GUÍA

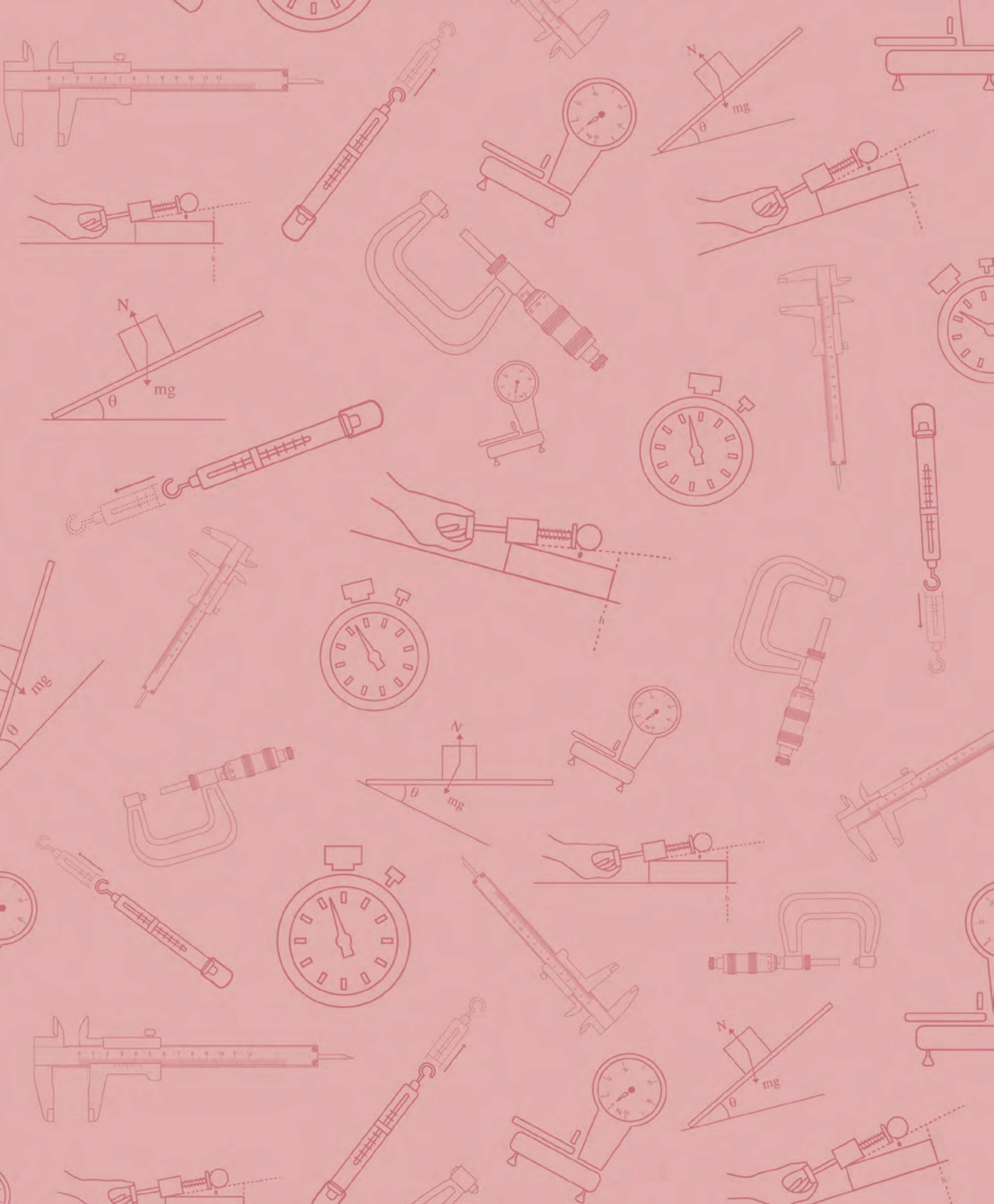
LABORATORIO DE FÍSICA I

FÍSICA MECÁNICA

Francy Nelly Jiménez García · Jairo de Jesús Agudelo Calle

TERCERA EDICIÓN 2017

UAM
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES


N
mg
θ

GUÍA

LABORATORIO DE FÍSICA I
FÍSICA MECÁNICA

Francy Nelly Jiménez García · Jairo de Jesús Agudelo Calle

DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS · TERCERA EDICIÓN 2017
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN FÍSICA Y MATEMÁTICAS

UAM®
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

Catalogación en la fuente

Jiménez García, Francy Nelly
Guía. Laboratorio de física I : física mecánica / Francy Nelly Jiménez García, Jairo de Jesús Agudelo Calle; editado por Laura V. Obando Alzate – 3 ed. Manizales : UAM, 2017

126 p. : il.
ISBN: 9789588730783

1. Física-Manuales de laboratorio. 2. Física-Mediciones. 3. Física-Estadística. 4. Error (Física)
I. Agudelo Calle, Jairo de Jesús. II. Laura V. Obando Alzate, ed. III. Universidad Autónoma de Manizales. IV. Grupo de Investigación Física y Matemáticas

UAM 530.78 J614 CO-MaBABC

Fuente: Biblioteca Alfonso Borrero Cabal, S.J.

Antigua Estación del Ferrocarril
E-mail: editorial@autonoma.edu.co
Teléfono: (56+6) 8727272 Ext. 166
Manizales-Colombia

Miembro de la Asociación de Editoriales Universitarias de Colombia, ASEUC

Título: Guía Laboratorio de Física I. Física Mecánica
Autores: Francy Nelly Jiménez García / Jairo de Jesús Agudelo Calle
E-mail: francy@autonoma.edu.co / jdjac945@autonoma.edu.co

Tercera edición
Manizales, junio de 2017
ISBN: 978-958-8730-78-3

Editora: Laura V. Obando Alzate
Diseño y diagramación: Estratósfera Colectivo de Diseño | estratosfera.com.co

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Esta guía ha sido diseñada para servir de apoyo en la realización de las experiencias de laboratorio que complementan el curso de Física I (Física Mecánica) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Manizales.

El proceso de medición es de fundamental importancia en la actividad científica, cualquiera que sea la especialidad u orientación. En las ciencias básicas, el proceso de medición y el análisis del error tienen una gran importancia, pues están relacionados íntimamente con el método científico. El proceso o método científico funciona de la siguiente forma: en primer lugar, tratamos de describir alguna clase de fenómeno de la naturaleza a través de un modelo matemático simple. Analizamos el modelo ya sea analíticamente, con lápiz y papel, o a través de simulaciones numéricas, tratando de encontrar cuáles son las consecuencias o predicciones del modelo simple. Una vez obtenidas, las comparamos con experimentos y observaciones. Si existe un acuerdo entre lo predicho y lo observado, entonces decimos que hemos logrado, en algún sentido, comprender parte de la naturaleza. A pesar de que esta descripción simple del proceso científico es cruda y epistemológicamente criticable, nos muestra que tanto el surgimiento de nuevas teorías como la verificación de sus predicciones dependen de observaciones y mediciones.

Los laboratorios están organizados alrededor de temas relacionados con tratamiento e interpretación de datos experimentales, instrumentos de medida, medidas de error, cinemática, dinámica, trabajo, energía y momentum. Se espera que el estudiante pueda experimentar con fenómenos que suceden en la naturaleza y que los relacione con los conceptos y las leyes fundamentales en la Física. En cada práctica se han incluido objetivos generales, una parte de pre-informe, la cual debe ser consultada por cada uno de los integrantes del grupo antes de realizar la respectiva práctica experimental y es completada en una sección al final de cada práctica designada en esta guía para tal fin. El marco teórico es breve y conciso, pero suficiente para la realización de las prácticas; se espera que los estudiantes revisen la teoría y realicen el pre-informe para que tengan los conceptos mínimos necesarios previamente al desarrollo del laboratorio. El procedimiento describe el desarrollo experimental de cada práctica; en él se dan las instrucciones necesarias para la realización de la misma.

Ya que el tiempo es la limitante principal, es conveniente que los estudiantes realicen una lectura previa del desarrollo experimental. La parte de análisis y resultados es la más importante de la práctica, es ahí donde el estudiante debe obtener conclusiones válidas, utilizando para ello herramientas como: el graficado de resultados, el análisis estadístico, la teoría de errores, entre otros. Este trabajo debe realizarse en su totalidad en el horario de clase dispuesto para laboratorio de Física, con el fin de obtener mejores mediciones o repetir aquellas en las que exista alguna inconsistencia. En cualquier caso el desarrollo de la práctica es plasmado en la "Cartilla Laboratorio de Física I. Física Mecánica", la cual orienta paso a paso el desarrollo del informe de la práctica.

La evaluación de la materia se realiza con base en los reportes presentados por cada uno de los grupos en su respectiva *Cartilla* incluyendo los respectivos pre-informes, resultados y conclusiones, los cuales son entregadas inmediatamente se termine el horario destinado para el desarrollo de la práctica experimental. La mayoría de las prácticas de laboratorio son auto-contenidas, es decir, cada una de ellas puede ser desarrollada por los estudiantes sin necesariamente haber hecho alguna de las otras; la única excepción a esto, es la primera práctica (Tratamiento de Datos Experimentales) la cual debe ser realizada por todos los grupos de trabajo durante la primera sesión de laboratorio. Todas las prácticas experimentales propuestas están planteadas de tal modo que los estudiantes descubran los fenómenos que dan sustento a las leyes Físicas. Esto permite que los distintos experimentos estén, en gran medida, correlacionados con la discusión teórica de los tópicos cubiertos en la clase teórica. Creemos que este modo de trabajo se aproxima de alguna manera a las características reales del desarrollo científico, permitiendo a los estudiantes una visión más abierta y realista de la ciencia y el método científico. Permite, además, desarrollar habilidades de carácter: experimental, al medir cuidadosamente una magnitud física y elegir los instrumentos más adecuados para un fin dado; analítico, al considerar los resultados y los errores en forma crítica, analizando sus implicaciones, haciendo generalizaciones y comparando con los valores teóricos; argumentativo, al formular hipótesis, proponer nuevos experimentos y plantear conclusiones en forma concisa y precisa.

MARCO TEÓRICO

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y ERRORES EN LA MEDIDA

Es muy frecuente para los estudiantes concluir que en las prácticas de laboratorios de física las diferencias entre los resultados obtenidos y los esperados radican en "errores de tipo humano" o en otros factores, como por ejemplo las pérdidas por fricción. En realidad, la explicación no debería ser tan facilista, ya que para dar una conclusión más realista es necesario contar con un tratamiento estadístico de datos, el cual es una herramienta poderosa que permite identificar el origen de las discrepancias entre teoría y experimento.

El fundamento principal de las ciencias experimentales radica en obtener información mediante la observación de los fenómenos que ocurren en la naturaleza. Para que esta información sea válida es necesario tratarla, interpretarla y analizarla, para lograr una correcta interpretación. Lo que se busca en las prácticas de laboratorio es que el estudiante realice mediciones de cantidades físicas, interprete los resultados a partir del tratamiento estadístico de los datos (pendiente, intercepto, coeficiente de correlación, entre otros) y a partir de ellos pueda inferir o corroborar una teoría física; todo ello teniendo en cuenta los diversos errores presentes en el experimento.

La validez de toda teoría científica se fundamenta en la contrastación con la evidencia experimental que está soportada por la medición de las variables físicas. No obstante, el medir una cantidad física sin especificar su rango de incertidumbre o fiabilidad, no contiene mucha utilidad en la ciencia. La incertidumbre de una medida física dice mucho acerca de la tecnología involucrada en el instrumento de medición y del método de cálculo o modelo empleado en la obtención de este valor. A la vez, medir una sola vez una variable física tampoco da un buen criterio de confiabilidad, ya que todas las variables que influyen en un experimento no pueden ser absolutamente controladas; es por ello que las mediciones deben efectuarse varias veces bajo idénticas condiciones. Un tratamiento estadístico de las fluctuaciones de estas mediciones efectuadas bajo idénticas condiciones, alrededor de un cierto valor más probable, da una idea no sólo de la reproducibilidad de la medida sino de la confiabilidad del método de medición empleado.

1. DEFINICIONES FUNDAMENTALES

1.1. Valor promedio o media de una medida

Sea X la cantidad a medir, si se repite la medición en las mismas condiciones n veces, se obtienen n resultados para $x(x_1, x_2, x_3, x_4, \ldots.. x_n)$, y se puede calcular el promedio aritmético $\bar{x}$ de los x_i medidos, así:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots.. + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \qquad (1)$$

1.2. Errores absolutos y Errores relativos

Cada valor x_i presenta una variación con respecto al valor medio $\bar{x}$, conocida como **error absoluto** y está dado por:

$$\Delta x_i = |\bar{x} - x_i|$$

La media de estos errores absolutos permite obtener el **error absoluto** medio así:

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum |\bar{x} - x_i|}{n} \qquad (2)$$

El **error relativo**, ε, de cada medida x_i, se define como el error absoluto dividido por la media $\bar{x}$. El error relativo medio se escribe en porcentaje y se obtiene al multiplicar por 100:

$$\%\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100 = \frac{\sum |\bar{x} - x_i|}{n \cdot \bar{x}} \times 100 \qquad (3)$$

Los experimentos que se hacen en este nivel deberían arrojar resultados con errores relativos menores al 10%. Un resultado de un experimento significativo en un laboratorio de investigación debe tener un error del 1% o menos.

El error absoluto si bien es el resultado final que se quiere obtener, tiene un inconveniente. Si por ejemplo se afirma que la longitud, L, se mide con un error de 1 cm, no se puede concluir nada sobre la calidad de la medida, ya que no se sabe cuál era la cantidad a medir. Si L es 50 cm, se tiene un **error relativo** de 1/50 = 0,02 = 2% lo que es aceptable. Mientras que si la cantidad a medir es de 5 m el error relativo es ahora 1/500 = 0,002 = 0,2% lo que es excelente.

1.3. Valor real de una magnitud

El valor real de una magnitud medida ($\mathbf{X}$) puede expresarse empleando las ecuaciones (1) y (2) es decir, $\mathbf{X}$ = valor promedio ± error absoluto medio.

$$X = \bar{x} \pm \overline{\Delta x} \tag{4}$$

1.4. Porcentaje de error relativo

Cuando se tiene un valor medido experimentalmente **y se tiene un valor teórico con el cual comparar**, se puede hallar el porcentaje de error relativo de la siguiente forma:

$$\boxed{\%\varepsilon = \frac{\left|Valor\ te\acute{o}rico - Valor\ experimental\right|}{Valor\ te\acute{o}rico} \times 100} \tag{5}$$

» Ejemplo 1: Para calcular el periodo de oscilación de un péndulo se realizaron cuatro medidas, obteniéndose los siguientes valores: T_1 = 0,412 s, T_2 = 0,409 s, T_3 = 0,410 s, T_4= 0,414 s. Con esta información, determinar el valor medio, el error absoluto, el error absoluto medio, el error relativo medio, el porcentaje de error y el valor real.

<u>Valor medio:</u>

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} = \frac{0,412 + 0,409 + 0,410 + 0,414}{4} = \boxed{0,411\ \text{s}}$$

Error absoluto:

$$\Delta x_1 = |\bar{x} - x_1| = |0,411 - 0,412| = 0,001$$

$$\Delta x_2 = |\bar{x} - x_2| = |0,411 - 0,409| = 0,002$$

$$\Delta x_3 = |\bar{x} - x_3| = |0,411 - 0,410| = 0,001$$

$$\Delta x_4 = |\bar{x} - x_4| = |0,411 - 0,414| = 0,003$$

Error absoluto medio:

$$\Delta x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4}{4} = \frac{0,001 + 0,002 + 0,001 + 0,003}{4} = 0,0017s \cong 0,002s$$

Error relativo medio de las medidas:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} = \frac{0,002}{0,411} = 0,0049}$$ en porcentaje es: $\boxed{0,49\%}$

El resultado en la medida del periodo de oscilación del péndulo es:

$$\boxed{\mathrm{x} = \bar{x} \pm \Delta x = 0,411 \pm 0,002 \text{ (s)}}$$

1.5. Teoría de errores en la medida

1.5.1. Medidas:

Como ya se ha explicado, cuando se realice la medida de cualquier magnitud hay que indicar el error asociado a la misma. Dado que no conocemos el valor verdadero de la magnitud que deseamos medir, se siguen ciertos procedimientos para hacer una estimación del mismo y de su límite de error. Con el fin de alcanzar cierta validez estadística en los resultados de las medidas, es muy conveniente repetir varias veces su determinación; por convenio, se ha establecido en

3 este número mínimo. No obstante, es posible que en alguna ocasión no tenga sentido llevar a cabo estas repeticiones, en cuyo caso se considera que el error absoluto coincide con el valor de la sensibilidad del aparato utilizado para realizar la medida. En el caso habitual, cuando son 3 las medidas tomadas, pueden presentarse poco o muy dispersas y en función de esta dispersión puede ser conveniente aumentar o no el número de determinaciones del valor de la magnitud.

1.5.2 Tipos de medidas:

Las medidas experimentales están afectadas por cierta imprecisión en sus valores debido a las limitaciones en la escala del aparato de medida o a las limitaciones de nuestros sentidos en el caso de que sean ellos los que deben registrar la información. Por tal razón, resulta imposible conocer el valor exacto de alguna magnitud física, sin embargo, el problema puede ser tratado, estableciendo los límites dentro de los cuales se encuentra dicho valor. El valor de las magnitudes físicas se obtiene experimentalmente efectuando una *medida*. Ésta puede ser directa (obtenida por medio del valor medido de la magnitud en cuestión) o indirecta (medida a partir de otra magnitud ligada con la magnitud problema mediante una fórmula física).

1.5.3 Error:

El error se define como la diferencia entre el valor verdadero y el obtenido experimentalmente. Los errores no siguen una ley determinada y su origen puede estar dado por múltiples causas; sin embargo, es posible clasificarlos en:

<u>Errores sistemáticos:</u> estos errores permanecen constantes a lo largo de todo el proceso de medida afectándolas de un modo definido, siendo el mismo para todas ellas. Se pueden subclasificar en:

» *Errores instrumentales.* Son los ocasionados por el instrumento de medida. Es así, por ejemplo, que cuando se miden longitudes con reglas o calibradores no tiene sentido tomar dichas medidas varias veces, ya que se obtendrá el mismo valor. En estos casos el error absoluto de la medida está dado por la precisión (la graduación más pequeña) del instrumento de medida.

