



Universidad
Politécnica
de Cartagena



PRÁCTICAS DE FÍSICA PARA INGENIEROS

FÍSICA II

Termodinámica

Ondas

Electricidad

Óptica

Manuel Conesa Valverde
Juan Francisco Sánchez Pérez
Enrique Castro Rodríguez

PRÁCTICAS DE FÍSICA PARA INGENIEROS

FÍSICA II

Termodinámica

Ondas

Electricidad

Óptica

Manuel Conesa Valverde
Juan Francisco Sánchez Pérez
Enrique Castro Rodríguez

© 2017, Juan Francisco Sánchez Pérez, Manuel Conesa Valverde,
Enrique Castro Rodríguez.
© 2017, Universidad Politécnica de Cartagena.

CRAI Biblioteca
Plaza del Hospital, 1
30202 Cartagena
968325908
ediciones@upct.es



Primera edición, 2017

ISBN: 978-84-16325-37-5

© Imagen de la cubierta: elaboración del autor



Esta obra está bajo una licencia de Reconocimiento-NO comercial-Sin Obra Derivada (by-nc-nd): no se permite el uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Prólogo

Este texto forma parte de una colección de dos libros de prácticas de laboratorio de Física que los autores quieren poner a disposición de alumnos y estudiantes, siendo el complemento perfecto a los conocimientos teóricos adquiridos en clase. En ellos se guía al alumno en cómo deben ser aplicados los conocimientos adquiridos, incluyendo apartados abiertos que facilitan el aprendizaje de la materia, imprimiéndole así al texto un importante valor añadido.

En este volumen ponemos a disposición de alumnos y profesores una recopilación de prácticas que abarcan el estudio de la termodinámica, en todos sus aspectos, ondas, circuitos eléctricos, óptica, etc. En este sentido deseamos que nos hagan llegar cuantas opiniones críticas les sugiera su lectura; incorporaremos estas sugerencias, junto con el resto de material, en futuras ediciones. Gracias.

Los autores

ÍNDICE

1 Dilatación de sólidos	1
2 Calor específico de sólidos	5
3 Calor latente de fusión del hielo	11
4 Ciclos termodinámicos	17
5 Ondas estacionarias	25
6 Instrumentos eléctricos de medida. Polímetro	29
7 Leyes de Ohm y de Kirchhoff	33
8 Lentes delgadas	39
9 Ley de Snell	45
10 Reflexión de la luz en espejos	49
11 Interferencia y red de difracción	55
12 Reflexión de la luz y ángulo de Brewster	59
13 Difracción	63
Apéndice I Instrumentos de medida	67
I.1.- Calibre o pie de rey	67
I.2.- Micrómetro	68
I.3.- Polímetro o multímetro	70
Apéndice II Errores experimentales	73
II.1.- Introducción	73
II.2.- Expresión de las medidas	74
II.3.- Causas de error	75
II.4.- Evaluación de errores	76
II.4.1.- Errores sistemáticos	76
II.4.2.- Errores accidentales	76
II.5.- Determinación del error de una medida	77
II.6.- Medidas indirectas y determinación de su error	77
II.7.- Resumen	79
Apéndice III Gráficas	81
Apéndice IV Unidades de medida. Notación científica	83
IV.1.- Unidades básicas	83
IV.2.- Notación científica	83
Apéndice V Código de colores de resistencias eléctricas	85
Apéndice VI Redacción y presentación de informes	87
VI.1.- Formato	87
VI.2.- Estructura	87
Referencias	89

1

DILATACIÓN DE SÓLIDOS

OBJETIVOS

Generales:

- Aplicar conceptos teóricos.
- Utilizar datos experimentales.
- Valorar errores y precisiones en la medida.

Específicos:

- Hallar coeficientes de dilatación de metales.

MATERIAL

- Depósito de agua.
- Termostato de inmersión.
- Termómetro.
- Dilatómetro.
- 2 tubos de goma.
- 3 varillas cilíndricas huecas de aluminio, latón y cobre.



Figura 1.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General*.

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

La mayoría de los cuerpos se dilatan al aumentar su temperatura. Este incremento de longitud (ΔL) es proporcional a ΔT y a la longitud inicial L_0 . La constante de proporcionalidad se conoce como *coeficiente de dilatación lineal de un sólido* (α), y asumimos que no depende de la presión.

Llamando L y L_0 a las longitudes final e inicial del sólido ($\Delta L = L - L_0$) y T a la temperatura, el coeficiente de dilatación lineal de un sólido, que supondremos constante en el intervalo de temperaturas que vamos a emplear, es:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

Es la expresión que utilizaremos para obtener α .

El proceso a seguir es hacer circular agua, con una temperatura cada vez mayor, por el interior de una varilla hueca.

Sitúe la varilla de aluminio en el dilatómetro, conecte los tubos de goma a los extremos de la varilla y al dispositivo que hace circular el agua.

Sin encender el calefactor, ponga en marcha la bomba de agua, gire el dial del dilatómetro para ajustarlo a cero. La temperatura inicial del agua y de la varilla es T_0 .

Encienda ahora el calefactor y, para cada 5 °C de aumento de temperatura, sin superar los 60 °C, tome los datos del termómetro y del dilatómetro hasta completar la siguiente tabla.

ALUMINIO

T (°C)	$T_0 =$								
ΔT (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
ΔL (mm)	0								

Tabla 1.1

Cuando haya terminado con el aluminio, apague el calefactor y la bomba de agua. Manipule el tubo y las gomas para desmontar sin mojar. Retire el agua caliente y vuelva a poner agua fría, para poder repetir todo el proceso con el tubo de latón y luego con el de cobre.

LATÓN

T (°C)	T ₀ =								
ΔT (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
ΔL (mm)	0								

Tabla 1.2

COBRE

T (°C)	T ₀ =								
ΔT (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
ΔL (mm)	0								

Tabla 1.3

Represente en un papel milimetrado el incremento de longitud de la varilla en función del incremento de temperatura, tomando como datos iniciales L_0 y T_0 , para cada una de las varillas. Por simple inspección se aprecia si existe o no dependencia lineal entre temperatura y coeficiente de dilatación. Halle también el coeficiente de correlación para cada material.

Consulte el *Apéndice II*.

$$\alpha (\text{aluminio}) = \quad \pm$$

$$\alpha (\text{latón}) = \quad \pm$$

$$\alpha (\text{cobre}) = \quad \pm$$

Haga algún comentario constructivo.

2

CALOR ESPECÍFICO DE SÓLIDOS

OBJETIVOS

Generales:

- Ilustrar conceptos teóricos.
- Formar en la interpretación de datos experimentales.

Específicos:

- Determinar el equivalente en agua de un calorímetro.
- Determinar el calor específico del aluminio, latón y acero.

MATERIAL

- Calorímetro de mezclas con accesorios.
- Elemento calefactor.
- Dos vasijas para agua.
- Balanza.
- Agua.
- Termómetro.
- Sólidos problema (aluminio, latón, acero).
- Hilo resistente y pinzas.



Figura 2.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia deberá consultar:

Cualquier libro de *Física* de carácter general.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice III - Gráficas.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

Introducción.

Entre los diferentes métodos posibles para medir el calor específico de un sólido, se va a emplear aquí el método de las mezclas. Consiste en situar en contacto térmico dos cuerpos a diferentes temperaturas, hasta que ambos alcanzan una temperatura igual e intermedia.

Dado un cuerpo 1 de masa m_1 , calor específico c_1 y temperatura T_1 ; y otro cuerpo 2, con sus correspondientes m_2 , c_2 , y T_2 , si los colocamos en contacto térmico, alcanzarán una temperatura de equilibrio final T , que será un valor intermedio entre T_1 y T_2 .

Si $T_1 > T_2$, entonces:

El calor cedido por el cuerpo 1 es: $m_1 c_1 (T - T_1)$, y

El calor absorbido por el cuerpo 2: $m_2 c_2 (T - T_2)$

Cuando el sistema está aislado, el valor absoluto de los calores es el mismo y el signo distinto.

$$\Delta Q_{\text{total}} = m_1 c_1 (T - T_1) + m_2 c_2 (T - T_2) = 0$$

1.- CÁLCULO DEL EQUIVALENTE EN AGUA DEL CALORÍMETRO

Para medir el intercambio de calor se necesita un recipiente: el calorímetro; en cuyo interior habrá un termómetro y un agitador para homogeneizar la mezcla y la temperatura. Estos elementos: recipiente, termómetro y agitador, también absorben o ceden parte del calor, por lo que hay que tenerlos en cuenta en la ecuación.

Para simplificar, consideraremos que todo ello es equivalente a una *masa ficticia de agua* (K), llamada *equivalente en agua del calorímetro*. Hay que encontrar ese valor de (K) para sumarlo a la masa de agua inicial que ponemos en el calorímetro.

Si m_1 es la masa de agua que inicialmente se coloca en el calorímetro a temperatura T_1 ; m_2 es la masa de agua que se añade a continuación a temperatura T_2 , y T es la temperatura final de la mezcla, entonces:

$$(m_1 + K) c (T - T_1) + m_2 c (T - T_2) = 0$$

Prepare una vasija con agua fría a temperatura ambiente.

Ponga a calentar agua hasta que alcance una temperatura de unos 50 °C.

Vierta en el calorímetro una masa de agua fría m_1 , que ocupe aproximadamente un tercio de su capacidad.

$$m_1 = \quad \pm$$

Nota.- Puede medir las masas de agua por la diferencia de pesos, antes y después de verterla en el calorímetro. Hágalo tanto con el agua fría, como con la caliente y el hielo. Por supuesto no es necesario verter toda el agua de la vasija.

Cierre el calorímetro, agite con suavidad y, al cabo de un par de minutos, lea la temperatura del agua (T_1).

$$T_1 =$$

Vierta el agua caliente en una vasija para pesarla y, cuando esté vertiendo la masa de agua caliente $m_2 \approx m_1$ en el calorímetro, mida la temperatura del agua caliente $T_2 \approx 50$ °C.

$$m_2 = \quad \pm$$

$$T_2 =$$

Cierre el calorímetro, mezcle con el agitador y lea la temperatura de la mezcla. Pasados un par de minutos anote la temperatura final T.

$$T =$$

Despeje K de la ecuación anterior y, sustituyendo los datos obtenidos en la experiencia, calcule su valor y el de su error: ΔK .

$$K =$$

$$\Delta K =$$

es decir:

$$K = \quad \pm$$

Recuerde que siempre tendrá que considerar este valor K, al realizar intercambios de calor en el calorímetro.

2.- CALOR ESPECÍFICO DE SÓLIDOS

ALUMINIO

Ponga medio cazo de agua a calentar hasta que alcance el punto de ebullición. Tome el aluminio, mida su masa, átelo con un hilo resistente e introdúzcalo en el cazo para que se caliente. Puede hacer lo mismo con los otros cuerpos.

$$m_{al} = \quad \pm$$

Vierta agua del grifo en el calorímetro, hasta la mitad de su capacidad:

$$m_{af} = \quad \pm$$

Cuando el agua caliente esté hirviendo tendrá que sacar el aluminio e introducirlo en el calorímetro, lo más rápido que pueda pero con cuidado. Antes tome la temperatura del agua fría.

$$T_{af} =$$

La temperatura del aluminio es la misma que la del agua hirviendo.

$$T_{al} =$$

$$(m_{af}+K) c_{agua} (T - T_{af}) + m_{al} c_{al} (T - T_{al}) = 0$$

Busque el valor de c_{agua} en el libro.

De esa ecuación de intercambio de calor, despeje el calor específico del aluminio (c_{al}) y calcúlelo junto a su error (Δc_{al}):

$$c_{al} =$$

$$\Delta c_{al} =$$

luego:

$$c_{al} = \quad \pm$$

Repita el proceso hecho con el aluminio, con los otros dos cuerpos.

LATÓN

$$m_{la} = \quad \pm$$

$$m_{af} = \pm$$

$$T_{af} =$$

$$T_{la} =$$

$$(m_{af}+K) c_{agua} (T - T_{af}) + m_{la} c_{la} (T - T_{la}) = 0$$

$$\Delta c_{la} =$$

luego:

$$c_{la} = \pm$$

ACERO

$$m_{al} = \pm$$

$$m_{af} = \pm$$

$$T_{af} =$$

$$T_{ac} =$$

$$(m_{af}+K) c_{agua} (T - T_{af}) + m_{al} c_{ac} (T - T_{ac}) = 0$$

$$\Delta c_{ac} =$$

luego:

$$c_{ac} = \pm$$

$C_{al} = \pm$	$C_{la} = \pm$	$C_{ac} = \pm$
----------------	----------------	----------------

Tabla 2.1

Compruebe los datos con los que aporta la bibliografía.

3

CALOR LATENTE DE FUSIÓN DEL HIELO

OBJETIVOS

Generales:

- Ilustrar conceptos teóricos sobre calorimetría.
- Formar en la interpretación de datos experimentales.

Específicos:

- Determinar el equivalente en agua de un calorímetro.
- Cálculo del calor latente de fusión del hielo mediante calorimetría.

MATERIAL

- Calorímetro con accesorios.
- Hornillo para calentar.
- Dos jarras para agua.
- Balanza para pesar.
- Agua y hielo.
- Termómetros.
- Pinzas.



Figura 3.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia deberá consultar:

Cualquier libro de *Física* de carácter general.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice III - Gráficas.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

Introducción.

Cuando un cuerpo absorbe o cede calor, normalmente hay una variación en su temperatura, aunque en algunas ocasiones esto no ocurre así, y un cuerpo puede absorber o ceder energía sin experimentar cambios de temperatura. Cuando sucede esto, el cuerpo cambia de fase. Los diferentes tipos de cambios de fase son fusión, vaporización y sublimación, Este fenómeno es explicado fácilmente según la teoría molecular.

En concreto, el agua a una presión de 1 atmósfera pasa de sólido a líquido a 0°C y de líquido a gas a 100°C.

Es necesaria una cantidad específica de energía, dada una cantidad determinada de sustancia, para que tenga lugar el cambio de fase. La energía que se necesita para que tenga lugar la fusión, llamada calor latente de fusión L_f , es entonces proporcional a la masa m de sustancia, en la forma

$$\Delta Q = m L_f$$

Existiendo una fórmula similar para la vaporización.

1.- CÁLCULO DEL EQUIVALENTE EN AGUA DEL CALORÍMETRO

Para medir el intercambio de calor se necesita un recipiente: el calorímetro; en cuyo interior habrá un termómetro y un agitador para homogeneizar la mezcla y la temperatura. Estos elementos: recipiente, termómetro y agitador, también absorben o ceden parte del calor, por lo que hay que tenerlos en cuenta en la ecuación.

