Universidad Politécnica de Cartagena

PRÁCTICAS DE FÍSICA PARA INGENIEROS

FÍSICA I

Errores
Cinemática
Dinámica
Estática
Fluidos

Juan Francisco Sánchez Pérez
Manuel Conesa Valverde
Enrique Castro Rodríguez

crai UPCT ediciones

PRÁCTICAS DE FÍSICA PARA INGENIEROS

FÍSICA I

Errores
Cinemática
Dinámica
Estática
Fluidos

Juan Francisco Sánchez Pérez
Manuel Conesa Valverde
Enrique Castro Rodríguez

crai UPCT ediciones

CRAI Biblioteca
Plaza del Hospital, 1
30202 Cartagena

968325908
ediciones@upct.es

Primera edición, 2017

ISBN: 978-84-16325-36-8

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 cinemática, dinámica, estática, cálculo de momentos de inercia, conservación de la energía y mecánica de fluidos. 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

DETERMINACIÓN DE ERRORES

OBJETIVOS

Generales:

- Conocimiento de los distintos tipos de instrumentos de precisión de medida.
- Conocimiento de los distintos tipos de error y de las causas que los producen.
- Presentación científica de resultados.

Específicos:

- Utilizar instrumentos de precisión.
- Estimar el error en medidas directas e indirectas.

MATERIAL

- Objetos pequeños a medir.
- Calibre o "pié de rey".
- Palmer o Micrómetro.

Figura 1.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Apéndice I - Instrumentos de medida.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice III - Gráficas.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

Medir el volumen y/o la superficie de objetos pequeños.

Lea el *Apéndice I*, relativo al nonius, calibre y palmer.

¿Cuál es el error de cero del calibre?............

¿Cuál es el error de cero del palmer?.............

El error instrumental del calibre es 0,05 mm.

El error instrumental del palmer es 0,01 mm.

Haga un esquema de los objetos a medir, acótelos (longitud, diámetro, espesor,..), y acomode la tabla que sigue a su caso concreto.

Repita cada medida diez veces con el calibre o el Palmer, según convenga, hasta completar la tabla.

En negrita se indican los valores medios y sus desviaciones.

h (mm)	L (mm)	D (mm)	e (mm)
h=	**L=**	**D=**	**e=**
Δh=	**ΔL=**	**ΔD=**	**Δe=**

Tabla 1.1

Escriba la expresión analítica del volumen o superficie a calcular:

$V =$ $A =$

Utilizando lo especificado en el Apéndice II - Errores experimentales, escriba la expresión analítica del error, y acótelo, tomando logaritmos neperianos a la ecuación antes del desarrollo.

$\ln V =$

$\Delta V/V =$

$\ln A =$

$\Delta A/A =$

Escriba el resultado final:

V= $\pm$

A = $\pm$

Haga las sugerencias de mejora que considere para esta práctica.

2

PÉNDULO SIMPLE

OBJETIVOS

Generales:

- Poner en práctica conceptos teóricos.

- Utilizar datos experimentales.

- Valorar errores y precisiones en la medida.

Específicos:

- Manejar un péndulo.

- Hallar el valor de la constante "g".

MATERIAL

- Cinta métrica.

- Masa.

- Hilo inextensible.

- Soporte.

- Semicírculo graduado.

- Cronómetro.

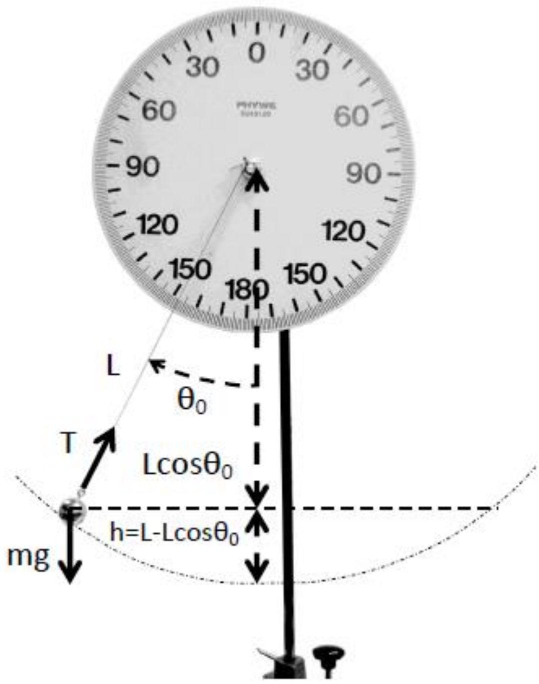

Figura 2.1

TEXTOS DE APOYO

Para realizar adecuadamente esta experiencia de laboratorio deberá consultar:

Cualquier libro de *Física General.*

Apéndice II - Errores experimentales.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

El péndulo simple consiste en una masa atada a un hilo, que cuelga de un soporte y oscila en un plano vertical.

Póngalo en movimiento y observe que la amplitud de la oscilación disminuye con el paso del tiempo ¿indique a qué se puede deber?

Con la longitud que tiene el hilo tome amplitudes de 10, 30 y 60 grados y, para cada ángulo, mida el tiempo de 10 oscilaciones (ida y vuelta).

Complete la tabla que sigue, donde el período (T) es el tiempo de una oscilación.

Ángulo	10	30	60
10T			
T			

Tabla 2.1

¿Observa diferencia en los valores de T?

Indique a qué se puede deber.

Determinación de g.

Mida con cuidado la longitud del hilo desde el punto fijo hasta el centro de la masa que oscila. Junto con el error de la medida, anótelos en la tabla que sigue.

Haga oscilar el péndulo con una pequeña amplitud, menos de 5 grados, en un plano paralelo a la pared. Después de algunas oscilaciones, mida el tiempo que tarda en hacer 10 períodos y anótelo debajo de la longitud correspondiente, repitiendo la medida de ese tiempo hasta cinco veces.

Cambie la longitud del hilo unos cuatro centímetros aproximadamente, y repita el proceso anterior hasta completar la tabla.

Calcule el valor medio de los cinco tiempos de cada columna, que dividido por 10 da el valor del período **T**, y complete la tabla calculando también la desviación.

L					
ΔL					
$10T_1$					
$10T_2$					
$10T_3$					
$10T_4$					
$10T_5$					
T					
ΔT					

Tabla 2.2

Con los datos obtenidos calcule los cinco valores de la gravedad, según la ecuación:

$$g_i = L_i\,(2\,\pi / T_i)^2$$

Halle la expresión del error absoluto de g:

$$\Delta g_i =$$

En la siguiente tabla escriba los cinco valores de g y su error correspondiente (Δg).

$g_1=$	$\Delta g_1=$
$g_2=$	$\Delta g_2=$
$g_3=$	$\Delta g_3=$
$g_4=$	$\Delta g_4=$
$g_5=$	$\Delta g_5=$

Tabla 2.3

Ya puede calcular el valor medio de g y considere como error el mayor de los cinco errores obtenidos.

$$\mathbf{g = \qquad \pm \qquad m/s^2}$$

Haga un gráfico en papel milimetrado poniendo en abscisas $\mathbf{T^2}$ y en ordenadas $4\pi^2L$. Trace una línea recta haciendo una regresión lineal, como se indica en el *Apéndice II*, y calcule su pendiente.

Pendiente = tg (ángulo) =

Debe salir un valor aproximado al obtenido en **g**.

Dependencia del período con la masa.

Vaya cambiando las distintas masas de que dispone y compruebe si el periodo depende de la masa o no.

Para que la longitud del péndulo sea la misma, tenga en cuenta que con cada cambio de masa ha de corregir la longitud del hilo.

Complete la siguiente tabla.

L						
masa						
10T						

Tabla 2.4

¿Depende T de m?

3

ACELERACIÓN GRAVITATORIA (g)

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Medir la aceleración de la gravedad.