» *Errores Personales.* Dado por limitaciones propias del experimentador.

» *Errores del método.* Generados por la elección del método, por ejemplo, cuando se lleva a cabo la determinación de una medida mediante un método que no es idóneo.

Errores accidentales: Son los que se producen en las variaciones que pueden darse entre observaciones sucesivas realizadas por un mismo operador. Las causas de estos errores son incontrolables para el observador y son en su mayoría de magnitud muy pequeña.

1.5.4 Exactitud, precisión y sensibilidad:

La *exactitud* es el grado de concordancia entre el valor verdadero y el experimental, mientras que la *precisión* es el grado de concordancia entre una medida y otras de la misma naturaleza realizadas en condiciones iguales. La *sensibilidad* de un equipo de medida es el valor mínimo de la magnitud que es capaz de medir y normalmente se admite que la sensibilidad de un aparato viene indicada por el valor de la división más pequeña de la escala de medida.

1.5.5 Propagación de errores:

Para minimizar los errores obtenidos por cálculos, en muchas ocasiones, sobre todo cuando se trabaja con calculadora o computador, lo más conveniente es tomar todos los decimales que aparecen para el número en cuestión, de esta manera, su error es muy pequeño y puede despreciarse frente a los del resto de las magnitudes que intervengan. El procedimiento para determinar el error de la medida hecha de manera indirecta se entiende mediante el cálculo diferencial, es decir, el error en medidas indirectas se propaga sobre las fórmulas como derivadas implícitas, las cuales se caracterizan por ser tomadas en el caso de mayor error posible, para lo cual se toman los valores absolutos de las derivadas parciales con el fin de tener una suma de términos positivos. Por ejemplo, si medimos el diámetro ($2r$) y la altura (h) de un cilindro, podemos determinar su volumen (V) empleando la fórmula:

$$V = \pi r^2 h \qquad (6)$$

Donde, r es el radio de la parte circular. Si ahora deseamos calcular el error cometido en la medida, aplicamos derivada implícita, obteniéndose:

$$\Delta V = \pi r^2 \Delta h + 2\pi r h \Delta r \tag{7}$$

Donde Δh, es el error absoluto de la medida de la altura, mientras que Δr corresponde al de la medida del radio.

» Ejemplo 2: Si se tiene un anillo al cual se han medido sus radios y altura con un calibrador de precisión 0,05 mm y se han obtenido los valores: radio exterior 3.00 cm, radio interior 2.00 cm, espesor 0.600 mm ¿cuál es el error propagado al calcular el volumen del anillo?

El volumen de un anillo está dado por: $V = \pi(r_{ext}{}^2 - r_{\text{int}}{}^2)h$

El ΔV será entonces, por derivación implícita:

$$\Delta V = \pi(r_{ext}{}^2 - r_{\text{int}}{}^2)\Delta h + 2\pi r_{ext} h \Delta r_{ext} - 2\pi r_{\text{int}} h \Delta r_{\text{int}}$$

Los valores de ΔV, Δr_{ext} y Δr_{int} están dados por el instrumento de medida, es decir valen ± 0.005 cm. Se debe tomar el mayor error posible, por ello el error en el cálculo del volumen se toma con signo positivo así:

$$\Delta V = \pi(r_{ext}{}^2 - r_{\text{int}}{}^2)\Delta h + 2\pi r_{ext} h \Delta r_{ext} - 2\pi r_{\text{int}} h \Delta r_{\text{int}}$$

Reemplazando se tiene: $V = \pi((3.00)^2 - (2.00)^2)*(0.06) = 0{,}943\ cm^3$

$$\Delta V = \pi((3.00^2 - 2.00^2)*(0.005) + 2*\pi*3.00*0.06*0.005 - \\ 2*\pi*2.00*0.06*0.005 = 0{,}088\ cm^3$$

El valor real del volumen es, entonces

$$V = 0{,}943 \pm 0{,}088\ \text{cm}^3$$

2. MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS

2.1 Descripción del método

A nivel práctico, surge frecuentemente la necesidad de resolver problemas que involucren un conjunto de variables que se relacionan entre sí. Un caso particular de relación entre dos variables es el comportamiento lineal. Un método muy práctico utilizado para encontrar una recta ajustable al comportamiento lineal, se conoce como el Método de los Mínimos Cuadrados. Este es un método que se utiliza para buscar la curva (en nuestro caso la recta) de ajuste óptimo que minimiza la suma de los cuadrados de los errores, de un conjunto de datos experimentales (ver Figura 1).

x_i	y_i	$\hat{y}_i$
x_1	y_1	$\hat{y}_1$
x_2	y_1	$\hat{y}_2$
⋮	⋮	⋮
x_n	y_n	$\hat{y}_n$

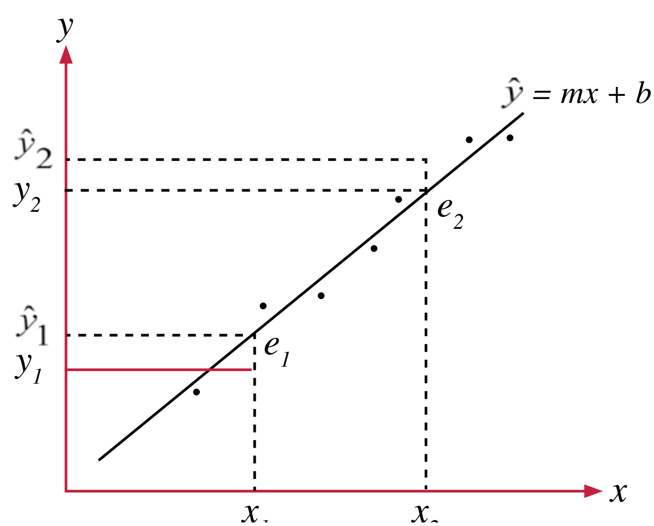


Figura 1. Gráfica de datos experimentales y ajuste teórico

De donde x_i y y_i son los datos experimentales y $\hat{y} = mx + b$ es la ecuación de la mejor recta de ajuste. Los valores de la pendiente (m) y el intercepto (b) se obtienen con base en las ecuaciones 8 y 9, las cuales resultan de realizar un procedimiento matemático para minimizar la suma de los cuadrados de los errores (S),

$$S = \sum \left[y_i - (mx_i + b) \right]^2 \qquad (8)$$

$$\boxed{m = \frac{n\sum x_i y_i - \left(\sum x_i\right)\left(\sum y_i\right)}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}} \qquad (9)$$

$\overline{x}$ y $\overline{y}$ son los promedios de los valores de x_i y y_i experimentales y n es el número de datos.

Ahora es necesario saber cuál es el poder explicativo del modelo de ajuste lineal obtenido. Esto puede hacerse mediante *el coeficiente de determinación* (r^2) dado por la ecuación 10:

$$\boxed{r^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \overline{y})^2}{\sum (y_i - \overline{y})^2}} \qquad (10)$$

Un $r^2 = 1$ indica que todos los datos experimentales correlacionan un conjunto de puntos colineales (todos coinciden con la misma línea recta, para este caso en particular), y entre más alejado esté el resultado de 1, es indicio de que los datos experimentales se alejan más de una verdadera línea recta. La raíz cuadrada del resultado anterior se denomina el **coeficiente de correlación** e indica la fuerza de la relación entre x y y. Para que la correlación sea buena, se recomienda que r esté comprendida entre 0,95 y 1 e incluso, en algunos casos, se aceptan valores inferiores a 0,95 pero teniendo en cuenta las causas de error y algunas consideraciones estadísticas.

»Ejemplo 3: En la tabla 1 se presentan los datos experimentales del calor (Q en Calorías) y cambio en la temperatura ΔT (en °C) para 1 gramo de masa de una sustancia en particular. Si la relación funcional entre estas dos variables es lineal, y si además se sabe que la pendiente de la gráfica de $Q = f(\Delta T)$ representa el producto entre la masa y el calor específico (C_p) de la sustancia en cuestión, encontrar, empleando el método de mínimos cuadrados, el valor del calor específico.

Tabla 1. Datos de calor y temperatura

Q(Cal)	0,00	0,56	1,09	1,64	2,11	2,61	3,24
ΔT(°C)	0,0	5,0	10	15	20	25	30

Para hallar la ecuación de la recta de la forma $\hat{y} = mx + b$ tomamos ΔT como x y Q como y. Con los datos de la tabla 1 puede hallarse m, b y r.

Tabla 2. Cálculos para encontrar m, b y r.

	x_i	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	$\hat{y}_i$	$(\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
	0	0	0	0	0,017	2,528	2,583
	5	0,56	2,8	25	0,547	1,124	1,096
	10	1,09	10,9	100	1,077	0,281	0,267
	15	1,64	24,6	225	1,607	1,96E-8	0,001
	20	2,11	42,2	400	2,137	0,281	0,253
	25	2,61	65,25	625	2,667	1,123	1,006
	30	3,24	97,2	900	3,197	2,528	2,666
$\sum =$	105	11,25	242,95	2275		7,865	7,873

Se obtienen entonces:

$\boxed{\sum x_i = 105}$ $\boxed{\sum y_i = 11{,}25}$ $\boxed{\sum x_i y_i = 242{,}95}$ $\boxed{\sum x_i^2 = 2275}$

Reemplazando estos valores en las ecuaciones (8), (9) y (10) se tiene:

$$m = \frac{n\sum x_i y_i - \left(\sum x_i\right)\left(\sum y_i\right)}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} = \frac{7(242{,}95) - (105)(11{,}25)}{7(2275) - (105)^2} = 0{,}106$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} = 1{,}60714 - 0{,}106 \times (15) = 0{,}017$$

$\boxed{m = 0{,}106}$ $\boxed{b = 0{,}017}$

La ecuación de la recta obtenida es: $\boxed{\hat{y} = 0{,}106x + 0{,}017}$

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = \frac{7{,}865}{7{,}873} = 0{,}99898$$

$$\boxed{r^2 = 0{,}99898} \qquad \boxed{r = 0{,}99949}$$

Con base en el coeficiente de correlación, puede decirse que:

Los datos correlacionan un excelente ajuste lineal, es decir, la relación funcional entre las variables **Q** y **T** es lineal. El calor es directamente proporcional al cambio de temperatura de la sustancia en cuestión, ya que el valor del intercepto puede considerarse despreciable.

Empleando las variables iniciales **Q** y **ΔT** se tiene: $\boxed{Q = 0{,}106\Delta T + 0{,}017}$

Donde la pendiente representa el producto entre la masa y el calor específico (C_p), y como la masa m = 1 g, entonces el calor específico será:

$$0{,}106\frac{Cal}{{}^{o}C} = 1g \times c_p \quad \Rightarrow \boxed{c_p = 0{,}106 \frac{Cal}{g \cdot {}^{o}C}}$$

» Buscando en la teoría se encuentra que esta sustancia debería ser hierro, cuyo calor específico es a $c_p = 0{,}107 \dfrac{Cal}{g \cdot {}^{o}C}$, por lo tanto, el porcentaje de error en el C_p obtenido experimentalmente es:

$$\%\varepsilon = \frac{|Valor\ teórico - Valor\ experimental|}{Valor\ teórico} \times 100 = \frac{|0{,}107 - 0{,}106|}{0{,}107} \times 100 = \boxed{0{,}93\ \%}$$

A continuación se muestra la gráfica de los datos experimentales y la recta obtenida en el mismo plano cartesiano:

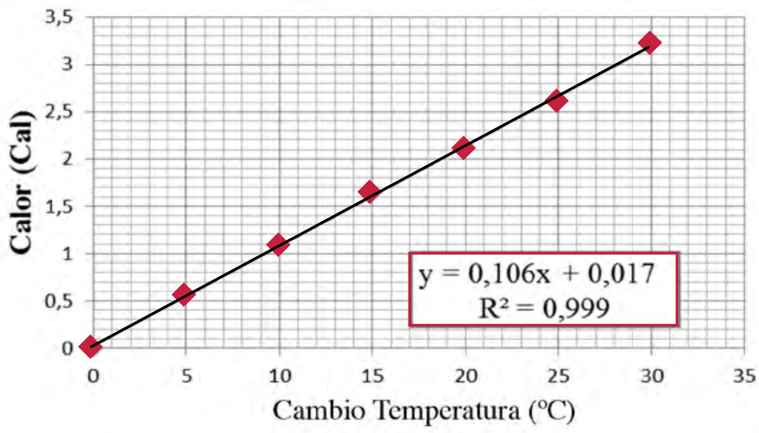


Figura 2. Gráfico del ejemplo 3

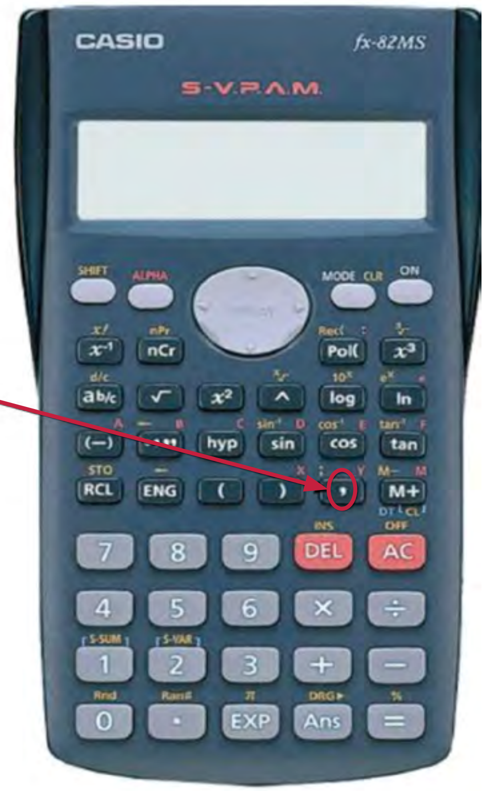
Usando una calculadora también es posible obtener de forma directa los parámetros m, b y r^2 con el comando REG (regresión lineal). A continuación se muestra un pequeño tutorial para la calculadora CASIO *fx*-82MS:

REGRESIÓN LINEAL - CALCULADORA MODELO FX-82MS

1) Utilizar el modo de regresión lineal:
   ⇨ MODE
   ⇨ 3 (REG)
   ⇨ 1 (LIN)

2) Borrar la memoria de la calculadora:
   ⇨ SHIFT + MODE
   ⇨ 1 (SCL)
   ⇨ =
   ⇨ AC

3) Introducir los datos de la tabla:
   ⇨ x_1 , y_1
   ⇨ M+
   ⇨ x_2 , y_2
   ⇨ M+
   ⇨ X_n , y_n
   ⇨ M+



4) Obtención de los resultados (parámetros estadísticos): $y = Bx + A$
   ⇨ SHIFT + 2
   ⇨ Cursor (REPLAY) a la derecha dos veces.
   ⇨ Aparece en pantalla: A B r.
   ⇨ 1 (A)
   ⇨ =
   ⇨ SHIFT + 2
   ⇨ Cursor a la derecha dos veces.
   ⇨ Aparece en pantalla: A B r.
   ⇨ 2 (B)
   ⇨ =
   ⇨ SHIFT + 2
   ⇨ Cursor a la derecha dos veces.
   ⇨ Aparece en pantalla: A B r.
   ⇨ 3 (r: coeficiente de regresión)
   ⇨ =

2.2 Errores en el método de mínimos cuadrados

Aplicando cálculo diferencial (derivación implícita) a los valores de la pendiente y el intercepto, obtenidos del método de mínimos cuadrados para un ajuste lineal, es posible determinar los errores cometidos en el cálculo de la pendiente y del intercepto, los cuales vienen dados por:

$$\boxed{\Delta m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - mx_i - b)^2}{(n-2)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}}}$$

$$\boxed{\Delta b = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - mx_i - b)^2}{(n-2)}\right)\left(\frac{1}{n} + \frac{\overline{x}^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}\right)}} \quad (11)$$

Donde:

$m \rightarrow$ pendiente de la recta de ajuste

$b \rightarrow$ intercepto (término independiente) de la recta de ajuste

$n \rightarrow$ número de datos analizados

$\overline{x} \rightarrow$ promedio de los x_i

» Ejemplo 4: Para utilizar las ecuaciones anteriores lo mejor es hacer una tabla teniendo en cuenta los valores de m y b ya calculados anteriormente, como se muestra a continuación:

Tabla 3. Datos necesarios para el cálculo de errores en el método de mínimos cuadrados

	x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$y_i - mx_i - b$	$(y_i - mx_i - b)^2$
	0	0	-15	225	-0,017	0,000289
	5	0,56	-10	100	0,013	0,000169
	10	1,09	-5	25	0,013	0,000169
	15	1,64	0	0	0,033	0,001089
	20	2,11	5	25	-0,027	0,000729
	25	2,61	10	100	-0,057	0,003249
	30	3,24	15	225	0,043	0,001849
$\sum =$	**105**	**11,25**		**700**		**0,007543**

$$\Delta m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - mx_i - b)^2}{(n-2)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}} = \sqrt{\frac{0,007543}{(7-2)\cdot 700}} = \boxed{0,00147}$$

$$\Delta b = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - mx_i - b)^2}{(n-2)}\right)\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,007543}{7-2}\right)\left(\frac{1}{7} + \frac{15^2}{700}\right)} = \boxed{0,0265}$$

NOTA: El procedimiento anterior es muy importante y estos errores deben ser tenidos siempre en cuenta, pero debido a que la mayoría de las calculadoras utilizadas por los estudiantes no arrojan este resultado tal y como lo hacen con m, b y r, entonces el cálculo de error en el método de mínimos cuadrados no será tenido en cuenta para los resultados en las prácticas de este laboratorio por lo largo que resulta.

Estos errores se obtienen fácilmente cuando se emplean programas como Excel u Origin entre otros.

