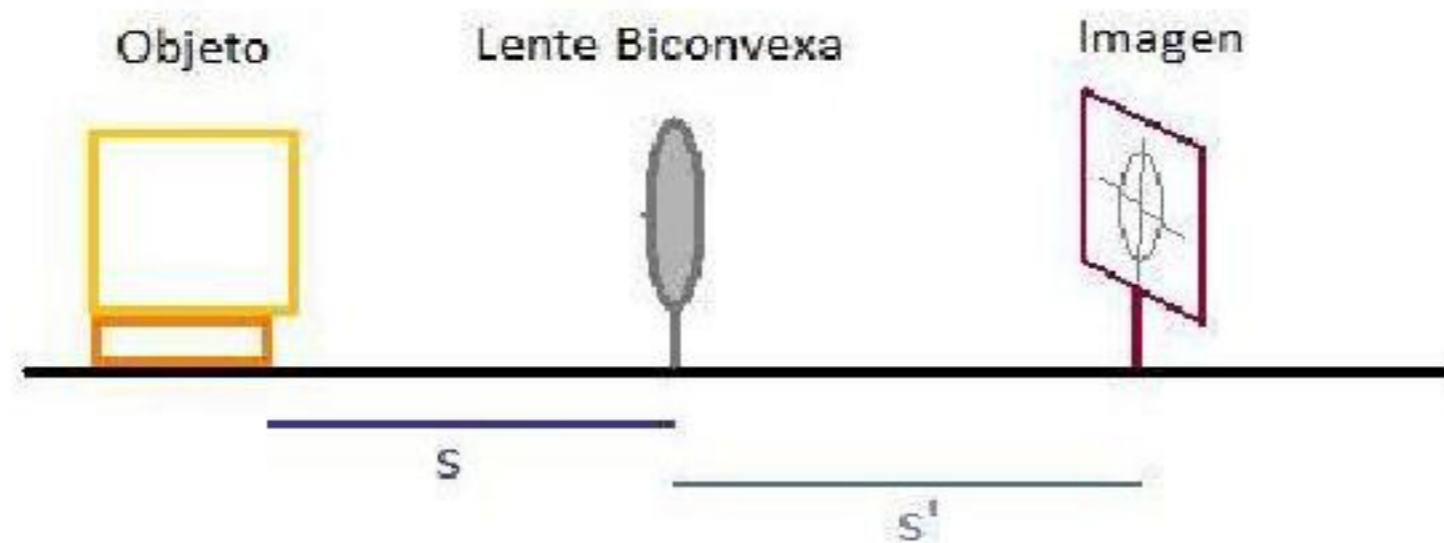


Bicóncava

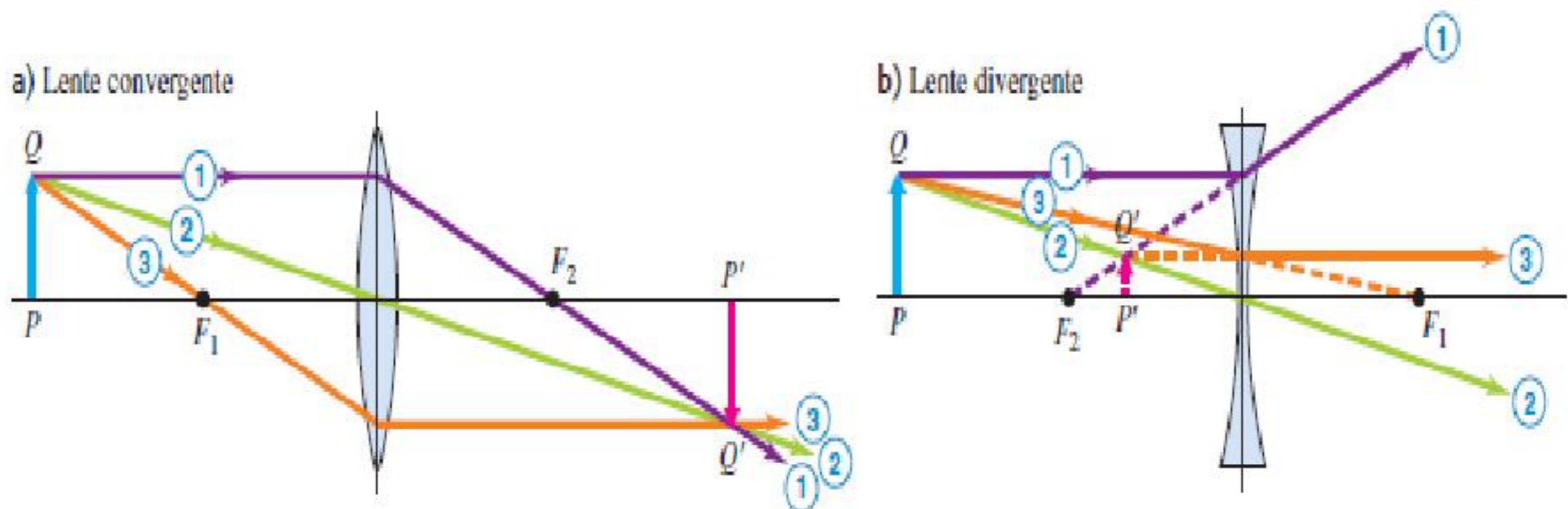
Al analizar la refracción de la luz en cada una de las superficies de la lente (ley de Snell), además de considerar la aproximación de rayos paraxiales, es decir, que los rayos luminosos son paralelos al eje óptico que corta perpendicularmente a la lente por la mitad, es posible encontrar la ecuación que gobierna la formación de imágenes en las lentes:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Donde: S : Distancia de la lente al objeto.
 S' : Distancia de la lente a la imagen.
 f : Distancia focal de la lente.



Se pueden hallar la posición y el tamaño de una imagen formada por una lente delgada usando un método gráfico donde se dibujan unos pocos rayos especiales, llamados rayos principales, que divergen a partir de un punto del objeto que no está sobre el eje óptico. La intersección de estos rayos, después que han atravesado la lente, determina la posición y el tamaño de la imagen.



1. El rayo incidente paralelo se refracta para pasar por el segundo punto focal F_2 .
2. El rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía considerablemente.
3. El rayo que pasa por el primer punto focal F_1 emerge paralelo al eje.

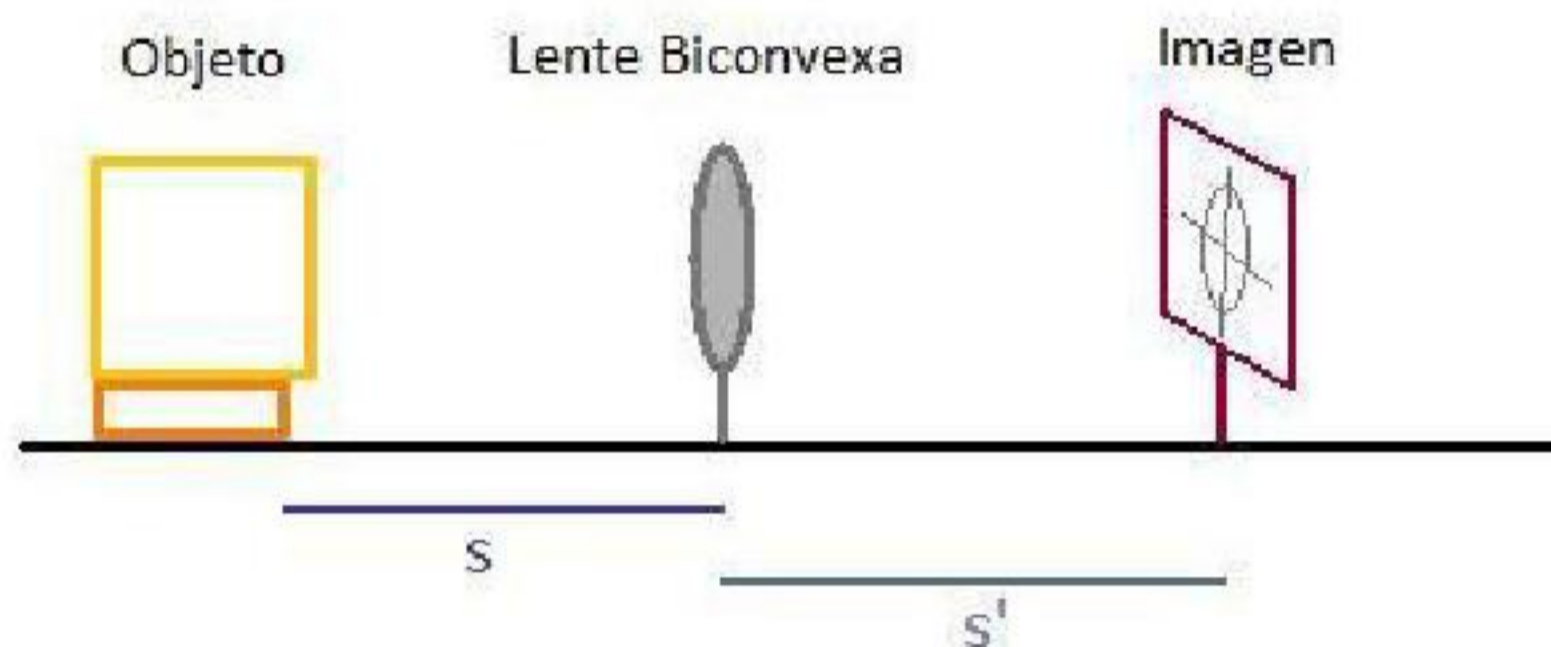
1. Después de refractarse parece que el rayo incidente paralelo proviene del segundo punto focal F_2 .
2. El rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía considerablemente.
3. El rayo que pasa por el primer punto focal F_1 emerge paralelo al eje.

Material y equipo

- 1 Lente convergente
- 1 Regla de madera de 1 m o una cinta métrica
- 1 Porta vela
- 1 Vela (objeto)
- 1 Pantalla, en caso de no tener una puede utilizar la pared
- Fósforos
- 1 soporte para la lente

Procedimiento experimental

1. Ubicar la lente biconvexa entre la fuente luminosa (objeto) y la pantalla, como indica la siguiente figura



2. Variar la posición del objeto y obtener imágenes nítidas en la pantalla, medir las distancias objeto (S) y distancias imagen (S') y completar la siguiente tabla de datos, obtener la distancia focal (f) utilizando la ecuación (1) [recuerde que la referencia para las distancias S y S' corresponde a la lente].

N° exp.	S [cm]	S' [cm]	$1/S$ [cm ⁻¹]	$1/S'$ [cm ⁻¹]
1				
2				
3				
4				
5				

3. Grafique $1/S$ v/s $1/S'$ y realice un ajuste lineal. Obtener la pendiente y el intercepto de la recta; con ellas escribir la ecuación de la recta experimental luego de identificar las variables.

4. Interpretar el significado físico del intercepto del punto anterior. Ayuda: Comparar la ecuación obtenida en el paso anterior con la ecuación (1). Con este resultado obtener un valor experimental para la distancia focal f de la lente que utilizó.
5. Completar la siguiente tabla teniendo presente que:
 Imagen: se refiere a si es real o virtual.
 Posición: si es derecha o invertida la imagen respecto a la posición del objeto.
 Tamaño: si es menor, igual o mayor que el objeto.

N° exp.	S	S [cm]	S' [cm]	Imagen	Posición	Tamaño
1	$> f$					
2	$= f$					
3	$< f$					

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ¿Cómo fueron los valores de S con respecto a S' ?
- ¿Qué valor tiene la distancia focal de la lente?
- Determine la distancia focal de la lente colocándola al sol y midiendo la distancia entre el punto más brillante y la lente y compárelo con el obtenido anteriormente

Resultados del Trabajo Experimental

Lupa 1

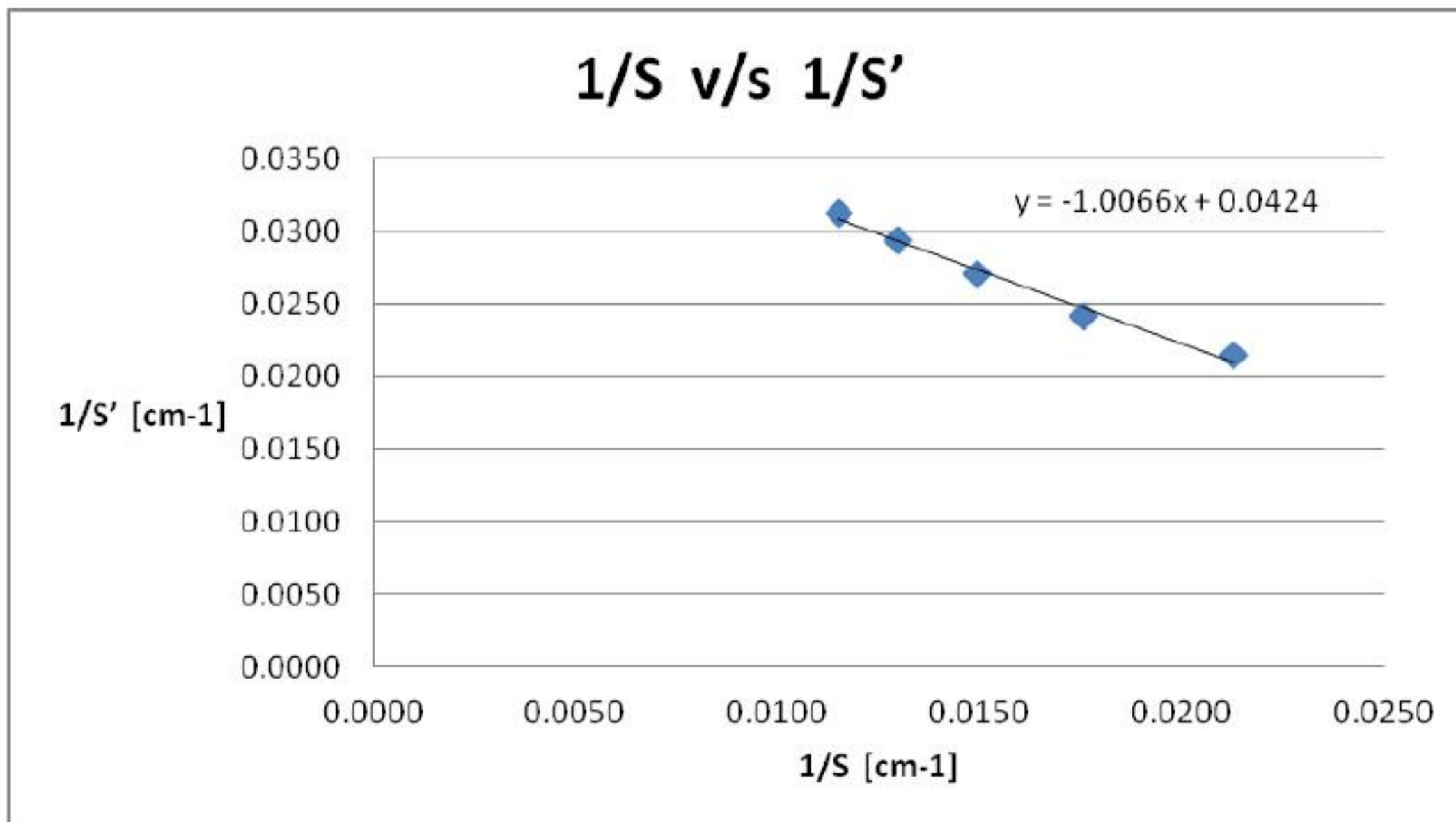
N° exp.	S [cm]	S' [cm]	$1/S$ [cm ⁻¹]	$1/S'$ [cm ⁻¹]	f [cm]	$1/f$ [cm ⁻¹]
1	47	46.5	0.0213	0.0215	23.3743	0.0427
2	57	41.5	0.0175	0.0241	24.0152	0.0416
3	67	37	0.0149	0.0270	23.8365	0.0419
4	77	34	0.0130	0.0294	23.5856	0.0423
5	87	32	0.0115	0.0313	23.3950	0.0427
				$\langle f \rangle$	23.6413	0.0423

Δf [cm]	0.228
-----------------	-------

%E	0.96
----	------

$f = (23.6 \pm 0.2) \text{ cm}$

4.



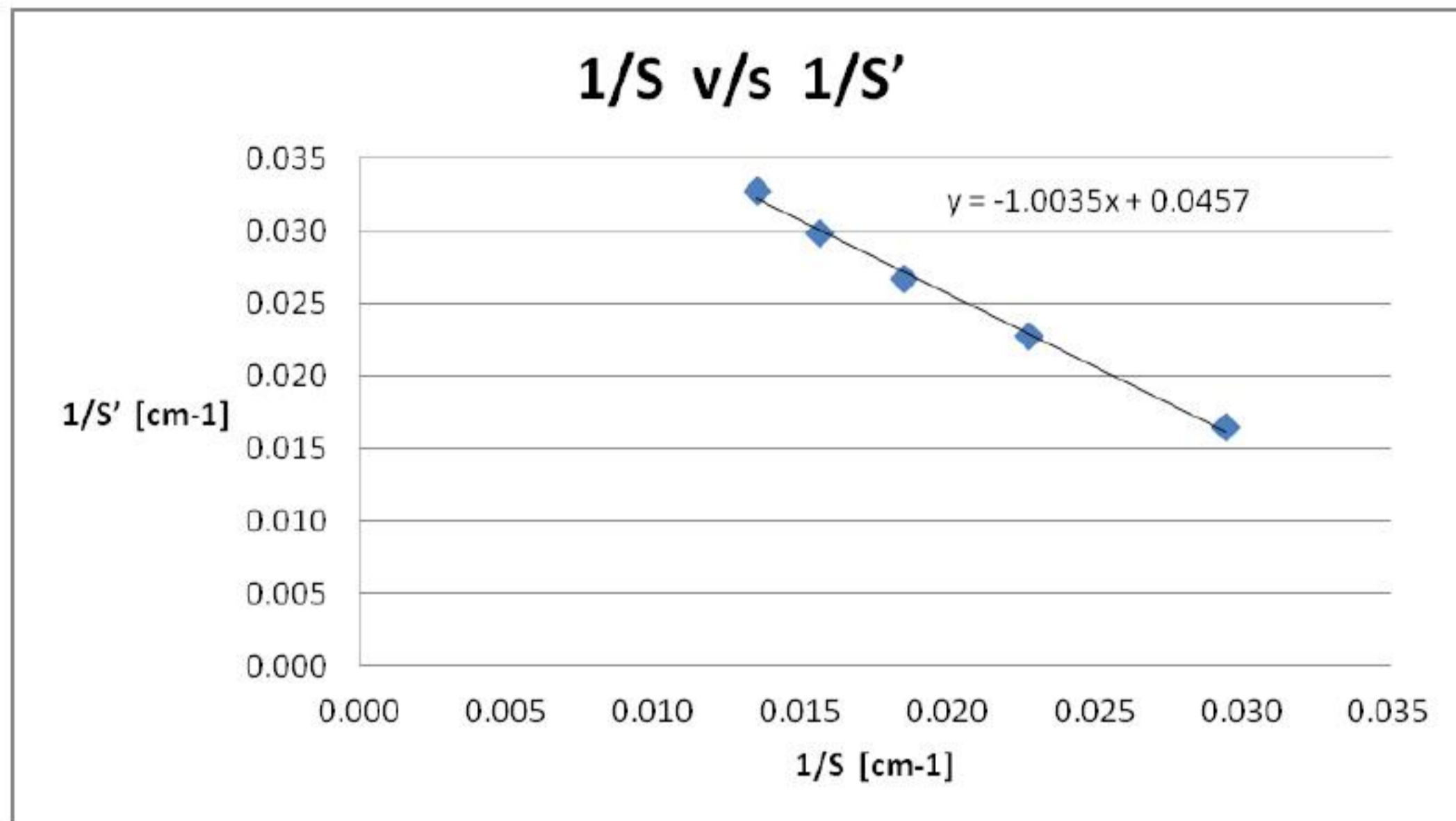
Lupa 2

N° exp.	S [cm]	S' [cm]	$1/S$ [cm ⁻¹]	$1/S'$ [cm ⁻¹]	f [cm]	$1/f$ [cm ⁻¹]
1	34	60.5	0.029	0.017	21.767	0.0459
2	44	44	0.023	0.023	22.000	0.0454
3	54	37.5	0.019	0.027	22.131	0.0451
4	64	33.5	0.016	0.030	21.990	0.0454
5	74	30.5	0.014	0.033	21.598	0.0462
				$\langle f \rangle$	21.897	0.0456

Δf [cm]	0.172
-----------------	-------

%E	0.78
----	------

$f = (21.9 \pm 0.2) \text{ cm}$



PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 2

“LEYES DE REFLEXIÓN”

Objetivos.

Verificar experimentalmente las leyes de reflexión y refracción al igual que el fenómeno de reflexión total de la luz.

Introducción

Cuando se interponen objetos en el camino de la luz, esta puede ser absorbida, reflejada o continuar propagándose en el interior del objeto, correspondiendo a este último el caso de refracción. Cuando la superficie es pulimentada o especular, el rayo incidente forma con la normal a la superficie un ángulo θ_i (ángulo de incidencia) que es igual al ángulo que forma el rayo reflejado con la normal, θ_r (ángulo de reflexión). Además, los rayos incidente, reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano (coplanares).

$$\theta_i = \theta_r \text{ (Ley de Reflexión)}$$

Material y equipo de laboratorio.

Alfileres.

Espejo plano (11x5 cm)

Transportador o fotocopia de uno.

Cartón (Montaje de óptica).

Trozo de madera del tamaño del espejo.