MATERIAL

- Cinta métrica.
- Cronómetro.
- Objeto pequeño.

Figura 3.1

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

Se va a calcular el valor de la aceleración gravitatoria, midiendo la altura y el tiempo de caída libre de un objeto pequeño. Se despreciará el rozamiento.

Mida con precisión la altura y el tiempo que tarda en caer el objeto al suelo, y vaya anotando los datos. La persona que suelte el objeto puede tomar también el tiempo, con el fin de ser más precisos.

Repita hasta cinco veces desde la misma altura. Y luego hágalo con otras dos alturas diferentes; medio metro por encima o por debajo.

Altura h (m)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	**t** (media)	Δt	g_i (m/s^2)	Δg_i

Tabla 3.1

La fórmula que calcula g es:

$$g = 2h/t^2 \qquad \Delta g =$$

Calcule los tres valores con su error y complete la tabla.

Halle el valor medio de g y póngalo como dato final junto con el mayor de los errores.

$$\mathbf{g} = \qquad \pm \qquad m/s^2$$

¿Qué se le ocurre para conseguir disminuir el error? Anote sus sugerencias.

4

ROTACIÓN.

OBJETIVOS

Generales:

- Aplicar las ecuaciones de la dinámica a problemas prácticos.
- Utilizar datos experimentales y valorar errores.

Específicos:

- Obtener el momento de inercia, y de rozamiento sobre el eje, de una rueda.

MATERIAL

- Rueda.
- Balanza.
- Conjunto de pesas.
- Hilos.
- Cronómetro.
- Cinta métrica.

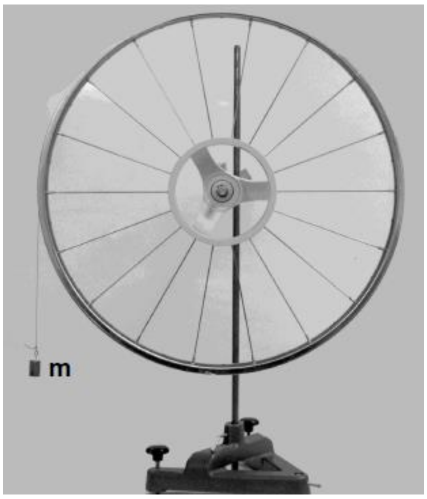

Figura 4.1

TEXTOS DE APOYO

Para la correcta realización de la práctica consulte la siguiente bibliografía:

Cualquier libro de *Física* de carácter general.

Apéndice II - Errores experimentales.

Apéndice III - Gráficas.

Modo estadístico de su calculadora o de Excel.

REALIZACIÓN

El movimiento de un sólido rígido se puede considerar como suma de dos; uno de traslación y otro de rotación, pudiendo ser aplicada la 2ª ley de Newton para la traslación y la rotación:

$$\Sigma F = m\, a_{cm} \;\; \text{y} \;\; \Sigma M = I\, \alpha$$

Nuestro caso es el de una rueda que gira alrededor de un eje fijo, a la que se le enrolla un hilo del que colgaremos distintos pesos con el fin de hacer que rote. (fig. 4.2).

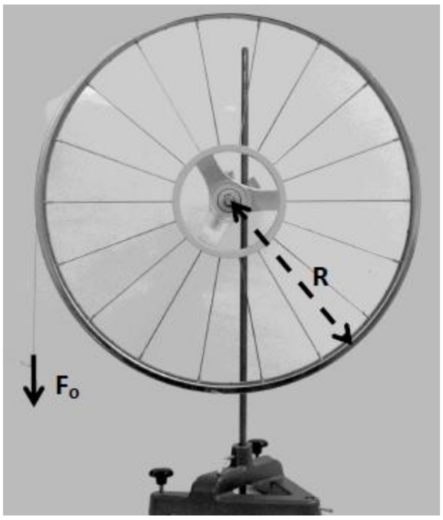

Figura 4.2

Las magnitudes que intervienen en el problema son: el momento de inercia, la aceleración angular, la fuerza F_o y la distancia al eje de giro R.

Procedimiento.

Mida el radio de la rueda y pese la masa.

R =

m =

h =

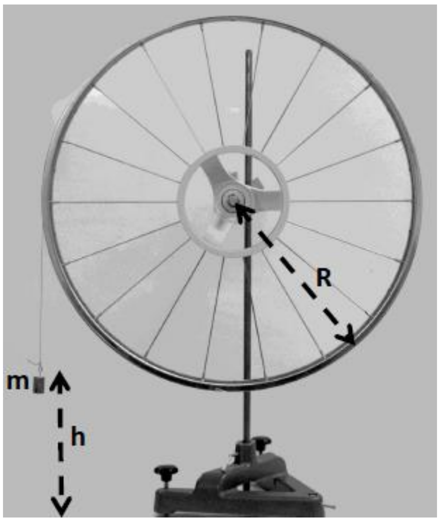

Figura 4.3

Coloque una de las masa en la cuerda a una altura h. Suelte la masa y mida el tiempo que tarda en caer al suelo. Desde esa misma altura, tome ese tiempo cinco veces y para cada masa. Anote los resultados y complete la siguiente tabla.

t_m es el tiempo medio.

m	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	$\mathbf{t_m}$	mgR
m_1=							
m_2=							
m_3=							
m_4=							
m_5=							
m_6=							
m_7=							
m_8=							
m_9=							
m_{10}=							

Tabla 4.1

Con las siguientes ecuaciones:

la de caída: $h = at^2/2$

la tensión del hilo: $T = m(g-a)$

las de momentos: $M = T R$; y $M - M_r = I\alpha$ (M_r es el momento de rozamiento)

y relación de aceleraciones: $a = \alpha R$,

Compruebe si la siguiente ecuación es correcta:

$$mgR = M_r + \frac{2hR}{t^2}\left(m + \frac{I}{R^2}\right)$$

Haga una gráfica poniendo en ordenadas mgR, y en abscisas $1/t^2$. Aproximadamente se deberá de ajustar a una recta de ecuación:

$$y = n + mx$$

Compare la pendiente (m) y la ordenada en el origen (n) con la fórmula y razone qué representan.

Mediante el **método de los mínimos cuadrados** del modo estadístico de su calculadora o de Excel, calcúlelas con sus desviaciones típicas.

n = s(n) =

m = s(m) =

Determine el porcentaje del momento de rozamiento (M_r) respecto del momento que origina el peso:

M_r / mgR = %

Considerando despreciables los errores de la masa, el radio y la altura, obtenga el valor del momento de inercia de la rueda y su error, a partir de la pendiente.

I = s(I) =

Anote las observaciones que considere.

5

MOMENTOS DE INERCIA. TEOREMA DE STEINER

OBJETIVOS

Generales:

- Comprobar conceptos teóricos en el laboratorio.
- Análisis de errores.

Específicos:

- Comprobar el teorema de Steiner.
- Calcular momentos de inercia de cuerpos geométricos.

MATERIAL

- Soporte con eje y resorte en espiral.
- Varilla y juego de masas.
- Disco con orificios en diámetro.
- Esfera y cilindros huecos y macizos.
- Cronómetro.
- Dinamómetro.
- Cinta métrica.

Figura 5.1

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

Se va a determinar el momento de inercia de algunos cuerpos, midiendo el período de oscilación de un péndulo de torsión, constituido por la varilla y el resorte, generando un momento de torsión M cuando se gira un ángulo θ, en el sentido que comprime el resorte.

Para pequeños ángulos de giro, M es proporcional al ángulo girado:

$$M = - K\theta$$

El signo menos se debe a que el momento tiende a reducir el ángulo girado, y K es la constante recuperadora del resorte.

La ecuación de gobierno es la de un movimiento armónico de período T, donde:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}$$

Siendo I el momento de inercia.