3. LINEALIZACIÓN

Este método permite tomar la ecuación de una curva y a través de una modificación (cambio de variable), expresarla como la ecuación de una recta, la cual se optimiza con el método de los mínimos cuadrados. Por ejemplo, si $y = 2a\sqrt{x} + k$ representa un modelo matemático de cierto fenómeno físico, es fácil observar que cuando se grafica **y** contra **x**, se obtiene una curva como se muestra en la figura 3.

y	X	$X = \sqrt{x}$
y_1	x_1	$\sqrt{x_1}$
y_2	x_2	$\sqrt{x_2}$
y_3 . . .	x_3 . . .	$\sqrt{x_3}$ . . .
y_n	x_n	$\sqrt{x_n}$

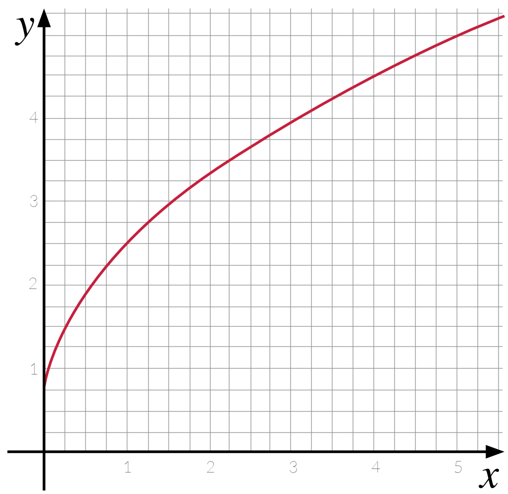


Figura 3. Gráfica de la función $y = 2a\sqrt{x} + k$

De acuerdo a la forma de la curva se puede pensar en una relación funcional de tipo raíz cuadrada, lo cual está corroborado por la ecuación del modelo. Ahora, si se hace $X = \sqrt{x}$, nos da una ecuación de la forma $y=mX+b$, la cual representa la ecuación de una recta, y al graficar y contra X (Figura 4), se puede obtener el modelo lineal utilizando el método de los mínimos cuadrados, de la forma: $y=mX+b$, de donde $m=2a$ y $b=k$

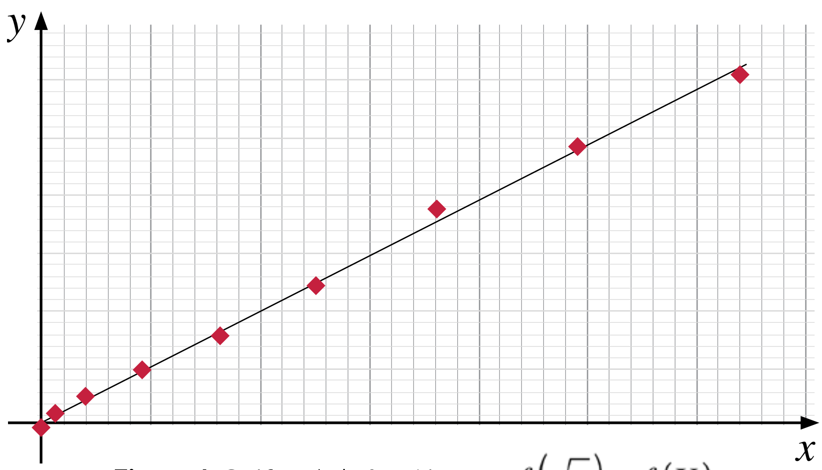


Figura 4. Gráfica de la función $y = f\left(\sqrt{x}\right) = f\left(\mathrm{X}\right)$

»Ejemplo 5: En el análisis del periodo de oscilación de un sistema masa - resorte se obtuvieron los datos de periodo (T) contra masa (M) que se muestran en la tabla 4. Si se sabe que la relación funcional entre dichas variables es de la forma $M = \frac{k}{4\pi^2}\mathrm{T}^2$, donde k representa la constante elástica del resorte; entonces, con base en la linealización de los datos, aplicar el método de mínimos cuadrados para encontrar el valor experimental de la constante k del sistema masa resorte en cuestión.

Tabla 4. Datos masa contra periodo

T (s)	0	0,39	0,56	0,74	0,89	1,06	1,16	1,26
***M* (Kg)**	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14

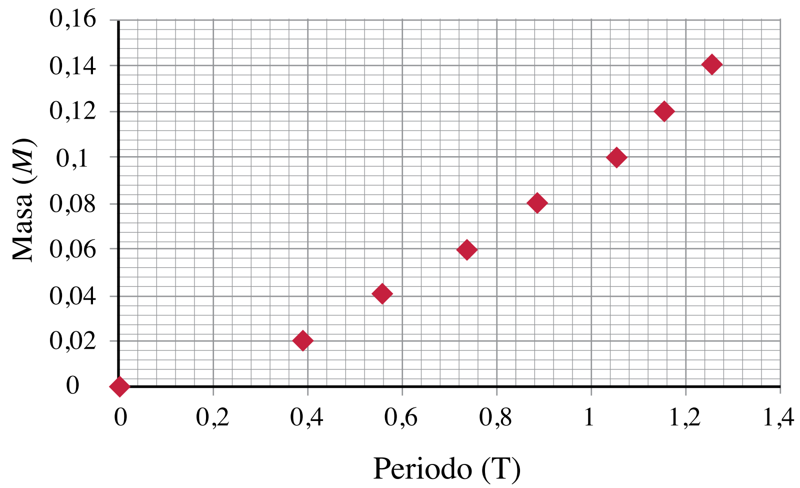


Figura 5. Gráfico de masa contra periodo

Para linealizar los datos anteriores se hace $X = T^2$, debido a la forma de la gráfica. Al graficar $M = f\,(X)$ de la ecuación que resulta después de linealizar $\left(M = \frac{k}{4\pi^2}X\right)$, se obtiene una línea recta como se muestra a continuación:

Tabla 5. Linealización de los datos masa contra periodo
(masa contra periodo al cuadrado)

X (s^2)	0	0,152	0,314	0,548	0,792	1,124	1,346	1,588
***M* (Kg)**	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14

De la anterior tabla se puede aplicar el método de mínimos cuadrados para encontrar la ecuación que relaciona las variables $M = f(X)$, la cual se presenta en el siguiente gráfico:

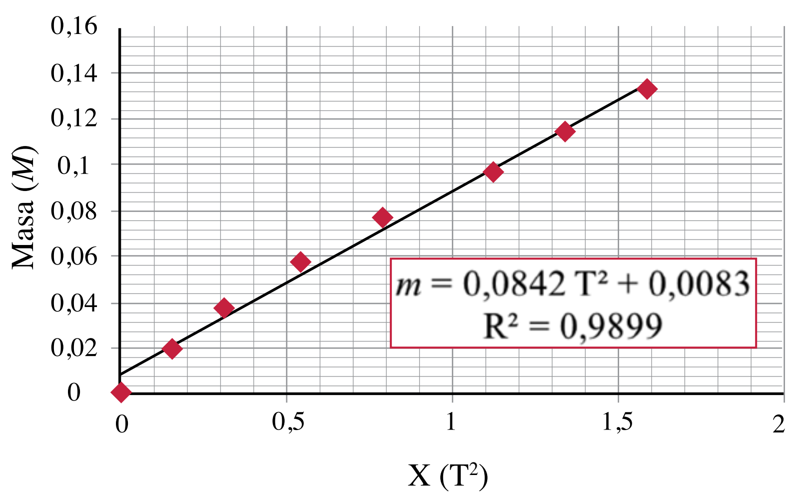


Figura 6. Gráfico de masa contra periodo al cuadrado

Cuya pendiente e intercepto, con sus respectivos errores son:

$$m = 0{,}0842 \qquad \Delta m = 0{,}00347$$
$$b = 0{,}0083 \qquad \Delta b = 0{,}00316$$

De la anterior información se puede concluir que como la relación funcional entre la masa y el periodo de oscilación de un sistema masa resorte es $\boxed{M = \frac{k}{4\pi^2}\mathrm{T}^2}$ y la ecuación obtenida de los datos de la tabla 4 después de aplicar la linealización y el método de mínimos cuadrados es $\boxed{M = 0{,}0842\ \mathrm{T}^2 + 0{,}0083}$, entonces la constante elástica del sistema será:

$$\frac{k}{4\pi^2} = 0{,}0842 \pm 0{,}00347 \quad \Rightarrow k = (0{,}0842 \pm 0{,}00347) \times 4\pi^2 \frac{N}{m} \approx \boxed{3{,}3241 \pm 0{,}1369 \frac{N}{m}}$$

Y el valor del intercepto puede considerarse despreciable

»Ejemplo 6: Use los datos de la tabla 6 ($z = f(P)$) y el método de linealización y mínimos cuadrados para encontrar el valor experimental de w si se sabe que tales datos correlacionan el modelo matemático:

$$z = w \cdot \frac{1}{P} \tag{12}$$

Tabla 6. Datos del ejemplo 6

P	1	2	3	4	5	6	7	8
Z	5,31	3,12	2,23	1,54	1,05	0,88	0,79	0,68

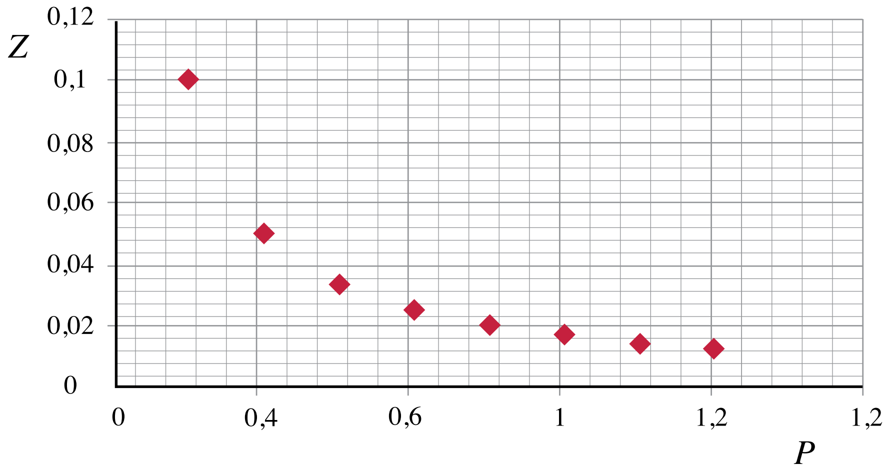


Figura 7. Gráfico de $z = f(P)$

Lo primero que se debe hacer es linealizar los datos de la tabla 6 ya que la ecuación (12), como se observa en la figura 7, no representa una ecuación lineal. Por lo tanto, si se hace $x = \frac{1}{P}$, es claro que $z = f(x)$ sí representa una función lineal como se muestra a continuación:

$$z = w \cdot x$$

Entonces la nueva tabla de los datos linealizados será:

Tabla 7. Datos de la tabla 6 linealizados

$x=1/P$	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13
Z	5,31	3,12	2,23	1,54	1,05	0,88	0,79	0,68

Y aplicando el método de mínimos cuadrados de $z = f(x)$, se obtiene:

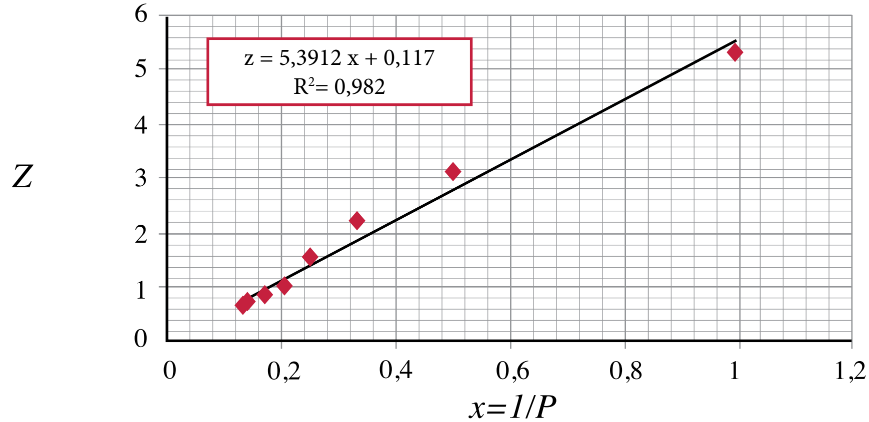


Figura 8. Gráfico de mínimos cuadrados de z = f(1/P)

Cuya pendiente e intercepto, con sus respectivos errores son:

$$m = 5{,}3912 \quad \Delta m = 0{,}2982$$
$$b = 0{,}1169 \quad \Delta b = 0{,}1303$$

Con la información anterior se puede concluir que el valor experimental de w es:

$$\boxed{w = 5{,}3912 \pm 0{,}2982}$$

El valor del intercepto puede considerarse despreciable.

» Ejemplo 7: Use los datos de la tabla 8, $y = f(x)$ y el método de linealización y mínimos cuadrados para encontrar el valor de las constantes a y b, si se sabe que tales datos correlacionan el modelo matemático:

$$y = ae^{b/x} \qquad (13)$$

Tabla 8. Tabla de datos del ejemplo 7

x	1	3	5	7	9
y	1210,3	22,167	9,9604	7,0693	5,8432

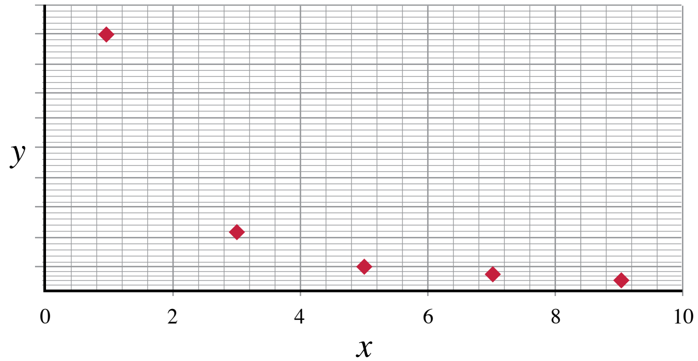


Figura 9. Gráfico de $y = f(x)$

Lo primero es linealizar los datos de la tabla 8, ya que como se puede observar en la figura 9, estos datos no representan una función lineal. La linealización de la ecuación (13), la cual representa una función exponencial, implica utilizar funciones logarítmicas como se muestra a continuación:

$$\ln y = \ln\left(ae^{b/x}\right) \quad \Rightarrow \quad \ln y = \ln a + \tfrac{b}{x}\ln e \quad \therefore \quad \boxed{\ln y = b \cdot \frac{1}{x} + \ln a}$$

La linealización estaría dada por las siguientes sustituciones:

$$\mathrm{Y} = \ln y, \qquad \mathrm{X} = \tfrac{1}{x}$$

Con lo cual se obtiene la siguiente tabla de datos linealizados:

Tabla 9. Datos de la tabla 8 linealizados

$\mathrm{X} = \frac{1}{x}$	1	1/3	1/5	1/7	1/9

Y=ln y	7,099	3,099	2,299	1,956	1,765

Y al aplicar el método de mínimos cuadrados con estos nuevos datos linealizados se pueden obtener los parámetros a y b como se observa en el siguiente gráfico:

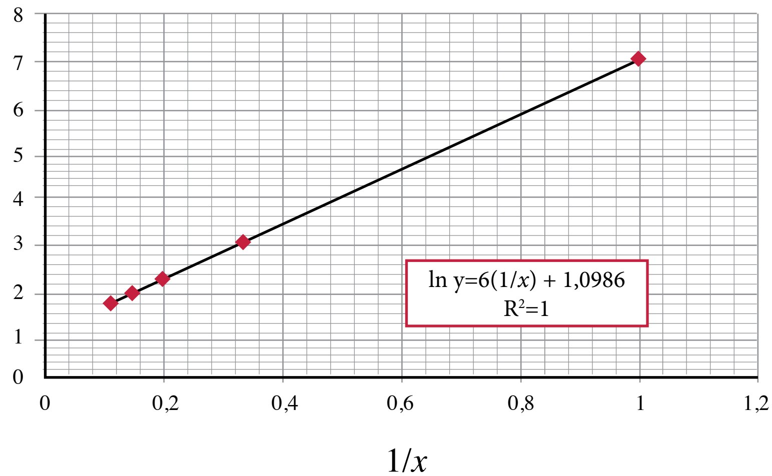


Figura 10. Gráfico de ln y=f(1/x)
obtenida con el método de mínimos cuadrados

Cuya pendiente e intercepto, con sus respectivos errores son:

$$m = 6{,}0004 \quad \Delta m = 0{,}0005$$
$$b = 1{,}0987 \quad \Delta b = 0{,}0002$$

Al comparar la ecuación obtenida por mínimos cuadrados que se muestra en la figura 10 con la ecuación $\ln y = b \cdot \frac{1}{x} + \ln a$, se puede concluir que:

$$\boxed{b = 6{,}0004 \pm 0{,}0005} \quad \text{y} \quad \ln a = 1{,}0987 \pm 0{,}0002 \quad \Rightarrow \quad \boxed{a \approx 3}$$

Por tanto, la ecuación que relaciona las variables es: $y = 3e^{6/x}$

LABORATORIO 1

TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

OBJETIVOS

1. Cuantificar el error en las medidas de datos experimentales.

2. Modelar fenómenos físicos mediante la correlación de datos experimentales, empleando el método de mínimos cuadrados.

3. Linealizar funciones teniendo en cuenta el tipo de gráfica que relaciona sus variables físicas.

PREINFORME

1. Definir los siguientes conceptos: Cantidad física, Medida, Magnitud fundamental, Cantidad escalar, Cantidad vectorial.

2. ¿Qué son cifras significativas y cómo se manejan?

3. ¿Qué es linealizar?

4. ¿En qué consiste el método de los mínimos cuadrados?