(11x5x3 cm)

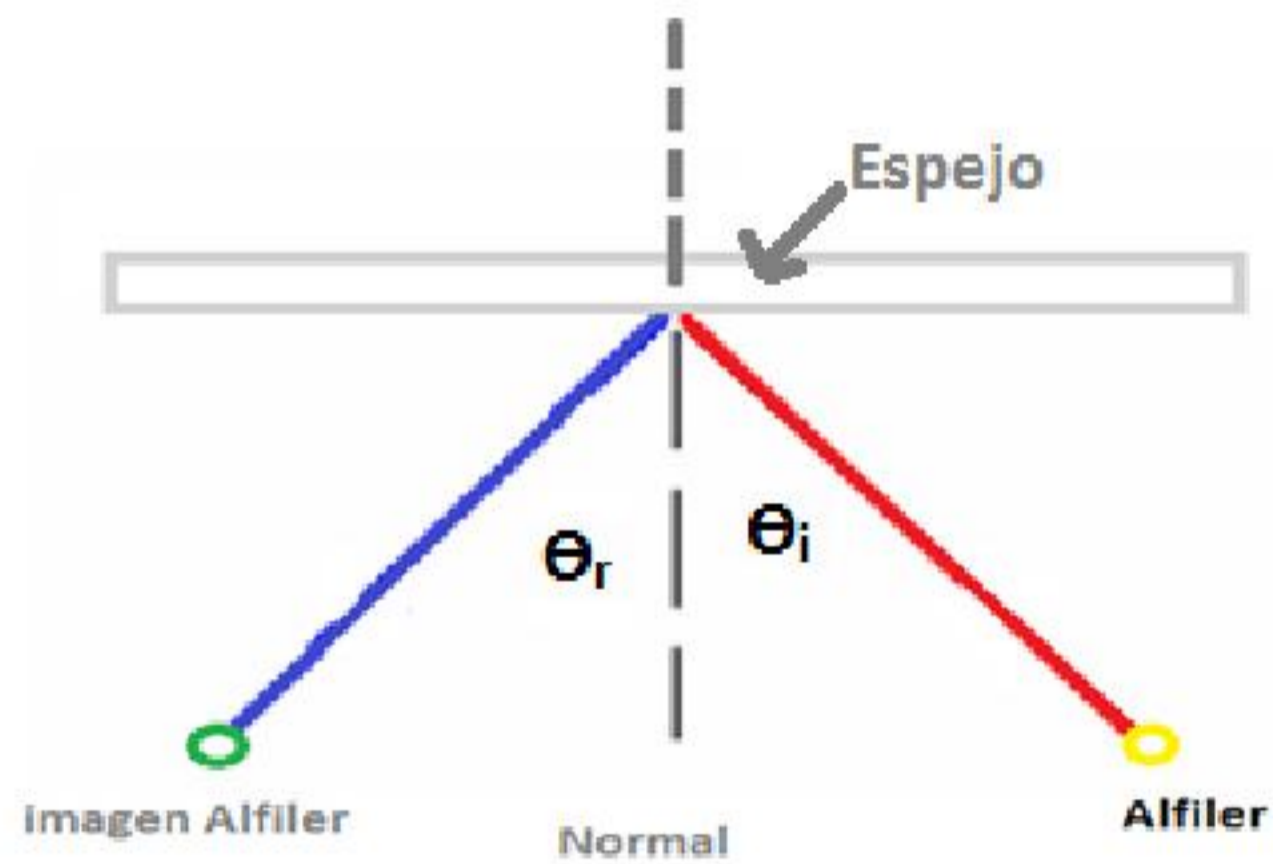
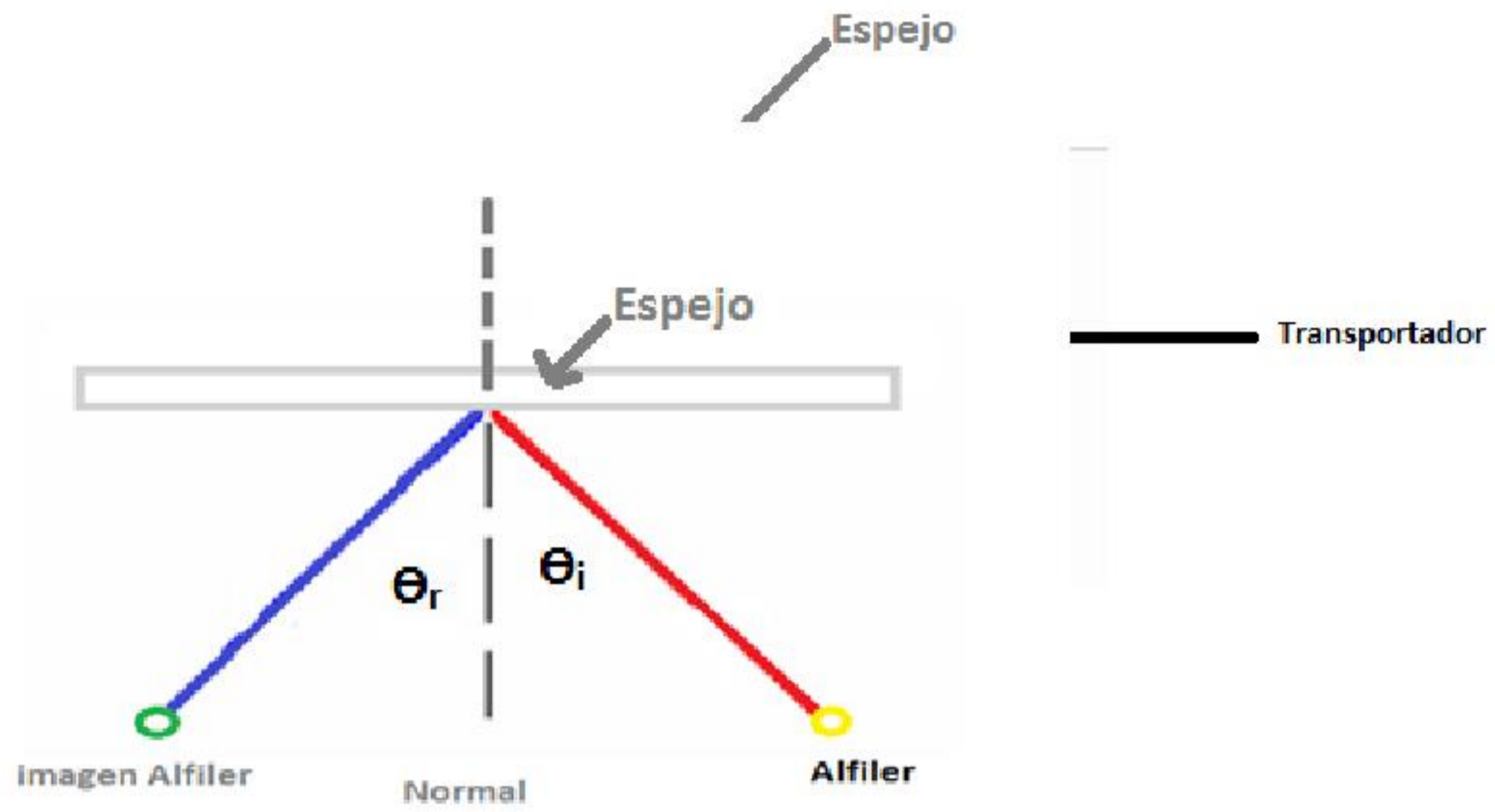
Pegamento (silicón).

Procedimiento experimental, para la elaboración del equipo de bajo costo.

1. Pegar el espejo al trozo de madera con ayuda del pegamento
2. Utilizar el cartón para la base de todo el montaje.
3. El transportador se colocara para guía de los ángulos.



4. El montaje se verá así:



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA COMPROBAR EL MONTAJE

Colocar el alfiler en un ángulo de 10° con respecto a la normal (de 0 a 10 hacia la derecha)

Observar a través del espejo el alfiler del lado izquierdo del montaje respecto a la normal y anote lo en la tabla de datos.

Hacer variar el ángulo de incidencia desde 10° hasta 45° en, midiendo el respectivo ángulo de reflexión. Anotar sus resultados en una tabla y confeccione el gráfico θ_r vs θ_i .

Tabla de datos.

N°	θ_i	θ_r
1	10°	
2	20°	
3	30°	
4	45°	

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 3

“LEYES DE REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN”

Objetivos.

- Verificar experimentalmente las leyes de reflexión y refracción al igual que el fenómeno de reflexión total de la luz.
- Determinar experimentalmente las leyes básicas de la óptica geométrica.
- Estudiar las propiedades de la refracción de la Luz.
- Comprobar experimentalmente la Ley de Snell.

Fundamentación teórica.

Un rayo luminoso se propaga rectilíneamente en un medio transparente y uniforme. Sin embargo, si incide oblicuamente sobre la superficie de separación de un segundo medio, cuyas características difieren del primero, el rayo sufre cambios en su RAPIDEZ y en su DIRECCION de propagación. Estos cambios son más o menos evidentes, según sean las propiedades del segundo medio (índice de refracción), la superficie de separación (lisa, rugosa, etc.), y el ángulo con que el rayo incide sobre ella. Cada medio se caracteriza por lo que se conoce como índice de refracción, el cual se define como la razón entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad del rayo luminoso en el medio. Esto es Notemos que el índice de refracción determina cuán rápido se propaga el rayo en el medio. Mientras mayor sea en índice, más denso es el medio y más lento será la propagación. El índice de refracción del aire es 1, ya que a rapidez de la luz en dicho medio es aproximadamente c . El cambio en la dirección de propagación de la onda recibe el nombre de *Refracción de la luz*, el cual se origina debido al cambio de rapidez del rayo. La ley empírica que rige dicho fenómeno se conoce como *Ley de Snell*, nombrada así en honor a su descubridor, el matemático holandés Willebrord Snel van Royen.(1580-1626).

Óptica geométrica

La óptica geométrica considera la propagación de la luz en un medio transparente, despreocupándose de la naturaleza ondulatoria de la luz e introduciendo el concepto de rayo de luz. Estos son haces infinitamente delgados que se propagan a través del vacío o de un medio transparente con las siguientes propiedades:

1. La propagación rectilínea de la luz en un medio homogéneo.
2. La reversibilidad de las trayectorias luminosas. Un rayo de luz puede recorrer el mismo camino en los dos sentidos.
3. Independencia de los rayos luminosos: cada rayo de luz se propaga independientemente de los rayos vecinos.

Tarea previa.

Investigue los términos y ecuaciones que no reconoce.

Material y equipo de laboratorio.

Laser

Haz de luz (foco con rendija)

Espejo plano

Transportador

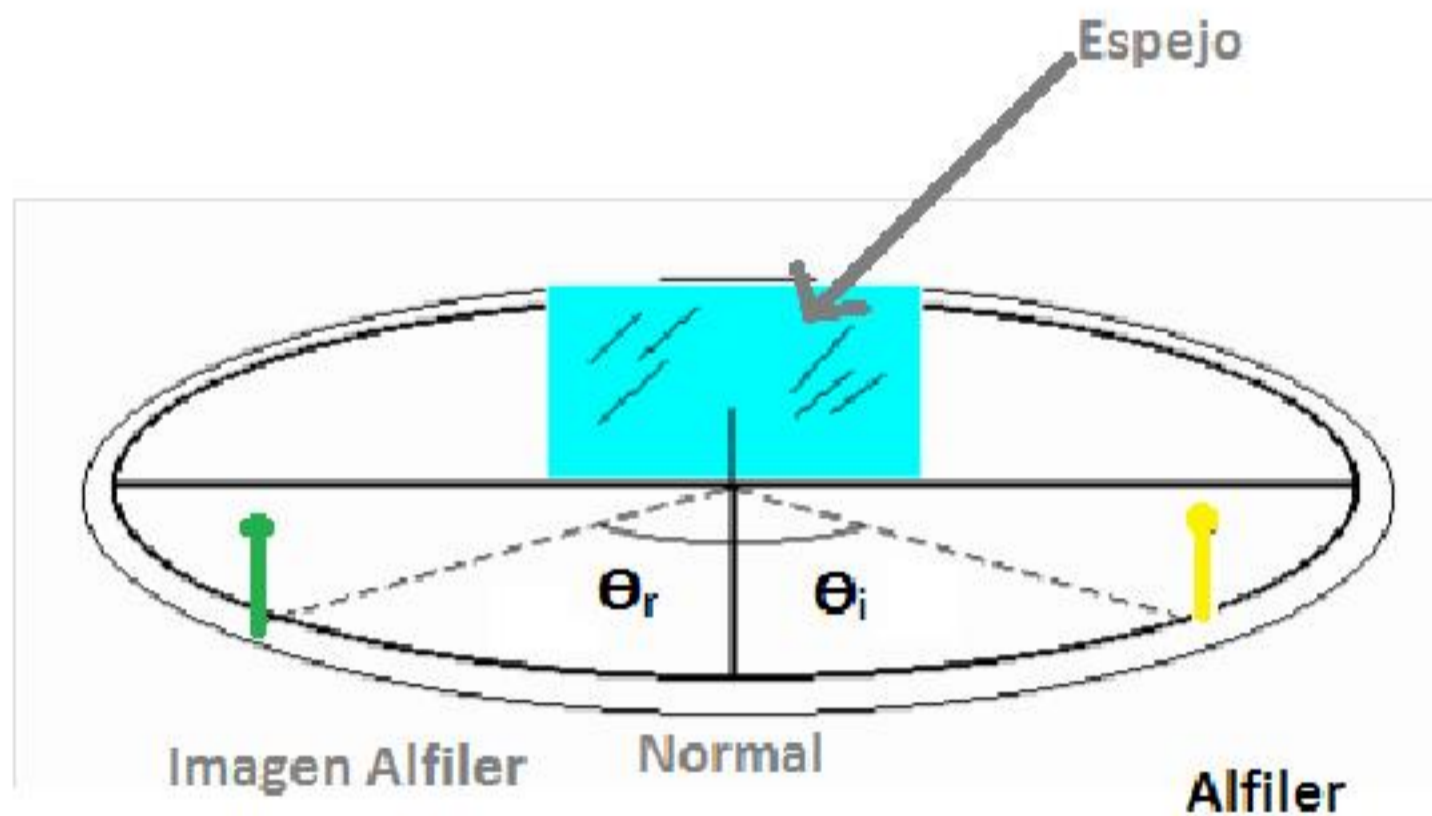
Alfileres

Montaje de óptica

Precauciones y normas de seguridad.

Cuidado: El láser, aunque sea de “baja” potencia, concentra en un haz muy fino toda esta potencia. Además, por ser un haz paralelo, la potencia no disminuye con la distancia. **Nunca mirar** un haz láser directamente. **Nunca dirigir** un haz láser directamente hacia tus ojos o los de tus compañeros.

Manejar con precaución el espejo plano, para evitar quebrarlo.

Procedimiento experimental.

1. Elabore el montaje que se muestra en la figura según los materiales requeridos.
2. Complete la siguiente tabla variando el ángulo de incidencia sobre el espejo ya sea moviendo el alfiler. Identifique el rayo incidente, reflejado y transmitido. Verifique que se cumple la Ley de Reflexión, comprobando que $\theta_i = \theta_r$. Considere 2 cifras decimales.
3. Elabore el mismo montaje anterior, pero ahora utilice un haz de luz (laser o el foco) y repita los pasos, para completar la siguiente tabla.

Hoja para recolectar datos y medidas.

Complete la siguiente tabla con los datos de la tabla #1

N°	θ_i	θ_r	θ_t	Sen i	Sen t
1	10°				
2	20°				
3	30°				
4	40°				
5	50°				
6	60°				
7	70°				
8	80°				
9	90°				

Grafique **sen i** v/s **sen t**. Realice un ajuste lineal. Obtenga la pendiente y el intercepto de la recta.

Indicaciones para el análisis de los resultados.

Encuentre la ecuación de la recta. Identifique las variables. Escriba la ecuación experimental. ¿Cuál es la dependencia funcional de las variables?

¿Cuál es el significado físico de la pendiente? ¿Por qué?

Ayuda: Comparar la Ecuación Experimental con la Ley de Snell. Con este resultado obtenga un valor experimental para el índice de refracción del prisma de acrílico.

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 4

“LEY DE SNELL”

Objetivos.

- Determinar el índice de refracción de un sémi-cilindro de vidrio, aplicando la ley de Snell
- Obtener el ángulo crítico.

Fundamentación teórica.

Propagación de la luz en un medio homogéneo

La luz se propaga en un medio transparente a una velocidad dada por las propiedades del material. Refiriéndose a la velocidad de la luz en el vacío, la velocidad en un medio cualquier es dada por:

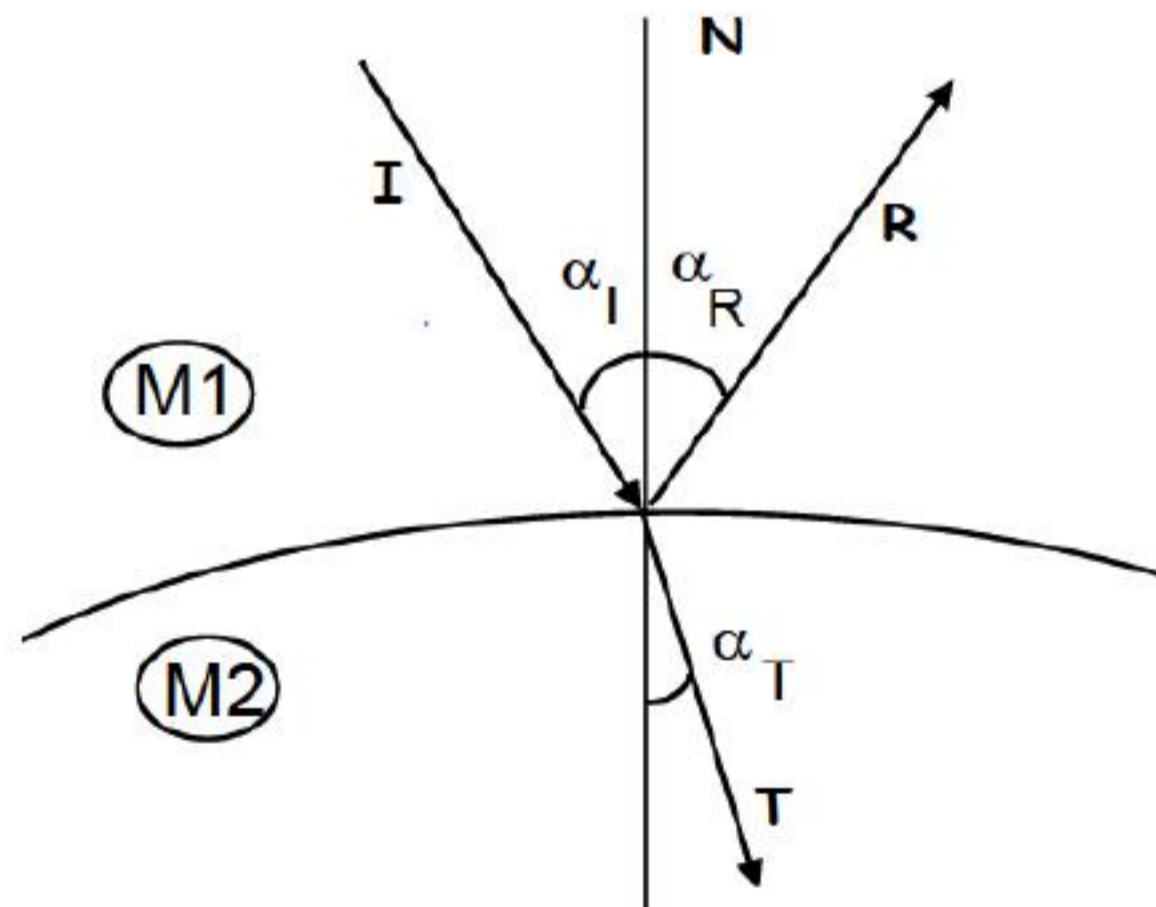
$$u = c/n$$

donde $c = 2.997925 \cdot 10^8 \cong 3 \cdot 10^8$ m/s es la velocidad de la luz en el vacío y la constante $n (>1)$ es el **índice de refracción absoluto** del medio considerado. A notar que la velocidad de la luz en un medio cualquier siempre será inferior a la velocidad en el vacío.

Propagación de una perturbación a través de un interface entre dos medios homogéneos.

El principio fundamental de la óptica geométrica es el **Principio de Fermat**: “Un rayo seguirá a través de un medio una trayectoria tal que el tiempo necesario para cubrir una distancia dada sea mínimo.” De donde se pueden deducir las generalmente llamadas leyes básicas de la óptica geométrica que pueden enunciarse como sigue:

Si un rayo de luz incide sobre una interface lisa entre dos medios **M1** y **M2** isótropos y homogéneos de características ópticas diferentes (de distintos índices de refracción), como se muestra en la figura O1, se pueden producir dos fenómenos: la reflexión y/o refracción.



Se produce el fenómeno de la refracción de la luz cuando ésta pasa de un medio a otro distinto, cambiando su dirección de propagación. Si la luz incide en un cierto ángulo α (respecto de la normal) en la superficie de separación de los medios, esta emerge en un ángulo β , debido a que la luz no se propaga con la misma velocidad en ambos medios.

Se define el índice de refracción de un medio (n) como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en el medio (v), es decir: $n=c/v$

La ley de Snell relaciona los ángulos de incidencia y de refracción, de la siguiente manera:

$$n_1 \text{ Sen } \theta_i = n_2 \text{ Sen } \theta_r$$

Donde n_1 es el índice de refracción del medio incidente, y n_2 es el índice de refracción del medio de refracción.

Montaje:



Figura 1. De aire a plástico

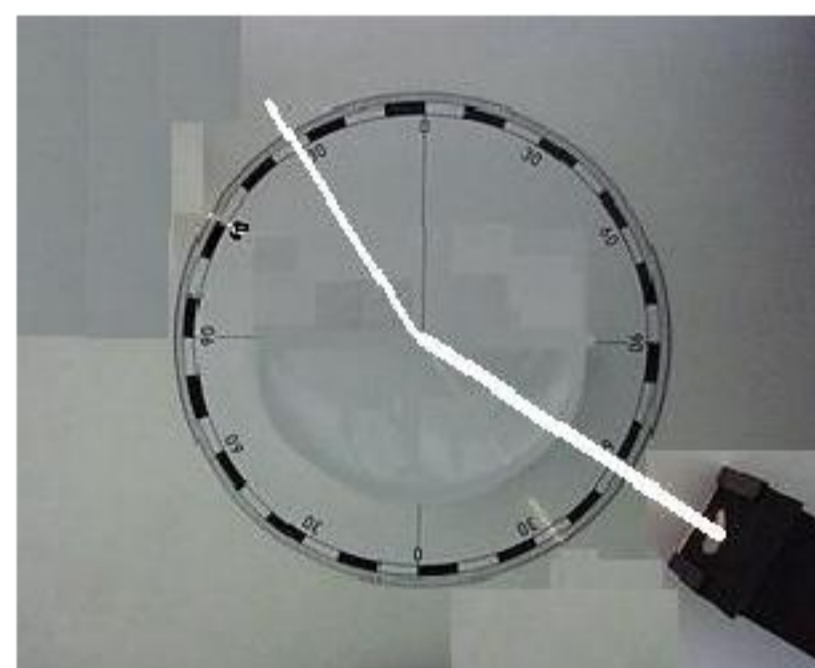


Figura 2. De plástico a aire

Material y equipo de laboratorio.

Láser
Prisma
Montaje de óptica

Precauciones y normas de seguridad.



Cuidado: El láser, mismo que sea de “baja” potencia, concentra en un haz muy fino toda esta potencia. Además, por ser un haz paralelo, la potencia no disminuye con la distancia. **Nunca mirar** un haz láser directamente. **Nunca dirigir** un haz láser hacia (los ojos de) otra persona. Jamás apuntar el láser directamente hacia los ojos.

Procedimiento experimental.

- complete la tabla de valores para los ángulos de incidencia y de refracción según Figura 1 y para la Figura 2, Respectivamente.

Tabla de datos

Figura 1

Figura 2

Nº	θ_i	θ_r	θ_i	θ_r
1	5°		5°	
2	10°		10°	
3	20°		20°	
4	30°		30°	
5	40°		40°	
6	45°		45°	
7	50°		50°	
8	60°		60°	
9	70°		70°	
10	80°		80°	
11	90°		90°	

- Grafique para ambos casos $\text{Sen } \theta_i$ contra $\text{Sen } \theta_r$.

Indicaciones para el análisis de los resultados.

- Analice el comportamiento en las situaciones anteriores.
- A partir del gráfico $\text{Sen } \theta_i$ vrs $\text{Sen } \theta_r$, obtenga el índice de refracción del semicírculo
- ¿Para cualquier ángulo de incidencia existe un ángulo de refracción?

PRÁCTICA EXPERIMENTAL No 5

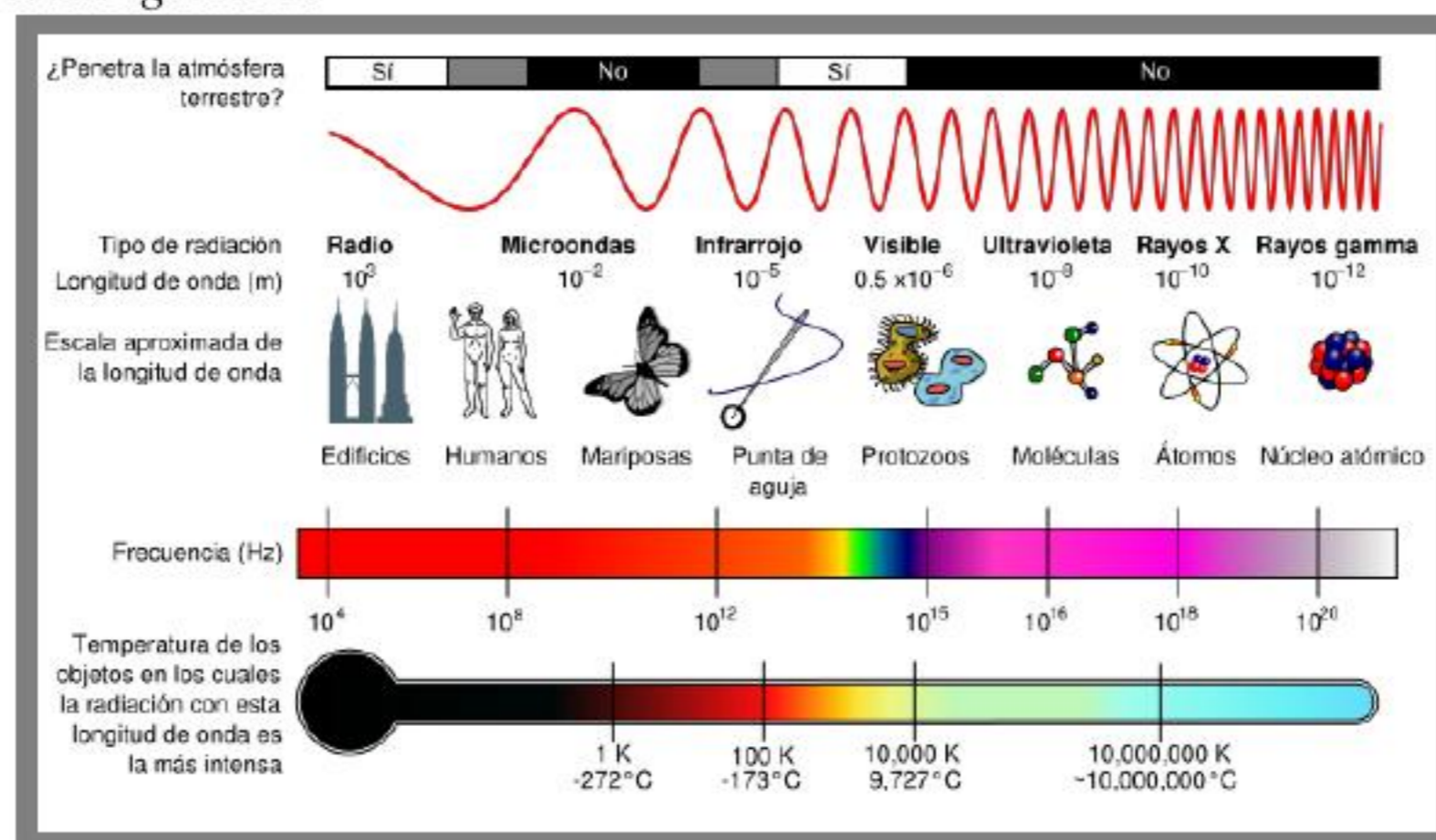
“DIFRACCIÓN E INTERFERENCIA”

Objetivos.