1.- CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO

Se calibra el resorte determinando la constante recuperadora K y el momento de inercia del eje del resorte (I_e).

1.1.- Determinación de la constante recuperadora

Monte la varilla en el eje de torsión, con su centro sobre el eje del resorte. Coloque el dinamómetro en un rebaje de la varilla a una distancia r del eje de giro. Manténgalo horizontal y perpendicular a la varilla y tire, siempre en el sentido que comprima el resorte, hasta girarla un ángulo de 180º.

Mida la fuerza y la distancia; anótelas en la tabla siguiente y repita para distintas distancias hasta completarla.

θ = 180º					
posiciones	1	2	3	4	5
r (m)					
F (N)					
M (Nm)					
K					

Tabla 5.1

Escriba el valor medio de la constante recuperadora, con su error (ΔK).

K = ±

1.2.- Cálculo del momento de inercia del sistema eje-resorte, respecto del eje de giro

El momento de inercia teórico de la varilla, respecto de un eje perpendicular y que pasa por su centro de masas, es:

$$I_v = \frac{1}{12} m l^2$$

Como la varilla está montada en el eje de torsión, entonces la ecuación del período será:

$$T_1^2 = 4\pi^2 \frac{I_v + I_e}{K}$$

Desvíe la varilla de su posición de equilibrio 180º y mida el tiempo que tarda en completar cinco oscilaciones (una oscilación es ida y vuelta completa). Repita tres veces la medición.

m_v = ± ; l_v (teórico)= ± ; $I_v + I_e$ (medido)= ±

$(5T_1)_1$	$(5T_1)_2$	$(5T_1)_3$	$\mathbf{T_1}$ (s)
			±

Tabla 5.2

T es el valor medio del periodo.

Monte sobre la varilla las masa móviles a igual distancia del eje de giro y considérelas puntuales.

$$I_m = m\ r^2$$

Puede utilizar la propiedad de que los momentos de inercia son aditivos, para calcular el momento de inercia eje + varilla + masas móviles = I_{vm}

$$T_1^2 = 4\pi^2 \frac{I_{vm}}{K}$$

Desvíe la varilla 180º de su posición de equilibrio, en el sentido de compresión del resorte, y mida tres veces 5 oscilaciones.

m (masas móviles) = ± L (radio de giro) = ±

I_m (teórico) = ± I_{vm} (medido) = ±

$(5T_2)_1$	$(5T_2)_2$	$(5T_2)_3$	$\mathbf{T_2}$ (s)
			±

Tabla 5.3

Resuelva el sistema formado por las dos ecuaciones, una vez haya sustituido los valores previamente determinados de T_1, T_2, I_v e I_m, y obtenga I_e y K.

I_e = ± ; **K** = **±**

Compare el valor de K con el obtenido en el apartado 1.1.

2.- MOMENTOS DE INERCIA DE OTROS CUERPOS

Monte en el dispositivo los cuerpos que indica la siguiente tabla, y utilizando de nuevo la ecuación:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}$$

Determine el momento de inercia de cada uno de ellos, midiendo el período de las oscilaciones. Tenga en cuenta I_e y vaya rellenando la tabla que sigue.

cuerpo	5T	**T**	masa	radio	$I_{experimental}$	$I_{teórico}$
Disco de madera						
Cilindro macizo						
Cilindro hueco						
esfera						

Tabla 5.4

Busque en el libro el momento de inercia teórico de cada uno. Complete la tabla y compare el medido por usted con el valor teórico.

3.- TEOREMA DE STEINER

Monte el disco con orificios en el eje.

Primero colóquelo en el orificio central, correspondiente al centro de masas. Gírelo media vuelta y mida el tiempo de 5 oscilaciones, con el fin de calcular su período. Anótelo en la tabla siguiente.

Desmonte y vaya cambiando de orificio, midiendo la distancia (a) de cada orificio al centro hasta completar la tabla.

orificio	1	2	3	4	5	6	7
a (distancia al c.d.m., en cm)							
5T							
T							
I (disco)							
a^2							

Tabla 5.5

El momento de inercia puede determinarse a partir de la fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}}$$

Haga una representación gráfica de I (ordenadas) y a^2 (abscisas).
Debe de salirle algo parecido a una recta de ecuación:

$$I = n + m\, a^2$$

que tiene la forma del teorema de Steiner, donde m es el momento de inercia del agujero central (I_{cm}), y n es la masa del disco. Estime estas constantes m y n mediante el **método de los mínimos cuadrados** del modo estadístico de su calculadora o de Excel, y calcule sus desviaciones típicas.

m = n =

s(m) = s(n) =

Compruebe si se cumplen esas predicciones.

Haga alguna sugerencia constructiva.

6

CONSTANTE ELÁSTICA

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Medir la constante elástica de un muelle.
- Cálculo de errores
- Representación gráfica

MATERIAL

- Cinta métrica.
- Masa.
- Muelles.
- Soporte.

Figura 6.1

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.

REALIZACIÓN

La ley de Hooke en un muelle, en el régimen elástico viene dada por:

$$\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$$

donde x es el desplazamiento del muelle con respecto a su posición de equilibrio. Si x es positivo, F será negativo, ya que la fuerza tiende a hacer volver al muelle a la posición de equilibrio. Esta fuerza depende de una constante característica de cada muelle y del material que lo compone conocida como constante elástica, k.

En esta práctica debe determinar la constante elástica de dos muelles, colgando diez masas en cada uno de ellos y midiendo su alargamiento.

Masa ( )	Peso ( )	Alargamiento muelle 1 ( )	Alargamiento muelle 2 ( )
Masa 1 =			
Masa 2 =			
Masa 3 =			
Masa 4 =			
Masa 5 =			
Masa 6 =			
Masa 7 =			
Masa 8 =			
Masa 9 =			
Masa 10 =			

Tabla 6.1

A continuación, debe calcular la constante elástica, k, para cada muelle, utilizando dos metodologías. La primera, haciendo un ajuste lineal con todas las medidas, y la segunda, calculando la constante elástica para cada medida, y posteriormente realizando la media de los valores obtenidos.

$k_{muelle\ 1,media} =$ $\pm$; $k_{muelle\ 1,ajuste\ lineal} =$ $\pm$

$k_{muelle\ 2,media} =$ $\pm$; $k_{muelle\ 2,ajuste\ lineal} =$ $\pm$

¿Observa diferencia en los valores de k de cada muelle calculados mediante la media y el ajuste lineal? En caso afirmativo, indique a qué se puede deber.

7

PLANO INCLINADO
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Determinar el coeficiente de rozamiento de distintas superficies.
- Revolver un plano inclinado
- Cálculo de errores
- Representación gráfica

MATERIAL

- Rueda.
- Bloque con distintas superficies.
- Dinamómetro.
- Soporte de plano inclinado graduado.

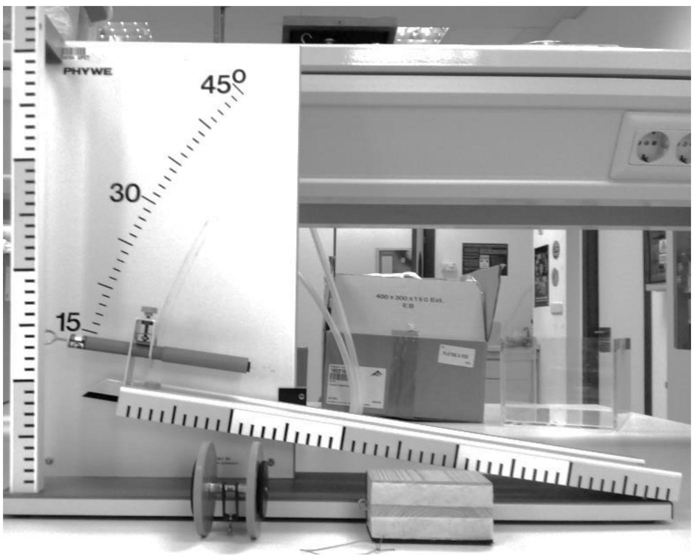

Figura 7.1

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.