Para simplificar, consideraremos que todo ello es equivalente a una *masa ficticia de agua* (K), llamada *equivalente en agua del calorímetro*. Hay que encontrar ese valor de (K) para sumarlo a la masa de agua inicial que ponemos en el calorímetro.

Si m_1 es la masa de agua que inicialmente se coloca en el calorímetro a temperatura T_1 ; m_2 es la masa de agua que se añade a continuación a temperatura T_2 , y T es la temperatura final de la mezcla, entonces:

$$(m_1+K) c (T - T_1) + m_2 c (T - T_2) = 0$$

Prepare una jarra con agua fría a temperatura ambiente.

Ponga a calentar agua hasta que alcance una temperatura de unos 50 o 60 °C.

Vierta en el calorímetro una masa de agua fría m_1 , que ocupe aproximadamente un tercio de su capacidad.

$$m_1 = \quad \pm$$

Nota.- Puede medir las masas de agua por la diferencia de pesos, antes y después de verterla en el calorímetro. Hágalo tanto con el agua fría, como con la caliente y el hielo. Por supuesto no es necesario verter toda el agua de la jarra.

Cierre el calorímetro, agite con suavidad y, al cabo de un par de minutos, lea la temperatura del agua (T_1).

$$T_1 =$$

Vierta el agua caliente en una jarra para pesarla y, cuando esté vertiendo la masa de agua caliente $m_2 \approx m_1$ en el calorímetro, mida la temperatura del agua caliente T_2 , con toda la precisión que pueda.

$$m_2 = \quad \pm \quad T_2 =$$

Cierre el calorímetro, mezcle con el agitador y lea la temperatura de la mezcla con precisión. Pasados un par de minutos anote la temperatura final T.

$$T =$$

Despeje K de la ecuación anterior y, sustituyendo los datos obtenidos en la experiencia, calcule su valor y el de su error: ΔK .

$$K =$$

$$\Delta K =$$

es decir:

$$K = \quad \pm$$

Recuerde que siempre tendrá que considerar este valor K , al realizar intercambios de calor en el calorímetro.

2.- CALOR DE FUSIÓN DEL HIELO

En un recipiente vierta un poco de agua fría y unos cubitos, hasta que pueda considerar que la temperatura es 0 °C.

Mientras tanto llene la mitad del calorímetro, con agua (m_{ac}) a unos 50 °C (mida la masa de agua por diferencia de peso en la balanza). Cierre el calorímetro, agite con suavidad y mida la temperatura del agua caliente (T_{ac}) justo antes de echar los cubitos.

$$m_{ac} =$$

$$T_{ac} =$$

Cuando considere que los cubitos están a 0 °C, sáquelos del agua con unas pinzas, póngalos en otro recipiente sobre la balanza, y eche unos 100 gr de hielo en el calorímetro. Cierre y mida la temperatura del agua hasta que se estabilice. La temperatura final (T) ha de ser superior a 0 °C.

$$m_{hielo} =$$

$$t_{hielo} = 0^\circ$$

$$T =$$

El agua resultante del hielo fundido, se calienta hasta que alcanza la temperatura final de equilibrio. Por lo tanto la ecuación de intercambio de calor es:

$$(m_{ac}+K) c_{agua} (T - T_{ac}) + m_{hielo} L_f + m_{hielo} c_{agua} (T-0) = 0$$

Ya puede calcular el calor de fusión del hielo, con su error.

$$\Delta L_f =$$

luego:

$$L_f = \pm$$

Ponga las unidades correspondientes.

Responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

¿En toda esta experiencia, se han de utilizar los valores de las temperaturas en grados Kelvin, o se pueden utilizar en grados Celsius?

¿Por qué han de estar los cubitos a 0°C cuando se mezclan con el agua caliente con el fin de calcular el calor latente de fusión del hielo?

Haga los comentarios que considere acerca de la práctica.

4

CICLOS TERMODINÁMICOS

OBJETIVOS

Generales:

- Poner en práctica conceptos teóricos.
- Utilizar datos experimentales.
- Valorar errores y precisiones en la medida.

Específicos:

- Determinar el trabajo realizado en un ciclo.
- Representar el ciclo termodinámico.
- Cálculo de errores.

MATERIAL

- Sistema cilindro-émbolo graduado.
- Tubo flexible.
- Recipiente metálico.
- Masas.
- Dos cubetas
- Baño termostático
- Hielo



Figura 4.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General*.

Apéndice I - Instrumentos de medida.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice III - Gráficas.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un proceso termodinámico es el cambio de un sistema de un estado a otro. Cuando este proceso es cíclico, se vuelve al punto de partida al final del mismo. Puesto que la energía interna es función de estado, el cambio neto de energía interna en un proceso de éste tipo será cero. Eso implica que, en base al primer principio de la termodinámica, para procesos cíclicos se cumple que

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \rightarrow 0 = \Delta Q + \Delta W$$

Los procesos de cambio de un estado a otro pueden darse a presión constante, volumen constante, temperatura constante o sin intercambio de calor. Así, pueden definirse como:

Proceso isobárico: El proceso se desarrolla a presión constante, y su trabajo y calor vienen dados por

$$W = P(V_f - V_i)$$

$$Q_p = nC_p \Delta T$$

Esta última expresión puede desarrollarse para un gas monoatómico, $Q_p = \frac{5}{2}nR\Delta T$, y para un gas diatómico, $Q_p = \frac{7}{2}nR\Delta T$.

Proceso isoterma: El proceso se desarrolla a temperatura constante, y para un gas ideal, el trabajo viene dado por

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

En estos procesos, al ser la temperatura constante, la variación de energía interna es nula.

Proceso isócoro: El proceso se desarrolla a volumen constante, por tanto su trabajo es nulo, y el calor coincide con la variación de energía interna.

$$Q_v = nC_v \Delta T$$

Esta expresión puede desarrollarse para un gas monoatómico, $Q_v = \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$, y para un gas diatómico, $Q_v = \Delta U = \frac{5}{2}nR\Delta T$.

Proceso adiabático: El proceso se desarrolla sin intercambio de calor, $\Delta Q=0$, y para un gas ideal, el trabajo viene dado por

$$W = PV^\gamma (V_1^{1-\gamma} - V_2^{1-\gamma})$$

El coeficiente adiabático, γ , dado por el cociente $\frac{C_p}{C_v}$ es igual a $\frac{5}{3}$ en el caso de un gas monoatómico, y $\frac{7}{5}$ para un gas diatómico.

REALIZACIÓN

1. Complete la tabla 4.1 con los valores de la presión atmosférica, diámetro del embolo, área del embolo, masa del embolo y volumen del recipiente metálico.
2. Coloque el embolo aproximadamente a la mitad del cilindro-embolo graduado.
3. Introduzca el recipiente metálico en foco frío, cubeta con hielo. Complete el punto 1 de la tabla 4.2 con los valores de temperatura, presión y volumen. Recuerde que el volumen será la suma del volumen del recipiente metálico, $V_{\text{Recipiente}}$, más la del aire encerrado hasta donde se encuentre embolo, h_1 , y la presión será la presión atmosférica, P_{atm} , más la del embolo.
4. Coloque una masa, m , encima del cilindro-embolo. Complete el punto 2 de la tabla 4.2 con los valores de temperatura, presión y volumen. Recuerde que el volumen será la suma del volumen del recipiente metálico, $V_{\text{Recipiente}}$, más la del aire encerrado hasta donde se encuentre embolo, h_2 , y la presión será la presión atmosférica, P_{atm} , más la del embolo y la masa, m .
5. Introduzca el recipiente metálico en foco caliente, baño termostático. Complete el punto 3 de la tabla 4.2 con los valores de temperatura, presión y volumen. Recuerde que el volumen será la suma del volumen del recipiente metálico, $V_{\text{Recipiente}}$, más la del aire

encerrado hasta donde se encuentre embolo, h_3 , y la presión será la presión atmosférica, P_{atm} , más la del embolo y la masa, m .

6. Elimine la masa, m , situada encima del cilindro-embolo. Complete el punto 4 de la tabla 4.2 con los valores de temperatura, presión y volumen. Recuerde que el volumen será la suma del volumen del recipiente metálico, $V_{Recipiente}$, más la del aire encerrado hasta donde se encuentre embolo, h_4 , y la presión será la presión atmosférica, P_{atm} , más la del embolo.
7. Si se introduce el recipiente metálico en foco frío, cubeta con hielo, se volvería al punto 1 y el ciclo estaría completo.
8. Repita los pasos 2 a 7 con distintas masas y complete las tablas 4.3 y 4.4.

Para el desarrollo de los cálculos, tome la aproximación de que el aire es un gas ideal diatómico que cumple la ecuación de los gases ideales, $PV=nRT$. Recuerde utilizar las unidades correctas en el desarrollo de las operaciones matemáticas.

P_{atm} ()	Diámetro embolo ()	Área embolo ()	Masa embolo ()	$V_{Recipiente}$ ()

Tabla 4.1

Ciclo 1	m ()	P ()	h ()	V ()	T ()
1					
2					
3					
4					

Tabla 4.2

Ciclo 2	m ()	P ()	h ()	V ()	T ()
1					
2					
3					
4					

Tabla 4.3

Ciclo 3	m ()	P ()	h ()	V ()	T ()
1					
2					
3					
4					

Tabla 4.4

Dibuje cada uno de los ciclos termodinámicos en un diagrama PV e indique de qué proceso se trata para cada uno de los cambios de estado.

- 1→2. Proceso ¿Por qué?
- 2→3. Proceso ¿Por qué?
- 3→4. Proceso ¿Por qué?
- 4→1. Proceso ¿Por qué?