Observar empíricamente los fenómenos de difracción e interferencia de la luz

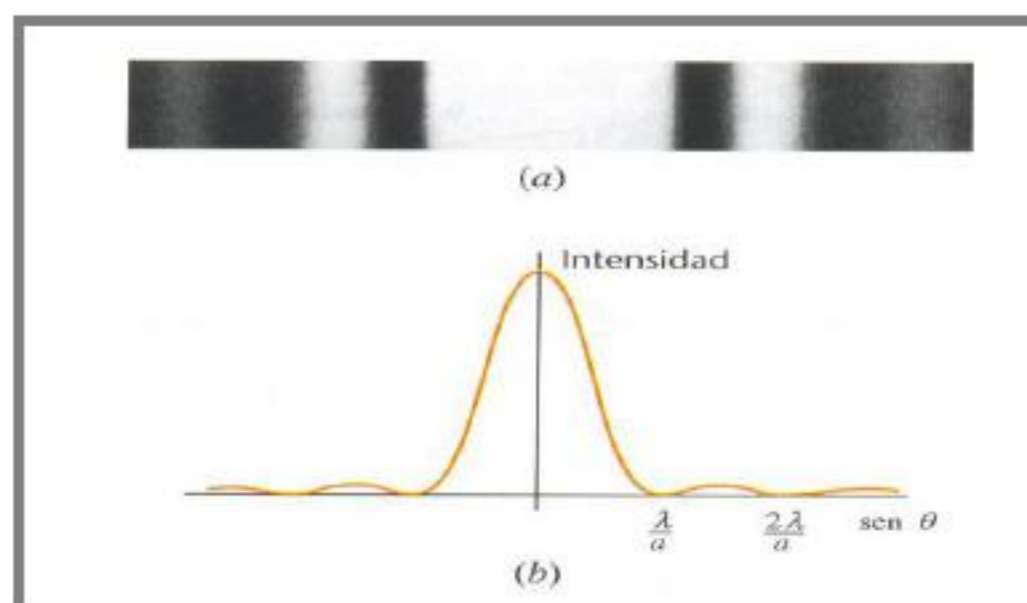
Fundamentación teórica.

Maxwell demostró que las ondas electromagnéticas son producidas por vibraciones de campos eléctricos y magnéticos. Todas ellas se propagan en el vacío con la misma velocidad, $c = 3 \times 10^8$ m/s, pero cada una de ellas se caracteriza por su frecuencia, f , o, de forma equivalente, por su longitud de onda, $\lambda = \frac{c}{f}$, formando lo que se conoce como *espectro electromagnético*.



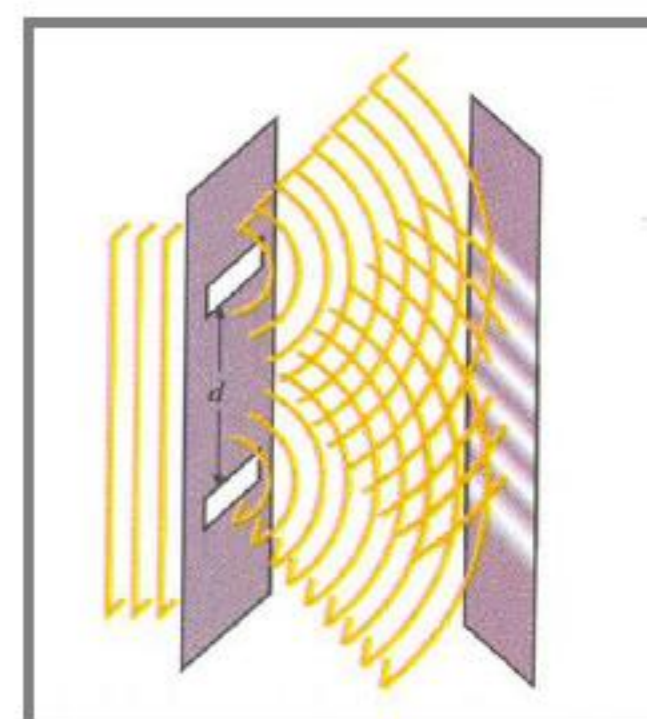
El espectro electromagnético no tiene definidos sus límites y se suele dividir en bandas para las que se diseñan métodos de estudio y aplicaciones diferentes: radiofrecuencia, microondas, radiación UV, visible, etc. En esta práctica nos restringimos a un rango del espectro que denominamos luz visible ($400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$) y que es la que podemos percibir a través de nuestros ojos.

Una propiedad característica y muy importante de la luz es su naturaleza dual: en ocasiones se comporta como materia y en ocasiones como onda. Cuando la luz atraviesa aperturas o rendijas cuyas dimensiones son comparables a su longitud de onda, se hace evidente su naturaleza ondulatoria observándose los fenómenos de difracción y de interferencia. Ambos fenómenos pueden explicarse a partir del *Principio de Huygens*: *todos los puntos de un frente de ondas se pueden considerar como centros emisores de ondas esféricas secundarias cuya intensidad es máxima en la dirección de propagación y disminuye progresivamente hasta hacerse nula en la dirección opuesta*.



La difracción es un fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado de las ondas cuando atraviesan un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a su longitud de onda y es consecuencia del principio de Huygens.

La interferencia consiste en la formación de máximos (si las ondas están en fase) y mínimos (si están en oposición de fase) luminosos cuando dos ondas de la misma frecuencia coinciden en una región debido a la superposición no uniforme de su energía. Este conjunto de máximos y mínimos se conoce como diagrama de interferencia (ver dibujo).



Tarea previa.

En grupo trae al laboratorio una cartulina.

Material y equipo de laboratorio.

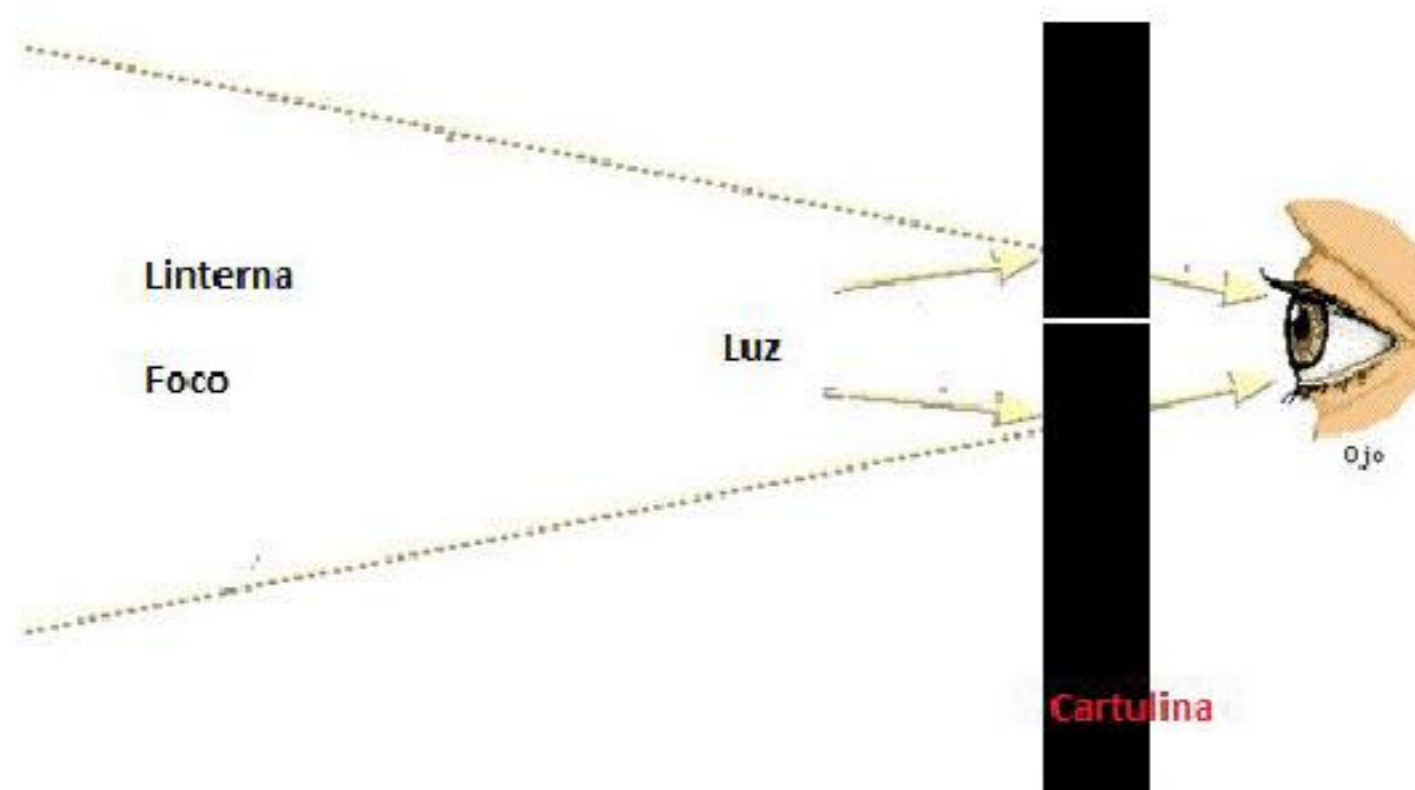
- Cartulina
- Un punzón y un cutter
- Linterna

Precauciones y normas de seguridad.

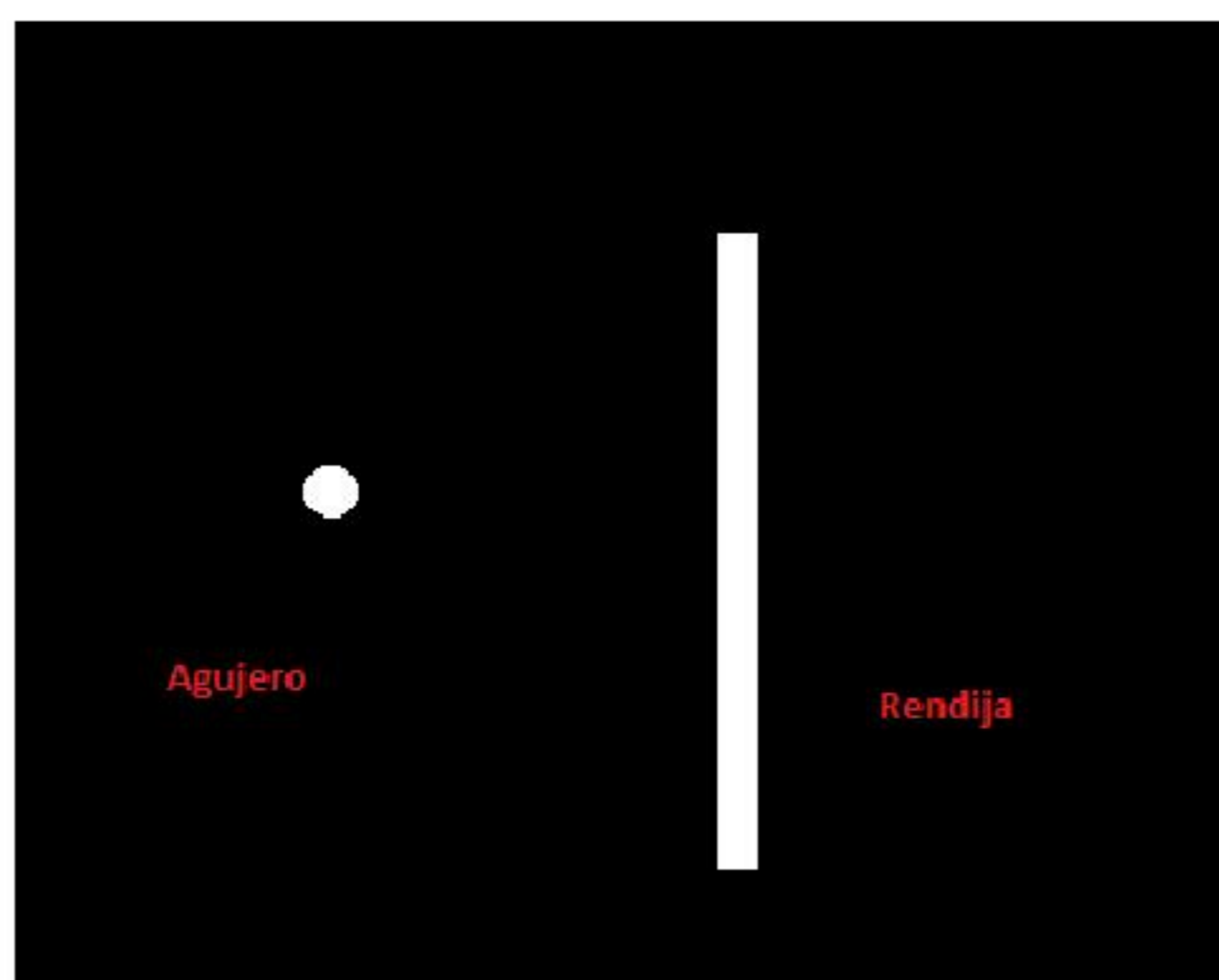
Nunca apuntes la fuente de luz a los ojos.

Procedimiento experimental.

Experimento 1: Realice un agujero de 1 mm de diámetro aproximadamente en una cartulina, preferiblemente negra u oscura. A continuación, observe a través del agujero (con el ojo bien pegado a la cartulina) la luz que emite una linterna colocada a una cierta distancia de usted. ¿Qué observa en la luz? ¿Podría compararlo con cómo observamos la luz de las estrellas?



Experimento 2: Realicen el mismo experimento pero en vez de un agujero haga una rendija de 1mm de ancho. ¿Qué se observa? ¿Qué diferencias encuentra con respecto al caso anterior?



Experimento 3: Realizar el mismo experimento pero ahora con dos rendijas de 1mm de ancho cada una. ¿Qué se observa? ¿Qué diferencias encuentra con respecto al caso anterior?

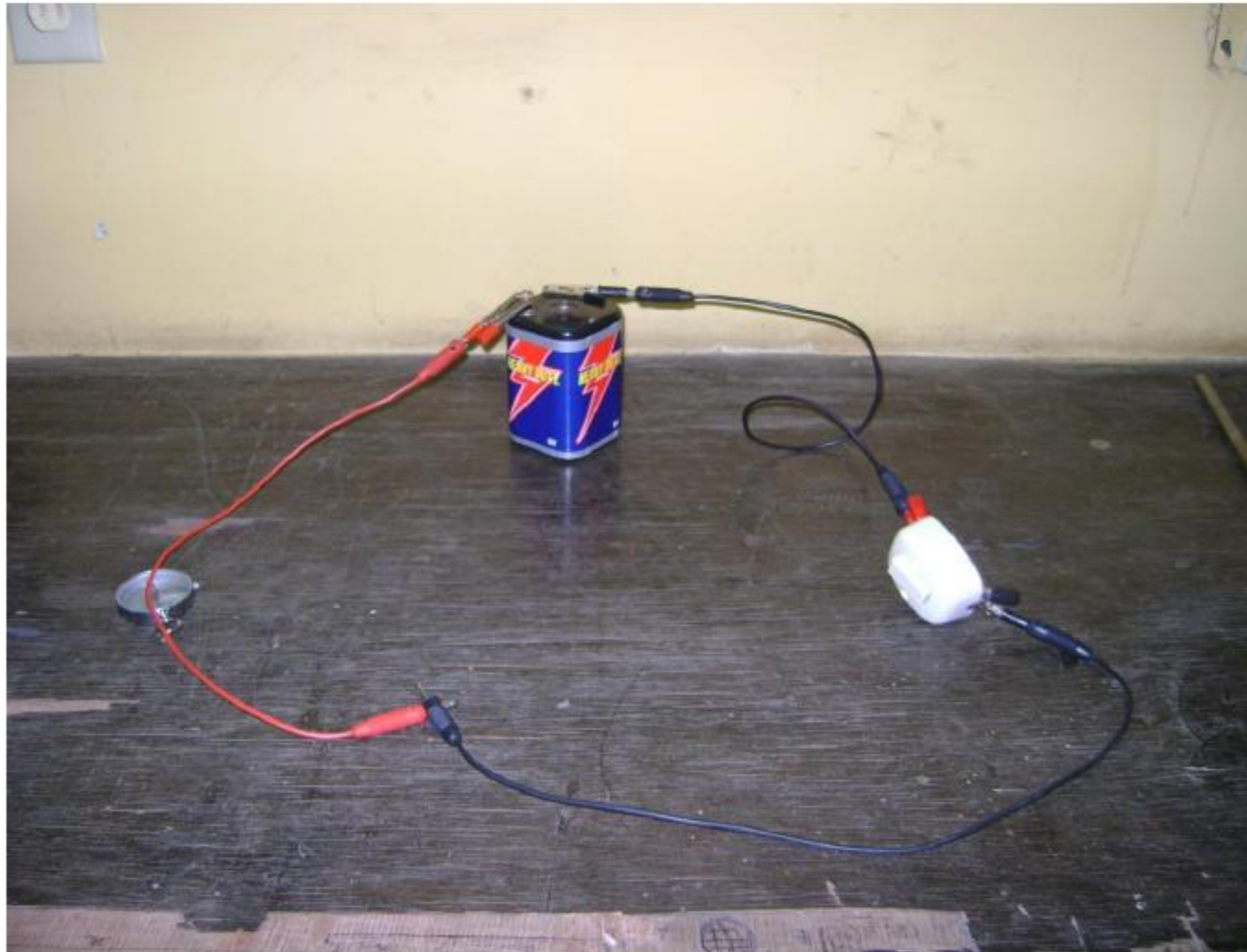
Experimento 4: Con ayuda del disco de Newton (ver página 165), observa y anota cuantos colores observas, inmediatamente gira el disco (ponlo a bailar) y anota los resultados.

Indicaciones para el análisis de los resultados.

Anota tus resultados en forma de conclusiones por lo menos 2 por cada experimento.

EXPERIENCIAS DEMOSTRATIVAS

PRACTICA DEMOSTRATIVA Nº 1 EL EXPERIMENTO DE OERSTED



Oersted observó que al colocar una brújula junto a un alambre que conduce una corriente eléctrica la aguja de la brújula cambiaba de dirección y esta observación lo llevó a encontrar la causa del magnetismo (observó que una corriente eléctrica produce un campo magnético)

Objetivo:

Explicar el origen eléctrico del Magnetismo.

Conceptos de interés.

Dos imanes de barra se atraen o se repelen dependiendo de la posición relativa de sus polos norte y sur.

Cuando se aproxima un imán de barra a una brújula se observa que esta cambia de orientación. Esto permite considerar a la aguja de la brújula como un imán de barra.

Una brújula es básicamente una aguja colocada horizontalmente sobre un soporte que le permita girar, y que se orienta normalmente en la dirección Norte – Sur geográficos

Si la aguja de una brújula se comporta como un imán de barra que es atraído o repelido por otro imán de barra, deberá admitirse que la Tierra se comporta como si tuviera dentro de ella un gigantesco imán de barra orientado con sus polos invertidos en relación a los polos geográficos y próximos a ellos.

Fundamentación teórica.

La suposición de que nuestro planeta se comporta como un imán de barra se fundamenta de la siguiente manera:

El estudio del comportamiento de las ondas sísmicas que se desplazan sobre la superficie de la Tierra ha permitido interpretar que nuestro planeta tiene un núcleo metálico cuya parte externa se encuentra en estado líquido, y que su movimiento rotatorio, como parte de la rotación de la Tierra, implica una corriente eléctrica. De ahí que el campo magnético de la Tierra se origina en las corrientes eléctricas en su núcleo.

Material y equipo de laboratorio.

1. Una Fuente de voltaje DC
2. Un trozo de alambre de cobre de un poco menos de un metro de longitud
3. Un interruptor
4. Una brújula
5. Conectores de pinza
6. Un resistor de poca resistencia

Procedimiento.

Se coloca una brújula en el centro de la mesa de trabajo del aula.

Se coloca sobre la mesa el alambre con sus extremos conectados a la fuente de manera que su parte central quede sobre la brújula y en la dirección norte-sur como indica la figura

Se pide a los estudiantes que miren directamente y con atención la aguja de la brújula

Se enciende la fuente solo un instante y se pide a los estudiantes que digan lo que observan

Se deja reposar la aguja de la brújula y se repite el procedimiento para reafirmar lo observado

Se cambia la polaridad de la fuente, se enciende solo un instante la fuente y se pregunta a los estudiantes si se observa algo diferente

Observaciones y conclusiones.

(De los estudiantes)

Explicación.

Si la brújula cambia de dirección al hacer pasar corriente por el alambre, es debido a que la aguja de la brújula es repelida o atraída por el alambre. Esta atracción o repulsión magnética que genera el alambre se debe al movimiento de los electrones en su interior. Esto es: la corriente eléctrica en el alambre genera un campo magnético a su alrededor.

PRACTICA DEMOSTRATIVA N° 2
La fuerza magnética sobre un alambre conductor



Al colocar un alambre que conduce corriente eléctrica sobre uno de los polos de un imán de pastilla, el alambre es repelido en una u otra dirección alejándose del polo del imán dependiendo del sentido de la corriente que se conduce en el alambre.

Objetivo:

Explicar el origen eléctrico de la fuerza magnética que ejerce un imán sobre un alambre que conduce una corriente eléctrica.

Conceptos de interés.

Dos imanes de barra se atraen o se repelen dependiendo de la posición relativa de sus polos norte y sur. Esta atracción o repulsión se entiende como la fuerza magnética que un imán ejerce sobre el otro.

La aguja de una brújula cambia de dirección cuando se coloca cerca de un alambre que conduce corriente. Este cambio de dirección se entiende como el resultado de la interacción magnética entre el campo magnético generado por el movimiento de los electrones dentro del alambre y el imán constituido por la aguja de la brújula.

Fundamentación teórica.

Las mareas que se producen en los lagos y océanos se deben a la interacción gravitatoria de la Luna y la Tierra. Para las mareas extremas interviene además el Sol. En el caso del movimiento de un alambre que lleva una corriente y se coloca frente al polo positivo de un imán se trata de la fuerza sobre una corriente eléctrica colocada en un campo magnético.

Material y equipo de laboratorio.

1. Una Fuente de voltaje DC (preferiblemente una "batería" de motocicleta o de carro)
2. Un arreglo Base-soporte
3. Un trozo de alambre de cobre de un poco más de un metro de longitud
4. Un interruptor.
5. Un imán de pastilla (obtenido de un parlante descartado)
6. Conectores de pinza
7. Un resistor de baja resistencia

Procedimiento.

Se coloca un imán de pastilla en el centro de la mesa de trabajo del aula, apoyado sobre una de sus caras.

Se dobla el alambre de manera que forme una U y se cuelga en forma de columpio del soporte

Se conectan los extremos del alambre a los bornes de una fuente de voltaje o batería

Se pide a los estudiantes que miren directamente y con atención la parte inferior del columpio que forma el alambre.

Se enciende muy brevemente la fuente y se pide a los estudiantes que digan lo que observan

Se deja reposar el alambre y se repite el procedimiento para reafirmar lo observado

Se cambia la polaridad de la fuente, se enciende muy brevemente la fuente y se pregunta a los estudiantes si observan algo diferente a lo observado en la otra polaridad

Observaciones y conclusiones. (De los estudiantes)**Explicación.**

Si el alambre en forma de columpio se inclina alejándose de la vertical se debe a que la parte inferior del alambre es repelida por el polo del imán. Esto se explica por la fuerza que el campo magnético creado por el imán ejerce sobre la corriente eléctrica del alambre de acuerdo con $\mathbf{F} = i \mathbf{l} \times \mathbf{B}$, en la que está muy claro que si cambia el sentido de \mathbf{B} cambia el sentido de la fuerza, y también si cambia el sentido de i .

PRACTICA DEMOSTRATIVA N° 3
La fuerza magnética entre dos alambres conductores



Al colocar dos alambres que conducen corriente eléctrica uno junto al otro, se observa que se atraen o se repelen dependiendo de que la corriente en ambos tenga el mismo sentido o sentido opuesto

Objetivo:

Explicar el origen eléctrico de la fuerza magnética entre dos alambres que conducen corriente eléctrica

Conceptos de interés.

Dos imanes de barra se atraen o se repelen dependiendo de la posición relativa de sus polos norte y sur. Esta atracción o repulsión se entiende como la fuerza magnética que un imán ejerce sobre el otro.

Cuando se cuelga un alambre que lleva una corriente sobre uno de los polos de un imán de pastilla, se observa que el alambre se desvía de la vertical debido a la fuerza magnética que surge de la interacción entre el campo magnético del imán y el del alambre.

Fundamentación teórica.

La fuerza magnética que se ejercen mutuamente un imán y un alambre que conduce una corriente eléctrica se incrementa si la corriente en el alambre también se incrementa. En el caso de dos alambres que conducen corriente, la fuerza entre ellos será atractiva o repulsiva dependiendo de que las corrientes tengan el mismo sentido o sentidos opuestos.

Material y equipo de laboratorio.

8. Una Fuente de voltaje DC (preferiblemente una "batería" de moto o de carro)
9. Un alambre de cobre de unos cuatro metros de longitud
10. Un interruptor
11. Un resistor de baja resistencia
12. Conectores de pinza
13. Un par de arreglos Base-soporte

Procedimiento.