REALIZACIÓN

Un cuerpo en un plano inclinado experimenta la fuerza peso dirigida hacia abajo, y una fuerza relacionada con el plano inclinado que no le deja caer directamente y ejerce una fuerza sobre el cuerpo perpendicular al plano inclinado. Así, tenemos:

- La fuerza peso, que se puede descomponer en dos fuerzas, una paralela al plano inclinado y otra perpendicular.
- La normal del plano inclinado, que es perpendicular al plano inclinado y anula la componente perpendicular del peso.
- La fuerza de rozamiento estático o dinámico, que se opone al movimiento y es paralela al plano inclinado.

En el primer ensayo, debe determinar la componente paralela al plano inclinado del peso. Para ello debe colocar el objeto aportado con forma cilíndrica en el plano inclinado, engancharlo al dinamómetro y medir la fuerza que tiene que hacer el dinamómetro para que esté en equilibrio. Al ser el objeto circular, la fuerza de rozamiento es despreciable y la fuerza medida será la componente paralela del peso. Repetir para varios ángulos, hacer una gráfica y un ajuste lineal con x=sen(θ) e y=Fuerza medida, y obtener el peso del cuerpo a partir del ajuste lineal.

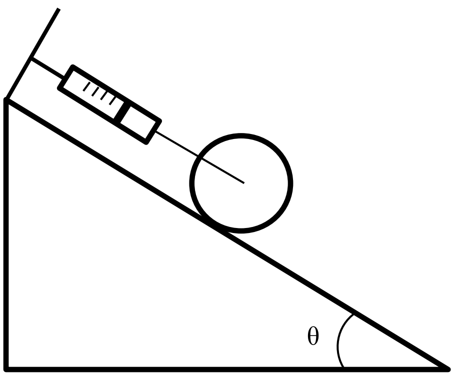

Figura 7.2

θ						
Fuerza ( )						

Tabla 7.1

En el segundo ensayo, debe cambiar el objeto cilíndrico por uno de los bloques con distintas superficies, y desenganchar el dinamómetro. Como este cuerpo ya tiene rozamiento, la fuerza de la componente paralela al plano del peso y la fuerza de rozamiento estático se encuentran en equilibrio. Determinar el coeficiente de rozamiento estático de las distintas superficies variando ligeramente el ángulo hasta que la fuerza de la componente paralela al plano del peso sea ligeramente superior a la fuerza de rozamiento estático y se deshaga el equilibrio.

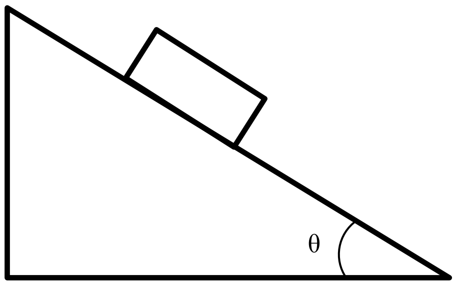

Figura 7.3

	Superficie 1	Superficie 2	Superficie 3	Superficie 4
θ				

Tabla 7.2

A continuación debe calcular el coeficiente rozamiento estático, μ_e, para cada superficie, determinándolo a través de la expresión de equilibrio estático del sistema en el punto límite.

μ_1 = ± μ_2= ±

μ_3 = ± μ_4= ±

¿Le parecen correctos los valores de los coeficientes de rozamiento estático?

8

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA. ENERGÍA POTENCIAL Y CINÉTICA

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Medir la constante elástica de un muelle.
- Comprobar la conservación de la energía.
- Cálculo de errores.
- Calcular el trabajo de rozamiento.

MATERIAL

- Medidores de velocidad y software.
- Cinta métrica.
- Carritos.
- Carriles de coches.
- Masas.
- Bloque de madera

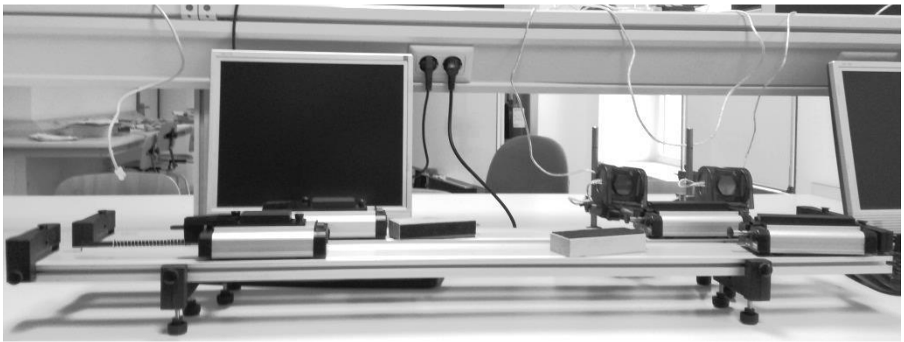

Figura 8.1

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

La ley de conservación de la energía mecánica establece que si sobre un cuerpo no se aplica un trabajo externo su energía mecánica se conserva, siendo ésta la suma de las energías potenciales y la cinética. En esta práctica se va a estudiar la conservación de la energía mecánica de un carrito que tiene energía potencial elástica y energía cinética:

$$E_m = E_{pe} + E_c = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = cte$$

En primer lugar se debe determinar la constante elástica del muelle, k, a partir del lanzamiento del carrito. Para ello debe medir la separación de la posición de equilibrio del muelle, x, y calcular la energía cinética que adquiere el carrito utilizando el software de medición de velocidad. A través de la expresión de la conservación de la energía mecánica, E_m, puede calcular la constante elástica del muelle. Repetir como mínimo tres veces para obtener k con mayor precisión.

x ( )			
v ( )			

Tabla 8.1

A continuación debe calcular la constante elástica, k_{media}, realizando la media de los valores de k calculados.

$k_{muelle\,,media}$ = ±

Ahora debe demostrar que se cumple la ley de conservación de la energía mecánica. Para ello, debe colocar una masa encima del carrito, lanzarlo, y comprobar que su energía potencial elástica y cinética son iguales antes y después del lanzamiento, es decir, su energía mecánica se mantiene siempre constante. Repetir varias veces cambiando las masas.

		x= ( )		
	$E_{pe,i}$ ( )	v_f ( )	$E_{c,f}$ ( )	E_m ( )
m_1= ( )				
m_2= ( )				
m_3= ( )				

Tabla 8.2

Por último, coloque el bloque de madera detrás del carrito, de forma que pueda transportarlo empujándolo. Ahora se produce una pérdida de la energía inicial debido al trabajo de rozamiento.

$$E_{pe,i} = E_{c,f} + W_{roz}$$

Calcular la energía potencial elástica que tiene el sistema, medir la distancia recorrida hasta que el conjunto bloque-carrito se detiene, d, y determinar el trabajo de rozamiento. A continuación, determine el coeficiente de rozamiento dinámico. Hacerlo para varias masas y para dos superficies de rozamiento distintas.

		x= ( )		
	$E_{pe,i}$ ( )	d ( )	W_{roz} ( )	μ_1
m_1= ( )				
m_2= ( )				
m_3= ( )				

Tabla 8.3

		x= ( )		
	$E_{pe,i}$ ( )	d ( )	W_{roz} ( )	μ_2
m_1= ( )				
m_2= ( )				
m_3= ( )				

Tabla 8.4

¿Existen diferencias entre los distintos valores calculados para el coeficiente de rozamiento dinámico del caso 1, μ_1? ¿y para el caso 2, μ_2? Comente su respuesta

¿Podría determinar la velocidad del carrito, y por tanto su energía cinética, grabando un video de los distintos lanzamientos? ¿Cometería algún tipo de error? Comente, realice y demuestre su respuesta

9

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA. ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA Y GRAVITATORIA

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Medir la constante elástica de un muelle.
- Comprobar la conservación de la energía.
- Cálculo de errores.
- Calcular el trabajo de rozamiento.