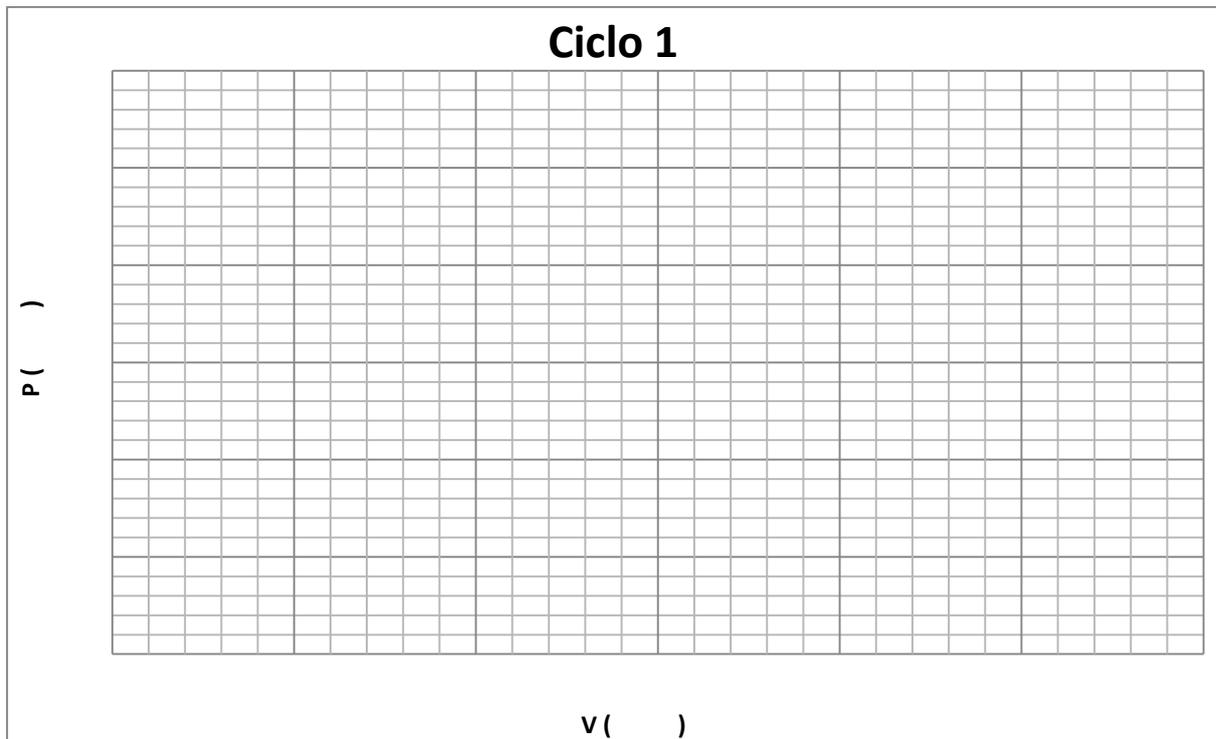


Figura 4.2

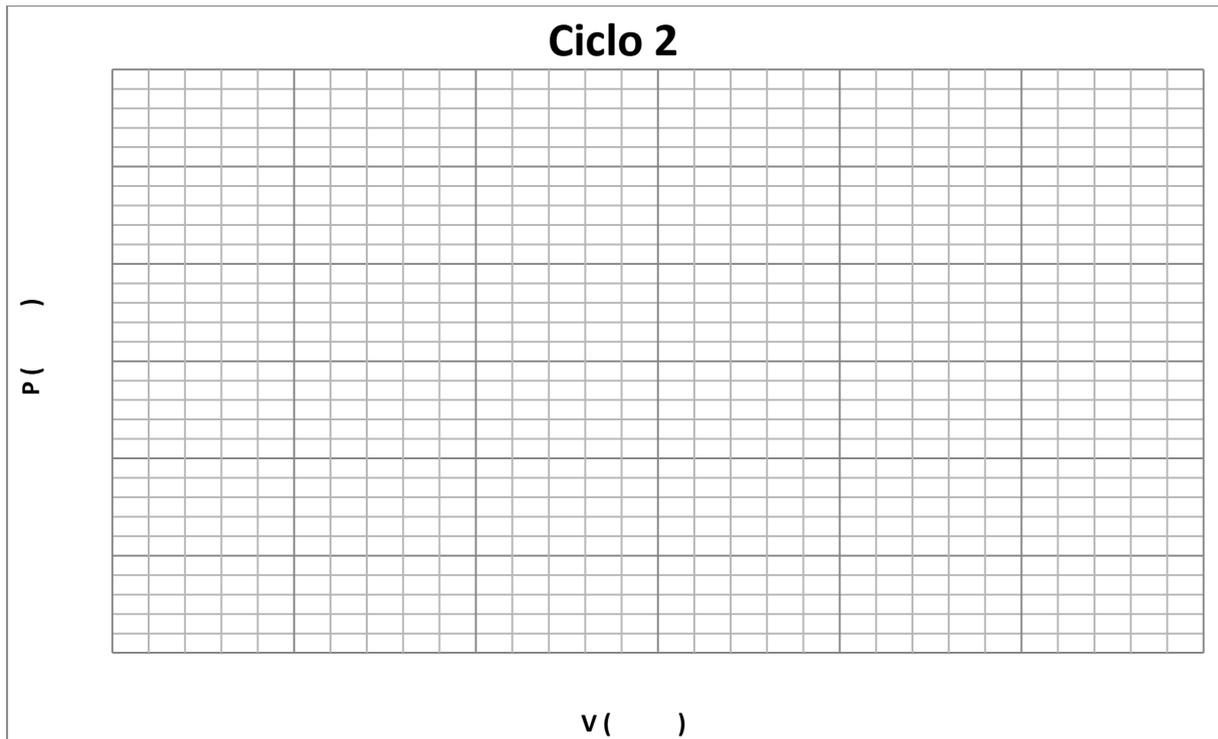


Figura 4.3

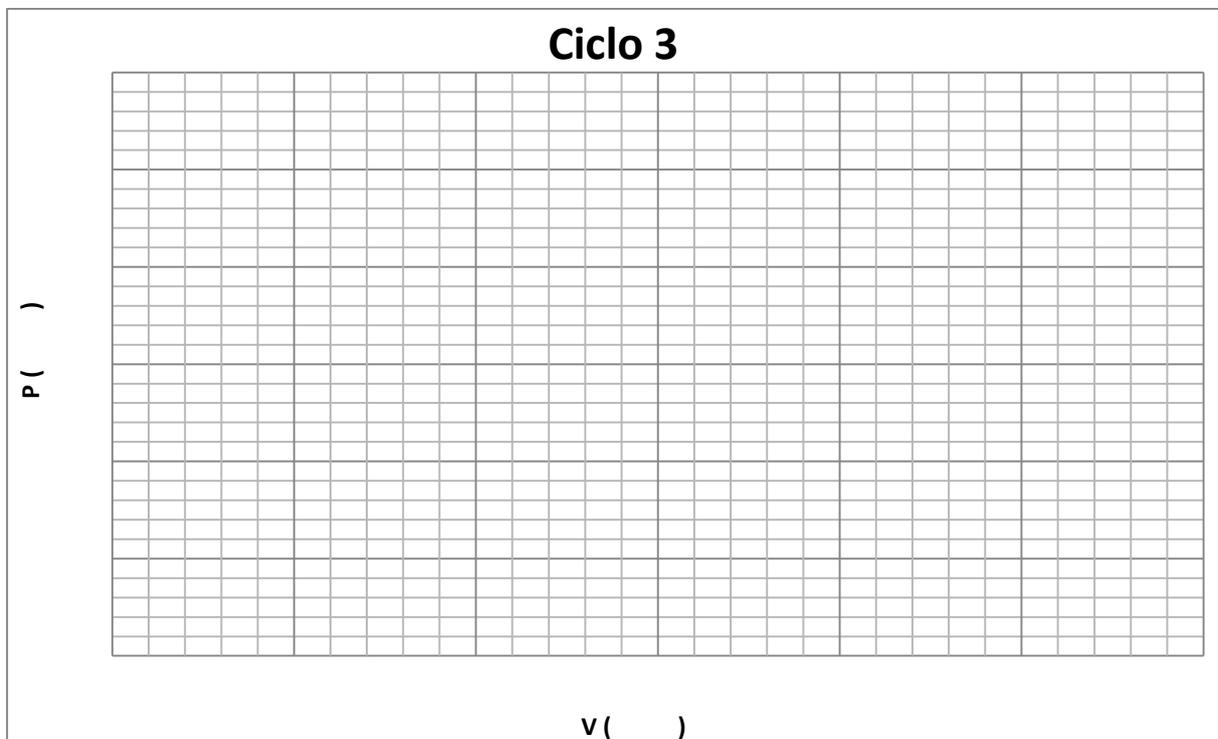


Figura 4.4

Calcule la variación del trabajo, de la energía interna y del calor en cada uno de los procesos.

Ciclo 1	ΔQ ()	ΔW ()	ΔU ()
1→2			
2→3			
3→4			
4→1			
Total del ciclo			

Tabla 4.5

Ciclo 2	ΔQ ()	ΔW ()	ΔU ()
1→2			
2→3			
3→4			
4→1			
Total del ciclo			

Tabla 4.6

Ciclo 3	ΔQ ()	ΔW ()	ΔU ()
1→2			
2→3			
3→4			
4→1			
Total del ciclo			

Tabla 4.7

Justifique en cada proceso si la variación del trabajo, del calor o de la energía interna se ha realizado sobre el sistema o lo ha realizado el sistema. Indique el criterio de signos utilizado.

Indique si podría obtener los mismos valores de trabajo para cada uno de los procesos utilizando la definición de trabajo, $W = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r}$. Justifique su respuesta utilizando los valores obtenidos para el ciclo 1.

5

ONDAS ESTACIONARIAS

OBJETIVOS

Generales:

- Poner en práctica conceptos teóricos.
- Utilizar datos experimentales.
- Valorar errores y precisiones en la medida.

Específicos:

- Determinar la velocidad de la onda.
- Determinar la densidad lineal.
- Estudio de la frecuencia y de la longitud de onda
- Cálculo de errores.

MATERIAL

- Generador de ondas sinodales.
- Cinta métrica.
- Colgadores.
- Cuerda.
- Masas.
- Polea

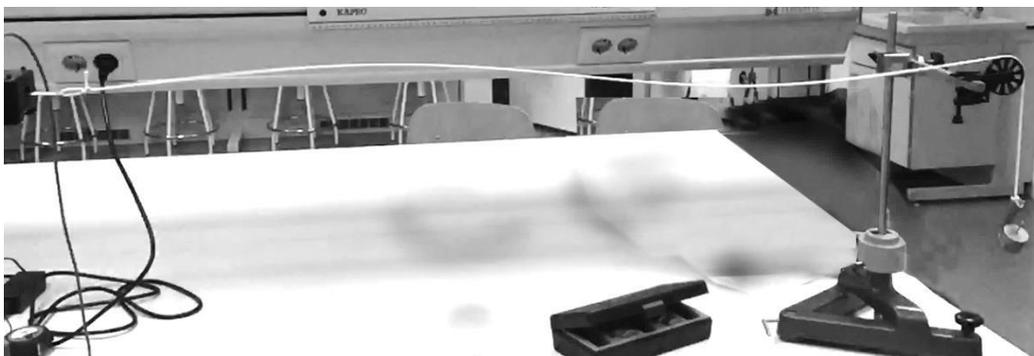


Figura 5.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General*.

Apéndice I - Instrumentos de medida.

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

Las ondas estacionarias son producidas por la interferencia de dos ondas, ambas con la misma longitud de onda, velocidad y amplitud, pero desplazándose en direcciones contrarias en el mismo medio. Las ondas están formados por nodos, puntos que no vibran, por ejemplo los extremos, y por crestas o antinodos, puntos con una amplitud de vibración máxima. Debe recordar que esta amplitud es igual al doble de la de las ondas que interfieren.

Antes de comenzar la práctica debemos realizar el montaje del aparataje instrumental, para ello ataremos una cuerda de 1.5 m de longitud a un generador de ondas sinodales. En el otro extremo, a una distancia de 1.2 m se encuentra una polea de la que cuelga el resto de la cuerda a la que se ha añadido unas masas con su colgador, sumando en total 150 g, Figura 5.1. A continuación mida la distancia L , longitud que va desde el generador a la polea. Conecte el generador de ondas y asegúrese que la amplitud está acero.

En la primera práctica se va a estudiar la longitud de onda (λ), la frecuencia (f) y la velocidad de la onda (v) que viene dada por el producto de las variables anteriores, $v=\lambda f$. Sitúe el botón de amplitud a la mitad de su recorrido. A continuación, haga que la cuerda vibre en un solo segmento la mayor amplitud posible ajustando la frecuencia y la amplitud. Recuerde que cuando la cuerda vibra en un único segmento, la longitud de la cuerda, L , es igual a la mitad de la longitud de la onda, λ . Registre el valor de la frecuencia y su incertidumbre. Repita el proceso para obtener dos y tres segmentos. Recuerde que en este caso la longitud de onda, λ , es igual a la cuerda, L

	f ()	L ()	λ ()	v ()
1 segmento				
2 segmentos				
3 segmentos				

Tabla 5.1

¿Cuál es la relación entre las frecuencias de uno y dos segmentos? ¿y de uno y tres segmentos?

Si toca un antinodo ¿Qué sucede? ¿y en un nodo?

Compare y comente los valores de la tabla 5.1

En la segunda práctica se va a estudiar el efecto de la tensión de la cuerda. Ajuste la frecuencia para que la cuerda vibre en dos segmentos. Sin variar la frecuencia reduzca la masa hasta que la cuerda vibre en cuatro segmentos.

$m_{\text{dos segmentos}} =$ \pm

$m_{\text{cuatro segmentos}} =$ \pm

¿Cuál es la relación entre las masas? ¿Por qué no es 2?

En la tercera práctica se va a estudiar el efecto de la longitud de la cuerda, L . Vuelva a colocar una masa de 150 g y ajuste la frecuencia hasta que se encuentre en un punto entre dos y tres segmentos. Mueva el generador de ondas hacia la polea disminuyendo la longitud de la cuerda, L , hasta que vibre en dos segmentos. Anote el valor la longitud y determine la velocidad de la onda.

$$L = \quad \pm$$

$$v = \quad \pm$$

¿Depende la velocidad de la longitud de la cuerda?

Por último se va a estudiar la densidad lineal de la cuerda, μ . Coloque la longitud de la cuerda a 1.2 m y añada una masa total de 50 g. Ajuste la frecuencia del generador de ondas hasta que la cuerda vibre en cuatro segmentos. Repita el proceso añadiendo 50 g hasta alcanzar 250 g de masa final.

	f ()	L ()
$m_1 =$ ()		
$m_2 =$ ()		
$m_3 =$ ()		
$m_4 =$ ()		
$m_5 =$ ()		

Tabla 5.2

Represente y ajuste gráficamente el cuadrado de la frecuencia, f^2 , frente a la masa, m , obteniendo la pendiente con su correspondiente error. La ecuación de esta recta está relacionada con la expresión $f^2 = \frac{4g}{\mu L^2} m$. Determine la densidad lineal, μ .

$$\mu = \quad \pm$$

6

INSTRUMENTOS ELÉCTRICOS DE MEDIDA. POLÍMETRO

OBJETIVOS

Generales:

- Utilizar instrumentos de medida de corriente.

Específicos:

- Montar un circuito eléctrico.
- Usar el polímetro o multímetro.
- Determinar los parámetros de una pila.

MATERIAL

- 2 polímetros con su manual.
- Pila.
- Conjunto de resistencias.
- Pinzas de conexión.
- Cables.

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Cualquier libro de *Física* de carácter general.

Apéndice I - Instrumentos de medida.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice V - Código de colores de resistencias eléctricas.

Manual del polímetro.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

Si se trata de medir corriente continua (c.c.), las cargas circulan siempre en el mismo sentido y el polímetro posee una polaridad que hay que respetar (si la conexión no es adecuada el valor aparece negativo). En corriente alterna (c.a.) no aparece tal signo.

Para medir intensidades, el polímetro se coloca en modo amperímetro (nombre habitual con que se designa al medidor de intensidad), y se conecta siempre en serie; es decir, la corriente del elemento del circuito, cuya intensidad medimos, ha de cruzar el medidor. En consecuencia, es necesario “desconectar” el circuito y conectar ahí los terminales del amperímetro.

El polímetro en modo voltímetro, mide diferencias de potencial (d.d.p.) entre dos puntos A y B del circuito. Se conecta una sonda en A y la otra en B, sin desconectar el elemento del circuito (conexión en paralelo).

Monte el circuito de la figura y mida con los polímetros las magnitudes necesarias para rellenar la tabla, para cada una de las cinco resistencias que ha de ir sustituyendo en R.

E es la f.e.m. (fuerza electromotriz) de la pila y r_i su resistencia interna.

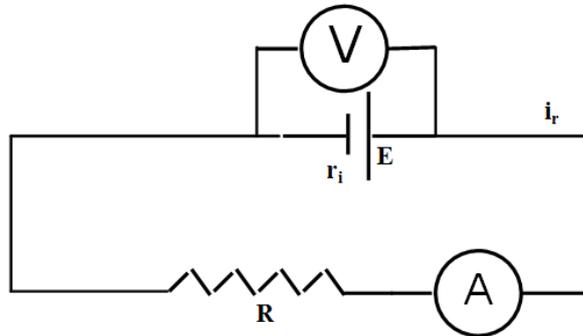


Figura 6.1

	E	V_R (Voltímetro)	E/R	i_R (Amperímetro)
$R_1 =$				
$R_2 =$				
$R_3 =$				
$R_4 =$				
$R_5 =$				

Tabla 6.1

¿A qué se pueden deber las diferencias de las últimas columnas de cada fila?

Si observa detenidamente el cuadro de valores notará que también hay unas diferencias entre la segunda y tercera columna. ¿A qué cree que se puede deber?

Medida de la resistencia interna de una pila o batería

Repase lo que dice su libro de texto sobre pilas y baterías. Cuando una pila está activa en un circuito, la d.d.p. entre sus extremos no coincide con “E”. En términos energéticos, parte de la energía que suministra la pila se consume en hacer pasar las cargas a través de su propia resistencia interna r_i .

Una pila real se suele representar como una pila ideal en serie con su resistencia interna.

Aplicando la 2ª ley de Kirchhoff a la malla de la figura, se obtiene para la r_i la expresión:

$$r_{\text{interna pila}} = \frac{E - V_R}{i_R}$$

Complete la siguiente tabla basándose en la anterior:

	$E - V_R$ (voltímetro)	i_R	$r_{\text{interna pila}} = \frac{E - V_R}{i_R}$
$R_1 =$			
$R_2 =$			
$R_3 =$			
$R_4 =$			
$R_5 =$			

Tabla 6.2

Determine el valor medio de r_{interna} y error.

$$\mathbf{r}_{\text{interna}} = \quad ; \quad \mathbf{s}(\mathbf{r}_{\text{interna}}) =$$

Compruebe la ley de conservación de la energía en el circuito.