Se coloca una base soporte en cada extremo de la mesa de trabajo del aula

En la base de uno de los soportes se coloca la fuente o batería donde en uno de los bornes se conectan un resistor y en el otro un interruptor. A estos se conectan los extremos de un alambre para que forme una U. La base de la U se fija en el otro soporte, como indica la figura

Se recomienda que los alambres que forman los brazos de la U queden paralelos y muy cercanos

Se cierra el interruptor muy brevemente y se pide a los estudiantes que digan lo que observan

Se cambia la polaridad de la fuente y se repite el procedimiento y se pregunta si se observa algo diferente.

Si se colocan los alambres de modo que las corrientes estén en el mismo sentido se puede observar el efecto contrario.

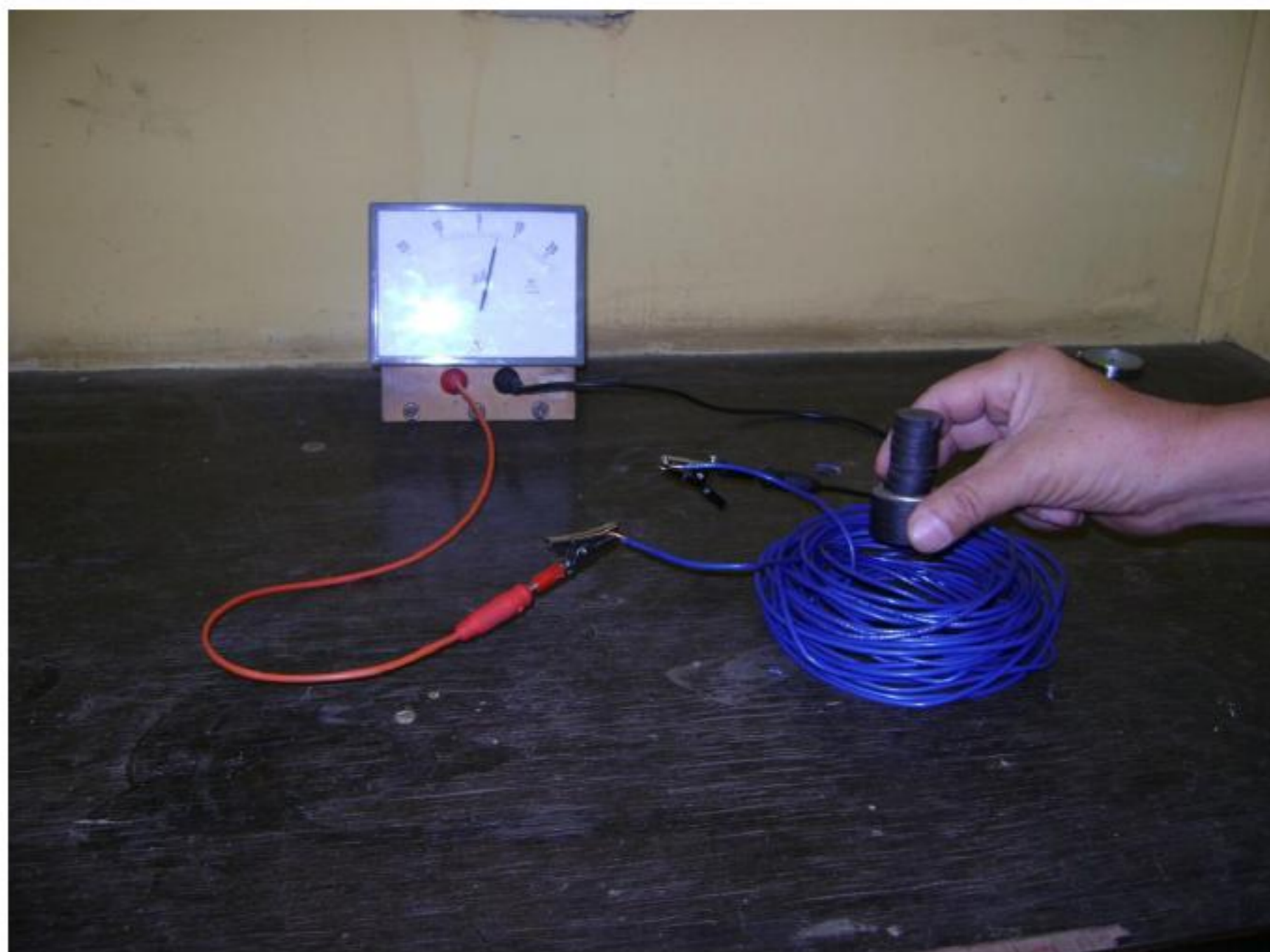
Observaciones y conclusiones.

(De los estudiantes)

Explicación.

La repulsión de los alambres se debe a que la corriente va por un brazo de la U regresa por el otro, de manera que los campos magnéticos originados por el movimiento de los electrones en cada alambre tienen sentido opuesto. La explicación suele hacerse también con la "regla de la cachetada" en donde en uno de los alambres el dedo pulgar de la mano derecha extendida indica el sentido de la corriente y los dedos restantes indican el sentido del campo proveniente del otro alambre, de manera que la fuerza apunta saliendo de la palma. Si se hace la aplicación de la regla en el otro conductor la fuerza resulta ser opuesta a la anterior y se interpreta como una repulsión. Para el efecto contrario la explicación es la misma.

PRACTICA DEMOSTRATIVA Nº 4
La inducción electromagnética sobre un alambre conductor



Al mover un imán cerca de un rollo de alambre cuyos extremos se han conectado a un galvanómetro, se observa un movimiento en la aguja del galvanómetro, indicando que se genera una corriente eléctrica en el alambre

Objetivo:

Explicar la Inducción electromagnética

Conceptos de interés.

La aguja de una brújula se comporta como un imán de barra

El movimiento de la aguja de una brújula que se coloca cerca de un alambre, que conduce una corriente eléctrica, se debe a la interacción de dos campos magnéticos: el generado por el movimiento de los electrones dentro del alambre, y el generado por el imán constituido por la aguja de la brújula.

El movimiento de un alambre que conduce una corriente eléctrica y se coloca frente a un imán, se debe a la interacción magnética entre dos campos magnéticos: el generado por el imán y el generado por los electrones en movimiento dentro del alambre

La corriente eléctrica produce un campo magnético.

Fundamentación teórica.

La aparición de una corriente eléctrica en una bobina o alambre enrollado por efecto de mover un imán en sus cercanías corresponde al fenómeno de la inducción electromagnética (Ley de Faraday). La corriente eléctrica no es creada simplemente por la presencia de un campo magnético sino por su variación en el tiempo. La intensidad de la corriente es proporcional a la velocidad con la que se produce esta variación del campo magnético.

Material y equipo de laboratorio.

1. Un rollo de alambre de cobre forrado, de unas 20 vueltas
2. Un galvanómetro
3. Un imán de pastilla (obtenido de una bocina de parlante descartado)
4. Conectores de pinza

Procedimiento.

Se coloca el rollo de alambre en el centro de la mesa de trabajo del aula, con sus extremos conectados a un galvanómetro

Se pide a los estudiantes que miren directamente y con atención la aguja del galvanómetro.

Se toma frontalmente el imán de pastilla y se coloca muy lentamente sobre el rollo de alambre, y se pide a los estudiantes que digan lo que observan en el galvanómetro.

A continuación se aleja el imán del rollo de alambre muy lentamente, y de nuevo se pide a los estudiantes que digan lo que observan en el galvanómetro.

Luego se repite el procedimiento de acercar y alejar el imán del rollo de alambre, pero esta vez muy rápidamente, pidiendo a los estudiantes que digan lo que observan en el galvanómetro.

Se cambia la polaridad del imán y se pregunta a los estudiantes si observan algo diferente a lo observado antes.

Observaciones y conclusiones.

(Del estudiante)

Explicación.

Cuando en un alambre conectado a una fuente existe una corriente, es porque en su interior existe un campo eléctrico que mueve los electrones, y este campo eléctrico en el interior del alambre genera un campo magnético en su exterior.

En nuestro experimento, el movimiento de la aguja del galvanómetro conectado a los extremos del alambre solo es posible si en el alambre se ha inducido una corriente, por el movimiento del imán.

De manera que, cuando en un alambre desconectado de una fuente aparece una corriente es porque en el interior del alambre se ha inducido un campo eléctrico generado por la variación de un campo magnético en su exterior.

**PRACTICA DEMOSTRATIVA Nº 5
DISCO DE NEWTON****Objetivos.**

Verificar que la combinación de todos los colores da lugar al color blanco.

Introducción

El **disco de Newton** es un dispositivo inventado por Isaac Newton consistente en un círculo con sectores pintados en colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, celeste y violeta. Al girar rápidamente, los colores se combinan formando el color blanco. Con este dispositivo se demuestra que la luz blanca está formada por los siete colores del arco iris.

Material y equipo de laboratorio.

Un cd o dvd en mal estado (no quebrado)

Un mable o canica

Pegamento (silicón).

Hojas en blanco.

Caja de colores (primarios y secundarios)

Un compás

Tijeras

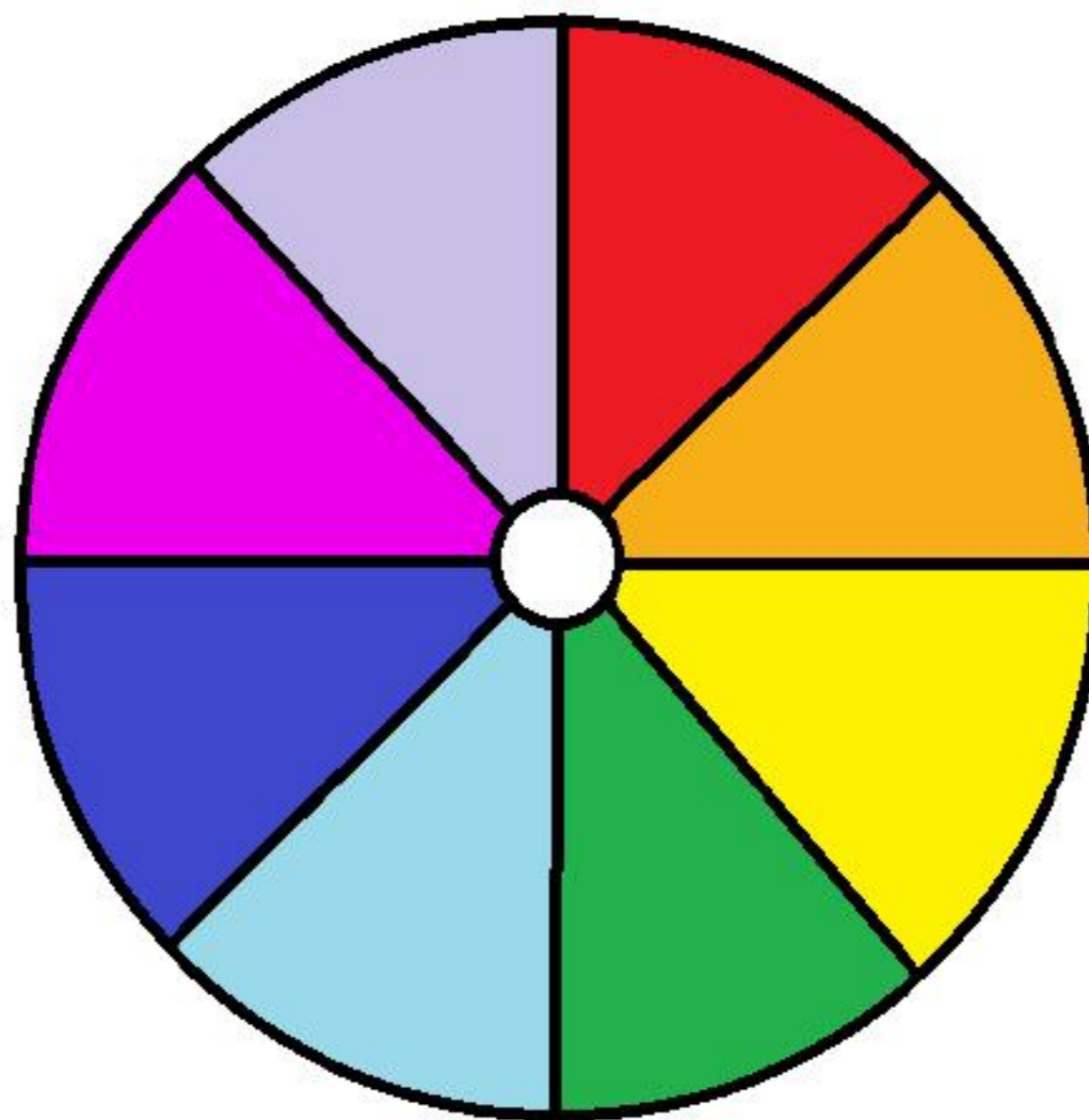
Procedimiento experimental, para la elaboración del equipo de bajo costo.

1. Pegar la canica o mable en el cd o dvd , como se muestra en la figura.



2. Pintar la circunferencia de la hoja con los colores primarios y secundarios.

3. Colocar la hoja de papel coloreada sobre el CD o DVD, como se muestra en la figura.

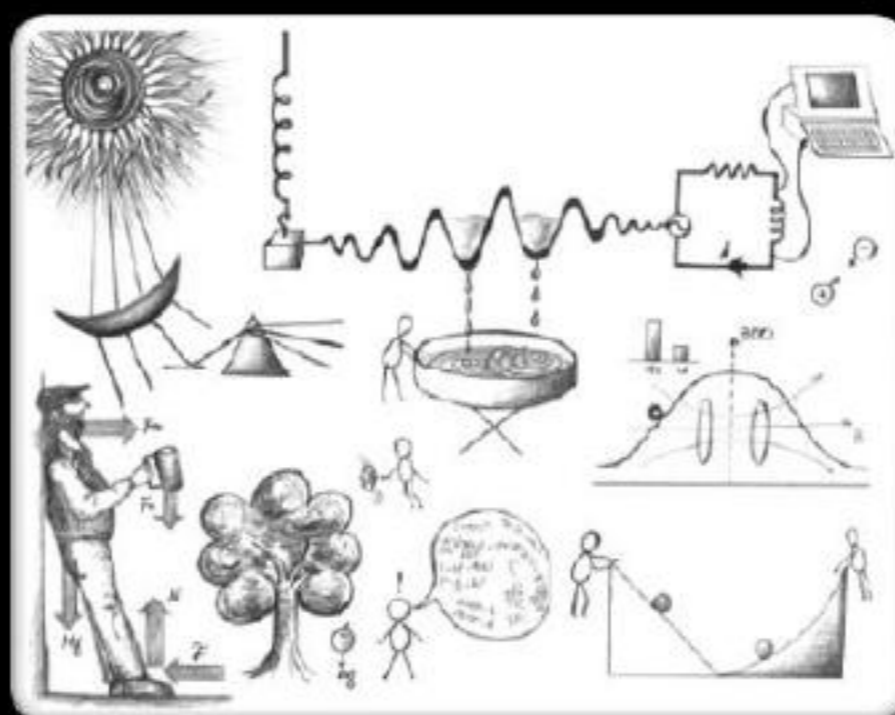


PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA COMPROBAR EL MONATJE

Para la verificación el disco de Newton, hacer girar el disco y observar el hecho.

APÉNDICE
MANUAL DE PRÁCTICAS DE BAJO COSTO

**MANUAL DE PRACTICAS DE
LABORATORIO DE FISICA DE
BAJO COSTO**



Realizado por: Alicia Prados Díaz.



León Nicaragua. Agosto 2010.

ÍNDICE

1. MECÁNICA

- **Práctica 1: Movimiento rectilíneo uniforme**
- **Práctica 2: Torque o momento de fuerzas. Equilibrio estático**
- **Práctica 3: Péndulo simple**
- **Práctica 4: Fuerza elástica**
- **Práctica 5: Estudio del rozamiento**
- **Práctica 6: Densidad de un sólido. Principio de Arquímedes**
- **Práctica 7: Caída libre**

2. TERMODINÁMICA

- **Práctica 8: Medidas de temperatura y calor. Cuerpos calientes y cuerpos fríos**
- **Práctica 9: Dilatación de sólidos y líquidos**
- **Práctica 10: Cambios de fase o estado**
- **Práctica 11: El calor**
- **Práctica 12: Trabajo realizado por y sobre un gas**
- **Práctica 13: Presión atmosférica e hidrostática**

3. ÓPTICA

- **Práctica 14: Ley de Snell**
- **Práctica 15: Reflexión total interna**
- **Práctica 16: Dispersión de la luz**
- **Práctica 17: Difracción e interferencia**

4. ELECTROMAGNETISMO

- **Práctica 18: La ley de Ohm. Estudio de circuitos**
- **Práctica 19: Imanes**
- **Práctica 20: Inducción electromagnética**

PRÁCTICA 1: MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

Objetivos

- Estudiar el movimiento rectilíneo uniforme (m. r. u.)
- Obtener el valor de la velocidad a partir de la posición y el tiempo.

Fundamento teórico

Se define movimiento rectilíneo uniforme (m. r. u.) a todo movimiento de trayectoria rectilínea en el cual la velocidad es constante, es decir, siempre tiene el mismo valor. Esto implica que:

1. La velocidad es constante en dirección y sentido, por lo que la trayectoria del objeto es una recta.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = cte \quad \Rightarrow \quad \vec{r} = \vec{r}_o + \vec{v} \cdot t$$

2. La velocidad es constante en módulo, es decir, recorre espacios iguales en tiempos iguales.

$$|\vec{v}| = cte$$

3. Dicho movimiento no tiene aceleración.

$$\vec{v} = cte \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = 0$$

Es difícil encontrar movimientos rectilíneos uniformes en la naturaleza pues siempre interviene algún tipo de aceleración, como por ejemplo la gravedad. Sin embargo, una característica de los fluidos viscosos, tales como el aceite o la glicerina, es que los cuerpos que se desplazan por ellos adquieren una velocidad límite constante por causa de la viscosidad y por tanto describen un m. r. u.

Material

- Tubo de vidrio o manguera transparente de 1m de longitud

- Glicerina o aceite
- Tapones de corcho
- Un papelógrafo y un marcador
- Un cronómetro

Procedimiento

Llene el tubo de vidrio con glicerina dejando una burbuja de aire en su interior y cerrar los extremos del tubo con los tapones de corcho. Dibujar con el papelógrafo un sistema de ejes coordenados y elaborar una escala para poder medir la distancia recorrida por la burbuja. Girar el tubo 180° y medir el tiempo que tarda la burbuja en recorrer una cierta distancia. Realice esta operación diez veces y obtenga el valor promedio de las mediciones realizadas para mejorar la precisión. Calcule el valor de la velocidad para cada distancia y obtenga el valor promedio de la velocidad:



$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v}{n}$$

Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (m/s)

Represente gráficamente los resultados obtenidos de distancia frente a tiempo (distancia en el eje OY, tiempo en el eje OX).

PRÁCTICA 2: TORQUE O MOMENTO DE FUERZAS. EQUILIBRIO ESTÁTICO

Objetivos

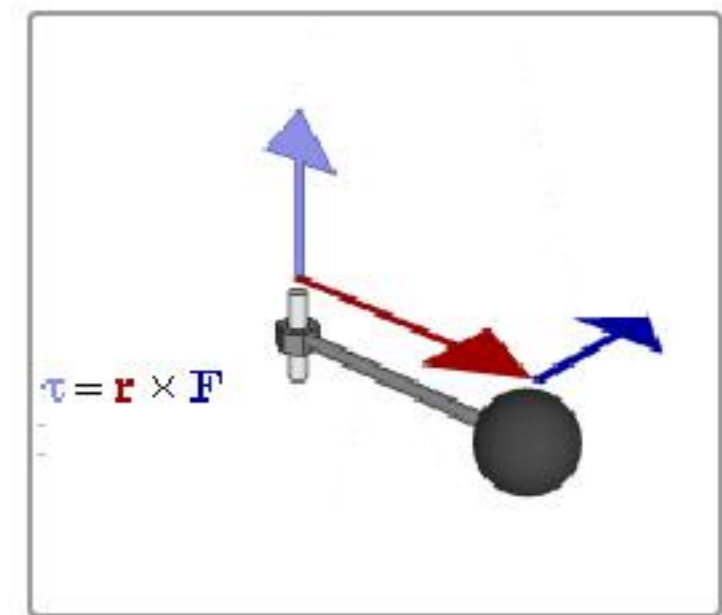
- Lograr el equilibrio estático del momento de la fuerza.
- Adquirir habilidades en el manejo de instrumentos y equipos de laboratorio

Fundamento teórico

El torque (momento de la fuerza) debido a una fuerza F que se ejecuta sobre un cuerpo rígido es igual a:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Donde \mathbf{r} , llamado brazo de palanca, es la distancia perpendicular del eje de rotación a la línea a lo largo de la cual actúa la fuerza.



Para lograr el equilibrio estático en un sistema de cuerpos rígidos, la sumatoria de todos los torques que actúan sobre dicho sistema debe ser igual a cero:

$$\sum_i \tau_i = 0$$

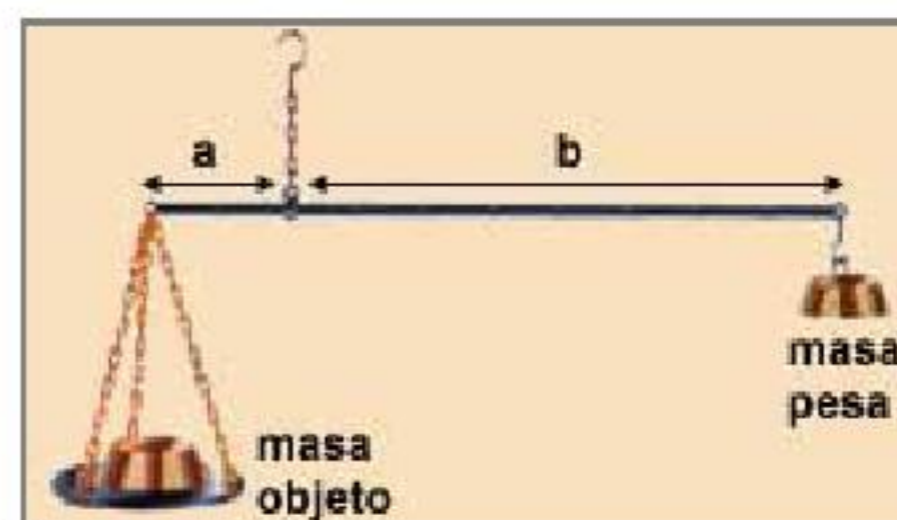
Esta condición se conoce como la regla de los momentos.

Material

- Aparato para determinar la regla de los momentos
- Tres pesas (madera o metal)
- Balanza
- Cinta métrica
- Hilo de masa despreciable

Procedimiento

1. Calcule la masa de cada una de las pesas de forma directa haciendo uso de una balanza.
2. Ubique el aparato utilizado para determinar la regla de los momentos, de modo que la barra horizontal esté en equilibrio estático
3. Cuelgue las pesas m_1 , m_2 y m_3 en los agujeros de la barra (ver imagen), de tal manera que la barra permanezca en equilibrio estático en la posición horizontal. Si no se logra poner la barra en equilibrio debemos acercar o alejar las pesas del eje de rotación, es decir, nivelarlas hasta que lo logremos.



4. Mida la distancia existente desde el eje de rotación del aparato hasta el punto en donde están colocadas cada una de las pesas.
5. Calcule el torque ejercido por cada una de las pesas colocadas en la barra. Anote los valores resultantes en una tabla similar a la que se muestra a continuación:

	Masa (kg)	Peso (N)	r (m)	Torque (N m)
Pesa 1 (m_1)				
Pesa 2 (m_2)				
Pesa 3 (m_3)				

6. Haga un diagrama de cuerpo libre de todas las fuerzas que actúan sobre la barra.

Compruebe que la $\sum_i \tau_i = 0$.

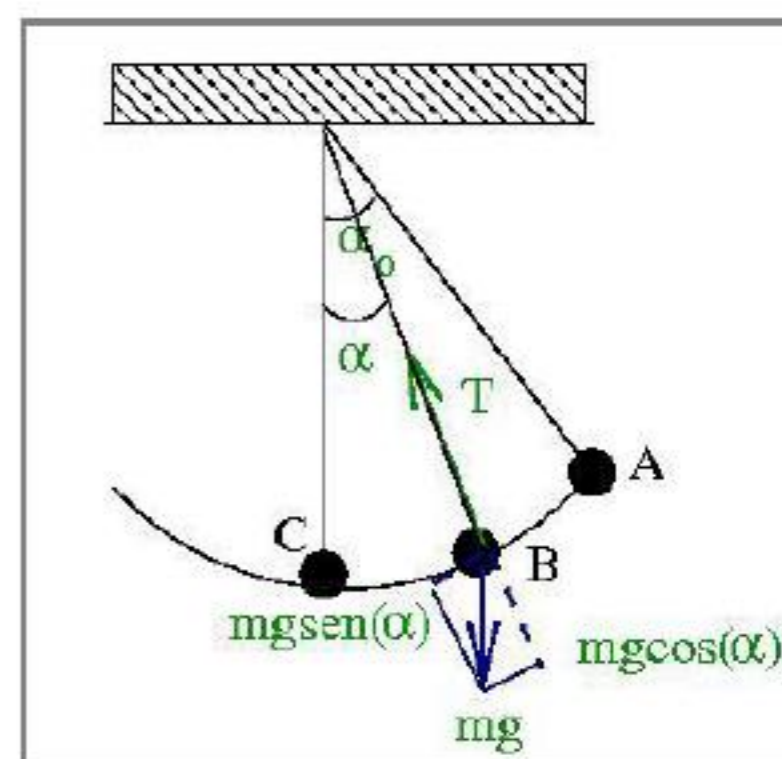
PRÁCTICA 3: PÉNDULO SIMPLE

Objetivo

- Determinar experimentalmente la aceleración de la gravedad utilizando el péndulo simple.