MATERIAL

- Carriles de coches elevable.
- Cinta métrica.
- Carritos.
- Masas.
- Bloque de madera

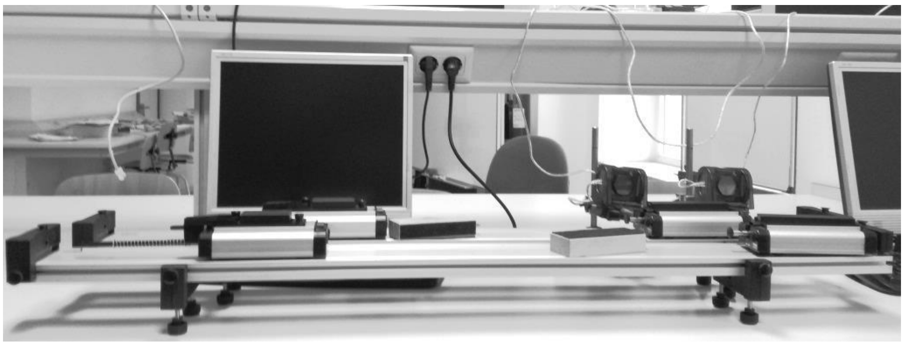

Figura 9.1

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

La ley de conservación de la energía mecánica establece que si sobre un cuerpo no se aplica un trabajo externo su energía mecánica se conserva, siendo ésta la suma de las energías potenciales y la cinética. En esta práctica se va a estudiar la conservación de la energía mecánica de un carrito que tiene energía potencial elástica y energía potencial gravitatoria:

$$E_m = E_{pe} + E_{pg} = \frac{1}{2}kx^2 + mgh = cte$$

En primer lugar debe preparar el dispositivo experimental de la figura 9.2.

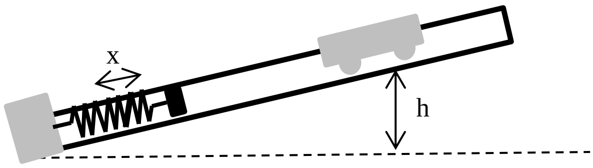

Figura 9.2

A continuación, debe determinar la constante elástica del muelle, k, a partir del lanzamiento del carrito. Para ello debe medir la separación de la posición de equilibrio del muelle, x, y calcular la energía potencial gravitatoria que adquiere el carrito una vez lanzado, midiendo la altura que alcanza una vez se detiene, h. A través de la expresión de la conservación de la energía mecánica, E_m, puede calcular la constante elástica del muelle. Repetir como mínimo tres veces para obtener k con mayor precisión.

x ( )			
h ( )			

Tabla 9.1

A continuación debe calcular la constante elástica, k_{media}, realizando la media de los valores de k calculados.

$k_{muelle\ ,media} =$ $\pm$

Ahora debe demostrar que se cumple la ley de conservación de la energía mecánica. Para ello, debe colocar una masa encima del carrito, lanzarlo, y comprobar que su energía potencial elástica y potencial gravitatoria son iguales antes y después del lanzamiento, es decir, su energía mecánica se mantiene siempre constante. Repetir varias veces cambiando las masas.

		x= ( )		
	$E_{pe,i}$ ( )	h_f ( )	$E_{pg,f}$ ( )	E_m ( )
m_1= ( )				
m_2= ( )				
m_3= ( )				

Tabla 9.2

Por último, coloque el bloque de madera detrás del carrito, de forma que pueda transportarlo empujándolo. Ahora se produce una pérdida de la energía inicial debido al trabajo de rozamiento.

$$E_{pe,i} = E_{pg,f} + W_{roz}$$

Calcular la energía potencial elástica que tiene el sistema, determinar la energía potencial gravitatoria final, y con la diferencia, calcular el trabajo de rozamiento realizado sobre el conjunto bloque-carrito. A continuación, determine el coeficiente de rozamiento dinámico. Hacerlo para varias masas y para dos superficies de rozamiento distintas.

		x= ( )		
	$E_{pe,i}$ ( )	h_f ( )	$E_{pg,f}$ ( )	μ_1
m_1= ( )				
m_2= ( )				
m_3= ( )				

Tabla 9.3

		x= ( )		
	$E_{pe,i}$ ( )	h_f ( )	$E_{pg,f}$ ( )	μ_2
m_1= ( )				
m_2= ( )				
m_3= ( )				

Tabla 9.4

¿Existen diferencias entre los distintos valores calculados para el coeficiente de rozamiento dinámico del caso 1, μ_1? ¿y para el caso 2, μ_2? Comente su respuesta

¿Podría determinar la velocidad del carrito, y por tanto su energía cinética, en un punto intermedio del recorrido? Comente y demuestre su respuesta

10

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Choques elásticos e inelásticos.
- Comprobar la conservación del momento lineal.
- Cálculo de errores.
- Comprobar la conservación de la energía.

MATERIAL

- Medidores de velocidad y software.
- Cinta métrica.
- Carritos.
- Carriles de coches.
- Masas.

Figura 10.1

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

La ley de conservación del momento lineal establece que si sobre un cuerpo no se aplica una fuerza externa éste se conserva. De hecho, esta es otra manera de expresar la 1ª ley de Newton.

Consideramos como colisiones entre dos cuerpos, aquellos casos en los que un objeto se descompone en dos, dos objetos chocan y permanecen unidos, choques de dos partículas que resultan en otras dos diferentes y choques donde la masa de las partículas permanece invariable. La característica común a todos ellos es que, considerándolos como sistemas de partículas, podemos hacer uso de la conservación del momento lineal y de la energía para evaluar el sistema.

Para todos los casos anteriores, el momento lineal se conserva

$$m_{1,i}\overrightarrow{v_{1,i}} + m_{2,i}\overrightarrow{v_{2,i}} = m_{1,f}\overrightarrow{v_{1,f}} + m_{2,f}\overrightarrow{v_{2,f}} \rightarrow \overrightarrow{p_i} = \overrightarrow{p_f}$$

Además, se conserva la energía total del sistema, de forma que el choque puede generar un cambio en la energía interna del mismo, ΔU, cumpliéndose que:

$$\frac{1}{2}m_{1,i}v_{1,i}^2 + \frac{1}{2}m_{2,i}v_{2,i}^2 = \frac{1}{2}m_{1,f}v_{1,f}^2 + \frac{1}{2}m_{2,f}v_{2,f}^2 + \Delta U$$

En esta práctica se va a estudiar la conservación del momento lineal de dos carritos que chocan elásticamente, es decir, no cambian su masa, ni su forma, ni se desprende calor en el choque, ΔU=0.

Active el sistema de muelles de los carritos, de forma que puedan chocar elásticamente. Empuje ambos carritos, uno contra el otro, y mida la velocidad que queda registrada en el software del medidor. Compruebe que se cumple la conservación del momento lineal y de la energía. Repetir como mínimo tres veces con tres masas diferentes.

	$v_{1,i}$ ( )	$v_{2,i}$ ( )	$v_{1,f}$ ( )	$v_{2,f}$ ( )	p_i ( )	p_f ( )	Ec_i ( )	Ec_f ( )
m_1= ( )								
m_2= ( )								
m_3= ( )								

Tabla 10.1

A continuación, se va a determinar el cambio en la energía interna generado en el choque. Active el sistema de imanes de los carritos, de forma que puedan chocar inelásticamente, es decir, después del choque los carritos permanecerán unidos. Empuje ambos carritos, uno contra el otro, y mida la velocidad que queda registrada en el software del medidor. A través de la expresiones anteriores determine la variación de la energía interna, ΔU. Repetir como mínimo tres veces con tres masas diferentes.