MARCO TEÓRICO

1. Definiciones Fundamentales

1.1 Valor promedio o media de una medida:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots\ldots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \qquad (1.1)$$

1.2 Errores absolutos y Errores relativos:

$$\Delta x_i = \left|\bar{x} - x_i\right| \tag{1.2}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum \left|\bar{x} - x_i\right|}{n} \tag{1.3}$$

1.3 Valor real de una magnitud:

$$X = \bar{x} \pm \overline{\Delta x} \tag{1.4}$$

1.4 Porcentaje de error relativo:

$$\boxed{\%\varepsilon = \frac{\left|Valor\ te\acute{o}rico - Valor\ \exp erimental\right|}{Valor\ te\acute{o}rico} \times 100} \tag{1.5}$$

2. Método de los mínimos cuadrados

$$\boxed{m = \frac{n\sum x_i y_i - \left(\sum x_i\right)\left(\sum y_i\right)}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}} \tag{1.6}$$

$$\boxed{b = \bar{y} - m\bar{x}} \tag{1.7}$$

$$\boxed{r^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \tag{1.8}$$

3. Linealización

Este método permite tomar la ecuación de una curva y a través de una modificación (cambio de variable) es posible expresarla como la ecuación de una recta, la cual se optimiza con el método de los mínimos cuadrados. Por ejemplo, $y = \frac{1}{2}gt^2$, es un modelo matemático de un fenómeno físico que relaciona el tiempo que tarda un objeto en caída libre en recorrer una distancia vertical y. Si se gráfica y contra t, se obtiene una curva como se muestra en la figura 1.1

y	t
y_1	t_1
y_2	t_2
y_3 . .	t_3 . .
y_n	t_n

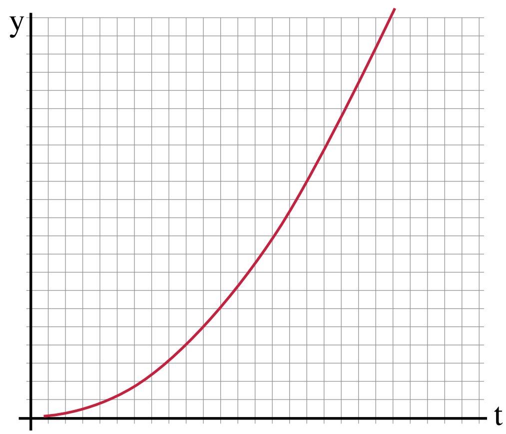


Figura 1.1 Altura (y) en función del tiempo (t)

De acuerdo a la forma de la curva se puede pensar en una relación de tipo parabólico, lo cual está corroborado por la ecuación de movimiento. Ahora, si se hace $t^2=T$, nos da una ecuación de la forma $y = \frac{1}{2}gT$, la cual representa la ecuación de una recta, y al graficar y contra T (t^2 **–variable linealizada**) como se observa en la figura 1.2, se puede obtener el modelo lineal utilizando el método de los mínimos cuadrados.

y	t	$T=t^2$
y_1	t_1	$(t_1)^2$
y_2	t_1	$(t_2)^2$
y_3 :	t_3 :	$(t_3)^2$:
y_n	t_n	$(t_n)^2$

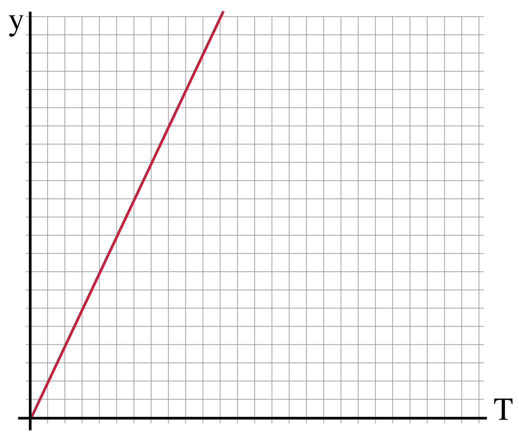


Figura 1.2 Altura (y) en funcion del tiempo al cuadrado (t^2)

PROCEDIMIENTO

Parte A. Ejercicio 1

Se mide una determinada longitud y se obtienen los siguientes valores: $x_1 = 1{,}19$ m, $x_2 = 1{,}16$ m, $x_3 = 1{,}09$ m, $x_4 = 1{,}12$ m. Determinar: El valor medio, el error absoluto, el error absoluto medio, el error relativo, el porcentaje de error y el valor real.

Parte B. Ejercicio 2

Los datos experimentales de corriente–voltaje medidos al emplear una resistencia están dados en la tabla 1.1, estos datos cumplen una relación lineal. Mediante el uso de mínimos cuadrados, halle la ecuación de la mejor recta que los relaciona.

Tabla 1.1

I(mA)	3,0	3,2	3,8	4,1	4,5	5,3	6,0
V(v)	4,5	4,9	5,6	6,2	6,8	8,1	8,9

Parte C. Ejercicio 3

En el análisis de un MRUA se obtuvieron los datos de la tabla 1.2 de posición de un objeto en función del tiempo:

Tabla 1.2

t	0	1	2	3	4	5	6	7
$x(m)$	2,0	8,1	20,0	34,3	52,1	74,2	104	t^2

Con base en estos datos y la linealización pertinente, halle la ecuación que relaciona las variables y la aceleración del movimiento.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. Definir los siguientes conceptos:

Cantidad física: ....

Medida: ....

Magnitud fundamental: ....

Cantidad escalar: ....

Cantidad vectorial: ....

2. ¿Qué son cifras significativas y cómo se manejan? ....

3. ¿Qué es linealizar? ....

4. ¿En qué consiste el método de los mínimos cuadrados?

LABORATORIO 2

INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS Y LEYES EMPÍRICAS

OBJETIVOS

1. Interpretar datos obtenidos experimentalmente, graficar, analizar y linealizar el gráfico resultante, y escribir la ecuación que relacione las variables en él representadas.

2. Deducir empíricamente la relación funcional entre variables que pueden ser medidas experimentalmente, tales como el área de un cuadrado y su diagonal, y el diámetro de un anillo y su periodo de oscilación.

PREINFORME

1. ¿Cuáles son las propiedades básicas de los logaritmos?

2. Con base en las propiedades de los logaritmos, demostrar la ecuación 2.2 del marco teórico.

3. Defina físicamente qué representa el periodo.

4. ¿Cuál es la ecuación exacta que relaciona el periodo de un péndulo de anillo con su diámetro? Obtenga los valores de A y n al comparar con la ecuación 2.1

5. Consulte las gráficas para las funciones logarítmicas, exponenciales, polinomiales y radicales.

6. Encuentre matemáticamente la ecuación que relaciona las variables área (A) y la diagonal (d) de un cuadrado, siguiendo el procedimiento indicado en la sección al final de este laboratorio.

MARCO TEÓRICO

Las leyes físicas se traducen en ecuaciones matemáticas que muestran cómo unas magnitudes físicas se relacionan con otras. Por ejemplo, la relación entre el periodo de un anillo oscilante y su diámetro se puede escribir como una relación proporcional a alguna potencia, así:

$$T = Ad^n \tag{2.1}$$

Donde A y n son constantes. Como lo indica la experiencia previa que generalmente es cierta, se espera que n sea un número entero pequeño o una pequeña fracción compuesta de dos enteros pequeños. De esta manera, la suposición hecha al escribir la ecuación anterior es razonable y uno de los problemas en el experimento es determinar si la relación es expresada correctamente por la ecuación. Si ésta es correcta, entonces hay que determinar las constantes A y n mediante un proceso de linealización.

Tomando el logaritmo de cada miembro de la ecuación anterior y aplicando propiedades, se tiene:

$$\boxed{\log T = n \log d + \log A} \tag{2.2}$$

Si las suposiciones hechas al escribir la ecuación (2.1) son válidas, el gráfico obtenido de $\log T = f(\log d)$ es una línea recta; la cual se puede ver al comparar la ecuación (2.2) con la ecuación de una recta de la forma $y=mx+b$: De esta ecuación se puede ver que la pendiente es n y el intercepto de la recta con el eje de las ordenadas es $\log A$.

MATERIALES

Regla	Varilla	Calculadora	Cronómetro
Soporte universal	Nuez doble	5 aros de diámetros diferentes	

PROCEDIMIENTO

Leyes empíricas

1. Determine el diámetro medio (d) de cada anillo y consigne los valores en la tabla 2.1. de la cartilla

2. Coloque el primer anillo en el soporte, como se indica en la figura 2.1, sepárelo **levemente** de su posición de equilibrio y determine el tiempo (t) que tarda en realizar 10 oscilaciones completas. Repita el procedimiento anterior 3 veces, halle el tiempo promedio ($t_{promedio}$) y con éste el periodo. Consigne los resultados en la tabla 2.1. de la cartilla.

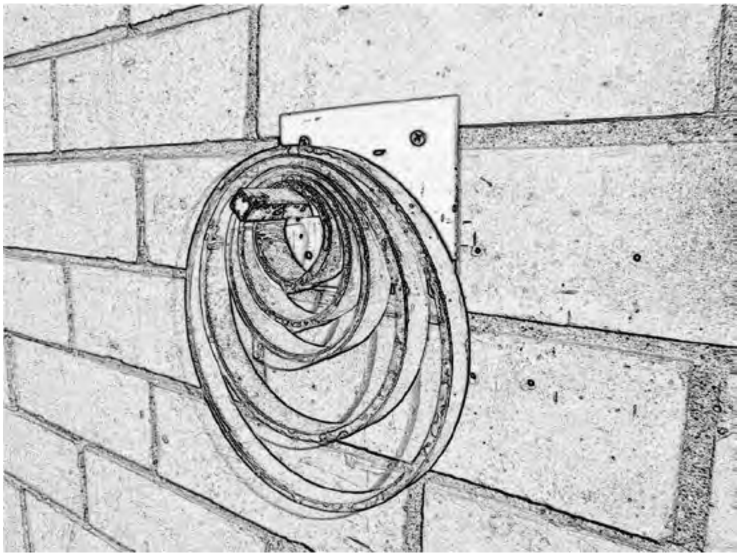


Figura 2.1 Montaje para leyes empíricas

3. Repita el procedimiento anterior para cada uno de los anillos restantes y complete la tabla 2.1. de la cartilla

4. Construya una gráfica de T = *f*(d). ¿Qué tipo de gráfica obtuvo y qué relación existe entre las variables?

5. Haga una tabla de log T vs log d y grafique estos valores en el plano cartesiano (sólo los puntos). ¿Cuál considera usted que es la razón para esta nueva tabla?

6. Halle la ecuación (*logT = f(logd)*) de la mejor recta de ajuste por mínimos cuadrados y grafíquela en el plano cartesiano anterior (use un color diferente a los puntos ubicados anteriormente).

7. Compare la ecuación anterior con la del marco teórico para determinar las constantes *A* y *n*. Posteriormente, con estos resultados y los obtenidos en el preinforme, calcule los porcentajes de error para *A* y para *n*.

8. ¿Cómo se afectaría el periodo si una masa fuera colocada firmemente en el punto más bajo del anillo? Explique.

9. ¿Cómo se afectaría el período del anillo si las oscilaciones realizadas están lejos de su posición de equilibrio?

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. ¿Cuáles son las propiedades básicas de los logaritmos?

3. Con base en las propiedades de los logaritmos, demostrar la ecuación 2.2 del marco teórico de la guía.

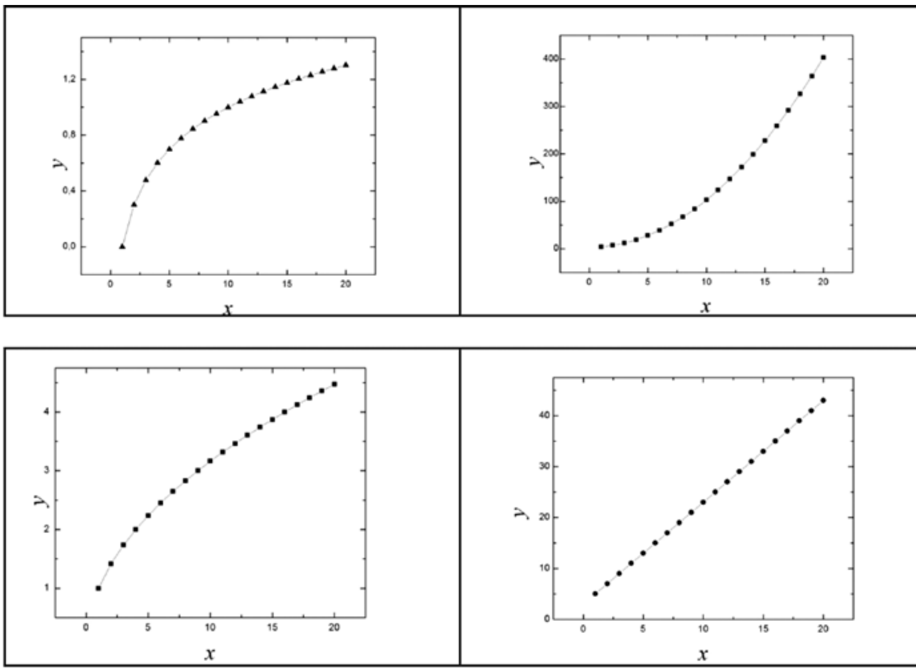
4. Defina físicamente que representa el periodo ....

....

....

5. Correlacionar las siguientes ecuaciones (funciones) con las gráficas de abajo:

a. $y = A\log(x)$ b. $y = b^x$ c. $y = \sqrt{x}$ d. $y = Ax + b$



6. ¿Cuál es la ecuación que relaciona el periodo de un péndulo de anillo con su diámetro? Exprese dicha ecuación en forma de suma, utilizando las propiedades de los logaritmos, compárela con la ecuación 2.2 y obtenga los valores experimentales de A y n.

7. Encuentre matemáticamente la ecuación que relaciona las variables área ($\mathbf{A}$) y la diagonal ($\mathbf{d}$) de un cuadrado, siguiendo este procedimiento:

» Área de un cuadrado

1. Dibuje un cuadrado. Obtenga su área (*A*) y mida la diagonal (*d*). Lleve este resultado a la tabla 2.0.
2. Repita el paso anterior, aumentando cada lado del cuadrado en un 1cm. Complete la tabla 2.0.

Tabla 2.0 *Medidas del cuadrado*

A (cm^2)						
d (cm)						
Variable linealizada ______						

3. Haga un gráfico de A = *f* (d) y con base en ella y sus respuestas del preinforme, describa el tipo de gráfica que obtuvo y qué relación existe entre las variables.

....

....

....

....

4. De acuerdo a la gráfica y lo que sabe del área de un cuadrado, suponga un tipo de relación entre las variables y pruebe si la suposición es correcta linealizando la curva. Lleve los valores de la suposición a la tercera fila de la tabla 2.0.

5. Halle la mejor recta de ajuste por mínimos cuadrados. Obtenga la pendiente, el intercepto y el coeficiente de correlación.

6. Con base en la información anterior, ¿cuál es la ecuación que relaciona las variables A y d?

7. Calcule el porcentaje de error de la constante de proporcionalidad de la relación entre el área (A) y la diagonal (d), comparando los resultados teóricos con lo obtenido experimentalmente (compare las funciones).

LABORATORIO 3

INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y ERRORES EN LA MEDIDA

OBJETIVOS

1. Identificar los principios básicos sobre los cuales están construidos los aparatos de medida: Vernier, Tornillo micrométrico.

2. Emplear dichos instrumentos en las mediciones de longitudes.

3. Cuantificar el error en las medidas de datos experimentales.

4. Calcular la densidad de algunos objetos sólidos regulares.

5. Identificar los errores instrumentales en medidas de tipo directo e indirecto.

PREINFORME

1. Escriba las fórmulas matemáticas que se le piden a continuación:

a) Volumen de un cubo

b) Volumen de un paralelepípedo

c) Volumen de un cilindro macizo

d) Volumen de un cilindro hueco

e) Volumen de un esfera

f) Perímetro de una circunferencia

g) Área superficial de una esfera

2. Busque un simulador en internet que explique el funcionamiento del vernier y el tornillo micrométrico. Con la manipulación de los simuladores podrá aprender a manejar los instrumentos de medida. Practique lo más que pueda hasta que entienda su funcionamiento. Realice los ejemplos planteados en la sección espacio para preinforme.

3. ¿Cómo se puede calcular la densidad de un sólido regular a partir de la medida de sus lados y de su masa?

4. Consultar la densidad de algunos materiales comunes en ingeniería como aluminio, hierro, acero, madera, entre otros.

5. ¿Qué es una derivada implícita y escriba algunos ejemplos?

6. Repase las definiciones sobre errores dada en el marco teórico

MARCO TEÓRICO

Instrumentos de medida

1. Nonio o Vernier: Es una escala auxiliar que puede deslizarse a lo largo de una escala principal.

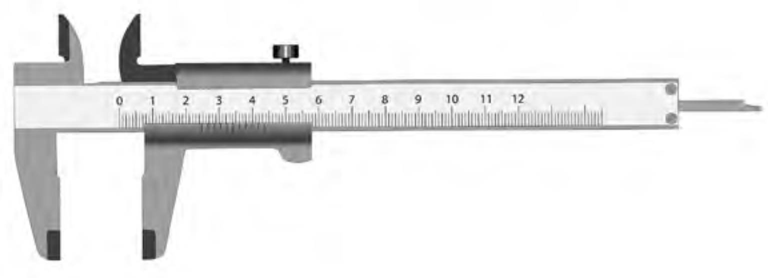


Figura 3.1 Nonio o calibrador vernier

Se construye de tal forma que n-1 divisiones de la escala principal corresponden a n divisiones del vernier. Entre las dos escalas se debe satisfacer la siguiente relación:

$$nV = (n-1)S \tag{3.1}$$

Donde, **n**: Es el numero de divisiones del Vernier.

V: Es la longitud de una división del Vernier.

S: Es la longitud de la división más pequeña de la escala principal (generalmente 1 mm)

2. Tornillo Micrométrico: Lo constituye una pieza en forma de herradura, unida a una escala lineal fija (escala principal), sobre ésta avanza una escala circular unida al tornillo como se muestra en la figura 3.2. Por lo general cuando el tornillo da una vuelta completa, la escala circular avanza 0.5 mm sobre la escala principal. La escala circular tiene 50 divisiones, con cada división de 0.01 mm, en tanto que la escala principal tiene divisiones de 0.5 mm. La lectura de este instrumento, una vez dispuesto al objeto a medir, será la de la escala principal mas la de la escala circular. La precisión de este aparto es de 0.01 mm.

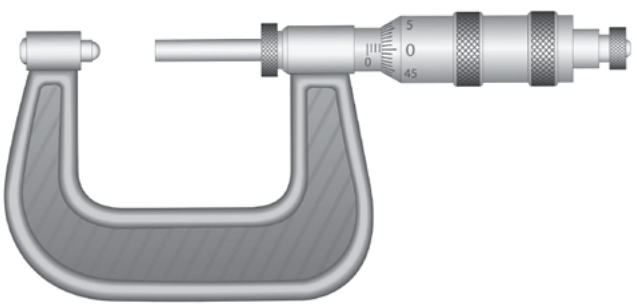


Figura 3.2 Tornillo micrométrico

3. Densidad: La definición más general de la densidad es la relación existente entre la masa de un cuerpo y su volumen. Si la masa de un objeto está uniformemente distribuida a través del mismo, su densidad ϱ está definida como la masa total m dividida entre el volumen V del objeto así:

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}} \qquad (3.2)$$

Las unidades en el sistema internacional son los Kg/m^3 pero es común emplear el g/cm^3.