Fundamento teórico

El péndulo simple es un modelo físico que se compone de una masa que se pueda considerar puntual, M , suspendida de un hilo de masa despreciable y longitud l , que gira libremente alrededor de su extremo superior. Al poner a oscilar el péndulo, su movimiento es periódico, siendo el periodo el tiempo que tarda el péndulo en realizar una vuelta completa y volver a la posición inicial.



Para obtener la frecuencia de oscilación del péndulo se aplica el principio de conservación de la energía y se realiza un pequeño desarrollo matemático, llegando a que para ángulos pequeños, menores de 15° , el periodo del péndulo viene dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Siendo l la longitud del hilo y g la aceleración de la gravedad. Nótese que el periodo de oscilación es independiente de la masa del péndulo.

Material

- Péndulo con cuerda de 1,5 m
- Soporte
- Un cronómetro

Procedimiento

Se dispone el péndulo con la máxima longitud del hilo que lo sujeta. Se separa de su posición de equilibrio y se deja oscilar libremente, evitando todo movimiento lateral del mismo. Cuando la oscilación sea de amplitud pequeña (de ángulo menor de 15°), se cronometra la duración de 30 oscilaciones completas (una oscilación: ida y vuelta al origen). Se repite cuatro veces esta medida sin cambiar la longitud y se obtiene el valor promedio del periodo.

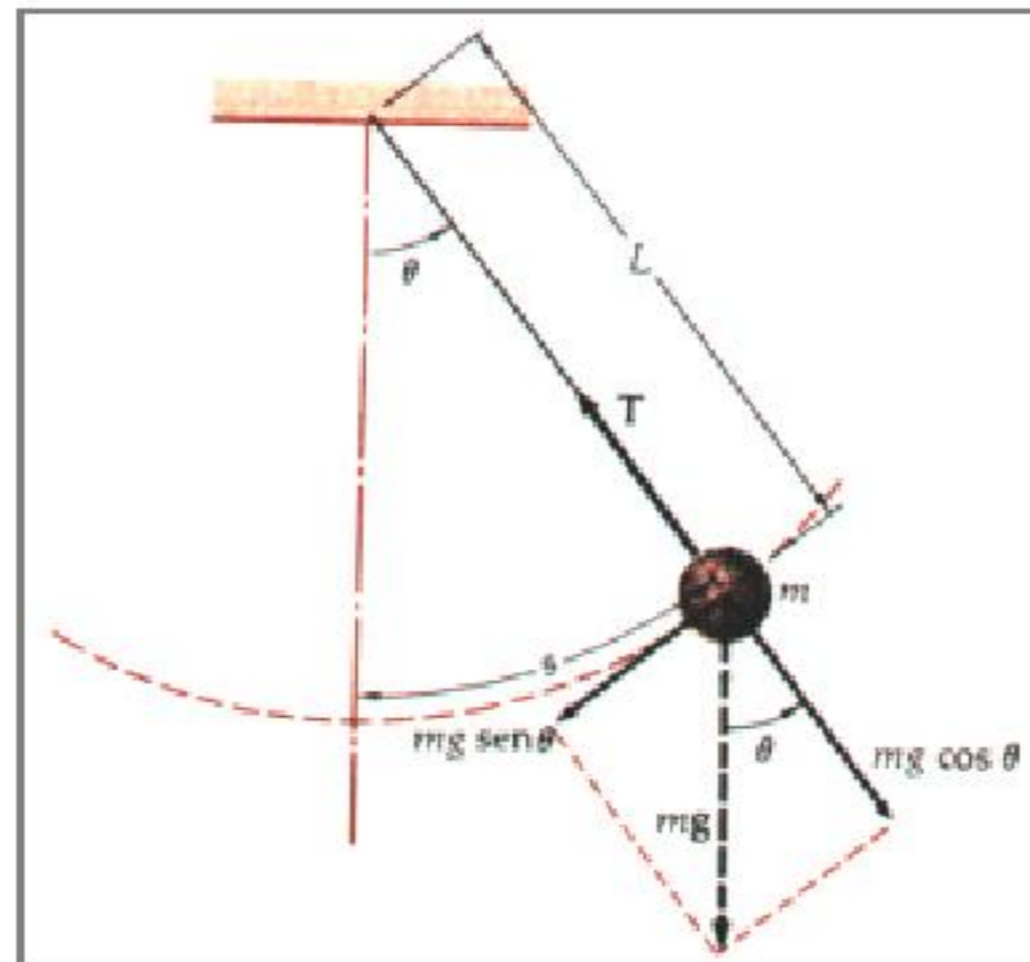
A continuación se cambia la longitud y se realizan cuatro medidas del nuevo periodo. Ídem hasta cinco longitudes diferentes: 1,25m, 1m, 0,75m, 0,5m y 0,25m. Recuérdese que la longitud del péndulo se mide desde el extremo fijo al centro de la esfera.

Obtener el valor de la gravedad y su error para cada longitud.

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \qquad \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta T}{T}$$

Longitud (m)	Nº de oscilaciones	Tiempo (s)	Periodo, T (s)	g (m/ s ²)
1,25				
1,00				
0,75				
0,50				
0,25				

Por último, obtener un valor promedio de la aceleración de la gravedad con su respectivo error:



PRÁCTICA 4: FUERZA ELÁSTICA

Objetivos:

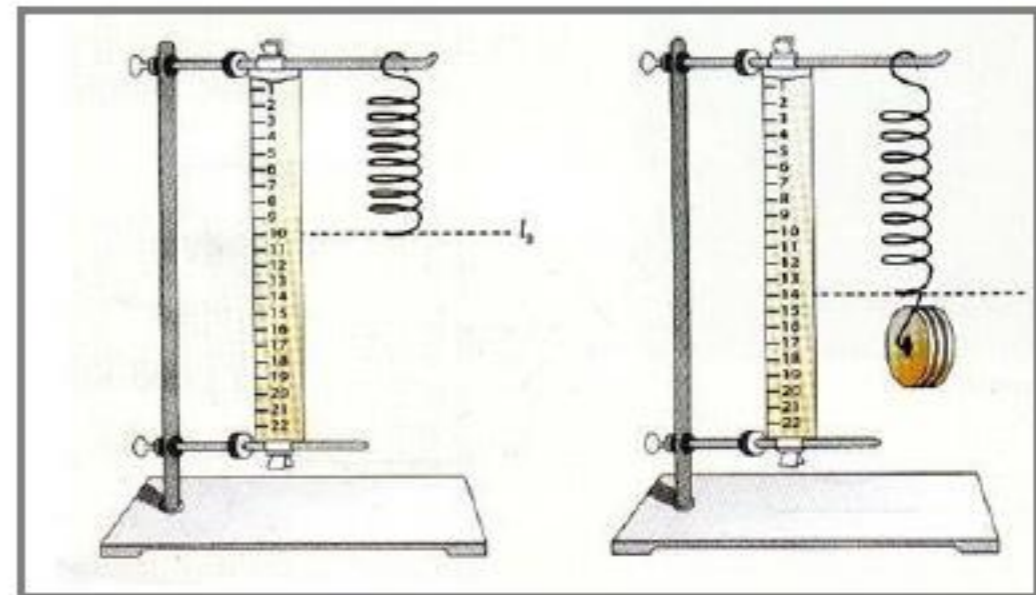
- Comprobar la Ley de Hooke.
- Determinar experimentalmente la constante de rigidez de un resorte.

Fundamento teórico

Supongamos un resorte de longitud inicial, l_0 , suspendido por uno de sus extremos. Cuando colocamos una masa en su extremo libre, observamos cómo el resorte se alarga y pasa a tener una nueva longitud, l_1 . Lo que ha sucedido es que hemos aplicado una fuerza sobre el muelle, igual al peso del cuerpo que hemos colgado, sacándolo de su posición de equilibrio. Es evidente que cuanto mayor sea la fuerza aplicada, es decir, cuanto mayor sea la masa del cuerpo suspendido, mayor será la elongación sufrida por el muelle. El muelle queda en reposo cuando la fuerza ejercida por la masa se iguala a la fuerza recuperadora ejercida por el muelle que es de sentido contrario.

Estos resultados se recogen en la ley de Hooke:
La fuerza con la cual un resorte resiste la deformación es proporcional a esta deformación.

$$F = -k \cdot x$$



Donde el signo menos se debe a que la fuerza es recuperadora y tiende a devolver al muelle a su posición inicial. Esta ley se cumple si las deformaciones no son muy grandes. En caso contrario se podría sobrepasar el límite elástico del muelle y provocar en él una deformación permanente, modificándose así su constante elástica, k .

Material

- Un resorte
- Soporte
- Diferentes masas

- Cinta métrica
- Balanza

Procedimiento

En primer lugar mida la longitud inicial del muelle, l_o , es decir, la longitud del muelle en ausencia de masa. A continuación, determine la masa, m , de una de las piezas que van a suspenderse del muelle. Para disminuir el error, medir tres veces el valor de su masa (m_1 , m_2 , m_3) y obtener un valor promedio (\bar{m}). A partir de dicho promedio, determine la fuerza ejercida sobre el resorte. A continuación, suspenda la masa del extremo libre y mida la longitud final del muelle, l_1 . A partir de la elongación, $x = l_1 - l_o$, obtenga el valor de la constante elástica o de rigidez del muelle, k .

Repetir este proceso con todas las piezas de las que se disponga.

$l_o =$

Cuerpo	M_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	\bar{m} (kg)	Fuerza promedio, \bar{F} (N)	Elongación, x (m)	Constante elástica, k (N / m)
1							
2							
3							
4							
5							
6							

PRÁCTICA 5: ESTUDIO DEL ROZAMIENTO

Objetivos

- Introducir los conceptos de coeficiente estático (μ_e) y dinámico (μ_d) de rozamiento, así como la forma de determinar sus valores.
- Comprobar que la fuerza de rozamiento (F_r), depende solamente de la componente normal y de la naturaleza de las superficies en contacto.
- Comprobar que no depende del área de contacto.
- Calcular μ_e y μ_d en un plano horizontal y en un plano inclinado.

Fundamento teórico

Cuando un cuerpo se lanza deslizando sobre el suelo al cabo de un tiempo se detiene, lo que indica que el cuerpo experimenta una resistencia a su avance. Esta resistencia recibe el nombre de rozamiento y sus aspectos más destacables del rozamiento son:

- El rozamiento entre dos superficies es debido a la adherencia entre las superficies de contacto y al encajamiento de sus rugosidades.



- La fuerza de rozamiento siempre se opone al movimiento. En un diagrama de fuerza, la fuerza de rozamiento tiene la misma dirección que el movimiento pero sentido opuesto.



- La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que comprime una superficie contra la otra, $F_r = \mu F_N$, de modo que, aunque no haya movimiento existe rozamiento entre dos superficies.
- Se llama rozamiento estático a la fuerza de rozamiento que existe entre dos superficies en reposo una respecto de la otra. La fuerza máxima de rozamiento estático, $F_e = \mu_e F_N$, es igual a la fuerza mínima necesaria para iniciar el movimiento.
- Se llama fuerza de rozamiento cinético, $F_d = \mu_d F_N$, a la fuerza necesaria para mantener el movimiento una vez iniciado.

Material

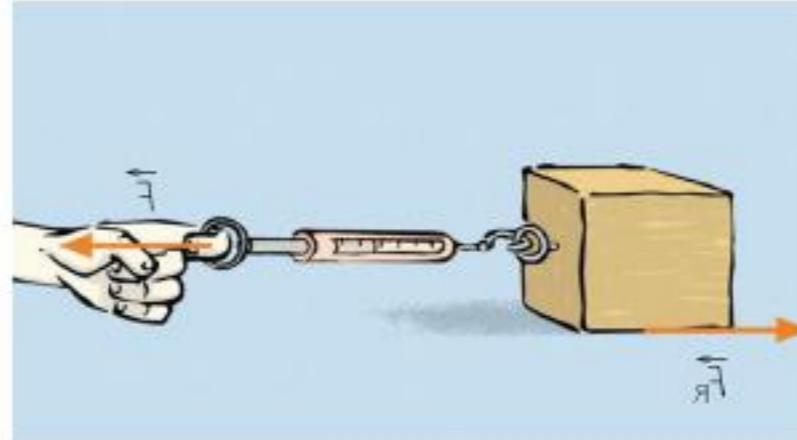
- Superficie de apoyo
- Taco de rozamiento
- 1 base de rozamiento metálica y 1 base de otro material
- Soporte para plano inclinado
- Regla
- Dinamómetro
- Juego de pesas, hilo y soporte para pesas

Procedimiento

La medida del coeficiente de rozamiento entre dos superficies puede realizarse mediante los dos procedimientos que se indican a continuación:

a) Plano horizontal

- 1- Colocar el taco de rozamiento sobre una superficie horizontal.
- 2- Tirar progresivamente mediante un dinamómetro, hasta que se ponga en movimiento.



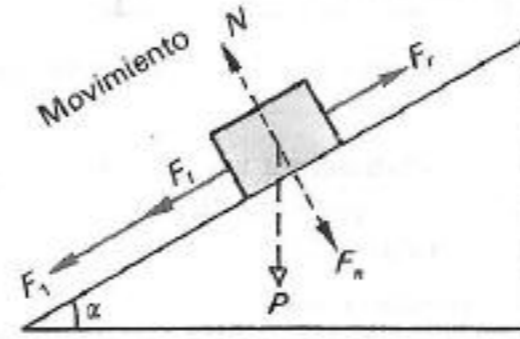
Tomar la lectura máxima, que se corresponderá con el valor umbral de la fuerza de rozamiento. Será necesario realizar un número elevado de medidas para obtener un valor preciso. Obtenga a partir de él el coeficiente de rozamiento estático.

- 3- A continuación, disminuir ligeramente la fuerza pero sin que se detenga el bloque. Obtener la fuerza mínima para la cual el bloque permanece en movimiento y a partir de él el coeficiente de rozamiento dinámico.
- 4- Repetir la misma operación variando la naturaleza de las superficies en contacto, haciendo en cada caso la correspondiente tabla de valores experimentales.
- 5- Comprobar que la fuerza de rozamiento no depende del área de la superficie del cuerpo en contacto con el plano, colocando aquel en diversas posiciones del plano.
- 6- Repetir las pruebas de los apartados anteriores colocando consecutivamente pesas de 100 y 200 gramos sobre el taco de rozamiento, verificando que se cumple:

$$\frac{F_{r1}}{m_1 g} = \frac{F_{r2}}{m_2 g} = \dots = \mu_d$$

b) Plano inclinado

- 1- Sujetar el plano utilizado por uno de los extremos y levantar el otro extremo muy lentamente hasta que el objeto comience a deslizarse.



Anote el ángulo del plano con respecto a la horizontal y obtenga a partir de él el coeficiente de rozamiento estático.

- 2- Una vez haya empezado a deslizarse, disminuya ligeramente al ángulo pero de modo que el bloque siga moviéndose. Anote el nuevo ángulo y calcule el coeficiente de rozamiento dinámico.
- 3- Repita este procedimiento con las diferentes superficies de que se dispone y calcule los coeficientes de rozamiento estático y dinámico para cada una de ellas.
- 4- Compare ambos métodos.

Responda de manera justificada las siguientes cuestiones:

- ¿Qué relación hay entre el tamaño de la superficie y la fuerza de rozamiento?
- ¿Qué relación hay entre el peso del cuerpo y la fuerza de rozamiento?
- ¿Depende la fuerza de rozamiento de la velocidad del cuerpo?
- Si la velocidad del cuerpo es cero, ¿cuál es el valor de la fuerza de rozamiento?
- ¿Qué ocurre si cambiamos la superficie sobre la que está el cuerpo?
- ¿Se cumple siempre que $\mu_c < \mu_e$?

PRÁCTICA 6: DENSIDAD DE UN SÓLIDO Y PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Objetivos:

- Determinar la densidad de varios sólidos.

Fundamento teórico

Se denomina *densidad de un material* a una magnitud física que indica la cantidad de materia que se haya en un volumen dado. Esta es una *magnitud intrínseca*, es decir, únicamente depende del material del que se trate y no de la forma del cuerpo. Por ello, cuando se dispone de un cuerpo de volumen V y masa m , de un material dado, su densidad viene dada por el cociente de la masa del cuerpo entre su volumen.

$$\rho_{sol} = \frac{m_{sol}}{V_{sol}}$$

Un método para determinar la densidad de un sólido se basa en el *Principio de Arquímedes* que indica que todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta un empuje vertical E , igual al peso del volumen de líquido desalojado pero de sentido opuesto.

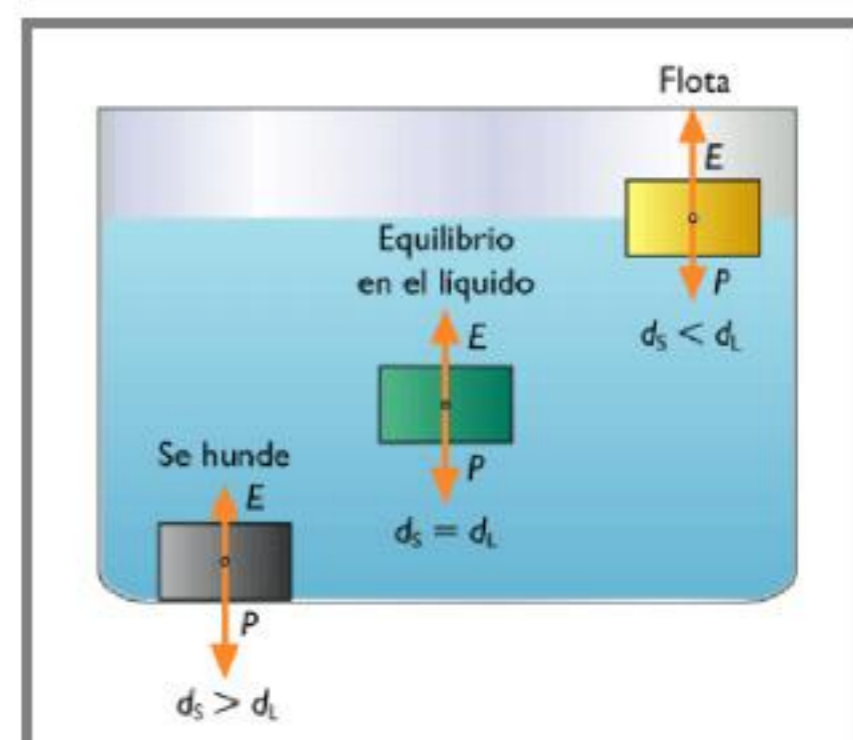
$$E = V_{sol} \cdot \rho_{liq} \cdot g$$

El volumen del sólido sumergido puede escribirse como $V_{sol} = \frac{m_{sol}}{\rho_{sol}}$, siendo ρ_{sol} la densidad

y m_{sol} la masa del sólido. De este modo, el empuje, E , que actúa sobre el cuerpo vendrá dado por:

$$E = V_{liq} \cdot \rho_{liq} \cdot g = V_{sol} \cdot \rho_{sol} \cdot g = \frac{\rho_{liq}}{\rho_{sol}} \cdot m_{sol} \cdot g$$

en donde ρ_{liq} es la densidad del líquido y g la aceleración de la gravedad. Así, dependiendo de la relación entre las densidades del sólido y del líquido, el cuerpo flotará, estará en equilibrio en el seno del líquido o se hundirá.



Material

- Balanza hidrostática y caja de pesas
- Cuerpos de diferentes materiales y de diferentes tamaños
- Una probeta y agua
- Un calibre o pie de rey
- Un dinamómetro

Procedimiento

Emplearemos dos métodos:

- Método 1: Cálculo de la densidad de un cuerpo a partir de la medida de las dimensiones de dicho cuerpo.
- Método 2: Cálculo de la densidad de un cuerpo a partir de la medida del empuje que experimenta al sumergir dicho cuerpo en un líquido de densidad conocida.

Método 1: Determinación de la densidad del sólido a partir de su volumen

El método más intuitivo para obtener la densidad de un sólido es calcular su masa, su volumen y calcular el cociente entre ellos.

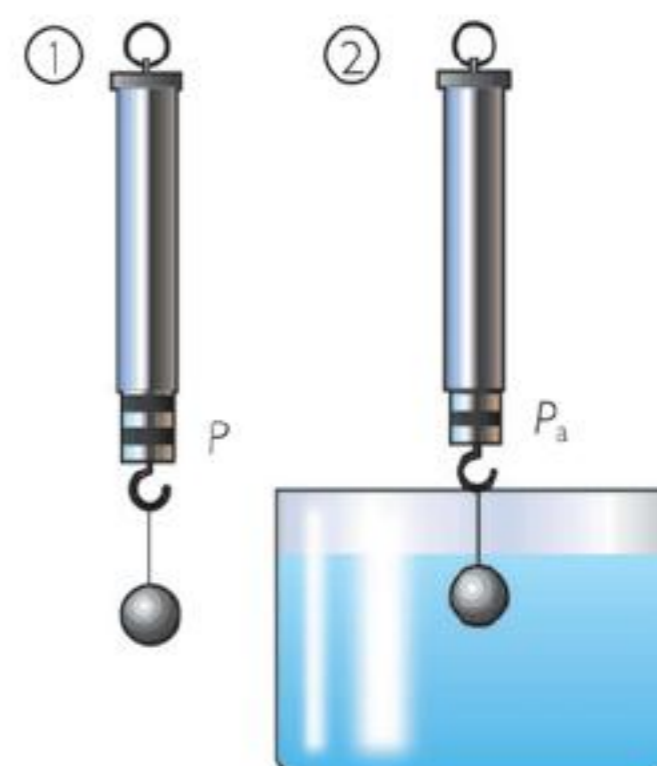
Para determinar su masa, simplemente pesamos el cuerpo con ayuda de la balanza. Cuando el cuerpo sea de forma regular, podremos calcular su volumen a partir de sus dimensiones las cuales se miden con ayuda de un calibre o pie de rey. En cambio, si el cuerpo es irregular deberemos calcular su volumen de otra forma.

En una probeta colocamos una cierta cantidad de agua y se anota su volumen. A continuación, se introduce el cuerpo y se observa cuánto ha aumentado el volumen en la probeta. La diferencia de estos dos volúmenes es igual al volumen del cuerpo sumergido.



Método 2: Determinación de la densidad de un sólido a partir de la medida del empuje

Con ayuda de un dinamómetro, determine el peso, P , del cuerpo cuya densidad se quiere determinar. A continuación, se



introduce el cuerpo aún suspendido del dinamómetro, y se sumerge en el agua destilada de la probeta con cuidado de que el cuerpo no toque ni las paredes ni el fondo. Como el empuje, E , es una fuerza de sentido opuesto al peso, al introducir el cuerpo en el agua la fuerza medida por el dinamómetro será menor que antes: $F = P - E$.

Por otro lado, recordemos que el empuje es igual a $E = \frac{\rho_{liq}}{\rho_{sol}} \cdot m_{sol} \cdot g$, de modo que, la densidad del sólido vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\rho_{sol} = \frac{m_{sol} \cdot g}{E} \cdot \rho_{liq} = \frac{P}{P - F} \cdot \rho_{liq}$$

Calculen con ambos métodos la densidad de los cuerpos de que se disponga, con sus respectivos errores.

PRÁCTICA 7: CAÍDA LIBRE

Objetivos:

- Aprender a determinar la densidad de un sólido.

Fundamento teórico

Se denomina caída libre al movimiento que experimenta un objeto en un sistema con gravedad cuando se mantiene en reposo ($v_o = 0$) a una cierta altura se deja caer. La trayectoria que describe el objeto y su velocidad vienen dados por las siguientes expresiones:

$$r = r_o - \frac{1}{2}gt^2 \qquad v = gt$$

Donde g es la aceleración de la gravedad.

Cuando el objeto está cayendo libremente, puede considerarse que el objeto constituye un entorno de microgravedad (en la terminología de los astronautas), es decir, la gravedad se ha reducido de tal manera que su efecto no se nota. Esta sensación de ingravidez es la que se experimenta en los descensos bruscos de las montañas rusas.

Material

- Balanza hidrostática y caja de pesas
- Cuerpos de diferentes materiales y de diferentes tamaños
- Una probeta y agua
- Un calibre o pie de rey

Procedimiento

Experimento 1: practique un pequeño orificio a la botella, tápelo provisionalmente y llene de agua las tres cuartas partes una botella. Sin cerrar la botella con su tapón, se destapa el agujero. ¿Qué ocurre?