	$v_{1,i}$ ( )	$v_{2,i}$ ( )	v_f ( )	Ec_i ( )	Ec_f ( )	ΔU ( )
m_1= ( )						
m_2= ( )						
m_3= ( )						

Tabla 10.2

Comente los resultados obtenidos para la variación de la energía interna, ΔU.

¿Podría determinar la velocidad de los carritos, y por tanto su momento lineal, antes y después del choque grabando un video? ¿Cometería algún tipo de error? Comente, realice y demuestre su respuesta

11

EQUILIBRIO ESTÁTICO

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Determinar el equilibrio de fuerzas.
- Determinar el equilibrio de momentos de las fuerzas.
- Cálculo de errores.

MATERIAL

- Dinamómetro.
- Masas.
- Colgadores de masas.
- Transportador de ángulos.
- Anilla
- Polea de rozamiento despreciable
- Hilo
- Sólido rígido (barra)

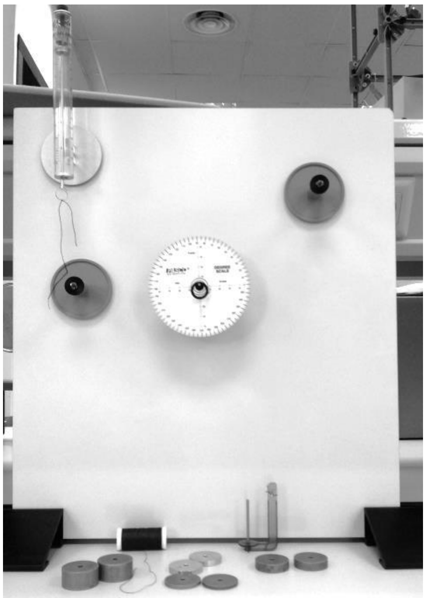

Figura 11.1

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

Para que una partícula esté en equilibrio estático, su aceleración debe ser cero, luego la suma de fuerzas sobre la partícula debe ser cero.

Demostrar que en el equilibrio estático de una partícula, o de un punto material, la suma de tres o más fuerzas es cero. Para ello debe hacer que tres fuerzas que se puedan medir actúen sobre el anillo proporcionado de forma que esté en equilibrio, medir los ángulos de las fuerzas y comprobar que su suma sea cero. Así, debe construir el sistema mostrado en la figura 11.2, utilizando los colgadores de masas, las masas, el dinamómetro, las poleas, el hilo, el transportador de ángulos y el punto material, el anillo. Repetir como mínimo tres veces con diferentes masas y ángulos.

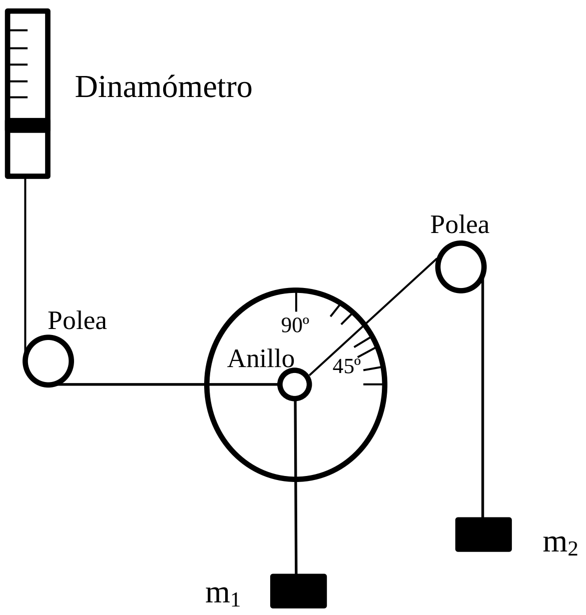

Figura 11.2

	m_1 ( )	m_2 ( )	Dinamómetro ( )	Ángulo ( )
Sistema 1				
Sistema 2				
Sistema 3				

Tabla 11.1

Sistema 1:

$\sum F_x=0$

$\sum F_y=0$

Sistema 2:

$\sum F_x=0$

$\sum F_y=0$

Sistema 3:

$\sum F_x=0$

$\sum F_y=0$

Para que un sólido rígido esté en equilibrio estático, su aceleración y aceleración angular deben ser cero, para ello, la fuerza externa neta resultante sobre él debe ser nula, y la suma de momentos de las fuerzas respecto a cualquier punto debe ser cero.

Demostrar que en el equilibrio estático de un sólido rígido, barra, la suma de los momentos externos aplicados respecto a un punto es cero. Para ello, construir el sistema mostrado en la figura 11.3, utilizando los colgadores de masas, las masas, el hilo y la barra de giro. Repetir como mínimo tres veces con diferentes sistemas de masas.

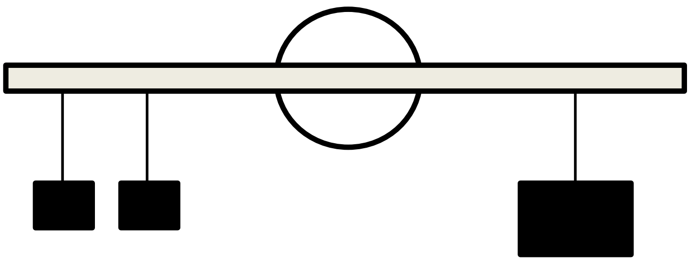

Figura 11.3

	m_1 ( )	m_2 ( )	m_3 ( )	m_4 ( )
Sistema 1				
Sistema 2				
Sistema 3				

Tabla 11.2

Sistema 1:

$\sum M_{cm}=0$

Sistema 2:

$\sum M_{cm}=0$

Sistema 3:

$\sum M_{cm}=0$

12

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Determinar el equilibrio de fuerzas.
- Determinar densidades de distintos materiales.
- Cálculo de errores.

MATERIAL

- Dinamómetro.
- Objetos de distintos materiales.
- Recipiente medidor de volúmenes.
- Soporte.

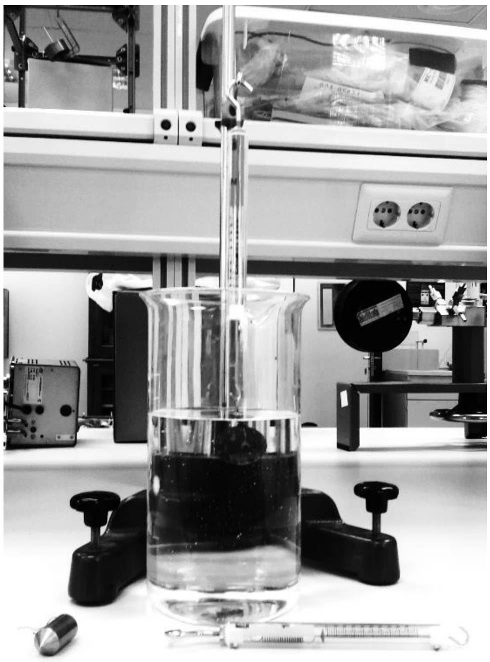

Figura 12.1

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

El principio de Arquímedes nos dice que el empuje, fuerza ascensional, que experimenta un cuerpo sumergido en un fluido es igual al peso del fluido desalojado por dicho cuerpo.

$$E = \rho_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{desalojado}} \cdot g$$

A través de la medición del peso del cuerpo, P, y del empuje, E, que sufre sumergido completamente en un fluido, es posible determinar la densidad del cuerpo en función de la densidad del fluido.

$$\frac{P}{E} = \frac{\rho_{\text{cuerpo}}}{\rho_{\text{fluido}}}$$

En primer lugar debemos determinar la densidad del fluido, en este caso agua. Para ello, utilizaremos la definición de densidad, un recipiente medidor de volúmenes y una balanza.