7

LEYES DE OHM Y DE KIRCHHOFF

OBJETIVOS

Generales:

- Comprobar la ley de Ohm en un circuito sencillo de corriente continua.
- Manejar datos experimentales.

Específicos:

- Hacer montajes de resistencias en serie, en paralelo y mixto.
- Aplicar las leyes de Kirchhoff.

MATERIAL

- Fuente de alimentación.
- 2 Polímetros.
- Juego de resistencias.
- Cables de conexión.

TEXTOS DE APOYO

Para la correcta realización de la práctica se precisa consultar:

Cualquier libro de *Física* de carácter general.

Apéndice I - Instrumentos de medida.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice V - Código de colores de resistencias eléctricas.

Manual del polímetro.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

Cuando en un circuito alimentado por un generador se conecta una resistencia, la intensidad que circula por el circuito es según la ley de Ohm $I = \frac{V}{R}$.

Como aplicación de la ley de Ohm, se estudia la asociación de resistencias serie, paralelo y mixta.

ASOCIACIÓN DE RESISTENCIAS

El objetivo de esta práctica es comprobar que la corriente que circula por varias resistencias en serie, es la misma que si todas ellas se sustituyeran por una sola, que se denomina resistencia equivalente.

Cuando en un circuito alimentado por un batería, se conectan varias resistencias en serie, la intensidad que circula por el circuito es la misma y la resistencia equivalente a todas ellas, es igual a la suma de las resistencias.

$$R_{\text{equiv.}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Resistencias en serie

Cuando un conjunto de elementos están conectados como en la fig. 7.1 se dice que están en serie. El dibujo representa tres resistencias y una pila o batería.

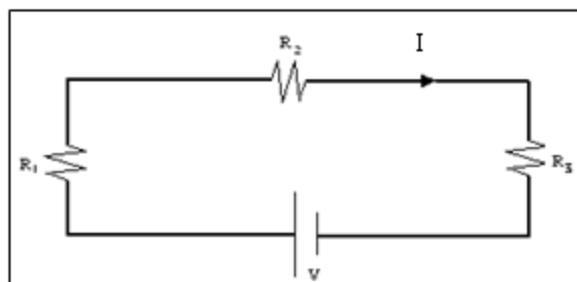


Figura 7.1

Monte tres resistencias en serie con la fuente de alimentación. Con los polímetros tome lecturas y complete el siguiente cuadro de valores. Tenga en cuenta que ha de hacer una desconexión para medir la intensidad.

Valores experimentales	$V = V_1 + V_2 + V_3$ (V)							
	I (mA)							
	V_1 (V)							
	V_2 (V)							
Valores calculados	V_3 (V)							
	$R_1 = V_1/I$ (k Ω)							
	$R_2 = V_2/I$ (k Ω)							
	$R_3 = V_3/I$ (k Ω)							
Código de colores	$R = R_1 + R_2 + R_3$ (k Ω)							
	$R_{equiv.} = V/I$ (k Ω)							
Código de colores	R_1 (k Ω)							
	R_2 (k Ω)							
	R_3 (k Ω)							

Tabla 7.1

Con los datos obtenidos, sacar las conclusiones que procedan y verificar si se cumple que la resistencia equivalente es la suma de las otras dos. Escriba la expresión del error de "I".

$$\Delta I =$$

Resistencias en paralelo

La figura 7.2 representa un conjunto de resistencias en paralelo con una pila.

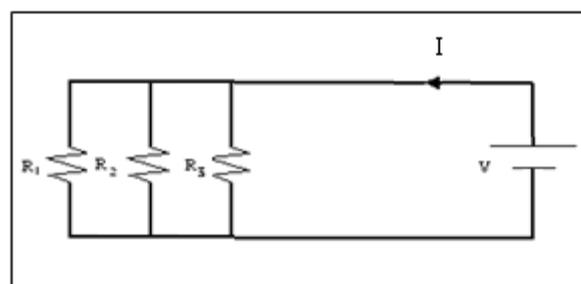


Figura 7.2

Monte tres resistencias de acuerdo con la figura 7.2 y complete el cuadro de valores siguiente con ayuda de los polímetros. Recuerde que para medir las intensidades necesita desconectar la resistencia correspondiente.

Valores experimentales	V (V)							
	$I = I_1 + I_2 + I_3$ (mA)							
	I_1 (mA)							
	I_2 (mA)							
	I_3 (mA)							
Valores calculados	$R_1 = V/I_1$ (kΩ)							
	$R_2 = V/I_2$ (kΩ)							
	$R_3 = V/I_3$ (kΩ)							
	$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$ (kΩ)							
Por el código de colores	$R_{equiv.} = V/I$ (kΩ)							
	R_1 (kΩ)							
	R_2 (kΩ)							
	R_3 (kΩ)							

Tabla 7.2

De nuevo, con los datos obtenidos, sacar las conclusiones que procedan y verificar si se cumple que la inversa de la resistencia equivalente es la suma de las inversas de las otras dos. Escriba la expresión del error de “I”.

$$\Delta I =$$

Ejemplo de asociación mixta.

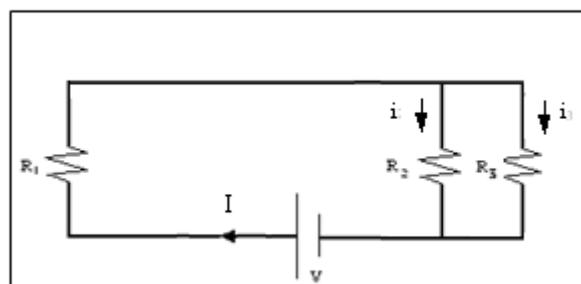


Figura 7.3

Monte el circuito de la figura 7.3, eligiendo resistencias de valores sensiblemente diferentes. Calcule los valores teóricos de las intensidades y tome lectura de las mismas, completando la tabla que sigue:

	V	R ₁	R ₂	R ₃	i ₁	i ₂	i ₃
lectura							
teórico							
Δ							

Tabla 7.3

Cambie de posición las resistencias R₁ y R₂ y tome lectura de las corrientes y póngalas en la tabla que sigue.

Reponga las resistencias cambiadas y cambie ahora R₁ con R₃ para tomar medidas de nuevo y completar la tabla.

	i ₁	i ₁ (teórico)	i ₂	i ₂ (teórico)	i ₃	i ₃ (teórico)
Cambiando R ₁ con R ₂						
Cambiando R ₁ con R ₃						

Tabla 7.4

Compruebe que se cumplen las leyes de Kirchhoff.

8

LENTES DELGADAS

OBJETIVOS

Generales:

- Poner en práctica conceptos teóricos.
- Utilizar datos experimentales.
- Valorar errores y precisiones en la medida.

Específicos:

- Medir la longitud focal de una lente delgada y el aumento.
- Emplear dos procedimientos.

MATERIAL UTILIZADO

- FUENTE DE LUZ.

- Banco óptico.
- Lentes convergentes (+100mm.).
- Pantalla.
- Metro.

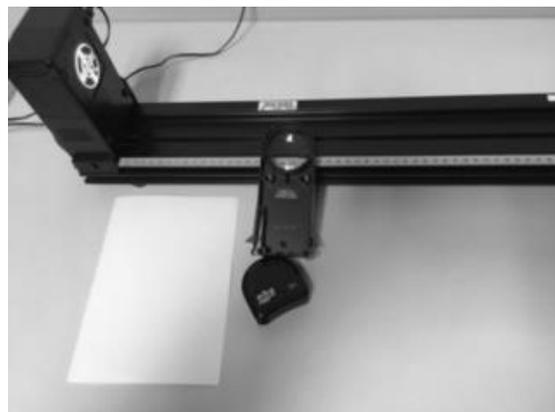


Figura 8.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General (Óptica)*.

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

EXPLICACIÓN TEÓRICA

Los parámetros de una lente delgada cumplen la relación:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Donde f es la distancia focal de la lente, d_o y d_i son, respectivamente, las que hay desde la lente al objeto y a la imagen (fig.8.2).

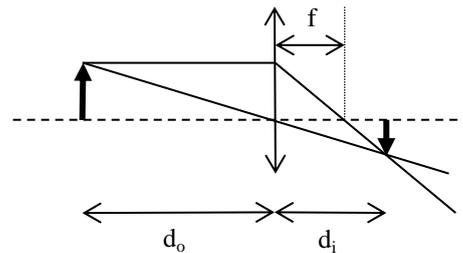


Figura 8.2

Así, la focal de una lente puede determinarse mediante la medida de d_o y d_i.

El aumento (M) es el cociente entre el tamaño de la imagen y el del objeto. Si la imagen está invertida, M es negativo.

REALIZACIÓN

MÉTODO 1. OBJETO EN EL INFINITO

Se calcula la focal de la lente midiendo d_i y aproximando d_o a infinito.

- 1.- Sostenga la lente con una mano y la pantalla con la otra hasta que consiga enfocar en la pantalla la imagen de un objeto lejano (una ventana,...).
- 2.- Cuando enfoque el objeto, su compañero medirá la distancia entre la lente y la pantalla. Anote esta medida en la tabla 8.1.
- 3.- Pase a su compañero la lente y la pantalla y repitan los apartados 1 y 2.
- 4.- Repitan el proceso hasta completar la tabla 8.1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d _i (cm)										

Tabla 8.1

Promedie los valores d_i y use la fórmula para calcular la focal de la lente.

$$d_i =$$

$$\Delta d_i =$$

$$f = \pm$$

MÉTODO 2.

En este método se determina la focal de la lente tomando medidas de las distancias imagen y objeto y representando gráficamente $\frac{1}{d_o}$ frente a $\frac{1}{d_i}$.

1.- Sitúe la fuente de luz y la pantalla en el banco óptico a 1 metro de distancia, y colóquela de manera que las flechas cruzadas miren hacia la pantalla y sitúe la lente entre ambos objetos (fig. 8.3).



Figura 8.3

2.- Deslice la lente hasta que las flechas cruzadas se enfoquen en la pantalla. Mida las distancias objeto e imagen y anótelas en la tabla 8.2.

3.- Mida el tamaño de la imagen y del objeto.

4.- Deslice la lente hasta otra posición donde vuelva a ver con nitidez la imagen del objeto en la pantalla.

5.- Anote los mismos datos para esta nueva posición. Si no ve la imagen entera use parte de la flecha como referencia.



Figura 8.4

6.- Repita los pasos 2 y 4 para distancias entre la fuente de luz y la pantalla de 90 cm, 80 cm, 70 cm y 50 cm y complete la tabla 8.2.

Distancia (cm)	d_o	d_i	$1/d_o$	$1/d_i$	Tamaño imagen	Tamaño objeto
100						
90						
80						
70						
60						
50						

Tabla 8.2

Distancia focal.

Haga una gráfica tomando $x = \frac{1}{d_o}$, e $y = \frac{1}{d_i}$. De este modo la fórmula de las lentes delgadas es $y = \frac{1}{f} - x$.

Debe salir una línea recta que corta al eje x y al eje y a una distancia igual a la inversa de la focal de la lente. Anote los resultados (incluyendo las unidades).

$$\text{corte con eje } x = \frac{1}{f} =$$

$$\text{corte con eje } y = \frac{1}{f} =$$

Promedie los dos valores obtenidos para la focal, acotando su error, y compárelo con el obtenido según el método anterior.

$f =$	\pm
-------	-------

Aumento

1.- Para los dos primeros datos anotados en la tabla 2, use las distancias objeto e imagen para calcular el aumento de la lente en cada posición y anote los resultados en la tabla 8.3.

$$M = -\left(\frac{d_i}{d_o}\right) =$$

2.- Calcule el valor absoluto de M para cada una de las dos posiciones de la lente utilizando los datos del tamaño del objeto y de la imagen.

$$|M| = \frac{\text{tamaño imagen}}{\text{tamaño objeto}} =$$

	Posición 1	Posición 2
M		
M		

Tabla 8.3

Calcule los valores medios de M y |M|. Compare los resultados.

$$\overline{M} = \quad ; \quad \overline{|M|} =$$

RESPONDA A LAS SIGUIENTES CUESTIONES

¿La imagen formada por la lente está derecha o invertida?

¿Es una imagen real o virtual? ¿Por qué?

¿Por qué hay dos posiciones en las que se enfoca una imagen para cada una de las distancias entre el objeto y la pantalla?

¿Por qué el aumento es negativo?

9

LEY DE SNELL

OBJETIVOS

Generales:

- Practicar conceptos sobre la luz.
- Familiarizarse con errores en la medida.

Específicos:

- Medir los ángulos de incidencia y refracción de la luz en un cristal. Se usará la Ley de Snell para el calcular el índice de refracción, usando dos métodos diferentes.

MATERIAL

- FUENTE DE LUZ.
- PRISMA DE CRISTAL.
- Porta ángulos.
- Regla métrica.
- Papel en blanco.



Figura 9.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Libro de Física general (Óptica).

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

EXPLICACIÓN TEÓRICA.

Cuando la luz atraviesa una superficie que separa dos medios transparentes, la Ley de Snell dice,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Donde θ_1 es el ángulo de incidencia y θ_2 el de refracción, siendo n_1 y n_2 los índices de refracción de los dos medios. (figura 9.2).

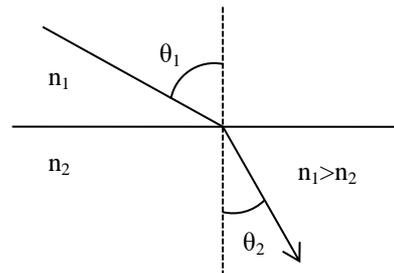


Figura 9.2

REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

MÉTODO 1°

1. Sitúe la fuente de luz sobre la hoja de papel en blanco. Enciéndala y gire la rueda hasta seleccionar “rayo simple”.
2. Ponga el prisma sobre el papel, delante de la fuente de luz, de manera que el rayo de luz atraviese los lados paralelos del cristal.
3. Marque con un lápiz, en el papel, la posición de los lados paralelos del cristal y de los rayos incidente y transmitido, indicando su dirección con flechas. Con cuidado marque puntos donde el rayo entra A y sale B del cristal.
4. Quite el prisma y dibuje una línea que conecte A y B, que representa el camino del rayo de luz dentro del cristal.
5. Dibuje líneas perpendiculares a las superficies del prisma en A y B.
6. Mida los ángulos de incidencia (θ_i) y de refracción (θ_r) con el porta ángulos y apunte sus resultados en la tabla 9.1. Esos ángulos han de ser medidos desde la normal. No extravíe la hoja de papel con el dibujo que ha realizado.
7. Repita los pasos de 2 a 6 en distintas posiciones del papel, incrementando el ángulo de incidencia y rellene la tabla 9.1. Incremente el ángulo para que pueda dibujar cinco posiciones distintas.