MATERIALES

Calibrador	Tornillo micrométrico	Balanza
Esfera metálica	Cilindro	
Bloque metálico	Bloque madera	

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Instrumentos de medida

1. Realice las medidas de las dimensiones de los tres cuerpos sólidos (sin incluir la esfera) entregados en la práctica, empleando el Vernier, y regístrelas en la tabla 3.1 de la cartilla.
2. Mida la masa de estos cuerpos en la balanza y regístrelas en la tabla 3.2 de la cartilla.

»Parte B: Densidad de cuerpos sólidos regulares

1. Determine el volumen de cada uno de los cuerpos y regístrelos en la tabla 3.2 de la cartilla.
2. Calcule la densidad experimental de cada cuerpo y regístrela en la tabla 3.2 de la cartilla.
3. Calcule el porcentaje de error en sus resultados para la densidad de cada material comparando con los valores de densidad reportados en la literatura.

»Parte C: Error en medidas directas

1. Tome la esfera metálica y mida su diámetro con el vernier y con el tornillo micrométrico. Escriba las medidas tomadas por tres personas diferentes y regístrelas en la tabla 3.3 de la cartilla.
2. Hallar el error absoluto y el error relativo de las medidas realizadas con cada instrumento. Lleve los resultados a la tabla 3.3 de la cartilla.
3. ¿Qué puede decirse de los errores en estas medidas?

»Parte D: Error en medidas indirectas

1. Tome el valor del radio de la esfera medido por una sola persona y anótelos en la tabla 3.4. ¿Tiene sentido tomar esta medida varias veces? Explique.

2. ¿Cuál es el error absoluto de cada medida en este caso?
Escríbalo en la tabla 3.4.

3. Determine el radio, el área superficial y el volumen de la esfera con su respectivo error. Consigne los resultados en la tabla 3.4.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. Escriba las fórmulas matemáticas que se le piden a continuación:

a. Volumen de un cubo: ....

b. Volumen de un paralelepípedo: ....

c. Volumen de un macizo: ....

d. Volumen de un hueco: ....

e. Volumen de un paralelepípedo: ....

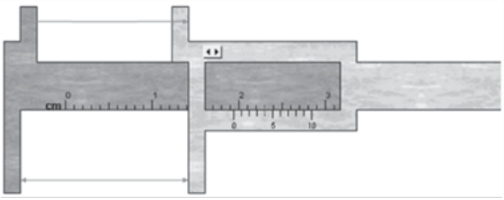
f. Volumen de una esfera: ....

g. Perímetro de una circunferencia: ....

h. Área superficial de una esfera: ....

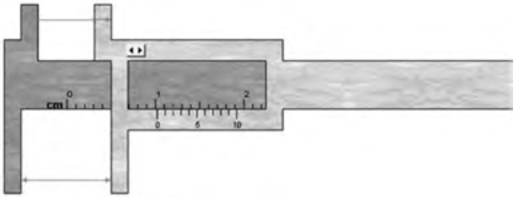
3. Busque un simulador en internet que explique el funcionamiento del vernier y el tornillo micrométrico. Con la manipulación de los simuladores podrá aprender a manejar los instrumentos de medida. Practique lo más que pueda hasta que entienda su funcionamiento. Realice los ejemplos planteados en la sección espacio para preinforme.

1)



Medida: ....

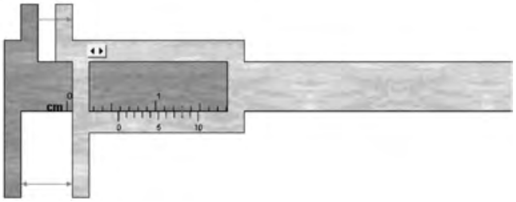
2)



Medida:

....

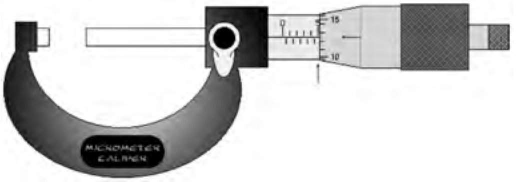
2)



Medida:

....

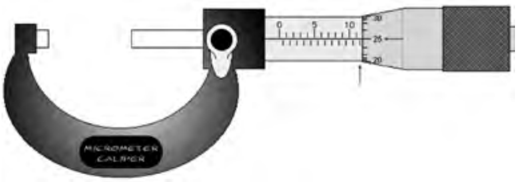
3)



Medida:

....

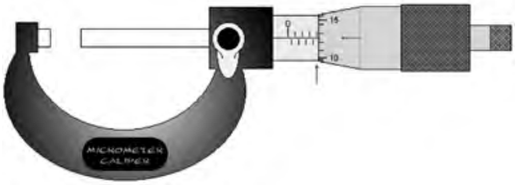
4)



Medida:

....

5)



Medida:

....

3. Cómo se puede calcular la densidad de un sólido regular a partir de la medida de sus lados y de su masa.

4. Consultar la densidad de algunos materiales comunes en ingeniería como: aluminio, hierro, acero, madera, entre otros.

DENSIDAD (g/cm^3)					
Aluminio	**Hierro**	**Acero**	**Madera**	**Latón**	**Cobre**

5. ¿Qué es una derivada implícita? Escriba algunos ejemplos

6. Repase las definiciones y ejemplos sobre errores indicados en el marco teórico.

LABORATORIO 4

MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

OBJETIVOS

1. Comprobar experimentalmente que la velocidad de un móvil sometido a movimiento uniforme es constante en todos los puntos de su recorrido.

2. Encontrar experimentalmente la relación espacio-tiempo que sigue un movimiento rectilíneo uniforme.

PREINFORME

1. Consulte los siguientes conceptos:

a) Movimiento

b) Marco de Referencia

c) Trayectoria

d) Posición

e) Velocidad

f) Movimiento Rectilíneo Uniforme

g) Diferencias entre distancia y desplazamiento

h) Diferencias entre rapidez y velocidad

i) Unidades de desplazamiento y velocidad en cada uno de los sistemas de unidades

MARCO TEÓRICO

Para describir el movimiento de un cuerpo, es indispensable fijar en cada instante su posición en el espacio, lo cual se obtiene con instrumentos de medida o de registro, tales como: relojes, cámaras fotográficas, cintas métricas, cronómetros, contadores digitales entre otros. En esta experiencia se presenta al estudiante la oportunidad de manejar un modelo de solución gráfica a los problemas del movimiento uniforme. Además, encontrará una nueva magnitud llamada velocidad y observará su influencia en el movimiento de un cuerpo.

MATERIALES

Tubo de borosilicato	Contador digital	Cronómetro	Cinta métrica
Juego de barreras ópticas	Riel metálico	Carrito con accionamiento	

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Empleando tubo de borosilicato

1. Asegúrese de que el tubo de borosilicato contenga agua y esté sellado. Además, que dentro de este se haya formado una pequeña burbuja.

2. Incline el tubo y mida el tiempo que gaste la burbuja para recorrer diferentes distancias. Lleve los resultados a la tabla 4.1 de la cartilla. Para cada distancia mida el tiempo tres veces y luego obtenga el promedio t_{prom}.

3. Trace la gráfica $x = f(t_{prom})$. ¿Qué gráfica obtuvo? ¿Qué relación se presenta entre las dos variables?

4. Aplique mínimos cuadrados y determine si el coeficiente de correlación es adecuado; si es así, obtenga la ecuación del movimiento.

5. ¿Qué representa físicamente la pendiente obtenida?

»Parte B: Empleando sensores

1. Sitúe las barreras ópticas en la forma que se describe en la figura 4.1. Conecte el contador digital.

2. Coloque el carro con axionamiento en el extremo izquierdo del carril y sitúe la primera barrera óptica a una distancia determinada y fija del carro, y la

segunda barrera en un punto más alejado. Registre la distancia *x* (cm) medida entre las barreras ópticas en la tabla 4.2 de la cartilla.

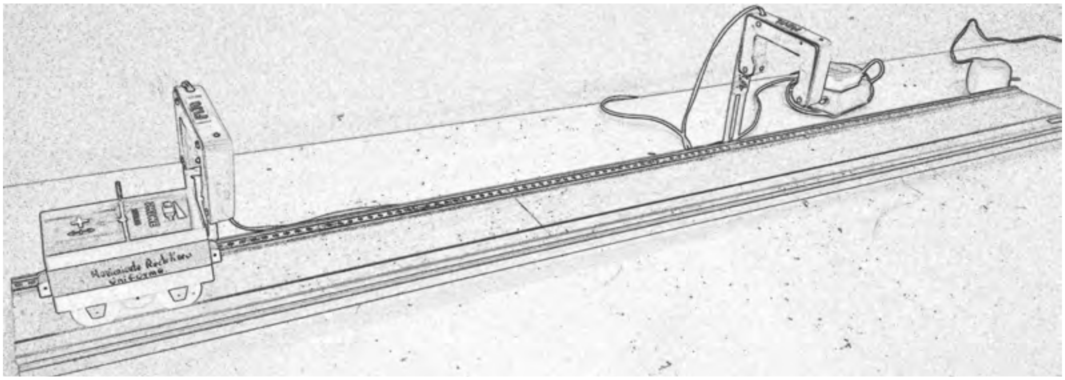


Figura 4.1 Montaje Movimiento Rectilíneo Uniforme

3. Suelte el carro y lea en el contador digital el tiempo de paso entre las dos barreras ópticas. Anote la lectura en la tabla 4.2 de la cartilla.

4. Desplace la segunda barrera óptica hasta diferentes posiciones y tome de nuevo los tiempos con sus respectivas distancias. Complete la tabla 4.2 de la cartilla.

5. Trace la gráfica $x = f(t_{prom})$. ¿Qué gráfica obtuvo? ¿Qué relación se presenta entre las dos variables?

6. Aplicando mínimos cuadrados, determine si el coeficiente de correlación es adecuado; si es así, obtenga la ecuación que describe el movimiento.

7. ¿Cuál es el valor de la velocidad en este movimiento?

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. Consulte los siguientes conceptos:

a) Movimiento: ....

....

....

b) Marco de Referencia: ....

....

....

c) Trayectoria: ....

....

....

d) Posición: ....

e) Velocidad: ....

f) Movimiento Rectilíneo Uniforme: ....

....

g) Diferencias entre distancia y desplazamiento: ....

....

h) Diferencias entre rapidez y velocidad: ....

....

i) Unidades de desplazamiento y velocidad en cada uno de los sistemas de unidades: ....

....

LABORATORIO 5

MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO

OBJETIVOS

1. Calcular experimentalmente el valor de la aceleración de un móvil en movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

PREINFORME

1. ¿Qué es un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado?

2. En general, ¿cómo se define la velocidad y la aceleración?

3. ¿Qué se entiende por posición inicial y velocidad inicial?

4. Si la posición y la velocidad inicial de un móvil son cero, deduzca una expresión para v en función de **x** y **t** empleando las ecuaciones 5.1 y 5.3 dadas en el marco teórico de la guía.

MARCO TEÓRICO

En un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado se tiene que la aceleración es constante y la velocidad varía de acuerdo a la expresión:

$$v_f = v_o + at \tag{5.1}$$

La posición del móvil puede obtenerse mediante:

$$x = x_0 + v_o t + \frac{1}{2}at^2 \tag{5.2}$$

Se tiene además una expresión independiente del tiempo:

$$v_f^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \tag{5.3}$$

En todas estas ecuaciones se debe tener en cuenta que **a**, **v** y **x** son cantidades vectoriales.

MATERIALES

Computador	Sensor 3B	Carro	Software	Pesa	Hilo
Riel de aire	Polea	Puerta fotoeléctrica		Soporte	

PROCEDIMIENTO

1. Realice el montaje como indica la figura 5.1. Conecte el sensor al computador y trabaje con la práctica que le indique el profesor. Si no le corresponde trabajar con el riel de aire, haga el montaje de la figura 5.2 y siga las instrucciones adicionales que le de su profesor.

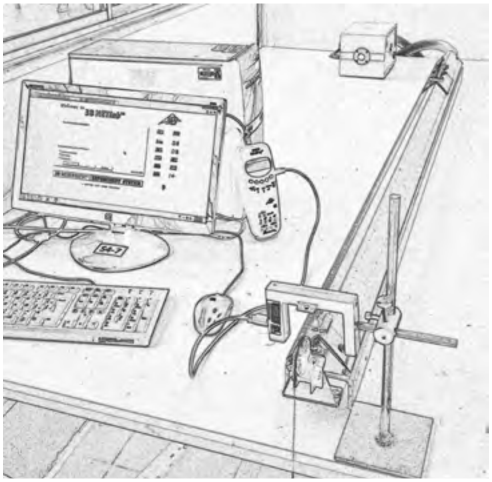


Figura 5.1 Montaje Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado

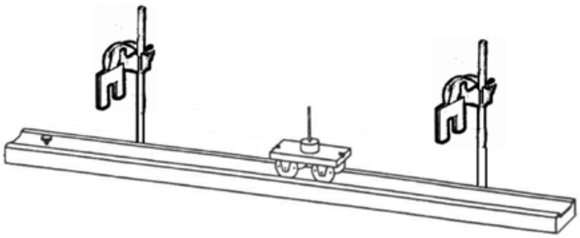


Figura 5.1 Montaje para Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado

2. Seleccione una masa la cual puede poner sobre el portapesas (masa 2 (m_2)) el cual mediante un hilo de longitud adecuada irá conectado al carril. Suelte el carro y cerciórese que cuando este (masa 1 (m_1)) golpee el tope, el porta pesas no haya llegado al piso.

3. Anote los valores de m_1=______ y m_2=______

4. Cuando seleccione "iniciar" en el software suelte el carro manualmente, asegurándose que la velocidad inicial sea cero, y permita que suceda el movimiento. Tome los datos *distancia*, *tiempo* y *velocidad* arrojados por el software, según le indique su profesor, y regístrelos en la tabla 5.1 de la cartilla.

5. Construya un gráfico de $x = f(t_{prom})$. ¿Qué tipo de gráfico obtuvo? ¿Cuál podría ser la relación entre x y t?

6. Linealice la curva y halle el valor de la pendiente, el valor del intercepto, y el coeficiente de correlación.

7. Escriba la ecuación del movimiento y halle el valor de la aceleración.

8. Un valor teórico para la aceleración de este movimiento está dada por la segunda ley de Newton la cual permite plantear que: $m_2 g = (m_1 + m_2)a$. Halle el porcentaje de error entre la aceleración teórica del punto anterior y la experimental hallada en el punto 7.

9. Trace la gráfica $v = f(t)$.

¿Qué tipo de gráfica obtuvo? ¿Qué tipo de relación existe entre las variables?

10. Halle el área bajo la curva $v = f(t)$ en forma geométrica y verifíquela mediante la integral.

11. Halle el porcentaje de error entre el valor del área encontrada en el punto 10 y el valor correspondiente de la tabla 5.1 de la cartilla.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. ¿Qué es un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado?

....

....

3. En general, ¿cómo se define la velocidad y la aceleración?

....

....

4. ¿Qué se entiende por posición inicial y velocidad inicial?

....

....

5. Si la posición y la velocidad inicial de un móvil son cero, deduzca una expresión para v en función de x y t empleando las ecuaciones 5.1 y 5.3 dadas en el marco teórico de esta guía.

ACELERACIÓN GRAVITATORIA

OBJETIVOS

1. Determinar el valor de la aceleración de la gravedad en el lugar de trabajo, con base en el período de oscilación del péndulo simple y en el tiempo de caída libre de un cuerpo.

PREINFORME

1. El valor de la aceleración de la gravedad en Manizales es: ....

2. ¿Qué se entiende por período de un péndulo?

3. Defina péndulo simple e indique de qué depende su periodo de movimiento.

4. ¿Cuál es la aceleración en caída libre de un objeto y de qué depende? ¿Cualquier objeto en caída libre tiene la misma velocidad final? Explique.

5. ¿El despegue de un cohete puede ser considerado como caída libre? Explique.

6. ¿Dos péndulos simples con la misma longitud pero de diferente masa tendrán el mismo período de movimiento? Explique.

MARCO TEÓRICO

1. Péndulo Simple

El Péndulo Simple está compuesto de una masa m que está unida a un extremo de una cuerda de longitud L, que tiene el otro extremo fijo, como se indica en la figura 6.1. Las fuerzas que actúan sobre la masa son su peso mg y la tensión de la cuerda T. Cuando la cuerda forma un ángulo ϕ con la vertical, el peso tiene por componentes $mg\cos\phi$ a lo largo de la cuerda y $mg\,sen\phi$ perpendicular a ella en el sentido de ϕ decreciente. Sea s la longitud del arco medido desde la parte inferior de la circunferencia.

La longitud del arco está relacionada con el ángulo ϕ por: $s=l\phi$ (longitud del arco de un sector circular). De acuerdo con la segunda ley de Newton:

$$T - mg\cos\phi = 0 \tag{6.1}$$

$$-mg\,\mathrm{sen}\,\phi = ma_t \tag{6.2}$$

De (6.1) y (6.2) a través de un procedimiento matemático puede obtenerse que:

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad \text{y} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad \Longrightarrow \quad T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L$$

Donde ω es la velocidad angular del sistema y T representa el período de oscilación.

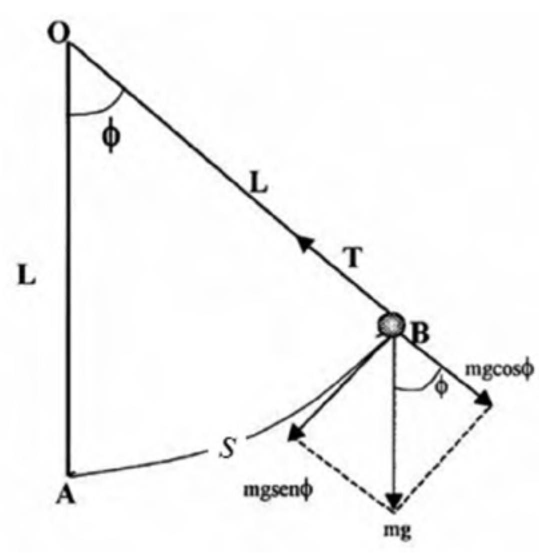


Figura 6.1 Diagrama de cuerpo libre para el péndulo simple

2. Caída Libre

Fue el célebre italiano Galileo Galilei quien afirmó que, en ausencia de resistencia de aire, todos los objetos caen con una misma aceleración. Cuando se emplea el término caída libre se incluye tanto el soltar como el lanzar hacia arriba o hacia abajo el objeto. Cualquier objeto que cae libremente tiene una aceleración dirigida hacia abajo, independientemente del movimiento inicial del objeto. La causa de esta aceleración fue encontrada por Newton, quien estableció en su ley de Gravitación Universal que las masas se atraen en proporción directa al producto de sus masas e inversamente a su separación al cuadrado. Es la masa de la Tierra la que origina esta aceleración en su superficie. Las ecuaciones cinemáticas para el movimiento rectilíneo bajo la aceleración de gravedad son las mismas que para cualquier movimiento con aceleración constante:

$$\boxed{y = y_0 + v_o t - \frac{1}{2} g t^2} \quad \boxed{v_f = v_o - gt} \quad \boxed{v_f^2 = v_0^2 - 2g(y - y_0)} \tag{6.3}$$

Donde y y v son vectores igual que lo es g a quien ya se le ha incluido su dirección.