V_{agua} = ± m_{agua} = ±

ρ_{agua} = ±

A continuación, debe determinar las densidades de los distintos materiales e indicar de qué material se trata consultando la bibliografía. Para ello, debe construir el sistema mostrado en la figura 12.2, utilizando los cuerpos de estudio, el dinamómetro, el recipiente medidor y un fluido de densidad conocida, agua, y completar la tabla 12.1. Para el cálculo del empuje, E, debe plantear las ecuaciones de equilibro de la figura 12.2.

$\sum F_y=0$

Repita el procedimiento como mínimo tres veces con cada material para una mayor precisión.

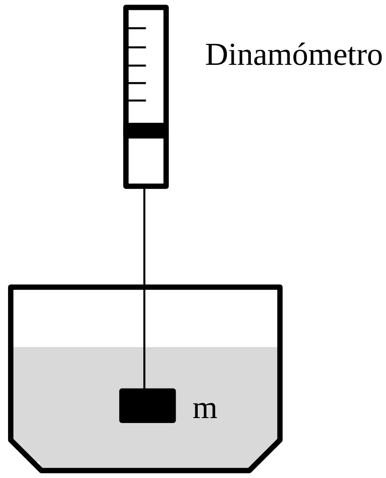

Figura 12.2

	m ( )	P ( )	Dinamómetro ( )	E ( )
Material 1				
Material 2				
Material 3				

Tabla 12.1

Material 1:

$\rho_1 =$ $\pm$

El material 1 es ……….

Material 2:

$\rho_2 =$ $\pm$

El material 2 es ……….

Material 3:

$\rho_3 =$ $\pm$

El material 3 es ……….

13

PRINCIPIO DE BERNOULLI

OBJETIVOS

Generales:

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

Específicos:

- Determinar el principio de Bernoulli.
- Determinar la ecuación de continuidad.
- Cálculo de errores.

MATERIAL

- Recipiente con orificios.
- Pie de rey.
- Cinta métrica.

Figura 13.1

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

La ecuación de Bernoulli se puede considerar como una nueva forma de reescribir el principio de la conservación de la energía mecánica.

$$P + \rho g h + \frac{1}{2}\rho v^2 = cte$$

El primer término es la presión estática, P, el segundo se debe a la presión debida a la posición en altura del fluido, y el último término es debido a la velocidad del fluido. Realizando una comparación con la ecuación de la conservación de la energía, los dos primeros términos corresponderían a la energía potencial y el último a la energía cinética.

Suponiendo que el problema se desarrolla en régimen estacionario, la cantidad de masa que pasa por unidad de tiempo, es constante.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\rho \Delta V}{\Delta t} = \frac{\rho v S \Delta t}{\Delta t} = \rho v S = cte$$

Así, en una tubería con dos secciones distintas (S_1 y S_2), se cumple la conservación de la masa del fluido, es decir, la masa que entra es igual a la masa que sale. Suponiendo la densidad de un fluido, ρ, que se desplaza a una velocidad v, es constante, la expresión anterior puede reescribirse como:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Conocida como ecuación de continuidad, implica que si aumentamos la sección de la tubería la velocidad del fluido disminuye, y viceversa.

Otra forma de la expresión anterior, es la conservación del caudal

$$Q_1 = Q_2$$

donde $Q = vS$.

A continuación, monte el dispositivo experimental de la figura 13.2 y complete la tabla 13.1. Suponga que la velocidad de desplazamiento del fluido en el depósito es despreciable, $v_1 \approx 0$, y que el flujo es laminar y no viscoso.

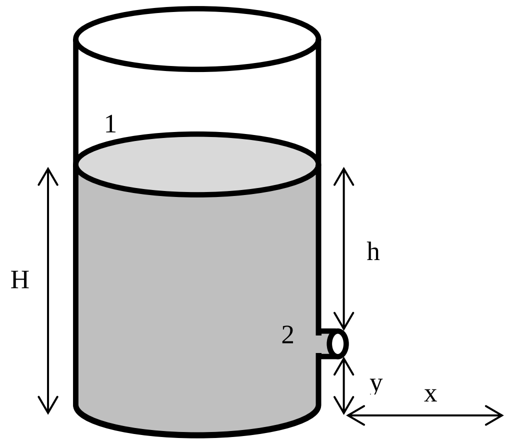

Figura 13.2

H ( )	**h ( )**	**d_2 ( )**	**S_2 ( )**

Tabla 13.1

donde H es la altura total del fluido, h la distancia desde el orificio hasta la altura final del fluido y d_2 el diámetro del orificio.

Utilizando los datos de la tabla 13.1 y las expresiones anteriores, determine la velocidad de salida del fluido por el orificio, v_2, y su caudal, Q_2.

$v_2 =$ $\pm$

$Q_2 =$ $\pm$

Una vez determinada la velocidad de salida del fluido por el orificio, v_2, calcule la distancia horizontal x con respecto al orificio de salida alcanzada por el flujo del fluido y compárela con la obtenida experimentalmente.

$x_{teórica}$ = ±

$x_{experimental}$ = ±

¿Existe alguna diferencia entre los resultados obtenidos? En caso afirmativo, ¿a qué se debe?

¿Es correcta la simplificación realizada sobre la velocidad de desplazamiento del fluido en el depósito al considerarla despreciable, $v_1 \approx 0$? Justifique su respuesta

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:

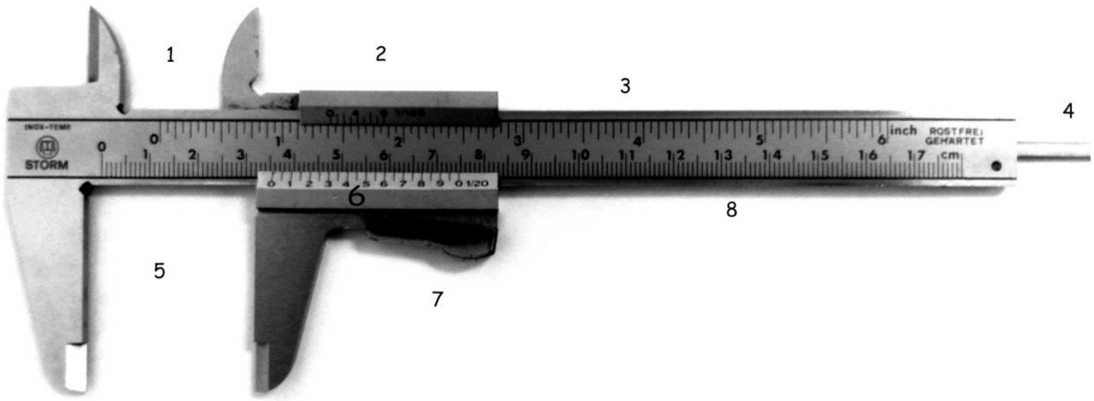

Figura I.1

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.