A continuación, deje caer libremente la botella desde un par de metros. ¿Qué observa?

Experimento 2: Encienda una vela e introdúzcala dentro de una botella, previamente desfondada, apegándola a la parte interior del tapón. A continuación, encienda la vela y deje caer libremente la botella. ¿Qué le ocurre a la llama? Conviene notar que es preciso una caída libre de varios metros para observar este efecto.

PRÁCTICA 8: MEDIDAS DE TEMPERATURA Y CALOR. CUERPOS CALIENTES Y CUERPOS FRÍOS

Objetivos

- Comprender los conceptos de temperatura y calor

Fundamento teórico

Entendemos por calor a una forma de energía que se relaciona con la temperatura de los cuerpos y el grado de agitación de sus átomos. El tacto sirve para dar una primera medida de la temperatura, tomando como patrón la temperatura de nuestro cuerpo. Sin embargo, esto sólo nos ofrece una medida subjetiva y lo clasificamos con los adjetivos caliente o frío indicando de esta manera que el cuerpo está a una mayor o menor temperatura que nuestro cuerpo. Por ello, para dar un valor objetivo de la temperatura se emplean los termómetros.

Material

- Tres *beaker*
- Frasco con tapón perforado
- Agua con tinta
- Pinzas para tubo de ensayo
- Capilar de vidrio
- Mecheros de alcohol

Procedimiento

En primer lugar, llene los tres *beaker* con agua. Caliente dos recipientes con agua, uno de ellos durante 20 minutos y el otro durante 10. Introduce el dedo en cada uno de los tres recipientes. ¿Qué sensación sientes al tocar el agua de cada uno de los *beakers*? ¿A qué se debe?

A continuación, meta por el tapón un capilar de vidrio, llene el frasco por completo y tápelo procurando que no queden burbujas. Procure que el nivel del agua quede sólo un par de

centímetros por encima del tapón. Caliente con un mechero el frasco y observe lo que sucede con el volumen de líquido a través del tubo capilar.

Observe y explique el fenómeno. ¿Qué procedimiento utilizarías para graduar un termómetro de mercurio?

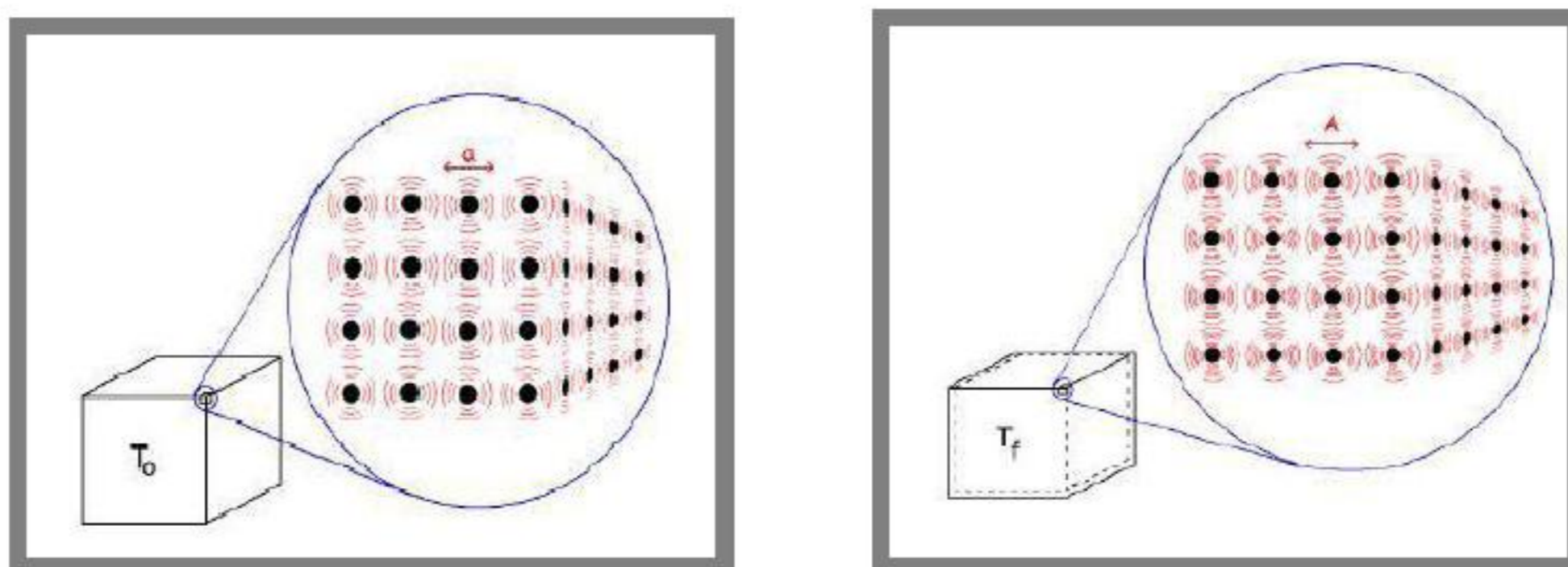
PRÁCTICA 9: DILATACIÓN DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

Objetivos

- Comprobar que los cuerpos sólidos se dilatan cuando aumentamos la temperatura

Fundamento teórico

Todos los cuerpos tienen una cierta energía interna debido a la temperatura a la que se encuentran. Ello provoca una vibración en sus átomos y moléculas cuya amplitud es directamente proporcional a la energía interna y, por tanto, a la temperatura que posea el cuerpo. Cuando mayor sea la temperatura del cuerpo mayor será su energía interna y mayor será la amplitud de la vibración de modo que los átomos necesitarán de un mayor espacio para moverse dentro del orden que los mantiene unidos para poder preservar la estructura del cuerpo. Esto se traduce en un aumento del volumen del cuerpo sin que éste pierda su forma ni cambie de estado.



Material

- Dos clavos

- Una pequeña tabla
- Una tenaza
- Una moneda
- Mecheros de alcohol
- Agua con tinta
- Frasco de vidrio de 50cm³ de volumen con tapón
- Tubito de vidrio o plástico (como el de un lapicero BIC)

Procedimiento

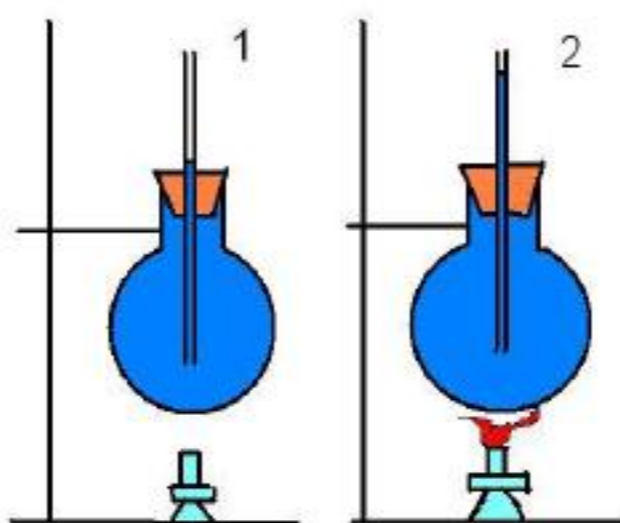
Experimento 1: DILATACIÓN DE UN SÓLIDO

Tome los clavos y clávelos en una tabla de tal forma que la moneda pueda apenas pasar entre ellos. Ahora tome la moneda y caliéntela con el mechero con mucho cuidado. Proceda a pasarla entre los clavos de la misma forma que la pasó anteriormente. ¿Qué sucedió con la moneda?

Déjela enfriar y vuelva a pasarla por los clavos. También puedes hacer lo contrario, calienta los clavos y pasa otra vez la arandela entre ellos. ¿Puedes explicar a qué se debe este fenómeno?

Experimento 2: DILATACIÓN DE UN LÍQUIDO

Tome un frasco y llénelo totalmente de agua previamente coloreada con un poco de tinta para facilitar sus observaciones. Coloque un tapón que quede bien adaptado a la boca del frasco de vidrio, hágale una perforación y pase a través de él el tubo fino de plástico (si quedase algún orificio proceda a taponarlo con pegamento). El agua subirá hasta cierta altura en el interior del tubo. Coloque este dispositivo así preparado, en un baño de agua caliente o a la llama del mechero, y deje que el agua se caliente. Observe qué sucede con el nivel del agua en el tubo.



Después de cierto tiempo, saque el dispositivo y póngalo en un baño con agua muy fría (mezcla de agua y hielo). Vea lo que sucede con el nivel del agua del tubo.

Observe que este dispositivo podría funcionar como un termómetro. Explique por qué.

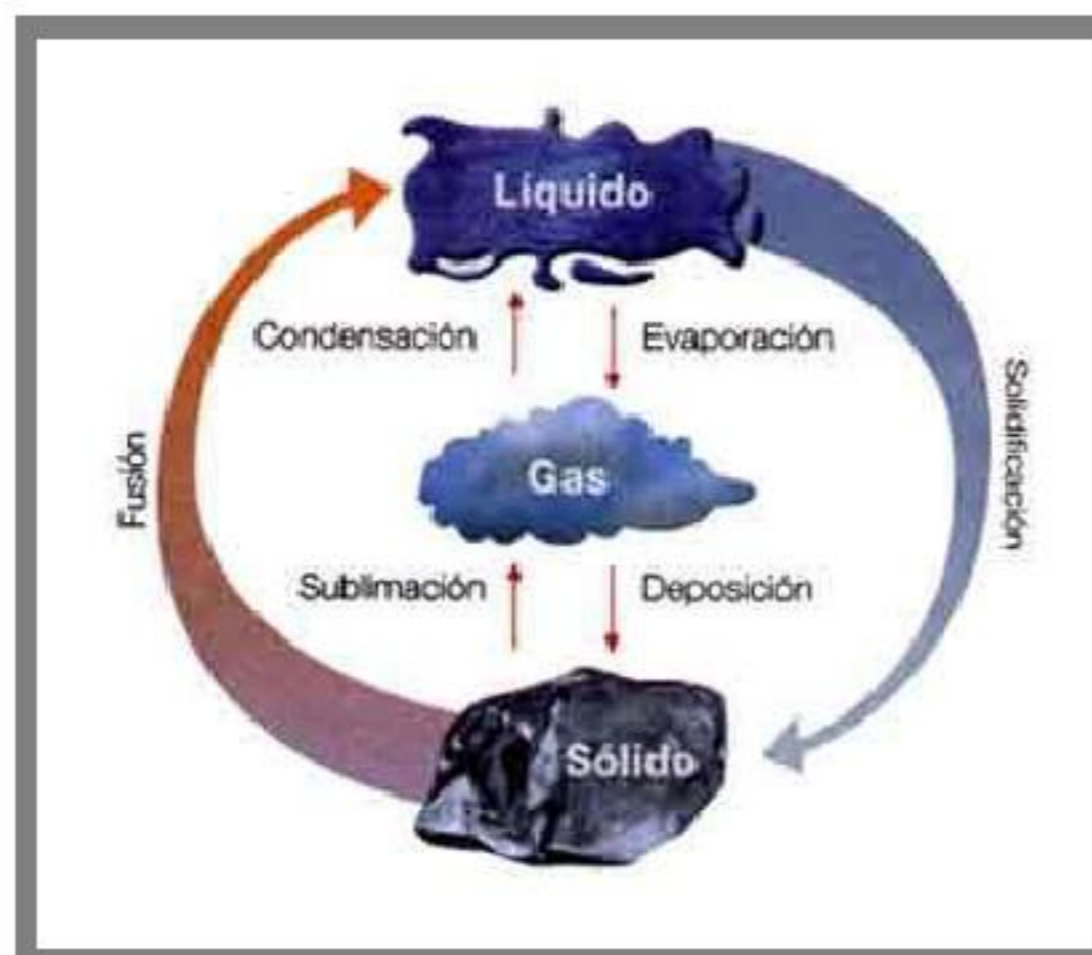
PRÁCTICA 10: CAMBIOS DE FASE O DE ESTADO

Objetivos

- Observar los tres estados posibles del agua y estudiar los dos cambios de estado que se producen

Fundamento teórico

La materia puede adoptar tres posibles estados en función de la temperatura a la que se encuentre: sólido, líquido y gaseoso. El paso de un estado a otro se consigue variando la temperatura del material tal y como se indica en el siguiente diagrama:



Las principales diferencias entre los tres estados son:

- * Sólido: el volumen y la forma están definidos por lo que no son compresibles. Ejemplo: metal, madera, cristal.
- * Líquido: el volumen está definido por lo que pero la forma depende del recipiente en el que esté contenido. Ejemplo: aceite, agua, gasolina.
- * Gaseoso: el volumen y la forma dependen del recipiente en el que esté contenido. Ejemplo: oxígeno, gas butano, hidrógeno.

Cabe destacar que todos los ejemplos están referidos a temperatura ambiente porque, como ya dijimos, el estado de la materia es función de la temperatura. Por ejemplo, si tenemos una pieza de metal sólido y la calentamos lo suficiente ésta se fundirá pasando así al estado líquido.

En esta práctica estudiaremos los cambios de fase del agua, la única sustancia que está presente en la Tierra en sus tres estados:



Material

- Un beacker
- Hielo
- Termómetro
- Soporte
- Base de amianto
- Mecheros de alcohol

Procedimiento teórico

Coloque el hielo en el beacker y mida su temperatura. Póngalo a calentar con el mechero y mida varios valores de la temperatura del agua a medida que se va calentando hasta que comience a hervir. Analice los cambios de estado que sufre el agua en este proceso.

¿Qué sucedería si descendiésemos la temperatura del vapor de agua? ¿Qué nombre recibe este proceso? Dé algún ejemplo de ello.

¿Y en el caso de que enfriemos el agua líquida?

Por último, investigue las temperaturas necesarias para que un metal pase de un estado a otro y compárelas con las del agua.

PRÁCTICA 11: EL CALOR

Objetivos

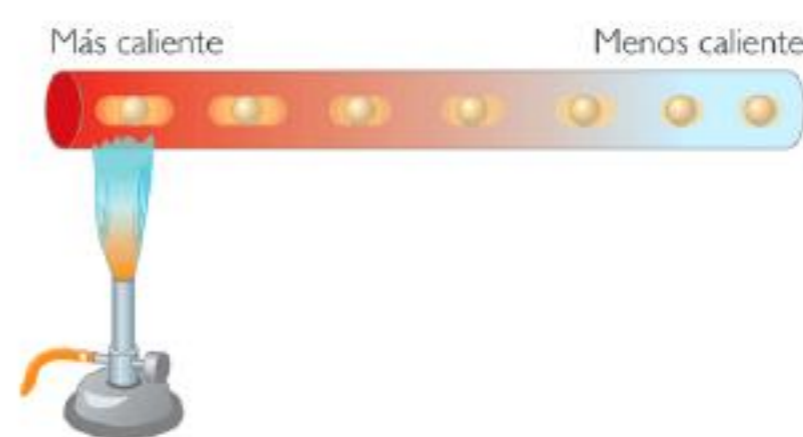
- Familiarizarse con el fenómeno de calor
- Comprender algunos conceptos como calor específico, conducción de calor, convección o radiación.

Fundamento teórico

Definimos **energía térmica** como la energía que posee un cuerpo por estar a una temperatura dada y que está relacionada con el movimiento en forma de vibración de sus átomos. Por otro lado, el **calor o energía calorífica** es la energía transmitida de un cuerpo a otro que está a menor temperatura y que puede medirse solamente por los efectos que produce en una sustancia como, por ejemplo, la variación de su temperatura o el cambio de estado de ésta. La magnitud física que nos indica la cantidad de energía térmica de un cuerpo o la cantidad de calor que se ha transmitido de un cuerpo a otro es la temperatura, T .

Se define **calor específico, c_e** , como la cantidad de calor necesario para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo de una sustancia.

Se denomina **conducción de calor** al transporte de energía de un cuerpo con cierta temperatura a otro que esté a una temperatura menor.



Se denomina **convección** al movimiento en un fluido, ya sea un líquido o un gas, debido a la diferencia de temperaturas de una región a otra del fluido. Este gradiente de temperaturas provoca un gradiente de densidades y ello a su vez provoca un flujo de fluido ya que las regiones menos densas tienden a ascender y las más densas a hundirse.



Se denomina **radiación** a la emisión de ondas electromagnéticas por parte de un cuerpo con cierta temperatura que conlleva una transmisión de energía y, por tanto, de calor. Cuanto mayor es su temperatura mayor será la energía de la radiación emitida.

Material

- Un *beaker*
- Agua y aceite
- Una lámina de madera y otra de metal
- Termómetro
- Cronómetro o reloj
- Aserrín
- Base de amianto
- Mecheros de alcohol

Procedimiento

1. Calor específico: ponga a calentar la misma cantidad de agua que de aceite durante el mismo tiempo. ¿Cuál alcanza mayor temperatura? ¿Por qué?

2. Conducción del calor: coloque sobre la llama de un mechero una lámina de madera durante un par de minutos pero con cuidado de que la llama no la quemé. Ponga la mano encima de la lámina. Ahora repita el mismo proceso pero con una lámina de metal. ¿Qué diferencias observa?

A continuación, coloque una pequeña cantidad de agua en una probeta de vidrio y acérquela a la llama del mechero, sujetándola con la mano. Mantenga la probeta al fuego hasta que el agua comience a ebulir. ¿Es capaz de mantener la probeta sujeta con la mano desnuda? ¿A qué se debe?

3. Convección: ponga a calentar agua con serrín en un beaker colocado en una tela de amianto, colocado en un soporte y déjela calentar hasta que empiece a hervir. ¿Qué observa? ¿Es el agua un medio favorable para que se dé esta forma de transferencia de calor? ¿En general en qué sustancia se da este proceso? Probar con aceite.

4. Radiación: conecte una bombilla durante un rato y luego acerque la mano. ¿Qué siente? ¿Por qué?

PRÁCTICA 12: TRABAJO REALIZADO POR Y SOBRE UN GAS

Objetivos

- Estudiar las propiedades de los gases

Fundamento teórico

La rama de la Física que estudia el comportamiento de los gases se conoce como Termodinámica. Los primeros estudios acerca del comportamiento de los gases se realizaron en el siglo XVII y de ellos surgieron las llamadas *leyes de los gases*. Estas leyes se cumplen únicamente cuando el gas objeto se encuentra a baja presión; cuando ello ocurre, se dice que el gas se comporta como un *gas ideal* y sus características son:

- 1) Ocupa el volumen del recipiente que lo contiene.
- 2) Está formado por moléculas.
- 3) Estas moléculas se mueven individualmente y al azar en todas direcciones.
- 4) La interacción entre las moléculas se reduce sólo a su choque.
- 5) Los choques entre las moléculas son completamente elásticos
- 6) Los choques son instantáneos (el tiempo durante el choque es cero).

Continuando con los estudios de los gases se observaron algunas de las características de éstos, como las siguientes:

- 1) Cuando un gas cuyo volumen es fijo aumenta su temperatura, forzosamente debe aumentar su presión
- 2) Cuando un gas a temperatura constante aumenta (disminuye) su presión, forzosamente debe disminuir (aumentar) su volumen
- 3) Cuando un gas a presión constante aumenta su temperatura, su volumen aumenta.

Todas estas características que describen el comportamiento de los gases ideales se pueden recoger en la denominada *Ecuación de Estado de los Gases Ideales*:

$$pV = nRT$$

Donde n es el número de moles de gas, T es la temperatura del gas y R es la constante universal de los gases cuyo valor es:

$$R = 8,314 \cdot J / mol \cdot K = 0,082 atm \cdot l / mol \cdot K$$

De este modo, la ecuación de los gases ideales, que relaciona las variables P, V , y T , es un ejemplo de *ecuación de estado*. Conociendo dos de estas variables podemos obtener el valor de la tercera.

Material

- Una jeringuilla (sin aguja)
- Un mechero de alcohol
- Pinzas para tubo de ensayo
- Tubo de ensayo con tapón

Procedimiento

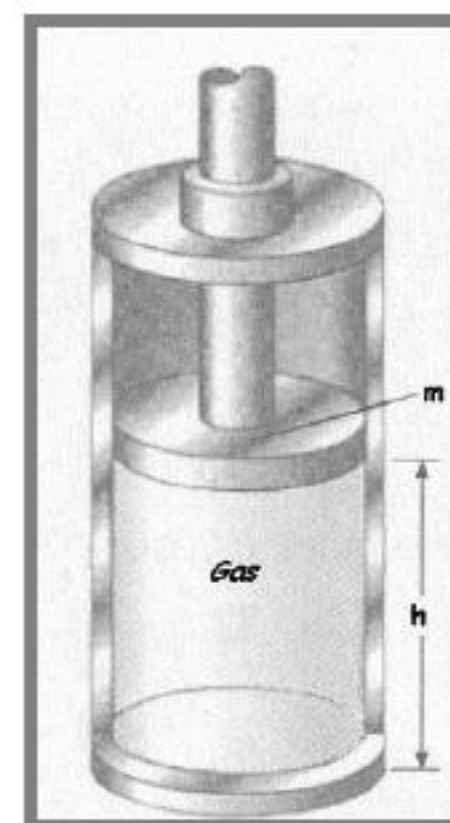
Experimento 1: Tape el tubo de ensayo y tomándolo con la pinza póngalo a calentar a la llama de un mechero. ¿Qué observa al cabo de un tiempo?

Experimento 2: Desplace el émbolo de la jeringa y tape el orificio de esta con uno de los dedos y haga presión sobre el émbolo. ¿Qué ocurre? Libere ahora el émbolo. ¿Qué ocurre?

Experimento 3: Introduzca un globo en una botella ajustándolo a su cuello.

Intente hinchar el globo. Explique qué sucede.

A continuación, realice un pequeño orificio en un lateral de la botella. Proceda de nuevo a hinchar el globo. ¿Observa alguna diferencia? Explique por qué.



Experimento 4: Coja una botella, aplástela ligeramente y ciérrela con su tapón. A continuación, caliéntela con cuidado de que no se deforme el plástico. ¿Qué sucede?

Experimento 5: Coja dos botella y tápelas con sus tapones. A continuación cuélguelas de los extremos de una percha a modo de balanza y compruebe si su peso es aproximadamente el mismo. A continuación, caliente una de ellas con cuidado durante un tiempo. Explique qué sucede.

PRÁCTICA 13: PRESIÓN ATMOSFÉRICA E HIDROSTÁTICA

Objetivos

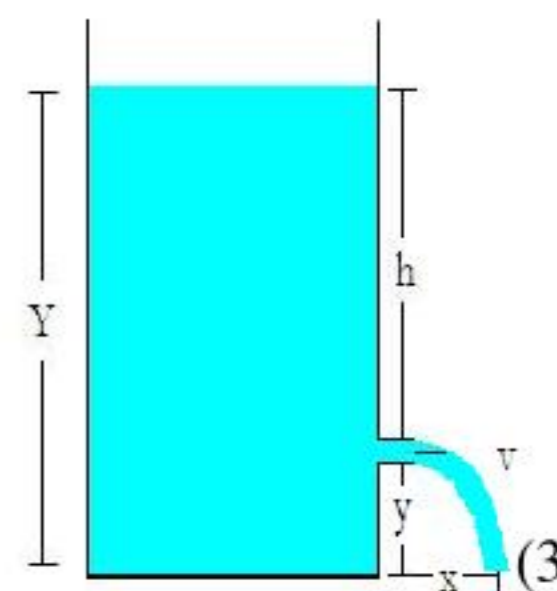
- Comprender los conceptos de temperatura y calor

Fundamento teórico

Se define presión atmosférica como el peso por unidad de superficie que ejerce la columna de aire que hay por encima de una cierta superficie. Se define presión hidrostática como la fuerza por unidad de área que ejerce un líquido sobre una superficie.

Así pues, cuando disponemos de un recipiente con un líquido, por ejemplo agua, la presión sobre un punto de la superficie del agua será igual a la presión atmosférica. En cambio, la presión sobre un punto de la base del recipiente será igual a la presión atmosférica más la presión hidrostática debido a la columna de agua.

Imaginemos ahora que se realiza cerca de la base un orificio pequeño, de sección A_2 , en la parte lateral del recipiente, de sección A_1 , tal y como muestra la figura. Aplicando el teorema de Bernoulli a los puntos 1 y 2 situados en la superficie libre del fluido y en el centro del orificio en la pared, se tendrá que:



$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (\text{Ec. 1})$$

Si se supone que la velocidad del fluido en la sección mayor A1 es despreciable ($v_1 \approx 0$) comparada con la velocidad del fluido v_2 en la sección menor A2; que el elemento de fluido delimitado por las secciones A1 y A2 está en contacto con el aire a la misma presión ($p_1 = p_2 = p_0$); y que la diferencia de alturas entre los puntos 1 y 2 es $h = Y - y$, siendo h la altura de la columna de fluido o la profundidad a la que se encuentra el orificio, se obtiene que la Ec. 1 se convierte en:

$$\begin{aligned} \rho g Y - \rho g y &= \frac{1}{2} \rho v^2 \\ gh &= \frac{1}{2} v^2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = \sqrt{2gh}} \quad (\text{Ec. 2})$$

La expresión 2 corresponde al teorema de Torricelli, y predice únicamente el valor de la velocidad teórica de salida del fluido a través del agujero en el punto 2 de la figura 1.