MATERIALES

Parte A:	Cuerda	Pesa	Puerta fotoeléctrica	Contador digital
Parte B:	Esfera metálica	Cables	Montaje de caída libre	Contador digital

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Péndulo simple

1. Ate una masa **m** a un péndulo de longitud mayor a un metro como indica la figura 6.2 de la guía. Con un ángulo no superior a 10º, determine el tiempo que se demora para realizar 10 oscilaciones completas. Si está empleando el sensor tome sólo 4 medidas del periodo. Lleve sus datos a la tabla 6.1 de la cartilla.

2. Varíe la longitud del péndulo disminuyendo 10 cm cada vez y repita el procedimiento anterior.

3. Calcule el periodo (T) del movimiento en cada caso y anote estos valores en la tabla 6.1 de la cartilla.

4. Construya una gráfica de T vs L. Infiera una relación entre las variables.

5. Linealice la curva e indique la variable linealizada para completar la tabla 6.1 de la cartilla. Con base en esta información, obtenga el valor experimental de **g** utilizando la gráfica y el método de los mínimos cuadrados.

6. Calcule el porcentaje de error en el valor de **g** obtenido al compararlo con el valor consultado en el preinforme.

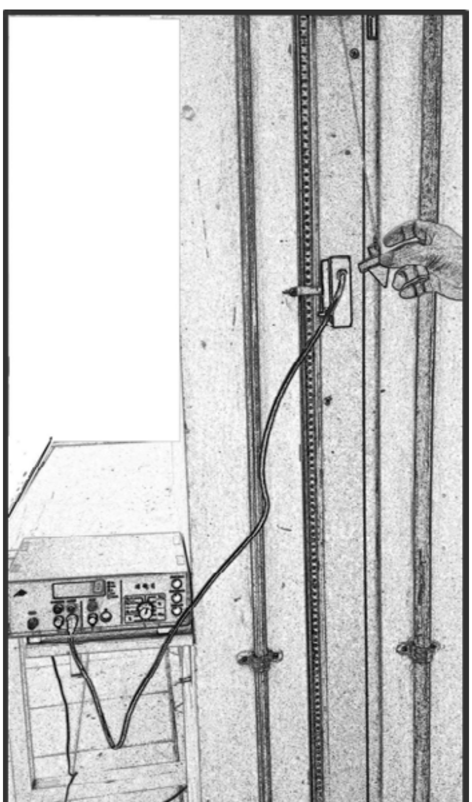


Figura 6.2 Montaje péndulo simple

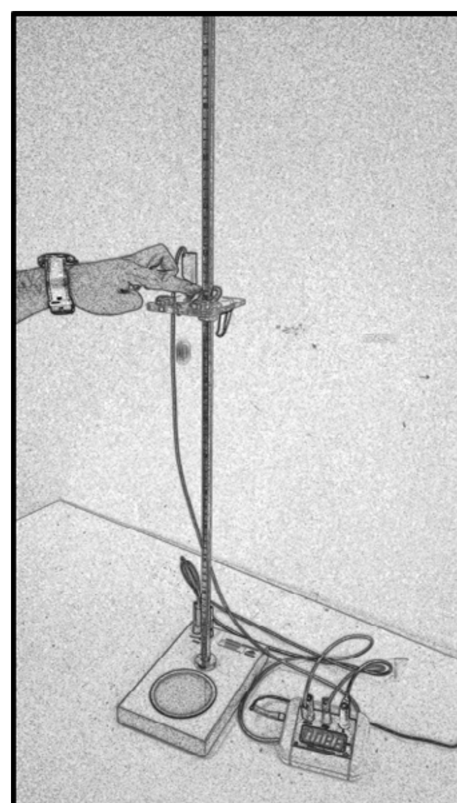


Figura 6.3 Montaje caída libre

»Parte B: Caída libre

1. Haga el montaje como muestra la figura 6.3. Ubique el balín en el lugar designado para tal fin. Defina un valor de altura el cual debe medirse por la parte superior de la base donde se soporta el balín. Libere el balín con el dispositivo manual.

2. Lea en el contador digital el tiempo que tarda el balín en caer. Anote los resultados en la tabla 6.2 de la cartilla.

3. Tome cinco medidas más, variando la altura y complete la tabla 6.2 de la cartilla.

4. Grafique $y = f(t)$.

¿Qué tipo de curva obtuvo? ¿Cuál cree que es la relación entre las variables? Linealice la curva.

5. Escriba la ecuación que relaciona las variables y calcule el valor de la aceleración "g" del movimiento.

6. Halle el porcentaje de error.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. El valor de la aceleración de la gravedad en Manizales es: ....

3. ¿Qué se entiende por período de un péndulo? ....

....

4. Defina péndulo simple e indique de qué depende su periodo de movimiento.

....

....

5. ¿Cuál es la aceleración en caída libre de un objeto y de qué depende? ¿Cualquier objeto en caída libre tiene la misma velocidad final? Explique.

....

....

6. ¿El despegue de un cohete puede ser considerado como caída libre? Explique ....

....

7. ¿Dos péndulos simples con la misma longitud pero de diferente masa tendrán el mismo período de movimiento? Explique ....

....

....

....

LABORATORIO 7

MOVIMIENTO SEMIPARABÓLICO

OBJETIVOS

1. Deducir la relación entre el desplazamiento vertical y el horizontal en un movimiento semiparabólico.

2. Determinar las relaciones existentes entre las variables: posición en x, posición en y, velocidad en x y velocidad en y con la variable ***tiempo***.

PREINFORME

1. ¿Qué es un movimiento semiparabólico?

2. ¿Qué se entiende por principio independencia de movimiento?

3. ¿Qué movimientos componen un movimiento semiparabólico? ¿Por qué?

4. Grafique las curvas: $y=5t^2$ y $x=3t$, y ahora grafique y vs x.

5. Deduzca las expresiones de y vs x para el movimiento semiparabólico a partir de las ecuaciones 7.3 y 7.4 del marco teórico.

MARCO TEÓRICO

Suponga que se lanza un proyectil horizontalmente con una velocidad incial V_0.

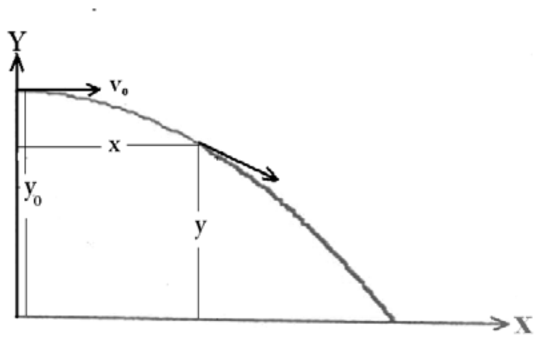


Figura 7.1 Esquema gráfico del movimiento semiparabólico

Teniendo en cuenta las ecuaciones del movimiento parabólico y haciendo $\theta_0 = 0$, se tiene:

$$\boxed{V_{0x} = V_0} \quad \text{y} \quad \boxed{V_{0y} = 0} \qquad (7.1)$$

Las componentes de velocidad en cualquier instante están dadas por:

$$\boxed{V_x = V_{0x} = V_0} \quad \text{y} \quad \boxed{V_y = -gt} \qquad (7.2)$$

La posición horizontal en cualquier instante está dada por:

$$\boxed{x = V_0 t} \qquad (7.3)$$

La posición vertical en cualquier instante está dada por:

$$\boxed{y - y_0 = -\frac{g}{2}t^2} \qquad (7.4)$$

MATERIALES

Rampa acanalada	Cinta adhesiva	Papel carbón	Papel blanco
Esfera metálica	Tabla en L	Regla	

PROCEDIMIENTO

1. Haga el montaje como lo indica la figura 7.2.

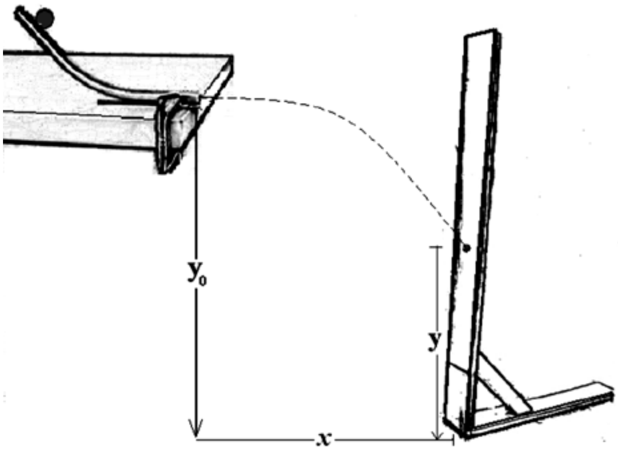


Figura 7.2 Montaje para el movimiento semi-parabólico

2. Pegue el papel blanco en la tabla y encima de este, pegue el papel carbón de modo que deje marcas sobre el papel blanco cuando la esfera lo golpee. Pegue la tabla a la mesa y deje caer el balín, la distancia entre el punto que queda marcado y el piso es el valor de y_0.

3. Sin usar la tabla, suelte la esfera desde el borde superior de la rampa y mida la distancia máxima para *x*, divida este valor en 6 intervalos iguales y lleve los resultados a la tabla 7.1 de la cartilla.

4. Ubique la tabla de la figura 7.2 en la primera posición de **x** y suelte la esfera siempre desde la misma altura de la rampa de tal manera que vaya a chocar con la tabla.

5. Suelte la esfera dos veces más, retire el papel carbón de la tabla y marque los puntos obtenidos. Mida la distancia desde el suelo a cada uno de los puntos y obtenga un valor promedio (y_{prom}). Registre este dato en la tabla 7.1 de la cartilla.

6. Mueva la tabla a la siguiente posición y repita el procedimiento. Complete la tabla de datos 7.1 de la cartilla.

7. Construya una gráfica de $y = f(x)$.

¿Qué gráfica obtuvo?

8. Haga la suposición correspondiente y linealice la gráfica. Escriba la ecuación que relaciona las variables.

9. Calcule el valor de la velocidad inicial del balín a partir de los resultados de la linealización.

10. Haga las gráficas de: $x=f(t)$, $y=f(t)$, $v_x=f(t)$, $v_y= f(t)$ sobre el mismo plano, ya que el eje horizontal es el mismo para todas.
    Para ello debe calcular el tiempo, la velocidad en **x**(v_x) y la velocidad en **y**(v_y) con base en las expresiones planteadas en el marco teórico. Calcule el tiempo empleando la ecuación de altura. Complete la Tabla 7.2 de la cartilla.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. ¿Qué es un movimiento semiparabólico? ....

....

....

3. ¿Qué se entiende por principio independencia de movimientos?

....

....

4. ¿Qué movimientos componen un movimiento semiparabólico? ¿Por qué?

....

....

5. Grafique las curvas de $y=5t^2$ y $x=3t$. Luego grafique $y=f(x)$

6. Deduzca la ecuación de y vs x para el movimiento semiparabólico a partir de las ecuaciones 7.3 y 7.4 del marco teórico.

LABORATORIO 8

MOVIMIENTO PARABÓLICO

OBJETIVOS

1. Identificar las variables que intervienen en un movimiento parabólico.

2. Deducir la relación entre el alcance horizontal máximo y el ángulo de lanzamiento.

PREINFORME

1. ¿A qué se denomina proyectil?

2. ¿Qué se entiende por principio movimiento parabólico?

3. Deduzca las expresiones de y_{max} y x_{max} dadas en las ecuaciones 8.5 y 8.6 del marco teórico.

MARCO TEÓRICO

Suponga que se lanza un objeto con una velocidad inicial $\mathbf{v}_o$ y formando un ángulo θ con la horizontal. La velocidad inicial tiene dos componentes:

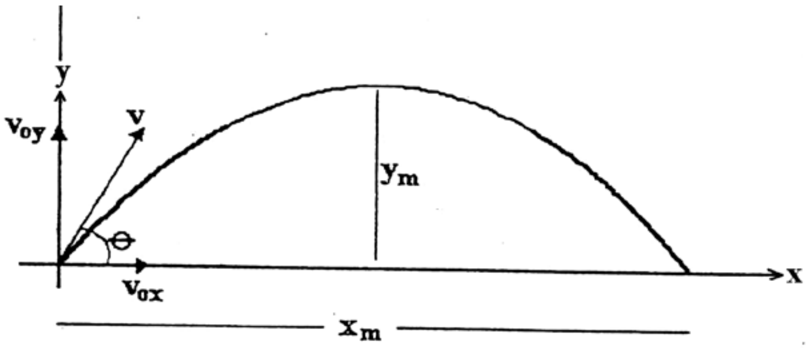


Figura 8.1 Esquema gráfico del movimiento de proyectiles

$$\boxed{V_{ox} = V_0 \cos\theta} \quad \text{y} \quad \boxed{V_{oy} = V_0 sen\theta} \tag{8.1}$$

Las componentes de velocidad en cualquier instante están dadas por:

$$\boxed{V_x = V_{0x} = V_o \cos\theta} \quad \text{y} \quad \boxed{V_y = V_{0y} - gt} \tag{8.2}$$

La posición horizontal en cualquier instante está dada por:

$$\boxed{x = V_x t = V_o \cos\theta t} \tag{8.3}$$

La posición vertical en cualquier instante está dada por:

$$\boxed{y = V_o \cdot sen\theta \cdot t - \frac{g}{2} t^2} \tag{8.4}$$

La altura máxima puede obtenerse teniendo en cuenta que la velocidad vertical en el punto de máxima altura es cero y está dada por:

$$\boxed{y_{\max} = \frac{V_0^2 sen^2\theta}{2g}} \tag{8.5}$$

El alcance horizontal máximo puede obtenerse sabiendo que el tiempo de vuelo es el doble del tiempo que tarda en alcanzar la máxima altura y está dado como:

$$\boxed{x_{\max} = \frac{V_0^2 sen 2\theta}{g}} \tag{8.6}$$

MATERIALES

Lanza proyectiles	Base de lanza proyectiles	Papel carbón
Esfera metálica	Tabla para impacto	Papel blanco

PROCEDIMIENTO

1. Haga el montaje de la figura 8.2 y seleccione la posición 1 o 2 del disparador con el fin de tener una velocidad incial determinada.

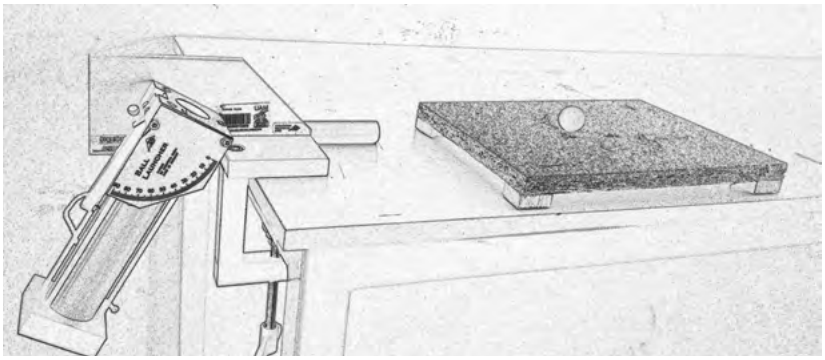


Figura 8.2 Esquema gráfico del movimiento de proyectiles

2. Sitúe la esfera en el centro del disparador y con el lanza proyectiles, láncela con una ángulo de 15º. Repita la medida tres veces para el mismo ángulo y promedie los resultados. Lleve los valores a la tabla 8.1 de la cartilla.

3. Repita la medida variando el ángulo en 15° más, hasta completar la tabla 8.1 de la cartilla.

4. Construya la gráfica de $x = f(2\theta)$. ¿Qué gráfica obtuvo?

5. Realice el proceso de linealización que sea necesario y obtenga la ecuación que relaciona las variables.

6. Con los resultados de la ecuación anterior obtenga el valor de la velocidad inicial del proyectil.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. ¿A qué se denomina proyectil? ....

....

....

3. ¿Qué se entiende por movimiento parabólico?

....

....

4. Deduzca las expresiones de y_{max} y x_{max} dadas en las ecuaciones 8.5 y 8.6 del marco teórico.

LABORATORIO 9

EQUILIBRIO DE TRASLACIÓN

OBJETIVOS

Comprobar gráfica y analíticamente la condición para que un sistema de fuerzas concurrentes se mantenga en equilibrio.

PREINFORME

1. ¿Qué es un diagrama de cuerpo libre?

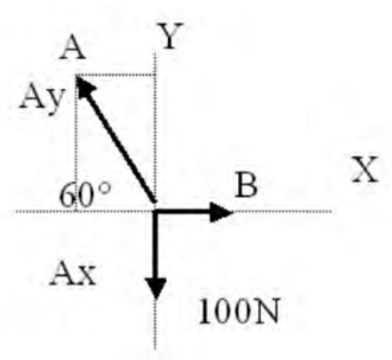
2. ¿Qué son fuerzas concurrentes?

3. Cuando se aplica un conjunto de fuerzas concurrentes a un objeto, este tiende a moverse en la dirección de:

4. ¿Qué son fuerzas paralelas y cómo se obtiene su resultante?

5. Una hamaca está soportada por dos ganchos colocados al mismo nivel. Un hombre está sentado en ésta. ¿En qué condiciones la tensión en cada gancho es igual al peso del hombre?