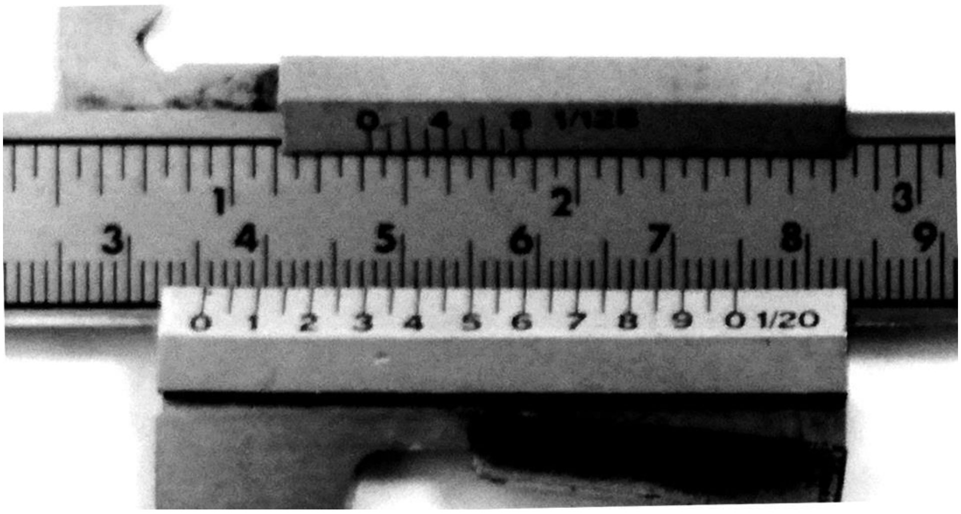

Figura I.2

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.

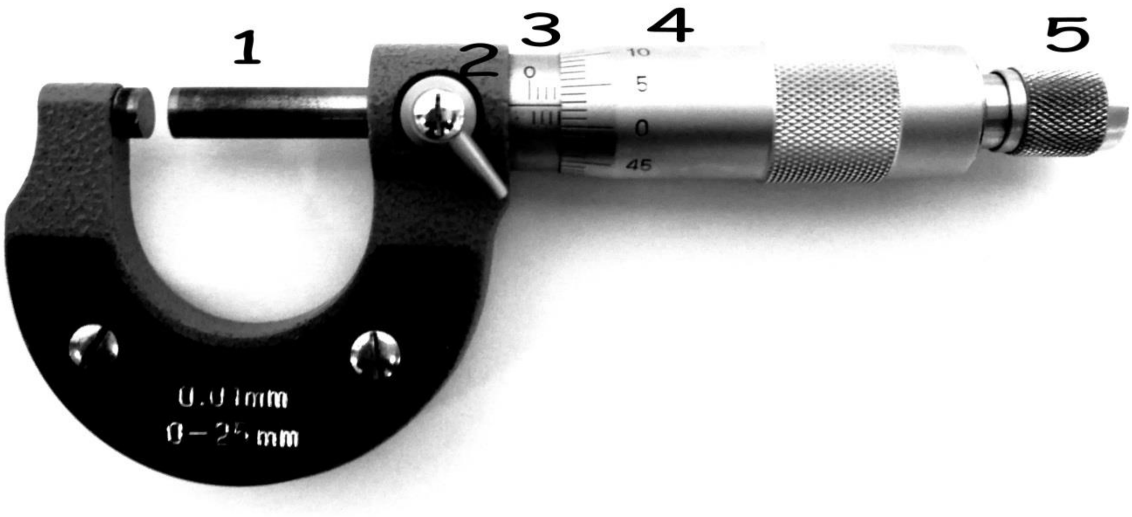

Figura I.3

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

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 Δ**X**, la medida se expresa como:

$$\mathbf{X} \pm \Delta\mathbf{X}$$

Como ejemplo, podemos tener las siguientes medidas: 3.34 m ± 0.02 m, (27.3±0.4) N, 2400 A ± 100 A.

El ± indica que el valor verdadero puede encontrarse por encima o por debajo del valor medido. Así, al escribir **X**±Δ**X**, estamos diciendo que el valor verdadero se encuentra, o más bien, creemos que se encuentra en el intervalo [**X**-Δ**X**,**X**+Δ**X**]. Por ejemplo, si tenemos la medida 3.34 m ± 0.02 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:

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

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

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,…, x_N, con errores asociados Δx_1, Δx_2,…, Δx_N, la expresión que nos da el error de la magnitud calculada es

$$\Delta \mathrm{y} = \left|\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial \mathrm{x}_1}\right|\Delta \mathrm{x}_1 + \left|\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial \mathrm{x}_2}\right|\Delta \mathrm{x}_2 + \left|\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial \mathrm{x}_3}\right|\Delta \mathrm{x}_3 + \ldots + \left|\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial \mathrm{x}_N}\right|\Delta \mathrm{x}_N$$

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 m/s ± 0.2 m/s y de su masa m=5.300 kg ± 0.005 kg, tendremos que hacerlo a partir de su fórmula $Ec=mv^2/2$. El valor será:

$$Ec=5.3*5.4^2/2=77.2740 \text{ J}$$

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 m ± 0.001 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 está 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:

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

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.

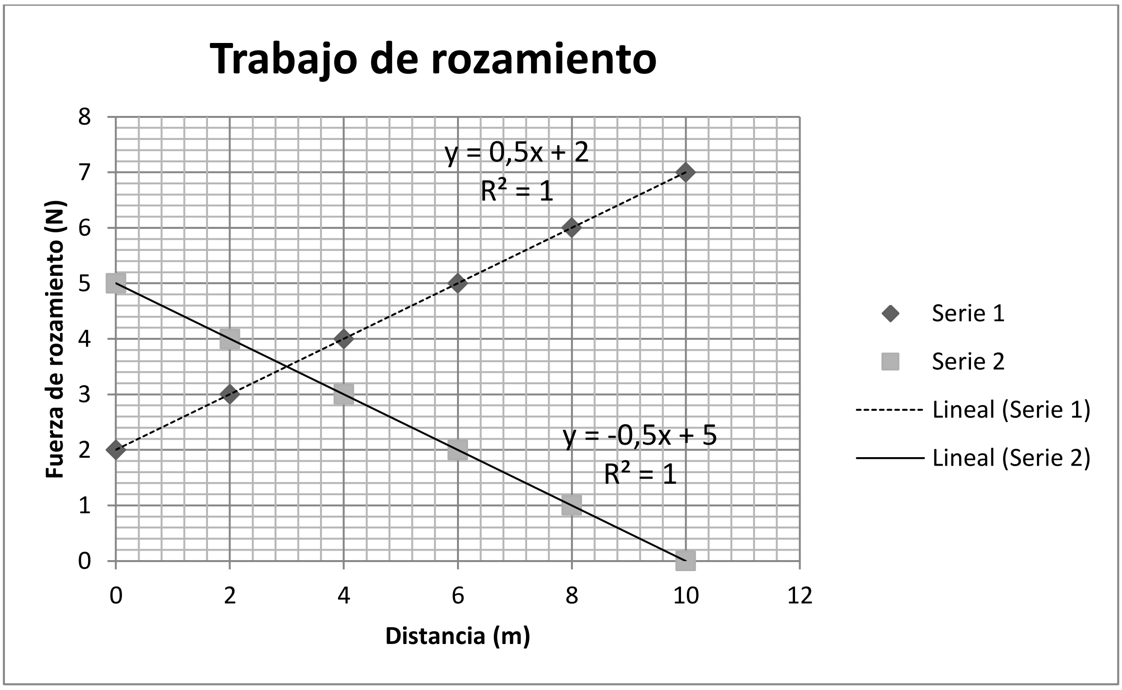

Figura III.1

APÉNDICE IV

UNIDADES DE MEDIDA
NOTACIÓN CIENTIFICA

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, $0.000023=2.3\cdot10^{-5}$ o $65000000= 6.5\cdot10^{7}$. Otra forma de expresar cantidades pequeñas o grandes es mediante el uso de un prefijo delante de las unidades. Así, 0.0023 A = 2.3 mA o 6500000 V = 6.5 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

REDACCIÓN Y PRESENTACIÓN DE INFORMES

V.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

V.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 Britanico, 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 Metrotecnia. Sistema Internacional de Unidades SI. Madrid, 1974.

Conesa Valverde M., Sánchez Pérez J.F. y Castro Rodríguez E., “Prácticas de Física para Ingenieros. Física II: Termodinámica, ondas, electricidad y óptica”, Dpto. Física Aplicada. UPCT. Rai UPCT Ediciones.

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.

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