θ_i	θ_r	n

Tabla 9.1

Promedie los valores del índice de refracción (n) y su error Δn . Compárelo con el valor aceptado ($n_{\text{teórico}} = 1,5$).

Qué ángulo forma el rayo incidente con el rayo refractado?

MÉTODO 2

Ya ha visto que cuando la luz atraviesa un dieléctrico, de caras plano paralelas, el rayo incidente y el que emerge son paralelos y están desplazados una cierta distancia (d).

Figura 9.3.

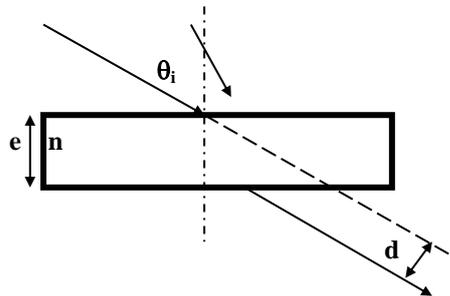


Figura 9.3

Recupere los dibujos que hizo en el método 1. Mida la distancia (d) entre la prolongación del rayo incidente y el que emerge del prisma.

A partir de la Ley de Snell y de relaciones trigonométricas, se puede relacionar la distancia (d), con el espesor de la lámina de dieléctrico (e), el ángulo de incidencia (θ_i) y el índice de refracción de la lámina (n).

El resultado es la ecuación siguiente:

$$n^2 = \frac{1 - 2 \frac{d}{e} \sin \theta_i + \left(\frac{d}{e}\right)^2}{\left(1 - \frac{d}{e \sin \theta_i}\right)^2}$$

Con esos datos rellene la tabla 9.2.

θ_i	Distancia d	n

Tabla 9.2.

Halle la media de los cinco valores de (n) y el error Δn .

$$n =$$

Es un buen ejercicio matemático deducir la ecuación empleada. Hágalo.

10

REFLEXIÓN DE LA LUZ EN ESPEJOS

OBJETIVOS

Generales:

- Practicar conceptos sobre la luz.
- Familiarizarse con errores en la medida.

Específicos:

- Medir los ángulos de incidencia y refracción de la luz en un cristal.
- Determinar la distancia focal y el radio de curvatura.

MATERIAL

- Fuente de luz.
- Porta ángulos.
- Regla métrica.
- Papel en blanco.
- Compas.
- Espejo plano, cóncavo y convexo.

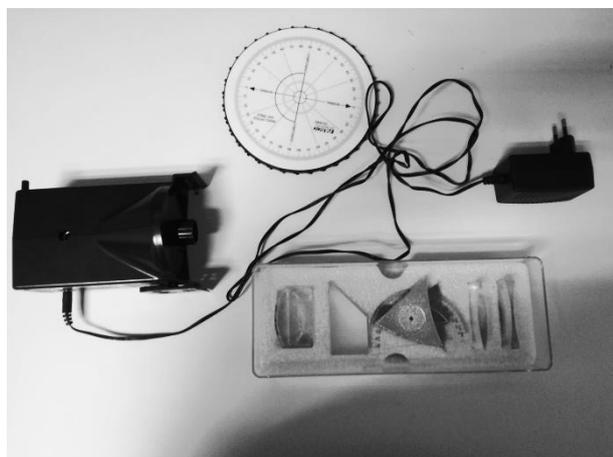


Figura 10.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Libro de Física general (Óptica).

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

ESPEJO PLANO

1. Sitúe la fuente de luz sobre la hoja de papel en blanco. Enciéndala y gire la rueda hasta seleccionar “rayo simple”.
2. Ponga el espejo plano sobre el papel, delante de la fuente de luz, de manera que pueda observar el rayo incidente y el reflejado.
3. Marque con un lápiz, en el papel, los rayos incidente y reflejado indicando su sentido, figura 10.2.
4. Dibuje la normal a superficie en el punto coincidente de los rayos incidente y reflejado.
5. Mida los ángulos incidente y reflejado.
6. Repita los paso anteriores hasta completar la tabla 10.1.

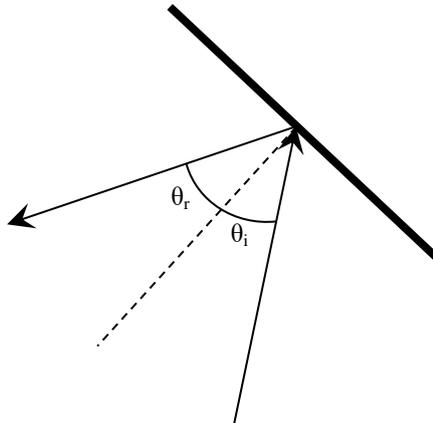


Figura 10.2

Ángulo incidente, θ_i	Ángulo reflejado, θ_r

Tabla 10.1

¿Cuál es la relación entre el ángulo incidente y reflejado?

Seleccione los tres colores primarios en la fuente de luz y refléjelos sobre el espejo plano. Dibuje los rayos incidentes y reflejados de cada uno de los colores indicando su sentido. ¿Qué le sucede a los rayos coloreados una vez reflejados? ¿Por qué?

ESPEJO CONCAVO

9. Sitúe la fuente de luz sobre la hoja de papel en blanco. Enciéndala y gire la rueda hasta seleccionar “cinco rayos paralelos”.
10. Ponga el espejo cóncavo sobre el papel, delante de la fuente de luz, de manera que pueda observar los rayos incidentes y reflejados.
11. Marque con un lápiz, en el papel, los rayos incidentes y reflejados. En el punto donde se cruzan los 5 rayos reflejados es el punto focal del espejo, centro óptico, figura 10.3.
12. Mida la distancia focal, f , distancia desde el centro de la superficie al punto focal.
13. Mida el radio de la curvatura del espejo, R , utilizando un compás.

Distancia focal, f ()	Radio de curvatura, R ()

Tabla 10.2

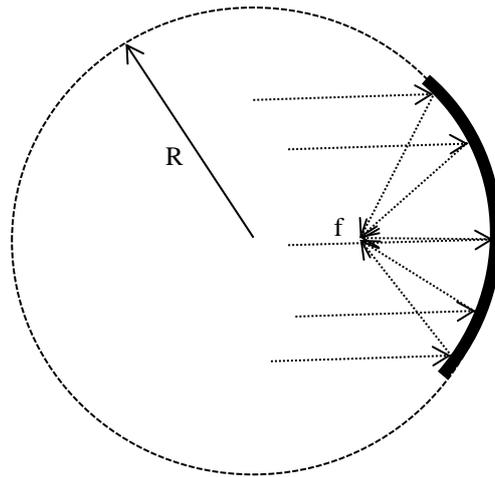


Figura 10.3

¿Qué relación hay entre el radio de curvatura y la distancia focal?

ESPEJO CONVEXO

1. Sitúe la fuente de luz sobre la hoja de papel en blanco. Enciéndala y gire la rueda hasta seleccionar “cinco rayos paralelos”.
2. Ponga el espejo convexo sobre el papel, delante de la fuente de luz, de manera que pueda observar los rayos incidentes y reflejados.
3. Marque con un lápiz, en el papel, los rayos incidentes y reflejados. Utilice una regla para continuar los rayos reflejados y determine el punto focal del espejo, punto donde se cruzan los 5 rayos, figura 10.4.
4. Mida la distancia focal, f , distancia desde el centro de la superficie al punto focal.
5. Mida el radio de la curvatura del espejo, R , utilizando un compás.

Distancia focal, f ()	Radio de curvatura, R ()

Tabla 10.3

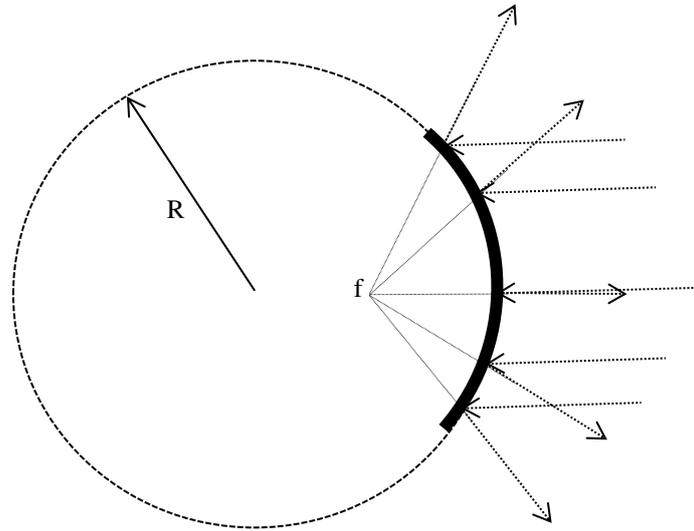


Figura 10.4

¿Qué relación hay entre el radio de curvatura y la distancia focal?

¿Qué radio de curvatura tiene un espejo plano?

11

INTERFERENCIA Y RED DE DIFRACCIÓN

OBJETIVOS

Generales:

- Examinar figuras de interferencia luminosa de “doble ranura” y red de difracción.

Específicos:

- Medir la separación de dos ranuras por las que se difracta luz y hallar el número de líneas por mm de una red de difracción.

Material

- Banco óptico.
- Pantalla blanca.
- Soportes.
- Micrómetro.
- Fotómetro.
- Cinta métrica.
- Láser de He-Ne ($\lambda=632.8$ nm.).
- Diapositiva de doble ranura.
- Red de difracción.

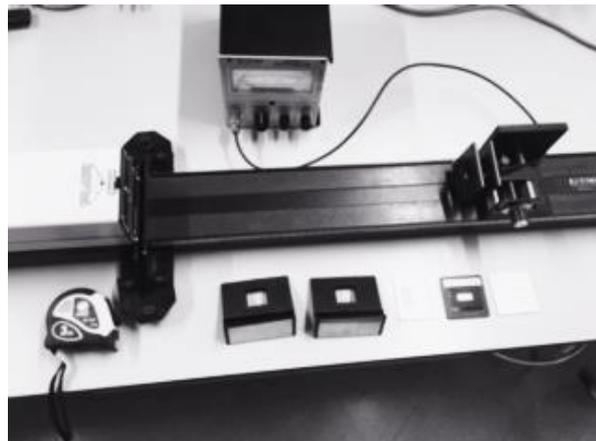


Figura 11.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General (Óptica)*.

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

Realización

I.- Encienda el láser y centre el haz de luz con el banco. Ponga la diapositiva de doble ranura, de manera que la luz la atraviese, y use de pantalla la pared. Pruebe con distintas distancias entre ranuras.

¿Puede explicar lo que ve?.....

Elija una doble ranura con la que mejor distinga los mínimos de luz. Centre la imagen en la pantalla. Desplace el fotómetro por la interferencia midiendo las distancias entre mínimos de luz.

d (mm)														
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 11.1

Busque la fórmula en el libro y calcule la distancia entre ranuras y su error.

d=

Δd =

Compruebe el dato con el que se indica en la diapositiva.

II.- Ponga la red de difracción y, usando la pared como pantalla, mida el ángulo de los distintos máximos de luz que pueda. Use la fórmula del texto para calcular el número de líneas por milímetro de la red de difracción que está usando.

N=

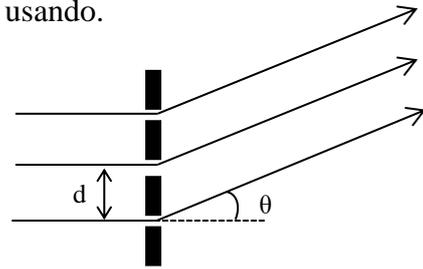


Figura 11.2.- Red de difracción

Anote los comentarios que estime oportuno....

12

REFLEXIÓN DE LA LUZ Y ÁNGULO DE BREWSTER

OBJETIVOS

Generales:

- Examinar algunas propiedades sencillas de la luz.
- Investigar los errores que cometemos al medir.

Específicos:

- Comprobar la ley de reflexión.
- Medir el ángulo de Brewster.

Material

- Banco óptico.
- Pantalla con escala.
- Soporte giratorio.
- Lámina gruesa de dieléctrico.
- Polarizador.
- Soportes.
- Láser de He-Ne ($\lambda=632.8$ nm.).

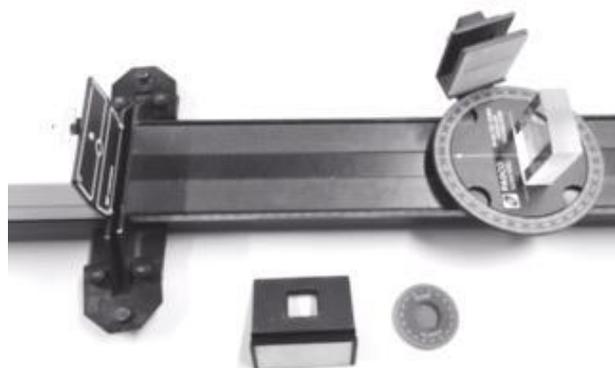


Figura 12.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Libro de Física general (Óptica).

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

Coloque en el banco óptico el láser y el soporte giratorio. Todo ello bien apoyado y orientado con la pantalla. Encienda el láser y centre el haz de luz con el banco, tanto vertical como horizontalmente. Familiarícese con el mecanismo del soporte giratorio y las referencias para medir.

LEY DE REFLEXIÓN.

Coloque el dieléctrico y la pantalla para ver la luz reflejada de manera adecuada, según se indica en la figura 12.2. Alinee el “cero” del soporte con la normal del cristal.

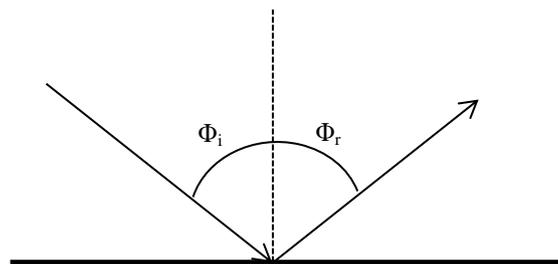


Figura 12.2

¿Por qué aparecen dos puntos luminosos en la pantalla?.....

Complete la tabla que sigue y haga una gráfica para el ángulo de incidencia frente al ángulo de reflexión.