6. Hallar la magnitud y dirección de la fuerza resultante del siguiente sistema en función de **A** y **B**.



7. Sean tres fuerzas de igual magnitud, ¿cómo deben estar dispuestas para que la resultante sea cero?

MARCO TEÓRICO

Un cuerpo está en equilibrio de traslación cuando la fuerza neta que actúa sobre él es cero. La ley de equilibrio de Newton establece que "un cuerpo en equilibrio de traslación, mantiene constante su velocidad de manera que si inicialmente estaba en reposo, continúa en reposo por inercia y si inicialmente se movía, continúa a la misma velocidad por inercia".

Para el caso en el que el sistema esté en equilibrio de translación se tiene que cumplir que:

$$\sum_{i}^{n} F_{xi} = 0 \qquad (9.1)$$

$$\sum_{i}^{n} F_{yi} = 0 \qquad (9.2)$$

MATERIALES

Poleas	Base soporte	Varilla soporte	Nuez doble
Dinamómetro	Juego de pesas	Pesas	Hilo
Disco graduado	Mesa de fuerzas concurrentes	Poleas	Aro con hilos

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Suma de fuerzas por el método gráfico

1. Haga el montaje según la figura 9.1. En un trozo de hilo haga un ojal en cada extremo y otro justo en el centro.

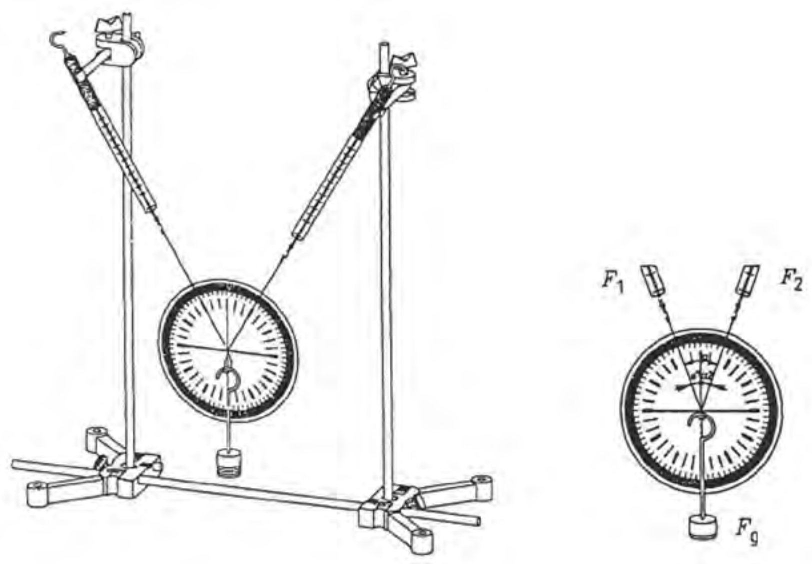


Figura 9.1 Montaje Paralelogramo de fuerzas

2. Mida los ángulos y las fuerzas para que el sistema esté en equilibrio y lleve los datos a la tabla 9.1 de la cartilla.

3. Desplace los dinamómetros de manera que obtenga otro par de configuraciones de equilibrio. Registre los datos en la tabla 9.1 de la cartilla.

4. Dibuje las tres fuerzas desde un mismo punto de inicio, emplee una escala de medida adecuada para la magnitud de las fuerzas

5. Haga una suma gráfica de las tres fuerzas para cada una de las confguraciones

6. ¿Qué puede decir de la resultante en cada caso?

»Parte B: Suma de fuerzas por el método analítico

1. Haga el montaje tal como se lo indica la figura 9.2.

Figura 9.2 Mesa de fuerzas concurrentes.

2. Para el *"punto"* donde convergen las fuerzas se considera un anillo que se coloca en el centro del disco de la mesa de fuerzas concurrentes (ver figura 9.2). Del anillo salen tres hilos en direcciones diferentes en donde se encuentran los portapesas, de tal manera que de estos pendan diferentes masas. La idea es que pueda lograrse el equilibrio del sistema, ya sea variando las masas o la dirección de las fuerzas.

3. Luego de obtener el equilibrio registre en la tabla 9.2 de la cartilla la masa de cada pesa y el ángulo (dirección) de cada una de las cuerdas.

4. Repita el procedimiento anterior para otras dos configuraciones de diferentes masas y direcciones. Registre los datos sobre un esquema gráfico.

5. Para las tres configuraciones realizadas demuestre que se cumple la condición de equilibrio.

6. Calcule el porcentaje de error relativo para cada uno de los equilibrios, tanto para x como para y, es decir, debe realizar seis cálculos de porcentaje de error relativo.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. El objetivo principal de esta práctica es: ....

....

....

2. ¿Qué es un diagrama de cuerpo libre? ....

....

....

3. ¿Qué son fuerzas concurrentes? ....

....

....

4. Cuando se aplica un conjunto de fuerzas concurrentes a un objeto este tiende

a moverse en la dirección de: ....

5. ¿Qué son fuerzas paralelas y cómo se obtiene su resultante?

....

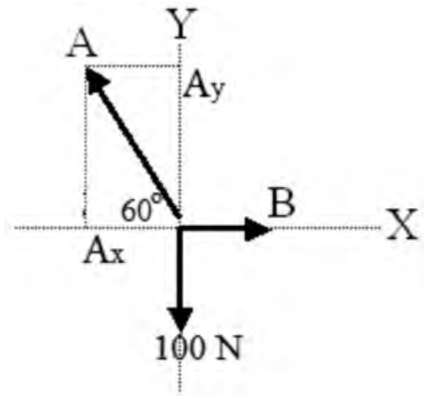
....

6. Una hamaca está soportada por dos ganchos colocados al mismo nivel. Un hombre está sentado en esta. ¿En qué condiciones la tensión en cada gancho es igual al peso del hombre?

....

....

7. Hallar la magnitud y dirección de la fuerza resultante del siguiente sistema en función de **A** y **B**.



8. Sean tres fuerzas de igual magnitud, ¿cómo deben estar dispuestas estas para que la resultante sea cero?

LABORATORIO 10

SEGUNDA LEY DE NEWTON

OBJETIVOS

1. Deducir la relación funcional que existe entre las variables físicas aceleración, fuerza y masa.

PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos físicos:

Masa, peso, fuerza, inercia, segunda ley de newton, acción y reacción.

2. Escribir las unidades en el S.I. de:

a) Velocidad b) Aceleración c) Masa

d) Peso e) Fuerza

3. Cuál es la unidad de masa y cuál la de fuerza en el sistema inglés? ¿Cuál es su equivalente en el sistema internacional?

4. Escriba las ecuaciones del MRUA.

MARCO TEÓRICO

La dinámica es la parte de la mecánica que estudia las causas por las cuales todo cuerpo cambia o mantiene su estado de reposo o de movimiento. Las leyes de Newton no son producto de deducciones matemáticas, sino una síntesis obtenida por los físicos al realizar un sinnúmero de experimentos con cuerpos en movimiento. Dichas leyes son verdaderamente fundamentales porque no pueden deducirse ni demostrarse a partir de otros principios. La gran importancia de las leyes de Newton radica en que permiten entender la mayor parte de los movimientos comunes, son la base de la mecánica clásica o mecánica newtoniana.

MATERIALES

Riel de aire	Aditamentos	Carro	Hilo
Polea	Pesa	Sensor 3B	Computador
Software	Cables	Soporte	Puerta fotoeléctrica

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Relación fuerza - aceleración

1. Monte el equipo como lo indica la figura 10.1, tal como lo empleó en la práctica MRUA.

Figura 10.1 Montaje para la segunda ley de Newton.

2. Coloque el carrito en un extremo del carril de aire. Ate una pesa al portapesas (la cual se considerará como masa 2) y únala a un extremo del carrito con un hilo haciéndola pasar por la polea. Suelte el carrito (el cual se denominará como masa 1), tome el valor de la aceleración que arroja el software del equipo como se lo indique su profesor y llévelo a la tabla 10.1 de la cartilla.

3. Repita el procedimiento anterior variando la masa (m2) a tres valores más. Lleve los valores de masas y aceleraciones a la tabla 10.1 de la cartilla.

4. Calcule la tensión del hilo con el cual es halado el carrito haciendo sumatorias de fuerzas en la masa 2, registre estos valores de tensión en la tabla 10.1 de la cartilla.

6. Grafique tensión vs aceleración para una masa constante y de acuerdo a los datos de la tabla 10.1 de la cartilla.

7. Deduzca la relacion funcional entre estas cantidades haciendo los procesos de linealización necesarios.

8. ¿Qué representa la pendiente en cada gráfica?

9. ¿Qué tipo de relación hay entre la aceleración que adquiere un cuerpo y la fuerza que se le aplica?

»Parte B: relación masa - aceleración

1. Ahora deje una de las pesas en el portapesas y empiece a poner pesos en forma equilibrada sobre el carrito haciendo las medidas como se explica en el paso 2 de la parte A. Lleve los valores a la tabla 10.2 de la cartilla.

2. Sabiendo que las sumas de fuerzas para el sistema total está dada como: $m_2g=(m_1 + m_2)a$, es decir F = M.a, donde F es el peso en el portapesas y M la suma de las masas $m_1 + m_2$, puede estudiarse la relación entre a y M teniendo en cuenta que F es constante.

3. Calcule la tensión en el hilo (F) y la suma de las masas de los cuerpos (m_1 y m_2). Lleve los valores a la tabla 10.2 de la cartilla.

4. Grafique la aceleración vs masa (M) para una fuerza constante de acuerdo a los datos de la tabla 10.2 de la cartilla.
5. Deduzca la relación funcional entre a y M haciendo los procesos de linealización necesarios.
6. ¿Qué representa la pendiente en esta gráfica?
7. ¿Qué tipo de relación hay entre la aceleración que adquiere un cuerpo y su masa?

Cálculo de errores

1. Calcule el porcentaje de error para el valor de la masa del carro obtenida en la parte A.
2. Calcule el porcentaje de error para el valor de la fuerza obtenido en la parte B.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos físicos:

Masa: ....

....

Peso: ....

....

Fuerza: ....

....

Inercia: ....

....

Segunda Ley de Newton: ....

....

....

Acción y reacción: ....

....

2. Escribir las unidades en el S.I. de:

a) Velocidad .... b) Aceleración .... c) Masa ....

d) Peso .... e) Fuerza ....

3. Cuál es la unidad de masa y cuál la de fuerza en el sistema inglés? ¿Cuál es su equivalente en el sistema internacional? ....

....

....

4. Escriba las ecuaciones del MRUA

LABORATORIO 11

ROZAMIENTO Y PLANO INCLINADO

OBJETIVOS

2. Calcular los coeficientes de rozamiento cinético y estático de un par de materiales.

PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos: fuerza de fricción o rozamiento, coeficiente de fricción estático y cinético, fricción por deslizamiento, fricción por rodadura, plano inclinado, diagrama de cuerpo libre, fuerza normal.

2. Consulte el valor del coeficiente de rozamiento cinético y estático entre las superficies, madera sobre madera y madera sobre aluminio.

MARCO TEÓRICO

En la figura 11.1 se muestra un bloque de masa m arrastrado por una fuerza F horizontal. Sobre el bloque actúan el peso mg, la fuerza normal N, la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual desliza y la fuerza F. De las condiciones de equilibrio se obtiene que el valor de la fuerza normal N es igual al peso mg, $N=mg$. Si el bloque desliza con velocidad constante la fuerza aplicada F será igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k.

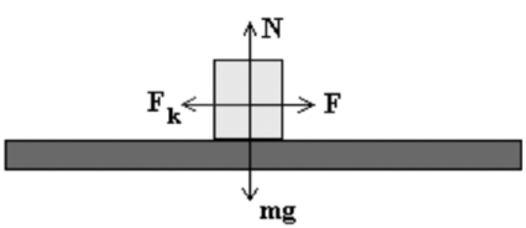


Figura 11.1 *Diagrama de cuerpo libre para plano horizontal*

La fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k es proporcional a la fuerza normal N.

$$F_k = \mu_k N \tag{11.1}$$

La constante de proporcionalidad μ_k es un número sin dimensiones que se denomina coeficiente de rozamiento cinético. El valor de μ_k es casi independiente del valor de la velocidad para velocidades relativas pequeñas entre las superficies y decrece lentamente cuando el valor de la velocidad aumenta.

Si ahora, el plano está inclinado un ángulo θ como indica la figura 11.2, el bloque está en equilibrio en sentido perpendicular al plano inclinado por lo que la fuerza normal N es igual a la componente del peso perpendicular al plano, $N = mgcos\theta$.

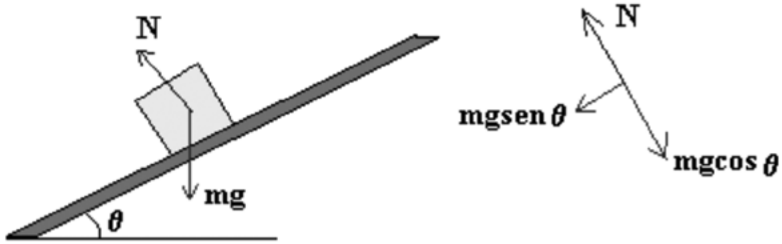


Figura 11.2 *Diagrama de cuerpo libre para plano inclinado*

Y de la sumatoria de fuerzas en y se tiene que: $F_k = mg\sin\theta$

MATERIALES

Taco de fricción	Dinamómetro	Nuez doble	Soporte universal
Juego de pesas	Varilla	Plano inclinado	

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Coeficiente de rozamiento cinético

1. Limpie bien la superficie del plano y del taco de fricción para remover partículas adheridas y grasa.

2. Coloque el taco de fricción de modo que esté apoyado en la superficie de madera sobre el plano sobre el plano horizontal. Ponga pesos sucesivos en el taco (figura 11.3) y hale hasta que se tenga un movimiento con velocidad constante. Lleve los datos a la tabla 11.1 de la cartilla.

Figura 11.3 *Montaje para plano horizontal*

3. Calcule la fuerza normal y la fuerza de rozamiento.

4. Grafique la fuerza de rozamiento vs la normal.

5. Realice los procesos de linealización necesarios y halle el coeficiente de rozamiento cinético.

6. Compare el valor obtenido del coeficiente de rozamiento cinético con los reportes de la literatura.

»Parte B: Coeficiente de rozamiento estático

1. Realice el montaje mostrado en la figura 11.4, colocando el bloque de tal manera que la cara cuya superficie es madera esté en contacto con la superficie del plano inclinado (inicialmente horizontal).

2. Empiece a inclinar el plano, hasta que el bloque deslice, mida el ángulo y lleve el resultado a la Tabla 11.2 de la cartilla.

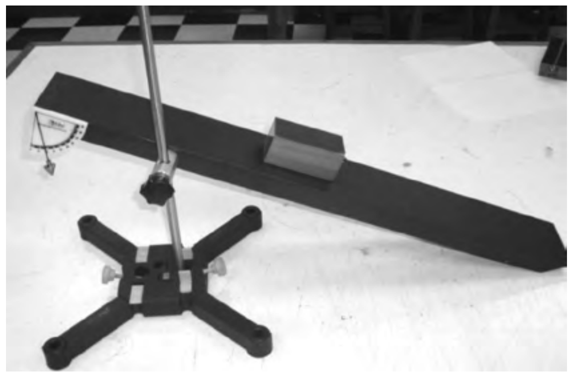


Figura 11.4 *Sistema Plano inclinado*

3. Repita el paso 2 colocando pesos sucesivos sobre el bloque. Lleve los datos a la tabla 11.2 de la cartilla.
4. Calcule la fuerza normal y la fuerza de rozamiento en cada caso.
5. Trazar la gráfica de $F_R = f(N)$ (Rozamiento Vs Normal). ¿Qué tipo de gráfica obtuvo? ....
6. Realice el ajuste correspondiente y halle el coeficiente de rozamiento estático.
7. Compare el valor obtenido del coeficiente de rozamiento estático con los reportes de la literatura consultados en el pre-informe.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos:

Fuerza de fricción o rozamiento: ....

....

Coeficiente de fricción estático y cinético: ....

....

Fricción por deslizamiento: ....

....

Fricción por rodadura: ....

....

Plano inclinado: ....

....

Diagrama de cuerpo libre: ....

....

Fuerza normal: ....

....

2. Consulte el valor del coeficiente de rozamiento cinético y estático entre las superficies, madera sobre madera y madera sobre aluminio.

	Coeficiente de fricción cinético	Coeficiente de fricción estático
Madera sobre madera		
Madera sobre aluminio		
Acero sobre madera		
Caucho sobre madera		

LABORATORIO 12

EQUILIBRIO DE ROTACIÓN

OBJETIVOS

1. Verificar el cumplimiento de las condiciones de equilibrio para un cuerpo rígido en particular.

PREINFORME

1. Definir los siguientes conceptos: Momento de fuerza o torque, brazo, palancas, par de fuerzas.

2. Ejercicio: ¿En qué punto se debería poner el punto de apoyo para que el sistema de la figura 12.1 esté en equilibrio, teniendo en cuenta que el peso de la viga es de 50 N y las fuerzas son F_1=28 N F_2= 42 N?

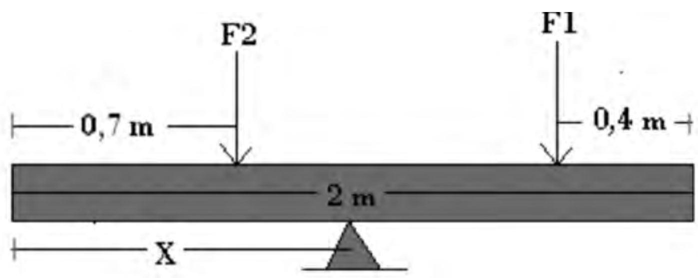


Figura 12.1

MARCO TEÓRICO

Se tiene un cuerpo que puede girar alrededor de un eje fijo perpendicular al plano del dibujo en el punto O como muestra la figura 12.2.

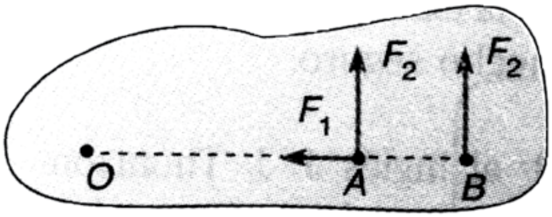


Figura 12.2

Si aplicamos la fuerza $\mathbf{F}_1$ en un punto **A** del cuerpo, este no se mueve. Si aplicamos ahora la fuerza $\mathbf{F}_2$, de igual magnitud que $\mathbf{F}_1$, en el mismo punto **A**, el cuerpo gira. Si desplazamos esta fuerza al punto **B**, el cuerpo girará más rápidamente.