Material

- Un tubo de ensayo
- Un vaso de precipitados ancho
- Mecheros de alcohol

Procedimiento

Experimento 1: Llenamos media botella con agua y la colocamos boca abajo en un recipiente con agua de manera que el cuello de la botella esté por debajo del nivel del agua del recipiente. Marcamos (con rotulador indeleble o con cinta aislante) el nivel del agua en la botella invertida y a continuación oprimimos la botella en la región donde hay aire y después en la región donde hay agua. ¿Qué sucede con el nivel de agua? ¿Sube, baja o no cambia?

Experimento 2: hacemos un pequeño orificio en una botella, aproximadamente a la mitad de su altura. Lo tapamos provisionalmente (con el dedo, cinta adhesiva o plastilina) y

llenamos la botella completa de agua, tapándola seguidamente. A continuación destape el agujero. ¿Qué sucede? Explique por qué.

Experimento 3: a continuación, destape la botella. ¿Qué sucede?

Realice esta actividad colocando la botella sobre una superficie horizontal y mida la altura del orificio respecto de la superficie así como el alcance del chorro. A partir de estos datos determine la velocidad de salida del agua despreciando las posibles pérdidas. Observe cómo se modifica el alcance del agua (y, por tanto, su velocidad de salida) cuando varía el nivel del agua por encima del agujero.

Experimento 4: por último haga dos agujeros más en la botella, uno cerca de su base y otro en su parte superior (aproximadamente a un tercio y a tres tercios respectivamente de su base). Tapamos provisionalmente los agujeros y llenamos la botella de agua. A continuación destape uno a uno los orificios y mida el alcance de cada chorro. ¿Cuál de los tres llegará más lejos y cuál de ellos más cerca? Explique por qué haciendo uso del Teorema de Torricelli.

PRÁCTICA 14: LEY DE SNELL

Objetivos

- Observar experimentalmente el comportamiento de la luz y corroborar las leyes de Snell

Fundamento teórico

La óptica geométrica estudia el comportamiento de la luz cuando los objetos con los que interacciona son mucho mayores que la longitud de la onda usada. En estas circunstancias, la luz presenta un comportamiento corpuscular, lo que permite realizar la aproximación de *rayo luminoso*, pudiendo despreciarse los efectos derivados de la difracción, comportamiento ligado a la naturaleza ondulatoria de la luz.

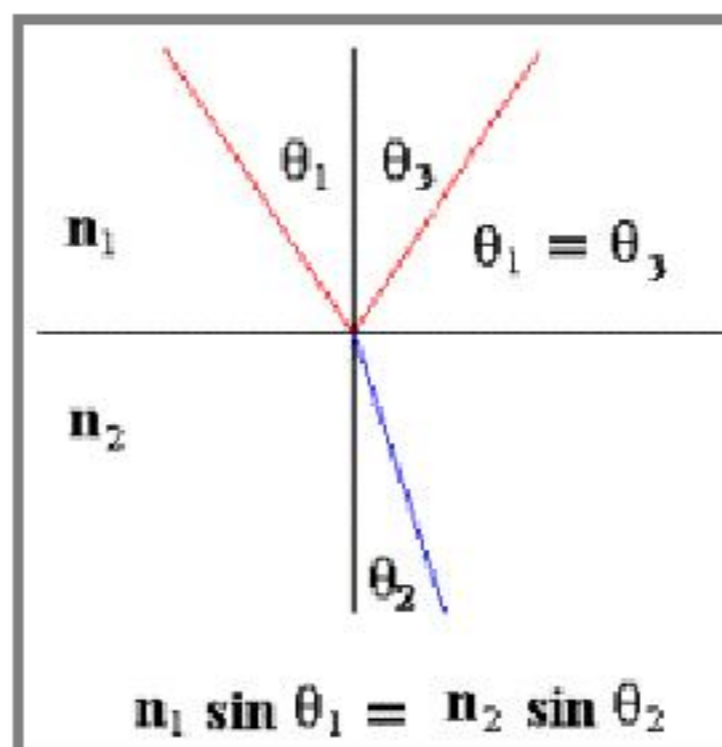
La óptica geométrica se basa en las leyes de Snell de la reflexión y la refracción, a partir de las cuales basta hacer razonamientos de tipo geométrico para la obtención de las fórmulas que explican el comportamiento de los espejos y lentes, obteniendo así las leyes que gobiernan los instrumentos ópticos.

Cuando un rayo de luz incide sobre una superficie plana aparecen los fenómenos de la reflexión y la refracción que dan lugar a un rayo reflejado y a un rayo refractado, y que están descritos por las leyes de Snell:

1. El rayo incidente, el rayo reflejado, el rayo refractado y la recta normal a la superficie están en el mismo plano con respecto a la superficie de refracción en el punto de incidencia.
2. Ley de Snell de la reflexión: el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal es el mismo que el que forma el rayo incidente con la normal.
3. Ley de Snell de la refracción: el ángulo formado entre el rayo refractado y la recta normal está relacionado con el ángulo del rayo incidente mediante la ecuación:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Siendo n_{21} una constante denominada *índice de refracción* del medio 2 con respecto al medio 1.



En la siguiente tabla se recogen los índices de refracción de varios medios con respecto al vacío, para un haz de longitud de onda $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ (luz de sodio), pues el índice de refracción depende de la longitud de onda de la luz.

Medio	Índice de refracción
Agua	1,33
Alcohol etílico	1,36
Aire (1 atm y 20° C)	1,0003
Cristal	1,52

Material

- Disco graduado indicando los ángulos
- Espejo plano y semidisco óptico
- Una linterna

Procedimiento

Experimento 1: coloque el disco óptico sobre la mesa y sobre este el espejo plano, haciéndolo coincidir con una de las coordenadas y luego hacer incidir un haz de luz con un

ángulo determinado. Medir el ángulo de reflexión y comprobar la Ley de Snell de la reflexión.

Experimento 2: a continuación, sustituya el espejo por el vidrio semicircular y compruebe las leyes de la refracción. Con el mismo montaje haga incidir el haz de luz pero esta vez girando el disco hasta conseguir ver la reflexión total interna, fenómeno en el cual toda la luz es devuelta al medio del cual proviene y no hay rayo refractado.

PRÁCTICA 15: REFLEXIÓN TOTAL INTERNA

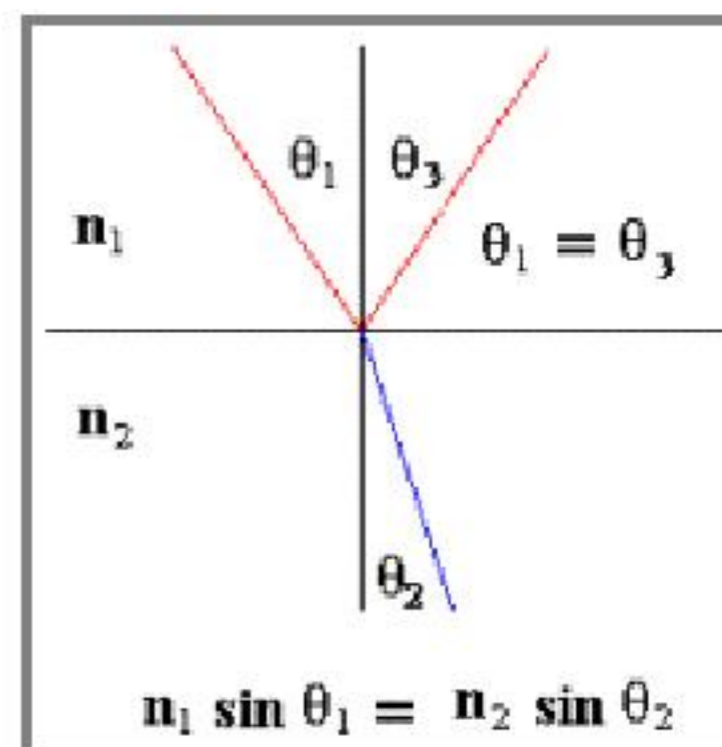
Objetivos

- Observar experimentalmente el fenómeno de la reflexión total interna

Fundamento teórico

Cuando un rayo de luz incide sobre una superficie plana aparecen los fenómenos de la reflexión y la refracción que dan lugar a un rayo reflejado y a un rayo refractado, y que están descritos por las leyes de Snell:

1. El rayo incidente, el rayo reflejado, el rayo refractado y la recta normal a la superficie están en el mismo plano con respecto a la superficie de refracción en el punto de incidencia.
2. Ley de Snell de la reflexión: el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal es el mismo que el que forma el rayo incidente con la normal.
3. Ley de Snell de la refracción: el ángulo formado entre el rayo refractado y la recta normal está relacionado con el ángulo del rayo incidente mediante la ecuación:



$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2$$

Donde n_1 es el índice de refracción del medio 1 y n_2 es el índice de refracción del medio 2.

Cuando el medio 1 tiene un índice de refracción mayor que el del medio 2 ($n_1 \geq n_2$), se cumple que para un cierto ángulo de incidencia, θ_{lim} (ángulo límite), no habrá rayo refractado sino sólo reflejado ($\theta_2 \geq 90^\circ$), de modo que toda la luz permanece en el medio 1. Este fenómeno se conoce como *reflexión total interna*.

$$\operatorname{sen} \theta_{\text{lim}} = \frac{n_2}{n_1} \leq 1$$

En la siguiente tabla se recogen los índices de refracción de algunos medios de interés:

Medio	Índice de refracción
Agua	1,33
Alcohol etílico	1,36
Aire (1 atm y 20° C)	1,0003
Cristal	1,52

Material

- Botella de gaseosa
- Agua
- Láser o linterna potente y puntual

Procedimiento

Realice un pequeño orificio en la pared lateral de la botella, tápelo provisionalmente y llene la botella de agua. Ilumine con el puntero láser o linterna el orificio desde un punto diametralmente opuesto. Destape ahora el orificio de modo que el agua comience a salir por él. ¿Qué le ocurre al rayo luminoso?

El rayo se propagará por el chorro como si fuera una fibra óptica, experimentando reflexión total interna en la superficie de separación agua-aire. Y si la transición fuese de agua a alcohol, ¿podría haber reflexión total interna? ¿Y si fuese aire cristal? Explique un poco cada caso.

NOTA: Este efecto es más espectacular si se realiza con la luz apagada y recubriendo la botella de papel negro.

PRÁCTICA 16: DISPERSIÓN DE LA LUZ

Objetivos

- Observar experimentalmente el fenómeno de la dispersión de la luz

Fundamento teórico

La luz es una onda electromagnética que en el vacío se propaga a una velocidad $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Sin embargo, cuando la luz se propaga por un medio material (agua, aire, sólido, etc.) su velocidad disminuye. El cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y su velocidad en el vacío se conoce como índice de refracción:

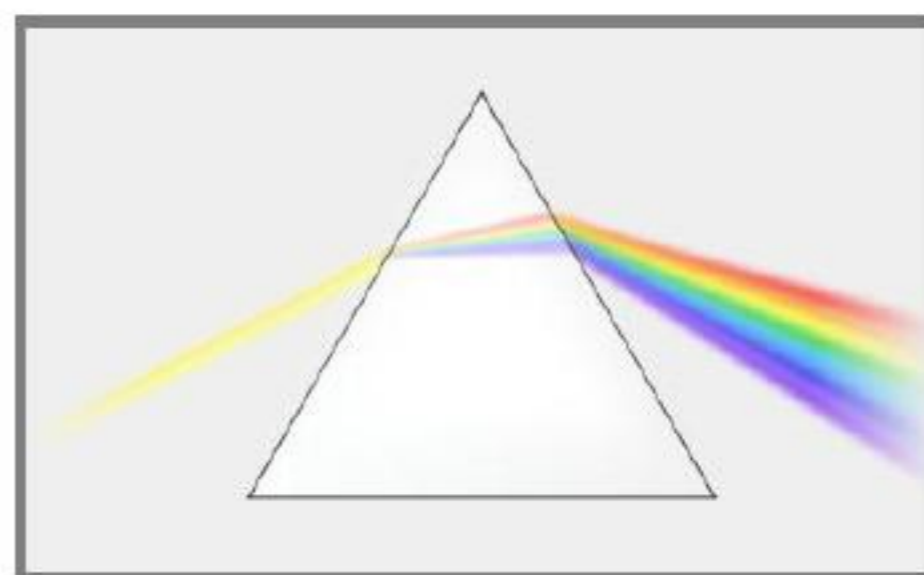
$$n = \frac{c}{v} \geq 1$$

Siempre es mayor o igual a la unidad pues la velocidad máxima de la luz, es en el vacío y es igual a c . De este modo, el índice de refracción del vacío es igual a la unidad mientras que en los demás medios es mayor que 1.

En la siguiente tabla se recogen los índices de refracción de varios medios con respecto al vacío, para un haz de longitud de onda $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ (luz de sodio).

Medio	Índice de refracción
Agua	1,33
Alcohol etílico	1,36
Aire (1 atm y 20° C)	1,0003
Cristal	1,52

Se ha observado que, para la mayoría de los materiales, el índice de refracción n disminuye ligeramente a medida que crece la longitud de onda del rayo incidente λ , de forma equivalente, n aumenta con la frecuencia. Esta dependencia se conoce con el nombre de *dispersión*. Cuando un haz de luz blanca incide con un cierto ángulo en la superficie de un prisma de vidrio, el ángulo de refracción, medido respecto a la normal, es menor para frecuencias en el rango del violeta y va aumentando al desplazarnos hacia el rojo.



Este fenómeno es también el responsable de la formación del arco iris, debido a la existencia de reflexión y refracción de la luz en las gotas de lluvia.

Material

- Una linterna
- Cartulina y Crayones
- Agua y aceite
- Un recipiente

Procedimiento

Experimento 1: coloque el disco óptico sobre la mesa y sobre este el espejo plano, haciéndolo coincidir con una de las coordenadas y luego hacer incidir un haz de luz con un ángulo determinado. Medir el ángulo de reflexión y comprobar la Ley de Snell de la reflexión.

Experimento 2: a continuación, sustituya el espejo por el vidrio semicircular y compruebe las leyes de la refracción. Con el mismo montaje haga incidir el haz de luz pero esta vez girando el disco hasta conseguir ver la reflexión total interna, fenómeno en el cual toda la luz es devuelta al medio del cual proviene y no hay rayo refractado.

Experimento 3: haga pasar un haz de luz a través del prisma. ¿Consigue observar la dispersión de la luz? Comente qué es lo que observa.

Experimento 3: Realicen un disco de cartulina con los colores primarios del espectro (magenta, cian y amarillo). Realicen un disco de cartulina con los colores primarios del espectro (magenta, cian y amarillo). En su centro, hagan un agujero y pasen una cuerda fina por él. A continuación hagan girar el disco. ¿Qué ocurre?

Experimento 4: Vierta un poco de aceite sobre agua y póngalo al sol. ¿Qué se observa? ¿El índice de refracción del aceite es mayor o menor que el del agua?

PRÁCTICA 17: DIFRACCIÓN E INTERFERENCIA

Objetivos

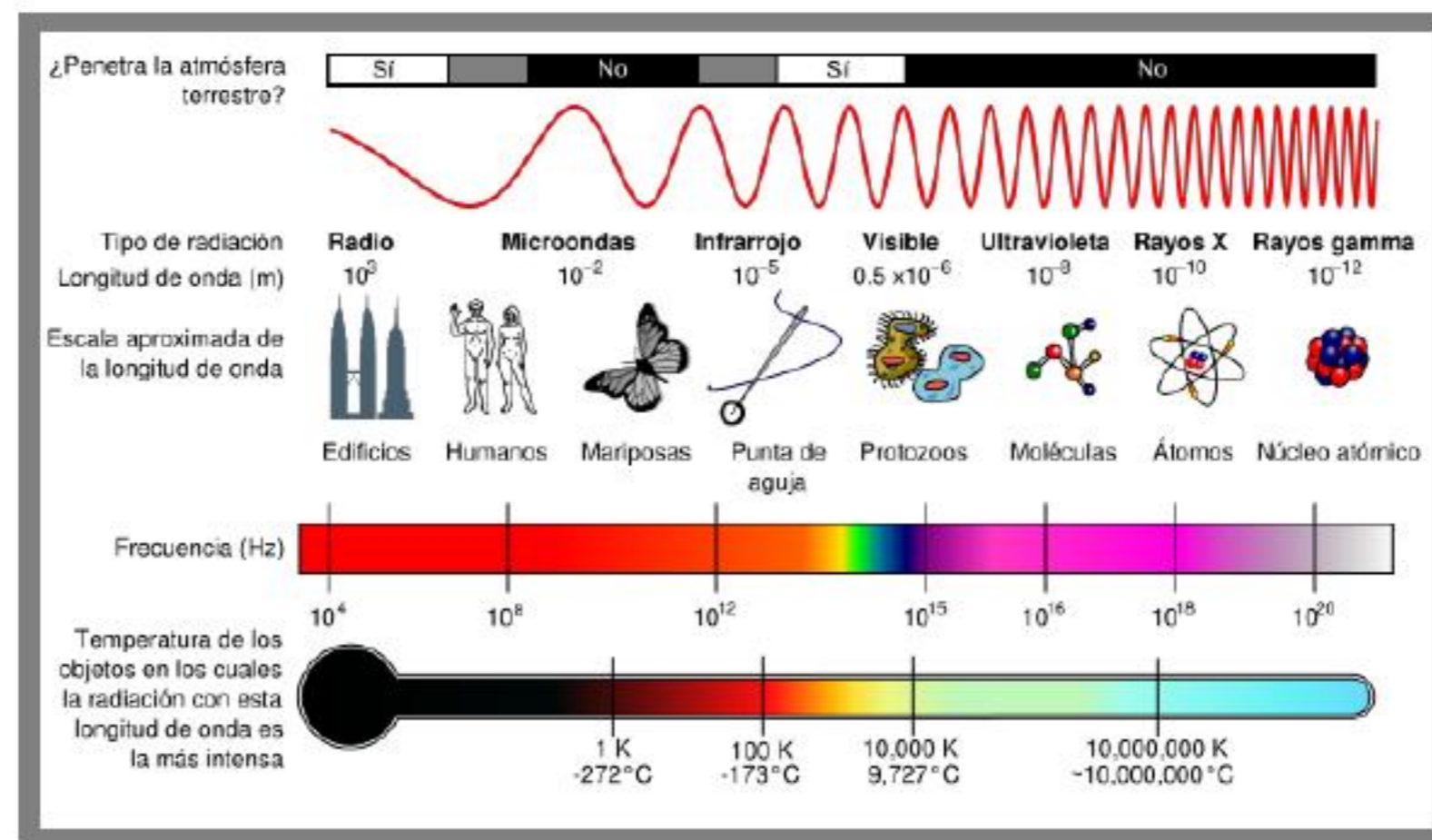
- Observar empíricamente los fenómenos de difracción e interferencia de la luz

Material

- Cartulina
- Un punzón y un *cutter*
- Linterna

Fundamento teórico

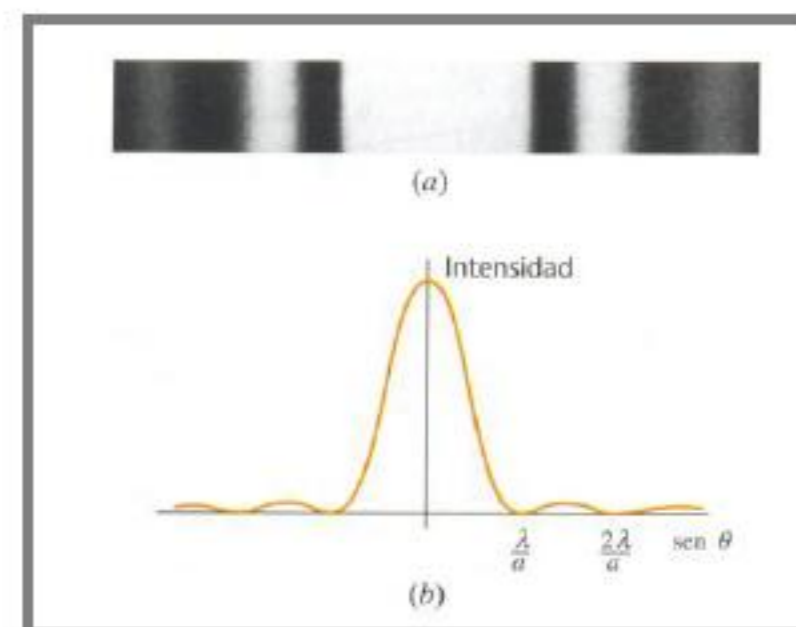
Maxwell demostró que las ondas electromagnéticas son producidas por vibraciones de campos eléctricos y magnéticos. Todas ellas se propagan con la misma velocidad, $c = 3 \times 10^8$ m/s, pero cada una de ellas se caracteriza por su frecuencia, f , o, de forma equivalente, por su longitud de onda, $\lambda = \frac{c}{f}$, formando lo que se conoce como *espectro electromagnético*.



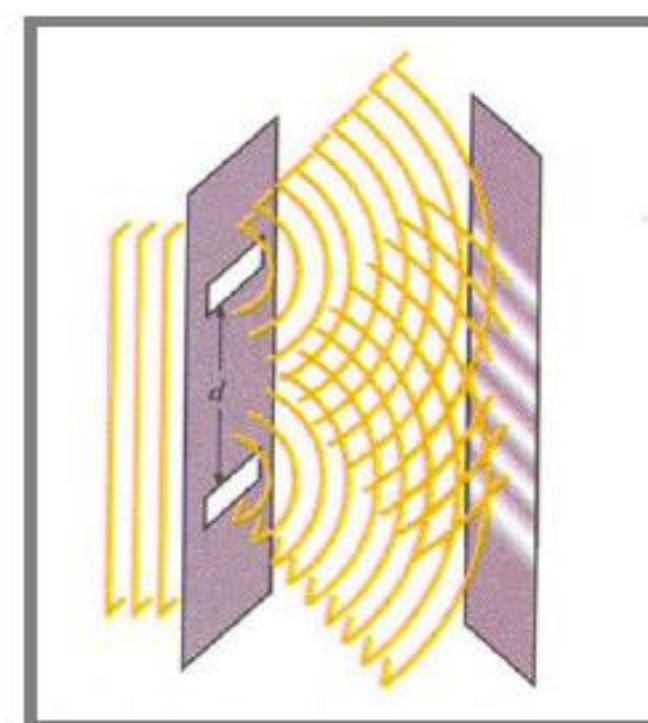
El espectro electromagnético no tiene definidos sus límites y se suele dividir en bandas para las que se diseñan métodos de estudio y aplicaciones diferentes: radiofrecuencia, microondas, radiación UV, visible, etc. En esta práctica nos restringimos a un rango del espectro que denominamos luz visible ($400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$) y que es la que podemos percibir a través de nuestros ojos.

Una propiedad característica y muy importante de la luz es su naturaleza dual: en ocasiones se comporta como materia y en ocasiones como onda. Cuando la luz atraviesa aperturas o rendijas cuyas dimensiones son comparables a su longitud de onda, se hace evidente su naturaleza ondulatoria observándose los fenómenos de difracción y de interferencia. Ambos fenómenos pueden explicarse a partir del *Principio de Huygens*: *todos los puntos de un frente de ondas se pueden considerar como centros emisores de ondas esféricas secundarias cuya intensidad es máxima en la dirección de propagación y disminuye progresivamente hasta hacerse nula en la dirección opuesta.*

La difracción es un fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado de las ondas cuando atraviesan un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a su longitud de onda y es consecuencia del principio de Huygens.



La interferencia consiste en la formación de máximos (si las ondas están en fase) y mínimos (si están en oposición de fase) luminosos cuando dos ondas de la misma frecuencia coinciden en una región debido a la superposición no uniforme de su energía. Este conjunto de máximos y mínimos se conoce como diagrama de interferencia (ver dibujo).



Procedimiento

Experimento 1: Realice un agujero de 1 mm de diámetro aproximadamente en una cartulina, preferiblemente negra u oscura. A continuación, observe a través del agujero (con el ojo bien pegado a la cartulina) la luz que emite una linterna colocada a una cierta distancia de usted. ¿Qué observa en la luz? ¿Podría compararlo con cómo observamos la luz de las estrellas?

Experimento 2: Realicen el mismo experimento pero en vez de un agujero haga una rendija de 1mm de ancho. ¿Qué se observa? ¿Qué diferencias encuentra con respecto al caso anterior?

Experimento 3: Realizar el mismo experimento pero ahora con dos rendijas de 1mm de ancho cada una. ¿Qué se observa? ¿Qué diferencias encuentra con respecto al caso anterior?

PRÁCTICA 18: La Ley de Ohm. Estudio de circuitos.