Φ_i	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	$\Phi_i =$
Φ_{rf}									$\Phi_{rf} =$

Tabla 12.1

Damos por supuesto que ambos ángulos son iguales: **Ley de reflexión.**

$$\Phi_i = \Phi_{rf}$$

Si las medidas que ha tomado indican que dicha ley no es correcta, es probable que haya hecho las cosas de manera algo descuidada. Si es su caso, revise lo hecho y de una segunda oportunidad a la ley de reflexión.

Comente los errores cometidos.

ÁNGULO DE BREWSTER

Alinee el haz del láser con la plataforma y con el dieléctrico, y coloque cerca el polarizador. Gire la plataforma unos 50° y coloque la pantalla de manera que vea bien la luz reflejada. Ahora gire el polarizador lentamente, hasta que observe que la luz de la pantalla se reduce al mínimo. En tal situación, gire despacio el dieléctrico hasta que la luz reflejada desaparezca.

El ángulo de incidencia para el que ocurre esto se llama: **ángulo de Brewster**.

Observe el ángulo del polarizador y encuentre si la reflexión desaparece cuando la luz está polarizada en un plano paralelo o perpendicular al plano de incidencia.

Mida este ángulo diez veces, cambiando el ángulo del dieléctrico y ajustándolo de nuevo al mínimo, hasta completar la tabla que sigue.

Φ_i										
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 12.2

Halle el valor medio del ángulo $\Phi_i = \dots$

y el error $\Delta\Phi_i = \dots\dots$

Compare con el valor del índice de refracción calculado en el apartado anterior y compruebe que este efecto ocurre cuando los rayos refractado y reflejado son perpendiculares.

Haga los comentarios que estime oportuno.

13

DIFRACCIÓN

OBJETIVOS

Generales:

- Examinar la difracción de la luz frente a objetos pequeños, en una pantalla “suficientemente” alejada del objeto (difracción de Fraunhofer).
- Valorar errores y precisiones en la medida.

Específicos:

- Difracción debida a rayas rectas y aberturas circulares.
- Medir la anchura o el radio de éstos.

MATERIAL

- Banco óptico.
- Pantalla blanca.
- Soportes.
- Micrómetro.
- Fotómetro.
- Cinta métrica.
- Laser de He-Ne ($\lambda=632.8$ nm.).
- Diapositivas de objetos pequeños.



Figura 13.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General (Óptica)*.

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

I.- Encienda el láser y centre el haz de luz en el banco. Ponga la diapositiva de ranuras, de manera que la luz atraviese una ranura. Use como pantalla la pared.

Pruebe distintas ranuras.

¿Puede explicar lo que ve?.....

Elija una ranura de las más estrechas.

La anchura de la ranura se puede calcular por la ecuación:

$$a = \frac{L\lambda(2n - 1)}{2y}$$

Trate de deducirla por su cuenta, a partir del esquema de difracción. Siendo n el número de orden de la banda oscura (1 para la más próxima al centro, 2, 3, etc.).

Tome tres medidas al menos y calcule (**a**, **Δa**).

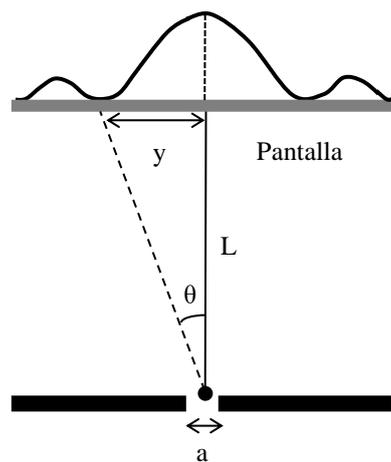


Figura 13.2.- Esquema de difracción

a=				a=	Δa=
----	--	--	--	----	-----

Tabla 13.1

Use la pantalla para centrar la imagen de difracción y valorar la distancia entre mínimos. Coloque el fotómetro a unos 100 cm. Con el mando del micrómetro, desplace el sensor del fotómetro barriendo la difracción, y mida la distancia entre mínimos de intensidad del patrón de difracción.

Complete la tabla.

a =								a =	$\Delta a =$
-----	--	--	--	--	--	--	--	-----	--------------

Tabla 13.2

¿Aumenta la precisión de (a, Δa)?

II.- Coloque la diapositiva de las aberturas circulares y use la pared como pantalla.

Ahora la ecuación es:

$$d = 1,22 \frac{L\lambda}{r}$$

Mida el radio (r) del primer círculo oscuro de la difracción, puede medir el diámetro y dividir por dos.

Complete la tabla y calcule el diámetro de la abertura.

r =								r =	$\Delta r =$
d =								d =	$\Delta d =$

Tabla 13.3

III.- Ahora trate de medir el grosor de uno de sus cabellos.

APÉNDICE I

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

I.1.- CALIBRE O PIE DE REY

El calibre es un instrumento utilizado para medir pequeñas longitudes, figura I.1:

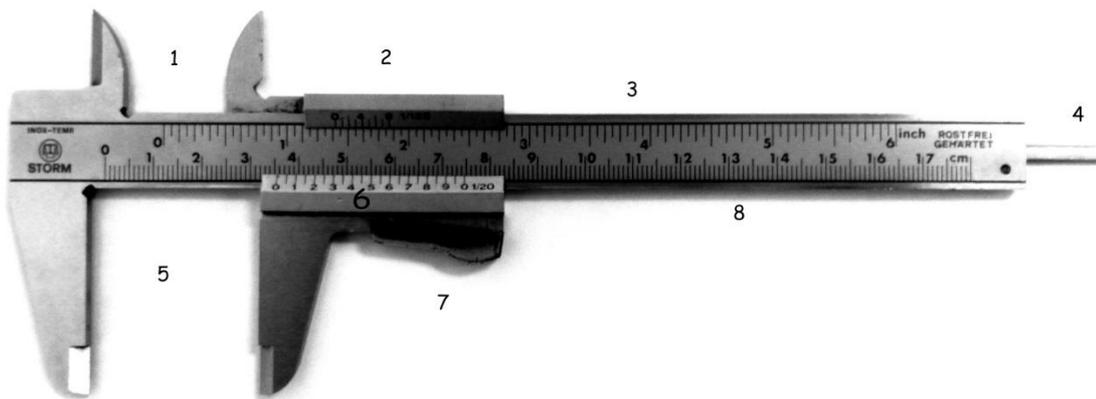


Figura I.1

Está formado por:

1. Mandíbula para medidas internas.
2. Nonio o nonius para fracciones de pulgada (parte móvil).
3. Escala en pulgadas.
4. Varilla para medir profundidades.
5. Mandíbula para medidas externas.
6. Nonio o nonius para fracciones de milímetros (parte móvil).
7. Freno de la parte móvil.
8. Escala en centímetros y milímetros.

Para el uso del calibre, en primer lugar debe evitar el error de cero, para ello junte las mandíbulas y observe si en la escala principal marca cero, en caso contrario, deberá aplicar la corrección correspondiente a la medida.

En segundo lugar utilice la parte correspondiente del calibre para medir el objeto, ya sea una medida interna, externa o de profundidad. Una vez haya ajustado el calibre a la pieza a medir, para obtener un resultado con exactitud debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Ubicar la posición del cero de la parte móvil, en el caso del ejemplo entre 3.5 y 3.6 cm, figura I.2.
2. Ubique la posición de la primera línea nonius que coincide con una línea de la parte fija. La numeración de esta línea nos indica el valor de la fracción de los milímetros ($1/20$), que en el caso del ejemplo tendríamos la medida de 3.555 cm, figura I.2.

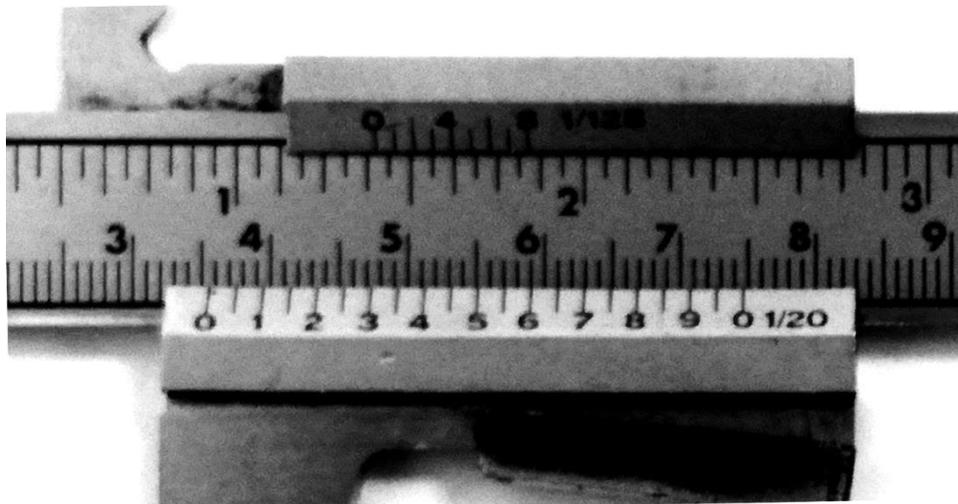


Figura I.2

I.2.- MICRÓMETRO

El palmer, micrómetro o tornillo micrométrico es un instrumento utilizado para medir pequeñas longitudes, generalmente de espesor, figura I.3. Está formado por:

1. Elemento móvil (derecha) y tope (izquierda) que determinan la medida del palmer.
2. Bloqueo del elemento móvil.
3. Escala fija en milímetros. Cada división corresponde a 0.5 mm.

4. Escala móvil, generalmente con 50 divisiones. Una vuelta completa correspondería a una división de la escala fija, 0.5 mm, por lo que una división corresponde a 0.01 mm.
5. Limitador de avance del elemento móvil.

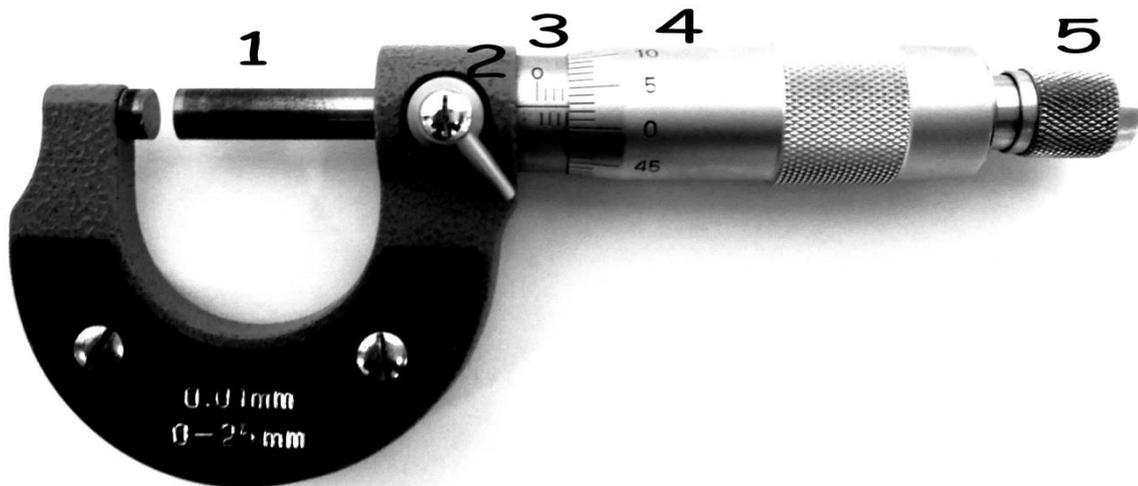


Figura I.3

Para el uso del palmer, en primer lugar debe evitar el error de cero, para ello junte el elemento móvil y el tope y observe si en la escala principal marca cero, en caso contrario, deberá aplicar la corrección correspondiente a la medida.

En segundo lugar utilice la parte correspondiente del palmer para medir el objeto. Una vez haya ajustado el micrómetro a la pieza a medir, para obtener un resultado con exactitud debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Ubicar la posición de la escala móvil sobre la escala fija, en el caso del ejemplo entre 5.00 y 5.50 mm, figura I.4.
2. Ubique la posición de la línea de la escala móvil que coincide con una línea central de la escala fija, que en el caso del ejemplo obtendríamos una medida de 5.39 mm, figura I.4.

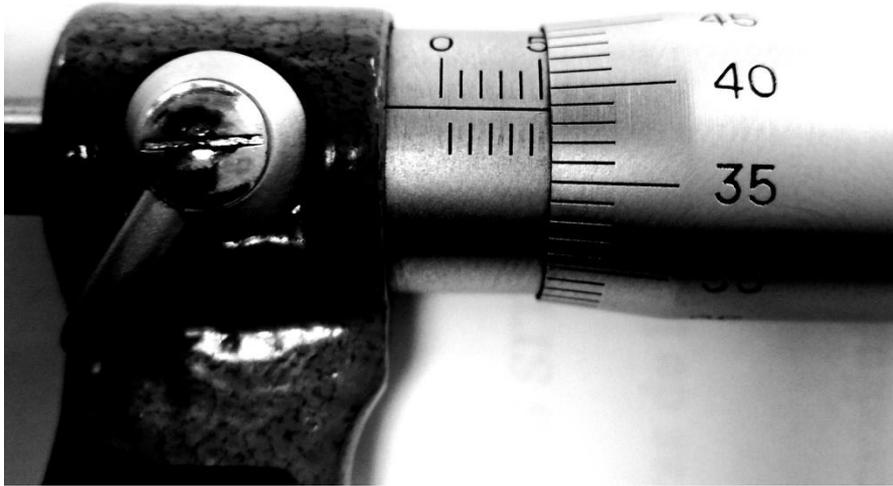


Figura I.4

I.3.- POLÍMETRO O MULTÍMETRO

El polímetro o multímetro es un instrumento utilizado para medir voltajes, intensidades y resistencias. Está formado por:

1. Medición de voltaje en corriente continua (c.c.), $V =$.
2. Medición de voltaje en corriente alterna (c.c.), $V \sim$.
3. Medición de la capacidad de condensadores, F.
4. Medición de voltaje en corriente alterna (c.c.), $A \sim$.
5. Medición de intensidad en corriente continua (c.c.), $A =$.
6. Medición de resistencias, Ω .



Figura I.5

El uso del polímetro variará en función de la magnitud a medir, así, para determinar:

- **Voltaje en corriente continua:** Seleccionamos con la ruleta V = en un punto de voltaje inmediatamente superior al que se va medir, así mejoramos la exactitud. A continuación, introduciremos las clavijas de los cables en los bornes COM y V/Ω, y los otros extremos de los cables los situamos en los bornes del elemento a medir. Recuerde que el punto donde se encuentre la ruleta indicará las unidades, por ejemplo V o mV.
- **Voltaje en corriente alterna:** Seleccionamos con la ruleta V ~ en un punto de voltaje inmediatamente superior al que se va medir, así mejoramos la exactitud. A continuación, introduciremos las clavijas de los cables en los bornes COM y V/Ω, y los otros extremos de los cables los situamos en los bornes del elemento a medir. Recuerde que el punto donde se encuentre la ruleta indicará las unidades, por ejemplo V.
- **Corriente en corriente continua:** Seleccionamos con la ruleta A = en un punto de amperaje inmediatamente superior al que se va medir, así mejoramos la exactitud. A

continuación, introduciremos las clavijas de los cables en los bornes COM y A o mA, en función del amperaje a medir, y los otros extremos de los cables los situamos en los bornes del elemento a medir. Recuerde que el punto donde se encuentre la ruleta indicará las unidades, por ejemplo A o mA.

- **Corriente en corriente alterna:** Seleccionamos con la ruleta A ~ en un punto de amperaje inmediatamente superior al que se va medir, así mejoramos la exactitud. A continuación, introduciremos las clavijas de los cables en los bornes COM y A o mA, en función del amperaje a medir, y los otros extremos de los cables los situamos en los bornes del elemento a medir. Recuerde que el punto donde se encuentre la ruleta indicará las unidades, por ejemplo A o mA.
- **Resistencias:** Seleccionamos con la ruleta Ω en un punto de resistencia inmediatamente superior a la que se va medir, así mejoramos la exactitud. A continuación, introduciremos las clavijas de los cables en los bornes COM y V/ Ω , y los otros extremos de los cables los situamos en los bornes del elemento a medir. Recuerde que el punto donde se encuentre la ruleta indicará las unidades, por ejemplo Ω , k Ω o M Ω .
- **Capacidad de condensadores:** Seleccionamos con la ruleta F en un punto de capacidad inmediatamente superior a la que se va medir, así mejoramos la exactitud. A continuación, introduciremos las clavijas del condensador en las ranuras C_x, y aparecerá en la pantalla su capacidad. Recuerde que el punto donde se encuentre la ruleta indicará las unidades, por ejemplo μ F o nF.

APÉNDICE II

ERRORES EXPERIMENTALES

II.1.- INTRODUCCION

El proceso de medida consiste en la comparación de la magnitud física que queremos obtener con un patrón definido antes de la medida y que se denomina unidad. Para una misma magnitud física se pueden definir varios patrones diferentes, por eso es necesario expresar la unidad en la que se realiza la medida y no expresar simplemente el número. Al medir la longitud de un objeto estamos comparando su longitud con la de la unidad patrón, el metro, y decimos la relación que hay entre las dos longitudes. Decir 7 metros equivale a expresar que la longitud de nuestro objeto es 7 veces la de un metro, que es una longitud ya definida y conocida por quien realiza la medida.

Esta comparación puede ser, en teoría, exacta. Sin embargo, en la práctica no es así, ya que es inevitable que se comentan errores en las medidas, lo que origina que haya diferencias entre el valor real de la magnitud y su medida. Esto origina que haya una **incertidumbre** en la medida, que no sepa con certeza el auténtico valor de la magnitud y que solo conocerlo con cierta aproximación. El objetivo de este anexo es enseñar cómo tratar este problema y como poder conocer la incertidumbre de nuestra medida. Por incertidumbre nos referimos al intervalo de valores en los que puede encontrarse el valor verdadero de la magnitud medida. A esta incertidumbre se le llama error asociado a la medida, o, más coloquialmente, error de la medida, aunque este término induce un poco a error ya que parece dar a entender que se trata de la diferencia entre el valor real de la magnitud y el valor medido cuando en realidad se trata del intervalo en el que consideramos que puede hallarse el mismo. Esta confusión origina muchos errores por parte de los alumnos a la hora de elaborar los informes de prácticas, con su consiguiente disminución en la calificación.

II.2.- EXPRESIÓN DE LAS MEDIDAS

Cuando se expresa una medida es necesario decir también el error asociada a ella, de lo contrario nos estará faltando información esencial para interpretar la misma. Si por ejemplo hemos medido una longitud de 3 m no es lo mismo tener una incertidumbre de un metro que una de 1 centímetro. En el primer caso sabemos que no podemos confiar mucho en la medida, mientras que en el segundo caso si es más fiable. Por lo tanto, siempre al escribir una medida o un valor calculado a partir de una medida es necesario decir el error asociado a la misma. Si tenemos un valor medido X y el error asociado al mismo es ΔX , la medida se expresa como:

$$X \pm \Delta X$$

Como ejemplo, podemos tener las siguientes medidas: $3.34 \text{ m} \pm 0.02 \text{ m}$, $(27.3 \pm 0.4) \text{ N}$, $2400 \text{ A} \pm 100 \text{ A}$.

El \pm indica que el valor verdadero puede encontrarse por encima o por debajo del valor medido. Así, al escribir $X \pm \Delta X$, estamos diciendo que el valor verdadero se encuentra, o más bien, creemos que se encuentra en el intervalo $[X - \Delta X, X + \Delta X]$. Por ejemplo, si tenemos la medida $3.34 \text{ m} \pm 0.02 \text{ m}$, el valor verdadero estará entre los valores 3.32 m y 3.36 m .

Un factor importante a la hora de escribir las medidas es el número de cifras significativas que debemos usar. Por cifras significativas entendemos todas las que aporta información sobre el valor salvo los ceros necesarios para expresar el orden de magnitud. Por ejemplo, en el número 123 todas las cifras son significativas, pero en el 100 solo lo sería el 1, ya que los dos ceros solo sirven para expresar que estamos en las centenas. Como veremos más adelante, en muchas ocasiones el valor medido se obtiene a partir de la media aritmética, por lo que puede salir un número con muchas cifras significativas. La regla para escribir una medida es que solo consideramos las cifras significativas hasta la posición de la cifra significativa del error. Por ejemplo, si tenemos el número 3456.34 y el error asociado es 20, la cifra significativa del error es el 2 situado en las decenas, por lo que solo debemos escribir cifras significativas hasta la posición de las decenas: 3450 ± 20 . Si tenemos 0.7754 con un error de 0.03, se escribirá 0.78 ± 0.03 . Para el error, se toma una sola cifra significativa. Un caso interesante y en el que se cometen muchos errores es cuando la última cifra significativa que debemos escribir es un cero en una posición decimal, por ejemplo si tenemos 0.399 con un error de 0.05. En este caso la medida sería 0.40 ± 0.05 , y es necesario escribir el cero después del 4, a pesar de que se nos ha enseñado que un cero a la derecha en una posición decimal no aporta nada de información

y no es necesario escribirlo. Esto es así cuando se trabaja con valores exactos o sin ninguna incertidumbre en los mismos, pero en una medición experimental el número de cifras significativas aporta información sobre la precisión de nuestra medida. Por tanto, cuando escribimos cifras significativas hasta la tercera posición decimal, estamos diciendo que nuestra medida tiene una precisión hasta esa cifra, y si escribimos solo hasta la segunda posición decimal porque la tercera es un cero, estamos dando información errónea sobre la precisión de nuestra medida.

Todo esto implica que es necesario realizar un redondeo de los valores. Para llevarlos a cabo, se toma la regla habitual de que si la cifra a la derecha de la última cifra significativa es mayor que 5, la cifra significativa se aumenta en una unidad (se redondea hacia arriba) y si es menor se mantiene igual. Cuando es igual que 5, se aumenta en una unidad si la última cifra significativa es impar, y se deja igual si es par. Esto último es una regla arbitraria tomada para compensar los diferentes redondeos cuando hay muchas medidas diferentes en juego.

II.3.- CAUSAS DE ERROR

Las causas que producen que se produzcan errores en las medidas son muchas y muy variadas, pero en general pueden agruparse en dos categorías:

- Errores sistemáticos: son los que afectan a la medida siempre de la misma forma, como por ejemplo un fallo en el aparato de medida, una mala colocación de la persona a la hora de medir una longitud, etc. Con este tipo de causas la medida se diferenciará del valor verdadero en una cantidad fija que no conoceremos a no ser que nos demos cuenta del error. En general, es posible eliminar las causas sistemáticas por completo ya que son errores en los aparatos o el proceso de medición que pueden ser detectados. Sin embargo, existe una causa sistemática que es imposible de eliminar y que se encuentra siempre presente en cualquier medida, y es el error instrumental del aparato. Este es debido a la precisión del aparato, la mínima diferencia de medida que puede proporcionar. Imaginemos que tenemos una regla que puede medir hasta diferencias de un milímetro, si el valor verdadero de la longitud es 23.78 mm, con nuestra regla solo seremos capaces de decir que la longitud es mayor que 23 mm y menor que 24 mm. Por tanto, tendremos una incertidumbre de 1 mm. Si usamos un calibre, que tiene una precisión de 0.05 mm, sabremos que la longitud se encuentra entre 23.75

mm y 23.80 mm, por lo que ahora nuestra incertidumbre es de 0.05 mm. Por tanto, nuestra incertidumbre siempre será la precisión del aparato y esta es un error instrumental que podemos disminuir cambiando de aparato pero nunca eliminar por completo.

- Errores accidentales: son los que afecta a la medida de una manera aleatoria. Por ejemplo, debidas a fluctuaciones en las condiciones ambientales que alteren de alguna forma el aparato o el proceso de medida, o al factor humano inherente a algunas mediciones, como el tomar un tiempo con un cronómetro. Este tipo de errores se puede cuantificar si conocemos la distribución de probabilidad de su causa. En general, sin más información se consideran que siguen una distribución gaussiana y se cuantifican con la desviación típica.

II.4.- EVALUACIÓN DE ERRORES

II.4.1.- Errores sistemáticos:

Para poder evaluar un error sistemático es necesario conocer su valor. Por ejemplo, si sabemos que un aparato tiene un determinado error en cero (marca un determinado valor cuando no está midiendo nada) será necesario restar ese error para cada medida. Como ya hemos dicho antes, el error instrumental del aparato es un error que está siempre presente y que podemos conocer fácilmente. A falta de otra causa de error más importante, el error de una medida será siempre el error instrumental del aparato. En algunas ocasiones, el fabricante ha determinado un error de medición de su aparato que es diferente al error instrumental, en este caso habrá que considerar como error de la medida el mayor de los dos.

II.4.2.- Errores accidentales:

Los errores accidentales se producen de forma aleatoria, por tanto es imposible conocer el valor exacto de un error accidental. Debido a su aleatoriedad, la única forma de poder evaluarlos es utilizar la estadística. Se debe encontrar la distribución de probabilidad que siguen y utilizar los parámetros de la misma para evaluarlos. Normalmente los errores siguen una distribución normal, por lo que se evalúan utilizando la media y la desviación típica.

La media es el valor central y de mayor probabilidad de la distribución normal, y se calcula usando la expresión:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad x_i: \text{medidas realizadas; } N: \text{número de medidas}$$

La desviación típica es el intervalo alrededor de la media donde se encuentran el 68.3% de los valores de la distribución, y se calcula usando la expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

Considerando esto, tenemos que en el intervalo $[\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma]$ hay un 68.3% de probabilidad de encontrarse el valor verdadero. Esta probabilidad se considera lo bastante alta como que a la hora de tomar las medidas se tome la media de los mismos, que representa el valor más probable, como el resultado de la medida y la varianza el error de la misma. Esto implica que cuando aparecen errores accidentales es necesario realizar varias medidas del mismo valor de la magnitud para poder calcular estos parámetros estadísticos.

II.5.- DETERMINACIÓN DEL ERROR DE UNA MEDIDA

Antes de realizar la medida es muy difícil saber cuál va a ser el tipo de error predominante, si el error instrumental del aparato (que, como hemos dicho antes, se encuentra siempre presente) o algún tipo de error accidental que ejerza un efecto mayor que el instrumental. La forma más correcta para determinarlo es realizar varias medidas de la magnitud a medir, obtener la media y la desviación típica, y comparar la desviación típica con el error instrumental. Si la desviación típica es mayor que el error instrumental, entonces predominan los errores accidentales y habrá que tomar como error de la medida la desviación típica. Si por el contrario, es mayor el error instrumental, se tomará este como error de la medida. En ambos casos, el valor medido será la media de las distintas medidas realizadas.

II.6.- MEDIDAS INDIRECTAS Y DETERMINACIÓN DE SU ERROR

La mayoría de las ocasiones se mide una magnitud física para obtener otra a partir de ella. Como las magnitudes medidas tienen un error asociado a ellas, la magnitud calculada también lo tiene, y es necesario calcularlo para saber el grado de incertidumbre asociado a ella, ya que no es lo mismo calcular una velocidad a partir de una distancia con un error de 1 mm que con uno de 1 m.

Supongamos que medimos una magnitud x , con un error asociado Δx , para obtener a partir de ella la magnitud y mediante una función matemática. El error Δy de y se obtiene a partir de la expresión:

$$\Delta y = \left| \frac{dy}{dx} \right| \Delta x$$

Que es el producto de la derivada de la función matemática que nos da y con respecto de x , en valor absoluto para evitar que nos salga negativo, por el error de x . En el caso de que y dependa de varias magnitudes medidas x_1, x_2, \dots, x_N , con errores asociados $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_N$, la expresión que nos da el error de la magnitud calculada es

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_3} \right| \Delta x_3 + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_N} \right| \Delta x_N$$

donde $\frac{\partial y}{\partial x}$ representa la derivada parcial de y con respecto de x , que se realiza derivando y con respecto a x tratando al resto de variables como si fueran constantes. Es necesario hacer el valor absoluto de las derivadas para evitar que salgan números negativos que al sumarlos a otros positivos disminuyan el error, ya que los errores siempre se suman.

Por ejemplo, si queremos calcular la energía cinética de un cuerpo a partir de su velocidad $v = 0.54 \text{ m/s} \pm 0.2 \text{ m/s}$ y de su masa $m = 5.300 \text{ kg} \pm 0.005 \text{ kg}$, tendremos que hacerlo a partir de su fórmula $Ec = mv^2/2$. El valor será:

$$Ec = 5.3 * 0.54^2 / 2 = 77.2740 \text{ J}$$

Y su error se obtendrá a partir de la expresión:

$$\Delta Ec = \left| \frac{\partial Ec}{\partial v} \right| \Delta v + \left| \frac{\partial Ec}{\partial m} \right| \Delta m = mv \Delta v + \frac{1}{2} v^2 \Delta m = 5.3 * 0.54 * 0.2 + \frac{1}{2} * 0.54^2 * 0.005 = 0.5731$$

Siendo por tanto el valor de la energía cinética:

$$Ec = 77.3 \text{ J} \pm 0.6 \text{ J}$$

II.7.- RESUMEN

Expresión de las medidas: Las medidas deben expresarse de la forma:

$x \pm \Delta x$, ejemplo: $L=2.345 \text{ m} \pm 0.001 \text{ m}$.