Objetivos

- Familiarizarse con el manejo de la electricidad y aprender a analizar circuitos eléctricos
- Verificar experimentalmente lo predicho teóricamente

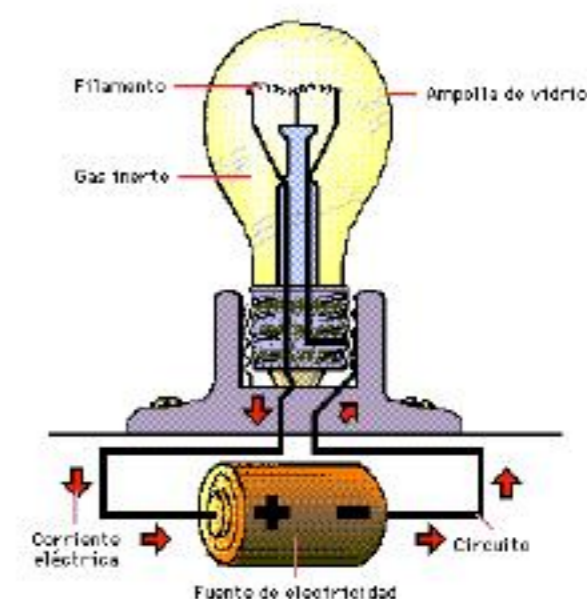
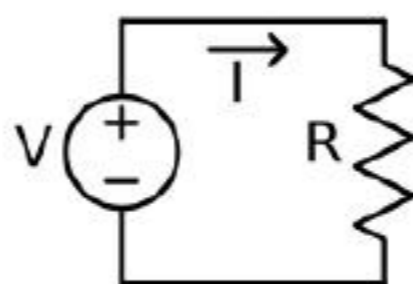
Material

- 6 Bombillas
- Cables
- Interruptor
- Pila de 12V (de petaca)
- Un reostato (resistencia variable)

Fundamento teórico

Se denomina corriente eléctrica, I , al flujo de electrones a través de un conductor debido a la aplicación de una diferencia de potencial, V , entre sus extremos. La relación entre I y V viene dada por la LEY DE OHM: "La relación entre la tensión aplicada (V) a un conductor y la intensidad (I) que circula por él se mantiene constante. A esta constante se le llama RESISTENCIA del conductor (R)".

$$V = I \cdot R$$

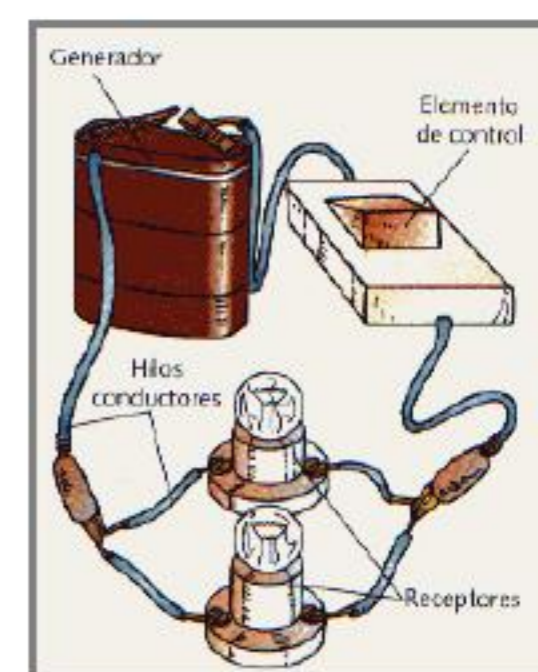


La intensidad se mide en amperios (A), el voltaje en voltios (V) y la resistencia en ohmios (Ω).

La corriente puede ser:

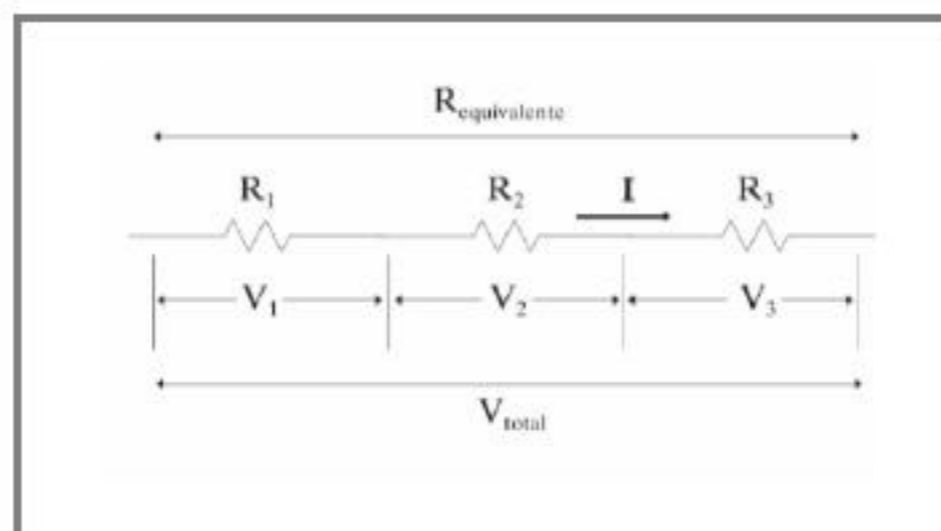
- Continua: su intensidad es constante con el tiempo y siempre circula en el mismo sentido. Este tipo de corriente es suministrada por fuentes DC.
- Alterna: su intensidad varía con el tiempo aunque su intensidad *media* es constante, es periódica y su sentido es variable. Este tipo de corriente es suministrada por fuentes AC y por las tomas de corriente convencionales. Dentro de la corriente alterna encontramos varios tipos de señales: sinusoidal, cuadrada, triangular, etc.

Denominamos *circuito eléctrico* a un conjunto de elementos activos y pasivos unidos entre sí por cables (conductores). Los elementos activos son aquellos que inyectan energía tales como fuentes de tensión o fuentes de corriente. En cambio, los elementos pasivos son aquellos que disipan energía como las resistencias (las bombillas son resistencias), los condensadores y las bobinas.



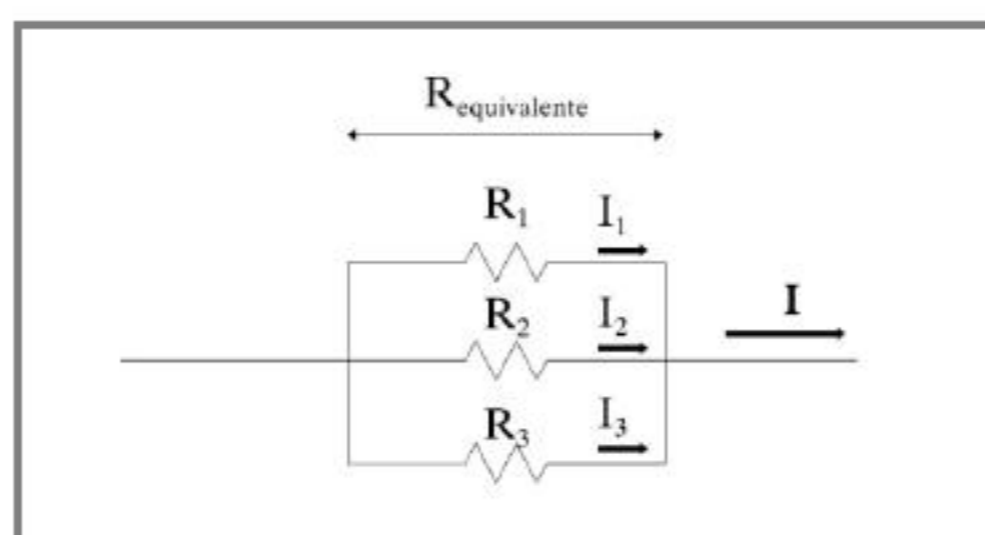
En un circuito eléctrico cualquiera, las resistencias pueden conectarse de dos formas: en SERIE y en PARALELO.

- **Resistencias en serie**: un extremo de una resistencia se conecta a un extremo de otra resistencia; el extremo libre de esta segunda se conectará a una tercera y así sucesivamente, quedando libres un extremo de la primera y un extremo de la última, que serán los puntos finales de conexión al circuito. La intensidad que pasa por el conjunto de resistencias será la misma pero la tensión en los extremos de cada resistencia dependerá del valor de cada una de ellas de acuerdo con la Ley de Ohm ($V_i = I R_i$) siendo su suma era igual a la tensión total aplicada al circuito.



Es decir, *la Resistencia Equivalente es la suma de las resistencias utilizadas*. Su valor siempre será mayor que el de cualquiera de las resistencias individuales.

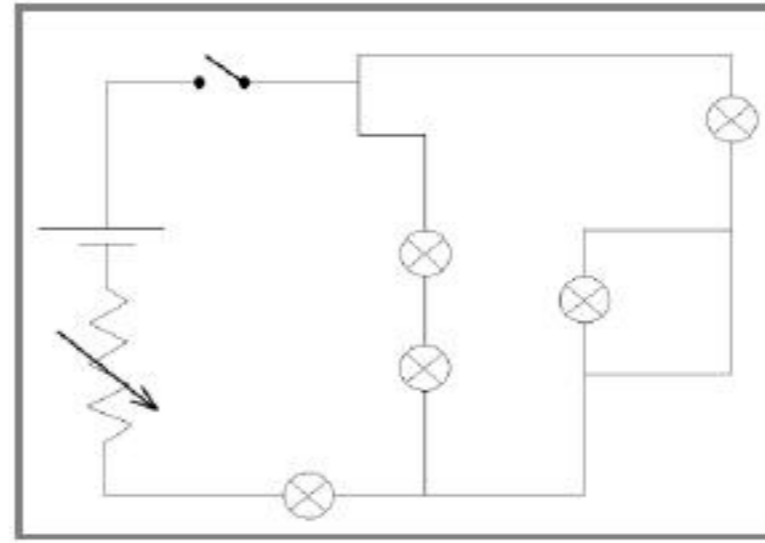
- **Resistencias en paralelo:** uno de los extremos de todas las resistencias se conectan a un mismo punto; los extremos sobrantes se conectan a otro punto común, que serán los que se conecten al circuito. La tensión que se aplica al conjunto de resistencias será el mismo que se ha aplicado a cada una en particular.



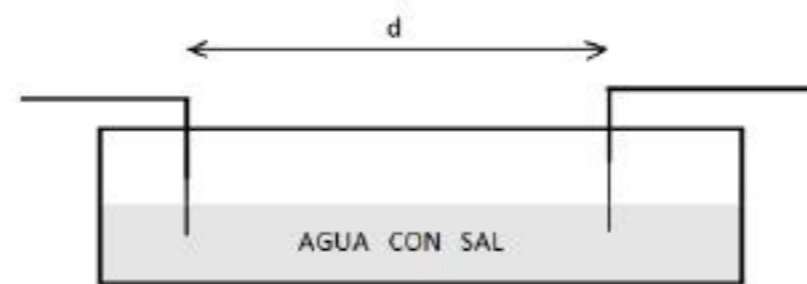
Sin embargo, la intensidad que circula por la resistencia equivalente será la suma de las intensidades que pasa por cada una de ellas. Es decir, *la inversa de la Resistencia Equivalente es la suma de las inversas de cada una de las resistencias utilizadas*. Su valor siempre será menor que el de cualquiera de las resistencias individuales.

Procedimiento

Con el material propuesto, construya el siguiente circuito:



Si no se dispone de un reostato puede emplearse agua con sal (¡siempre con mucha precaución!):



Variando la separación entre los cables, d , variamos la cantidad de agua salada que se interpone entre ambos y con ello variamos la resistencia que opone esta disolución al paso de la corriente a través de ella.

Una vez montados los circuitos propuestos, indique qué bombillas están en paralelo y cuáles están en serie. Para ello vaya desenroscando una a una las bombillas y observe qué sucede con las demás.

Una vez analizados intente simplificar los circuitos gráficamente para que sean más fáciles de interpretar.

Cuestiones y conclusiones

Responda de manera justificada las siguientes cuestiones:

- Describa lo que ocurre al desenroscar cada bombilla y explique por qué.
- ¿Podría comparar el comportamiento de la corriente eléctrica con el de un río?

PRÁCTICA 19: Magnetismo y materiales magnéticos

Objetivos

- Comprobar experimentalmente el comportamiento de los imanes
- Comprobar experimentalmente el fenómeno de la inducción
- Verificar experimentalmente lo predicho teóricamente

Fundamento teórico

El fenómeno del magnetismo es conocido desde la antigüedad. Algunos cuerpos naturales, como la magnetita, presentan la capacidad de atraer pequeños cuerpos de algunos metales como el hierro, el cobalto o el níquel. A tales cuerpos se les conoce como imanes naturales y la propiedad que tienen se denomina magnetismo.

Además de los imanes naturales, existen otras sustancias, como el Fe, el Co o el Ni, que pueden adquirir magnetismo de manera artificial. Estos cuerpos se denominan imanes artificiales.

Todo imán, sea natural o artificial, presenta máxima atracción magnética en los extremos que reciben el nombre de polos magnéticos. A los polos se les da el nombre de Norte y Sur, debido a que se orientan de acuerdo con los polos de la Tierra, que es un imán natural. Esta orientación es debida a una propiedad fundamental del magnetismo: *polos del mismo nombre se repelen y polos de distinto nombre se atraen*.

Esta propiedad se explica admitiendo que un imán origina un campo magnético en el espacio que le rodea. Dicho campo se pone de manifiesto por la fuerza que ejerce un imán sobre otro imán o sobre un trozo de hierro que se coloque en su proximidad. Por ello se dice que *en una región del espacio existe un campo magnético cuando en ella se ponen de manifiesto fuerzas magnéticas*. La dirección en la que apunta la aguja de la brújula indica la dirección del campo magnético y su sentido siempre es del polo norte al polo sur.

Material

- Imanes
- 1 brújula
- Cables y un pedazo de alambre
- Pila de 12V (pila de petaca)
- Limaduras de hierro
- Cuerpos metálicos y un clavo de hierro

Procedimiento

Coja un imán y aproxímelo a varios objetos metálicos. ¿Todos son atraídos?

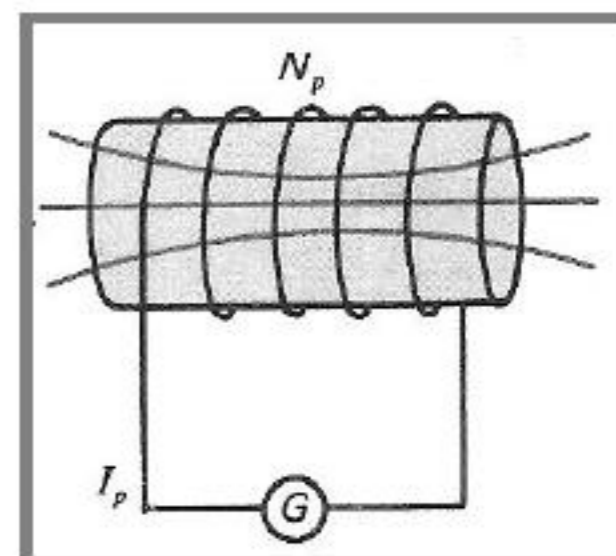
A continuación, acerque dos imanes entre sí y observe qué sucede.

Dele la vuelta a uno de los imanes y vuelva a acercarlos. ¿Qué sucede?

Coloque un imán sobre una superficie horizontal y acérquele una brújula. ¿Qué se observa?

Para observar las líneas de campo del imán, coloque éste sobre una superficie horizontal y sobre él coloque un papel. Disponga las limaduras de hierro sobre el papel. Observe qué sucede.

Enrolle el alambre en torno al clavo. Conecte los extremos del alambre mediante cables a la pila. A continuación, acerque el clavo a objetos metálicos. ¿Qué sucede? ¿Por qué?

**Cuestiones y conclusiones**

Responda de manera justificada las siguientes cuestiones:

- Explique brevemente el fenómeno de repulsión y atracción entre imanes.
- ¿Cómo son las líneas de campo que genera un imán? ¿Y un hilo conductor?
Ayúdese con las limaduras de hierro.

- ¿Qué le ocurre a la aguja de la brújula cuando se le aproxima el imán? A partir de esto explique para qué se emplea la brújula y por qué.

Explique cómo se consigue construir un electroimán.

PRÁCTICA 20: Inducción magnética. Experimento de Faraday.

Objetivos

- Comprobar experimentalmente el fenómeno de la inducción
- Reproducir el experimento de Faraday
- Verificar experimentalmente lo predicho teóricamente

Fundamento teórico

Los campos eléctricos y magnéticos están relacionados entre sí de modo que una corriente eléctrica puede producir un campo magnético y un campo magnético puede producir una corriente eléctrica (inducida).

Michael Faraday descubrió en 1832 mediante una serie de experimentos que la existencia de las corrientes inducidas se fundamenta en el siguiente hecho: *toda variación de flujo magnético que atraviesa un circuito cerrado produce en él una corriente inducida.*

La aplicación más interesante de la inducción electromagnética en la obtención a escala industrial de la energía eléctrica, tanto en corriente continua como en alterna.

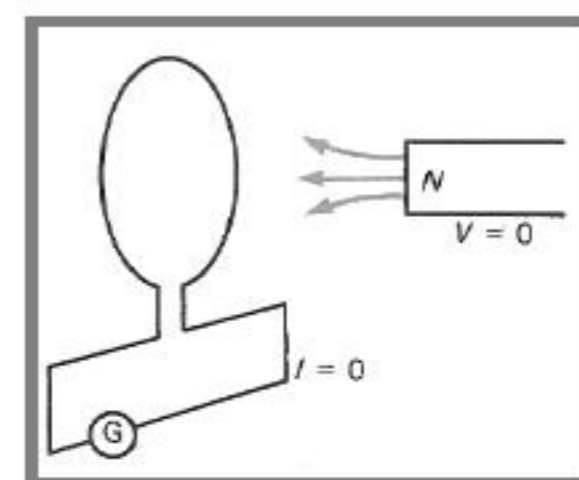
Material

- Alambre
- Cilindros metálicos

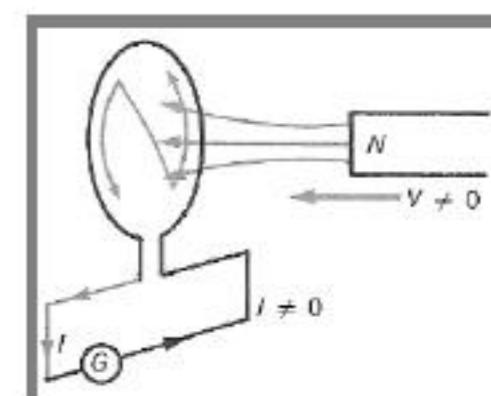
- Amperímetro
- Un reóstato
- Pila de 12V (pila de petaca)

Procedimiento

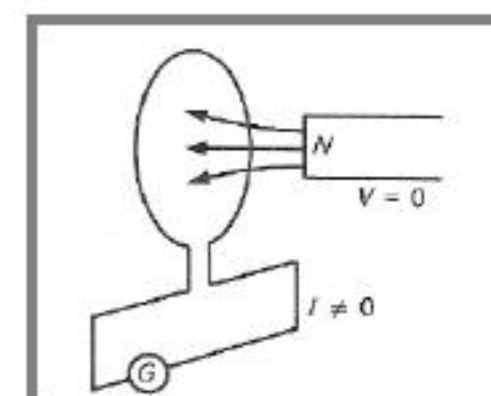
Para observar el fenómeno de la inducción magnética reproduciremos el experimento de Faraday en la medida de lo posible. Supongamos una espira unida a un amperímetro, tal y como muestra la figura. Por este circuito no pasará corriente puesto que no posee ninguna fuente de alimentación y el amperímetro marcará cero. Si colocamos el imán próximo a la espira pero lo mantenemos en reposo, no se inducirá corriente alguna pues no habrá variación de flujo magnético.



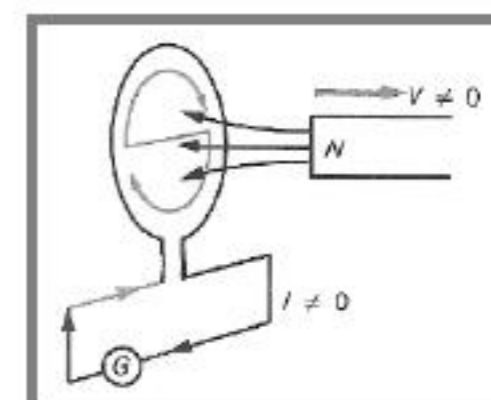
Si ahora aproximamos el imán a la espira aparecerá una corriente inducida debido a la repentina variación de flujo.



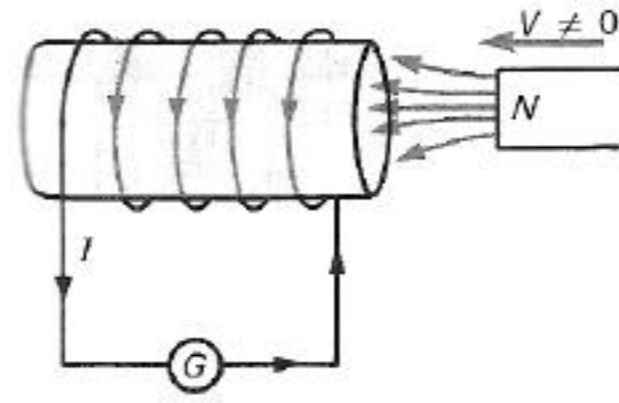
Si volvemos a detener el imán, la corriente vuelve a desaparecer.



Si ahora alejamos el imán se produce de nuevo una corriente inducida pero ahora de sentido contrario.



El experimento puede realizarse también sustituyendo la espira por una bobina (cuerpo metálico con un alambre arrollado) tal y como muestra la figura:



Realizar el experimento de Faraday para obtener los mismos resultados que él y obtener conclusiones sobre el fenómeno de la inducción. Comparar lo observado experimentalmente con lo predicho en la teoría.

VAMOS HACIENDO HISTORIA

La Universidad de Alcalá (UAH) y Universidad Complutense (UCM) han venido cooperando desde 1989 con la UNAN-León y el Ministerio de Educación de Nicaragua (MINED) para mejorar la calidad de la enseñanza de las ciencias experimentales, primero en la UNAN-León y otras universidades y posteriormente en la Enseñanza Media de Nicaragua, mediante cursos de formación y profesionalización de docentes empíricos sin titulación, desarrollados en la UNAN-León, reconocidos por el MINED con una titulación de Profesor de Educación Media (PEM), habiéndose llevado a cabo tres ediciones hasta la actualidad.

En el año 2009; con mejores niveles de organización y sobre la base de una acción preparatoria y un diagnóstico de la situación de la enseñanza de las Ciencias Naturales en la Región del Golfo de Fonseca con indicadores similares en los tres países nace el primer proyecto regional "FECINCA", el cual se ha desarrollado en el período 2009-2013.

Entre los logros obtenidos en el marco de este proyecto se pueden mencionar:

- a) La formación de 70 profesores de la Región del Golfo de Fonseca, que han completado el plan de estudios de formación de Profesorado de Enseñanza Media (PEM en CCNN).
- b) La realización de 31 trabajos de investigación dirigidos a mejorar la enseñanza en las aulas de clase y el aspecto ambiental de las comunidades.
- c) Conformación y funcionamiento de un equipo regional con 21 docentes de tres universidades centroamericanas, UPNFM, UES y UNAN.
- d) La institucionalización del programa. El programa se inserta en los planes estratégicos de las universidades centroamericanas participantes y recibe apoyo en la coordinación de la red GIRA.
- e) La creación de un laboratorio de ciencias experimentales en Somotillo y Nacaome; (Infraestructura, mobiliario, equipos, bibliografía, medios audiovisuales) y fortalecimiento de los laboratorio de ciencias naturales de la UES.
- f) Apoyo a la infraestructura del CUR Somotillo de la UNAN-León, con la construcción de una fosa séptica en esta sede del proyecto. Creación de un taller de metal y madera para el diseño de equipos de bajo costo destinados a los institutos de los municipios del norte de Chinandega, Nicaragua.
- g) Desarrollo a nivel centroamericano de conferencias, investigaciones y elaboración de manuales de prácticas de laboratorio por becarios de la UAH y UCM.
- h) Desarrollo del Diplomado en Formación de expertos en la enseñanza experimental de las Ciencias Naturales.
- i) Desarrollo de líneas de investigación e innovación científica tanto a nivel de alumnos como de docentes.
- j) Creación de Biblioteca en Nacaome y San Miguel con Bibliografía básica y especializada.
- k) Fomento del uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza de las Ciencias Naturales.

En todas las acciones desarrolladas se han considerando los principios horizontales que deben estar presentes en todo programa social: Respeto a los derechos humanos, al género, a la diversidad cultural y étnica y al medio ambiente.

Seguiremos avanzando siempre unidos en un mismo esfuerzo que es alcanzar mejores niveles de vida para los centroamericanos.

Equipo de Coordinación Regional

Este Libro es producto del trabajo en equipo de profesores de Física del Proyecto FECINCA:

Juan Ernesto Gómez, Gloria Elizabeth Larios, Rafael Cayetano Cartagena, Raúl Antonio Alfaro, Blanca Mirian Ramos, Abel Martínez, Oscar Hernández, Héctor Leonel Pineda, Ricardo Humberto García, Edda Guadalupe Romero, Elías Trejos Mejía, Genoveva Martínez, Eloísa López, Alicia Prados Díaz.



ISBN 978-99924-28-33-7



9 789992 428337