El error debe escribirse con una sola cifra significativa y el valor de la medida debe escribirse con tantas cifras significativas como sea necesario para que la última coincida con la posición decimal del error.

Número de medidas: Cada valor de la magnitud debe medirse como mínimo 3 veces, se halla la media y la desviación típica, y se compara esta última con el error instrumental del aparato de medida. El valor que sea más grande será el error de la medida. En caso de muchos errores accidentales en la medición puede considerarse el realizar más medidas.

Error de las magnitudes calculadas a partir de las medidas: se calcula usando la expresión:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_3} \right| \Delta x_3 + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_N} \right| \Delta x_N$$

APÉNDICE III

GRÁFICAS

Para la elaboración correcta de un gráfico debe seguir las siguientes normas, figura III.1:

1. Título: Debe incluir un título lo suficientemente claro y conciso sobre el gráfico. Ubicando en una posición visible.
2. Ejes: Los ejes deben estar divididos en una escala fija, si es lineal, que sea representativa de los valores a representar, no siendo preciso situar el origen en cero. Además, debe indicar la magnitud y unidad de cada eje.
3. Utilizar trazos diferentes si en un mismo gráfico incluye dos o más representaciones.
4. En caso de realizar una recta o curva de ajuste, debe incluir la expresión del ajuste y el valor de la regresión.

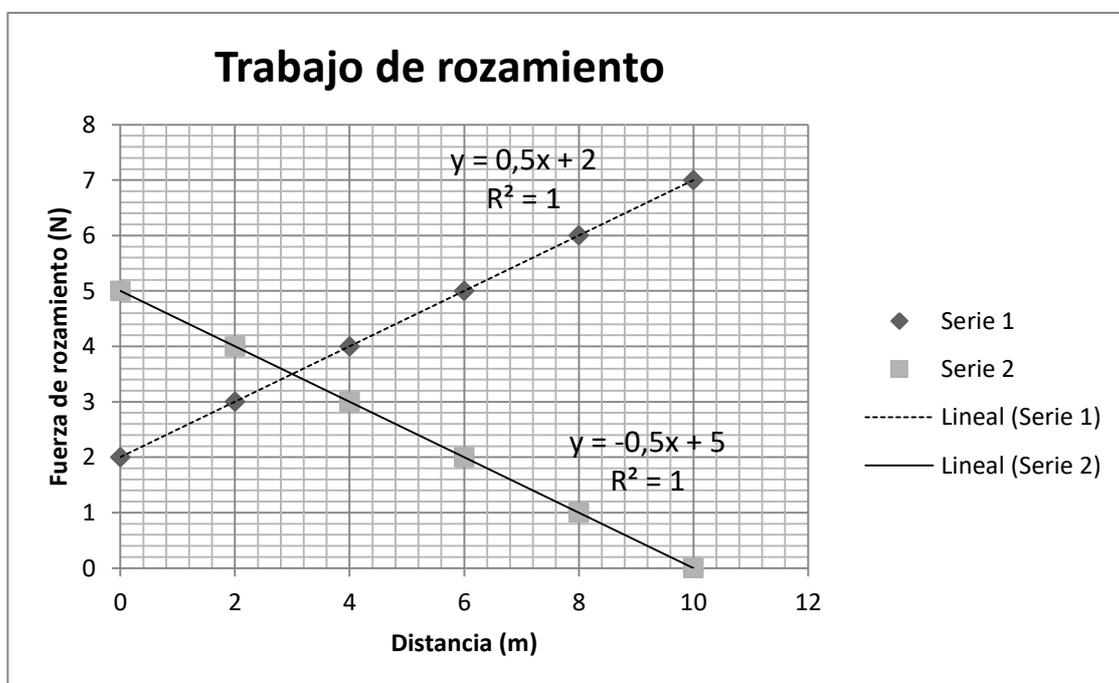


Figura III.1

APÉNDICE IV

UNIDADES DE MEDIDA NOTACIÓN CIENTÍFICA

IV.1.- UNIDADES BÁSICAS

A las unidades básicas o fundamentales se les asocia una dimensión directa, así en el Sistema Internacional de Unidades (SI), el más extendido, vienen dadas por:

Magnitud	Nombre	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio	A
Cantidad de sustancia	Mol	mol
Intensidad luminosa	Candela	cd

Tabla IV.1

A partir de las unidades básicas anteriores podemos obtener las magnitudes derivadas, velocidad, aceleración, energía..., a las que se asocia una fórmula dimensional compuesta por una combinación de dimensiones de las magnitudes fundamentales.

IV.2.- NOTACIÓN CIENTÍFICA

El uso de cantidades pequeñas o grandes se facilita mediante la notación científica, por la que podemos expresar un número multiplicado por una potencia de 10. Así, $0.000023 = 2.3 \cdot 10^{-5}$ o $65000000 = 6.5 \cdot 10^7$. Otra forma de expresar cantidades pequeñas o grandes es mediante el uso de un prefijo delante de las unidades. Así, $0.0023 \text{ A} = 2.3 \text{ mA}$ o $6500000 \text{ V} = 6.5 \text{ MV}$. Estos prefijos vienen definidos en la siguiente tabla:

Potencia de 10	Prefijo	Símbolo
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	mili	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^1	deca	da
10^2	hecto	h
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P

Tabla IV.2

APÉNDICE V

CÓDIGO DE COLORES DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

La figura V.1 representa una resistencia eléctrica estándar donde se indica el significado de las líneas de colores que incluyen. El significado de estas líneas viene especificado en la tabla V.1.

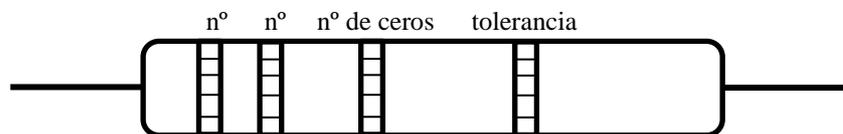


Figura V.1

Color	n°	Tolerancia (%)
Negro	0	-
Marrón	1	1
Rojo	2	2
Naranja	3	3
Amarillo	4	4
Verde	5	5
Azul	6	6
Añil	7	7
Gris	8	8
Blanco	9	9
Dorado	-	5
Plateado	-	10
Sin color	-	20

Tabla V.1

En la figura V.2 podemos observar un ejemplo de una resistencia eléctrica cuyo significado del código de colores es el siguiente:

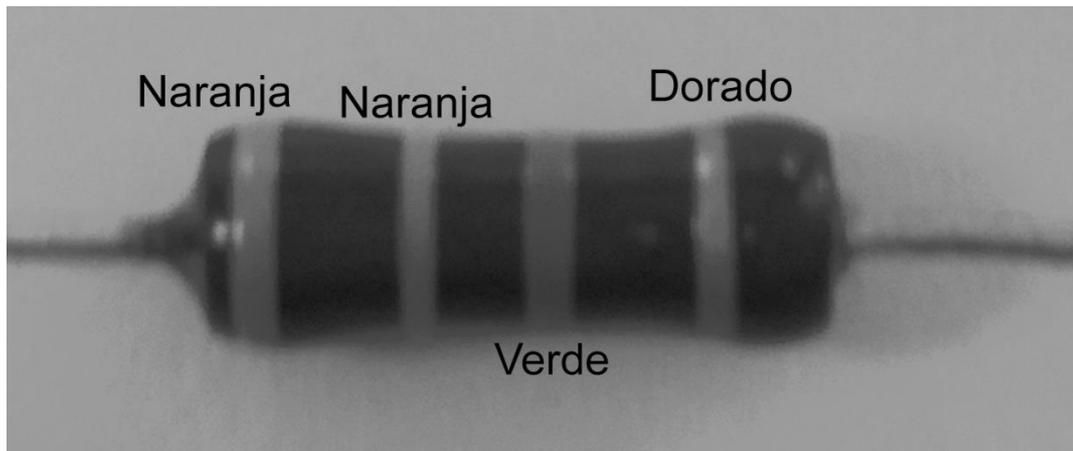


Figura V.2

El primer y segundo naranja nos indican el nº 3 cada uno. El color verde nos muestra el número de ceros, en este caso 5, y el color dorado del final, la tolerancia con un valor del 5%. Así, la resistencia de la figura V.2 tendrá un valor de 330000Ω , 5% de tolerancia, es decir, $3.3 \text{ M}\Omega$, 5% de tolerancia. Utilizando las especificaciones dadas en el apéndice I, medimos el valor de la resistencia verificando el resultado obtenido con el código de colores. En la figura V.3, el polímetro muestra un valor de $3.17 \text{ M}\Omega$ que se encuentra dentro del rango de tolerancia especificado por el código de colores.



Figura V.3

APÉNDICE VI

REDACCIÓN Y PRESENTACIÓN DE INFORMES

VI.1.- FORMATO

Se recomienda el siguiente formato para la redacción de los informes:

- Tamaño de página: A4
- Márgenes: En el margen izquierdo y derecho se recomienda 2.5 cm o 3 cm y en el inferior y superior 2.5 cm.
- Portada: Título, autor o autores del informe y titulación. El tamaño de letra del título debe ajustarse al tamaño de la portada. El nombre de los autores y la titulación debe situarse en la parte inferior derecha de la página. El tamaño de letra debe ser de 12 o 14 puntos.
- Paginación:
 - Índice: Utilizar números romanos. Se recomienda en el margen inferior derecho de la página.
 - Informe: Se recomienda utilizar la numeración en el margen inferior derecho de la página.
- Tipo de fuente: Se recomienda Times New Roman o Arial
- Tamaño de fuente en títulos y epígrafes: Se recomienda 14 puntos
- Tamaño de fuente en el texto general: Se recomienda 12 puntos
- Tamaño de fuente de tablas y figuras: Se recomienda 11 puntos
- Tamaño de fuente de encabezados y pies de página: Se recomienda 9 o 10 puntos
- Interlineado: Se recomienda sencillo o 1.5 líneas

VI.2.- ESTRUCTURA

La estructura que se recomienda para el informe es la siguiente:

- Portada: Debe incluir el título, autor o autores del informe y titulación.
- Índice: Debe incluir todos los apartados y subapartados del trabajo, indicando la primera página donde se inician.
- Prácticas: La estructura de cada práctica en el informe debe ser la siguiente:
 - Introducción: Explicación de cada práctica y de por qué se realiza.
 - Desarrollo: Debe explicar el desarrollo de la práctica, incluyendo la toma de datos de la misma, haciendo uso de las tablas necesarias. Debe incluir los valores obtenidos con los cálculos, así como la explicación del significado de los mismos.
 - Conclusión: Debe explicar brevemente las conclusiones obtenidas en el desarrollo de la práctica.
 - Bibliografía: Debe incluir los libros, artículos, o webs utilizadas para la realización de la práctica ordenados alfabéticamente. Se recomienda utilizar el Estilo Harvard, el Estilo Británico, la Norma ISO 690 o cualquier estilo o norma internacionalmente aceptado para la citación de bibliografía.
 - Anexo de cálculos: Se debe incluir los cálculos utilizados para la realización de la práctica.

REFERENCIAS

- Alhama F. y Madrid, C.N. (2012) Análisis dimensional discriminado en mecánica de fluidos y transmisión de calor. Ed. Reverté, S. A. Barcelona.
- Alonso M. y Finn E. J. (1995) FÍSICA (tomo 1). Ed. Addison-Wesley Iberoamericana S.A. USA.
- Burbano de Ercilla S., Burbano García E. y Gracia Muñoz C. (2007) PROBLEMAS DE FÍSICA. Ed. Tébar S. L. Madrid.
- Comisión Nacional de Metrología y Metrotecnica. Sistema Internacional de Unidades SI. Madrid, 1974.
- Davies, O.L. Métodos estadísticos. Aguilar. Madrid, 1966.
- Draper, N., Smith, H., Applied Regression Analysis. JohnWiley and Sons, New York, 1966.
- Eadie, W.T., Drijard, D., James, F.E., Roos, M., Sadoulet, B. Statistical Methods, North-Holland, Amsterdam, 1971.
- González Fernández C. F. (2009) FUNDAMENTOS DE MECÁNICA. Ed. Reverté, S. A. Barcelona.
- González Fernández C. F. (2013) PROBLEMAS DE FÍSICA. MECÁNICA. Ed. Bellisco. Madrid.
- Gullón, A. Introducción a la estadística aplicada. Alhambra. Madrid, 1971.
- Pardo, G., González F. y Bruque, J.M. Mecánica. Paraninfo. Madrid, 1975.
- Pollard, J.H., Numerical and Statistical Techniques. Cambridge University Press, Cambridge, 1977.
- Sánchez del Río, C., Análisis de errores. EUDEMA, Madrid, 1989.
- Sánchez Pérez J.F. y Alhama López F., “Problemas de Física para Ingenieros. Tomo 1: Análisis dimensional, Cálculo vectorial, Cinemática y Movimiento relativo”, Dpto. Física Aplicada. UPCT. Rai UPCT Ediciones.
- Sánchez Pérez J.F. y Alhama López F., “Problemas de Física para Ingenieros. Tomo 2: Dinámica del punto, Sistemas de partículas, Sólido rígido y Movimiento plano”, Dpto. Física Aplicada. UPCT. Rai UPCT Ediciones.
- Sánchez Pérez J.F. y Alhama López F., “Problemas de Física para Ingenieros. Tomo 3: Estática”, Dpto. Física Aplicada. UPCT. Rai UPCT Ediciones.
- Sánchez Pérez J.F., Conesa Valverde M. y Castro Rodríguez E., “Prácticas de Física para Ingenieros. Física I: Errores, cinemática, dinámica, estática y fluidos”, Dpto. Física Aplicada. UPCT. Rai UPCT Ediciones.
- Tipler P. A. y Mosca G. (2008) FÍSICA para la ciencia y la tecnología (volumen 1). Ed. Reverté, S.A. Barcelona.
- Viedma, J.A. Métodos estadísticos. Eds. del Castillo. Madrid, 1972.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Probabilidad y estadística para ingenieros. Interamericana, México, D.F., 1987.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Probabilidad y estadística para ingenieros. Interamericana, México, D.F., 1987.



Universidad
Politécnica
de Cartagena