Esto indica que el efecto que produce una fuerza sobre un cuerpo que puede girar, respecto a un eje fijo, depende de la dirección de la fuerza aplicada y de su distancia al eje de rotación.

Para que un cuerpo rígido esté en equilibrio es necesario que se cumplan dos condiciones:

1. Equilibrio de Traslación: $\sum \dot{F} = 0$ (12.1)
2. Equilibrio de Rotación: $\sum \dot{M} = 0$ (12.2)

Donde **M** representa los momentos o torques de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo respecto a algún eje.

MATERIALES

Pie estativo	Varillas soporte	Nueces dobles	Pesas
Pesas	Hilo	Palanca	Dinamómetros de 2N

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Equilibrio de traslación de un cuerpo rígido

1. Determine con el dinamómetro el peso de la viga y anote el resultado en la tabla 12.1 de la cartilla (será el mismo valor para cada uno de los equilibrios).

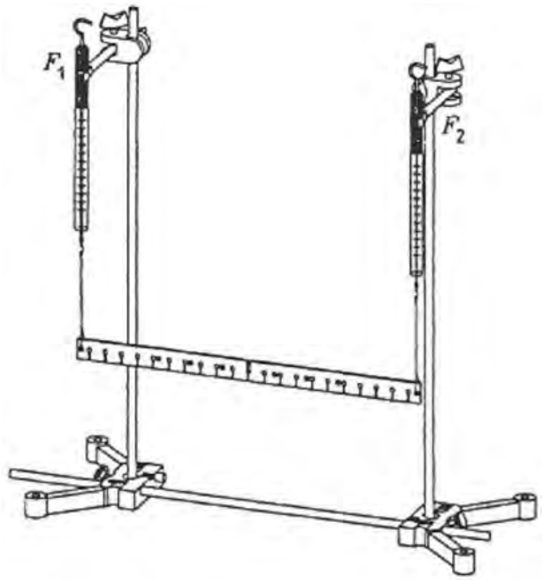


Figura 12.3 *Montaje para equilibrio de traslación de un cuerpo rígido*

2. Sostenga la viga de los extremos con los dinamómetros de 2 N (como muestra la figura 12.3) entregados. Antes de cada medición observe que la viga esté horizontal.

3. Busque tres condiciones de equilibrio variando la ubicación o posiciones de los dinamómetros, garantizando que la viga esté completamente horizontal. Lea el resultado de cada uno de los dinamómetros y anote las fuerzas (F_1 y F_2) en la tabla 12.1 de la cartilla.

4. Haga la suma de fuerzas en los tres casos y verifique la primera condición de equilibrio.

5. Calcule el porcentaje de error relativo entre la suma de fuerzas y el peso de viga.

»Parte B: Equilibrio de rotación de un cuerpo rígido

1. Realice el montaje como lo indica la figura 12.4. Cuelgue una pesa con una masa entre 100 y 200 g, en una de las marcas de la regla. Cuelgue el dinamómetro en otra de las marcas de tal forma que la viga esté horizontal. Lea el valor que marca el dinamómetro y súmemele el peso del mismo, anótelo en la tabla 12.2 de la cartilla.

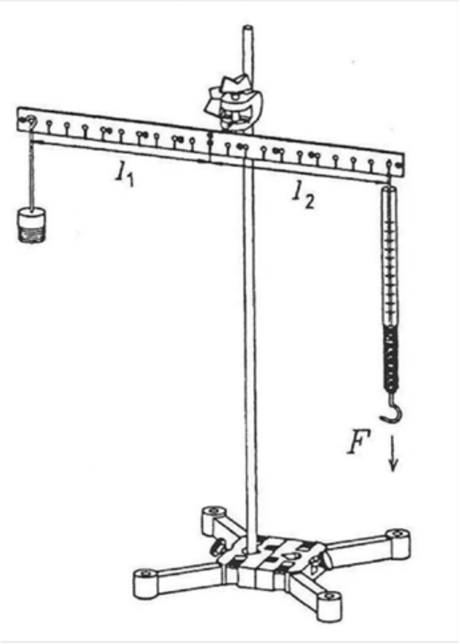


Figura 12.4 *Montaje para equilibrio de rotación de un cuerpo rígido*

2. Anote los valores de las distancias y las fuerzas para lograr el equilibrio en la tabla 12.2 de la cartilla.

3. Busque otras dos condiciones de equilibrio en forma similar a como se hizo en el paso 1 y anote los resultados en la tabla 12.2 de la cartilla.

4. Calcule la sumatoria de momento y compruebe que el sistema está en el equilibrio de rotación.

5. Calcule el error relativo en los resultados anteriores.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos:

Momento de fuerza o torque: ....

....

Brazo: ....

....

Palancas: ....

....

Par de fuerzas: ....

....

2. Ejercicio: ¿En qué punto se debería poner el punto de apoyo para que el sistema de la figura 11.1 esté en equilibrio, teniendo en cuenta que el peso de la viga es de 50 N y las fuerzas son F_1=28 N F_2= 42 N?

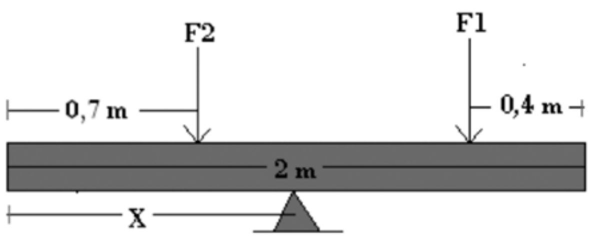


Figura 12.1

LABORATORIO 13

COLISIONES UNIDIMENSIONALES

OBJETIVOS

1. Comprobar experimentalmente la conservación del momentum lineal para un sistema de dos partículas que se mueven en movimiento rectilíneo.

PREINFORME

1. ¿Qué es Momentum lineal?

2. Explique los diferentes tipos de choques.

3. ¿En qué consiste la ley de conservación del momentum lineal?

MARCO TEÓRICO

Todos los cuerpos que se encuentran en movimiento tienen la característica de presentar un momentum lineal, que es una magnitud vectorial y está dada por: $\vec{P} = m\vec{v}$.

La ley de conservación del momentum establece que si la resultante de las fuerzas externas que interactúan en el sistema es nula, el momentum se conserva, es decir.

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \qquad \sum(m_i\vec{v}_i) = \sum(m_i\vec{v}_f)$$

La suma de los productos de las masas por las velocidades iniciales será igual a la suma del producto de las masas por las velocidades finales. Las fuerzas internas pueden producir variaciones en el momentum de las partículas de un sistema, pero no producen variación en el momentum total del mismo.

Si se tiene un sistema de dos cuerpos de masa m_1 y m_2 que presentan velocidades iniciales v_{1i} y v_{2i}, después de la colisión tendrán velocidades v_{1f} y v_{2f}. Por tanto la conservación de momentum establece que:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f$$

$$m_1\vec{v}_{1i} + m_2\vec{v}_{2i} = m_1\vec{v}_{1f} + m_2\vec{v}_{2f} \qquad (13.1)$$

La velocidad es una cantidad vectorial; por eso es preciso tener en cuenta la dirección de dichas velocidades, que para un movimiento en línea recta quedará indicada con un signo (positivo o negativo) dependiendo de la dirección del movimiento de cada cuerpo.

MATERIALES

Riel de aire	Carros	Juego de pesas	Aditamentos
Barreras de luz	Puerta fotoeléctrica	Disparador magnético	Software
Sensor 3B	Computador	Cables	Fuente

PROCEDIMIENTO

»Parte A: Colisión inelástica

1. Realice el montaje que se muestra en la figura 13.1. Verifique que el carril esté horizontal empleando un nivel. Inserte el tubo con plastilina en uno de los carros y la aguja en el otro.

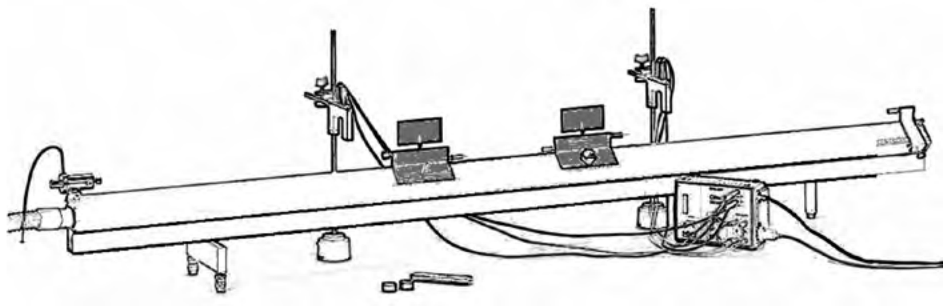


Figura 13.1. Montaje colisión inelástica

2. Lleve los dos carros a los extremos opuestos del carril de aire. Libere uno con el electroimán y el otro con un pequeño impulso de tal manera que se dirijan hacia el centro del carril. Es recomendable darle a uno de los carros un impulso mayor que al otro para que no queden en reposo entre las barreras después de la colisión.

3. Las dos barreras de luz miden la velocidad de los carros antes de la colisión. La colisión debe tener lugar totalmente entre las dos barreras de luz. Por ser una conexión inelástica los dos carros quedan unidos y se mueven en una dirección en común. La barrera de luz localizada en la dirección del movimiento dará valores de velocidad similares para los dos carros, se debe tomar el valor promedio entre ellas.

4. Tome los datos de las masas de los carros y las velocidades medidas por los sensores antes y después de la colisión.

5. Repita las medidas con otra masa y lleve los datos a la tabla 13.1 de la cartilla.

6. Calcule el momentum total antes y después de la colisión.

7. Calcule la energía cinética antes y después de la colisión.

8. Calcule los errores relativos en los resultados anteriores.

»Parte B: Colisión elástica

1. Cambie ahora los aditamentos de los carros como muestra la figura 13.2. Use la banda de caucho en un carro y la paleta en el otro.

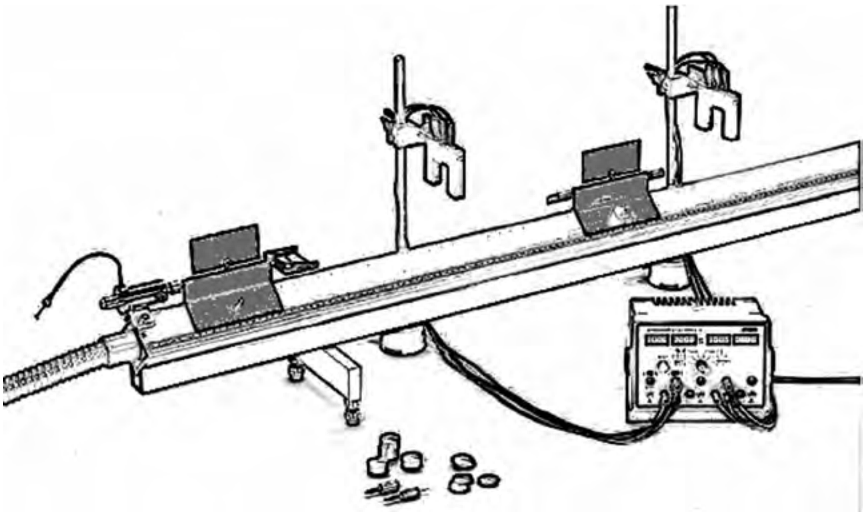


Figura 13.2 Montaje colisión elástica

2. Lleve los dos carros a los extremos opuestos del carril de aire. Libere uno con el electroimán y el otro con un pequeño impulso de tal manera que se dirijan hacia el centro del carril.

3. Las dos barreras de luz miden la velocidad de los carros antes de la colisión. La colisión debe tener lugar totalmente entre las dos barreras de luz. Por ser una conexión elástica los dos carros se mueven en dirección contraria a la inicial y de nuevo pasan a través de los dos sensores que ahora miden la velocidad después de la colisión.

4. Tome los datos de las masas de los carros y las velocidades medidas por los sensores antes y después de la colisión, y anótelos en la tabla 13.2 de la cartilla.

5. Repita las medidas con otra masa y lleve los datos a la tabla 13.2 de la cartilla.

6. Calcule el momentum total antes y después de la colisión.

7. Calcule la energía cinética antes y después de la colisión.

8. Calcule los errores relativos en los resultados anteriores.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. ¿Qué es Momentum lineal? ....

....

....

2. Explique los diferentes tipos de choques: ....

....

....

....

....

3. ¿En qué consiste la ley de conservación del momentum lineal?

....

....

....

....

....

LABORATORIO 14

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

OBJETIVOS

1. Aplicar el principio de conservación de la energía a situaciones que incluyan energía potencial (gravitacional y elástica) y energía cinética.

2. Hallar la constante elástica de un resorte mediante la ley de Hooke y la conservación de la energía.

PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos: energía cinética, energía potencial y la ley de la conservación de la energía, constante elástica de un resorte.

2. Resuelva el siguiente problema: Dos niños juegan a encajar un balín dentro de una caja que se encuentra a $S = 2$ m de una pistola, como se muestra en la figura 14.1. Si la masa del balín es de 100 g y este cae justo dentro de la caja cuando el resorte de la pistola se comprime 8 cm, encontrar la constante elástica del resorte (k) que permite esto.

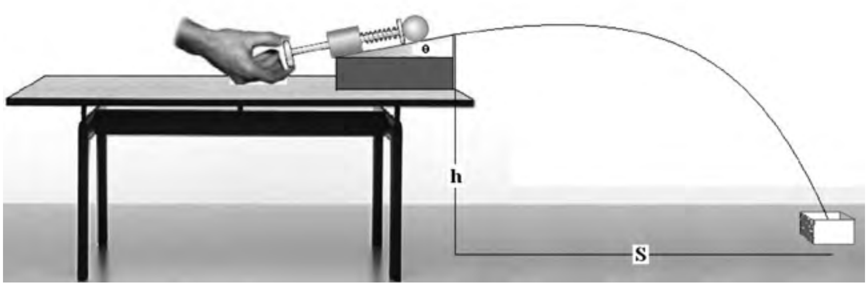


Figura 14.1

3. Cuáles son las unidades de energía y de la constante elástica de un resorte?

4. ¿Qué representa un Joule de energía?

MARCO TEÓRICO

En la vida diaria nos encontramos con procesos de transformación de energía de una forma a otra, lo evidenciamos por ejemplo al elevar un objeto, transportarlo, deformarlo o calentarlo. La forma de energía asociada a los cambios en el estado mecánico de un cuerpo o de una partícula recibe el nombre de energía mecánica y se compone de energía cinética, energía potencial gravitacional y elástica, definidas mediante:

Energía potencial gravitacional: $U = mgh$ (14.1)

Energía potencial elástica: $U_e = \frac{1}{2}kx^2$ (14.2)

Energía Cinética: $K = \frac{1}{2}mv^2$ (14.3)

La ley de Hooke está asociada a un resorte deformado y establece que la fuerza elástica recuperadora ejercida sobre el cuerpo por el resorte es directamente proporcional a la deformación del mismo y actúa en sentido contrario al desplazamiento. La magnitud de dicha fuerza puede escribirse matemáticamente así:

$$F_{e,r} = kx \tag{14.4}$$

Donde k es la constante elástica del resorte y x la deformación del mismo

La ley de conservación de la energía mecánica (E) establece que la cantidad total de energía mecánica en cualquier sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo, es decir:

$$E_o = E_1$$

$$K_o + U_0 + U_{eo} = K_1 + U_1 + U_{el} \tag{14.5}$$

MATERIALES

Resorte	Pesas	Balín	Aditamentos
Portapesas	Lanzador de proyectiles		

PROCEDIMIENTO

Parte A. Ley de Hooke

1. Haga el montaje de la figura 14.2.

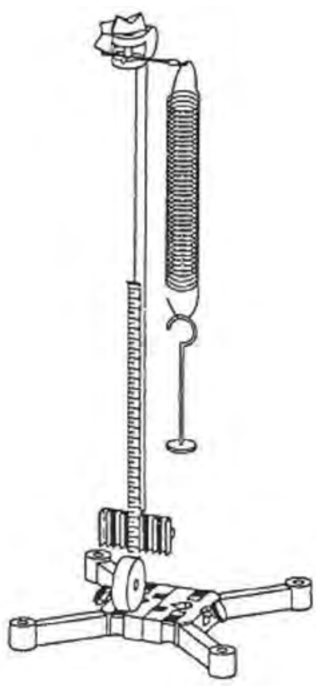


Figura 14.2 Montaje para la ley de Hooke

2. Coloque diferentes pesos en el portapesas para aplicar una fuerza sobre el resorte y mida el estiramiento, anote los valores en la tabla 14.1. de la cartilla. Tenga cuidado de no usar un peso que sobrepase la elasticidad del resorte y pueda dañarlo, pregunte a su profesor.

3. Haga un gráfico de fuerza vs deformación y analice su comportamiento.

4. Utilizando el método de los mínimos cuadrados y comparando con la ley de Hooke, obtenga la constante elástica del resorte (k).

Parte B. Conservación de la energía mecánica

1. Realice el montaje de la figura 14.1 y haga cinco disparos con la pistola, comprimiendo o estirando el resorte la misma cantidad en cada disparo. Tome los valores de la distancia donde impacta el balín en el piso y obtenga un promedio.

2. Usando las ecuaciones de movimiento parabólico, encuentre la velocidad promedio con la que sale el balín de la pistola. Ahora, con este resultado y por medio de la conservación de energía, encuentre el valor de la constante elástica del resorte (k).

3. Compare los resultados obtenidos de la constante del resorte de la parte A y B.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. Defina los siguientes conceptos físicos:

a) Energía cinética ....

....

b) Energía potencial ....

....

c) Ley de la conservación de la energía ....

....

....

d) Constante elástica de un resorte ....

....

2. Resuelva el siguiente problema: Dos niños juegan a encajar un balín dentro de una caja que se encuentra a $S = 2\ \mathrm{m}$ de una pistola, como se muestra en la figura 14.1. Si la masa del balín es de $100\ \mathrm{g}$ y este cae justo dentro de la caja cuando el resorte de la pistola se comprime $8\ \mathrm{cm}$, encontrar la constante elástica del resorte (k) que permite esto.

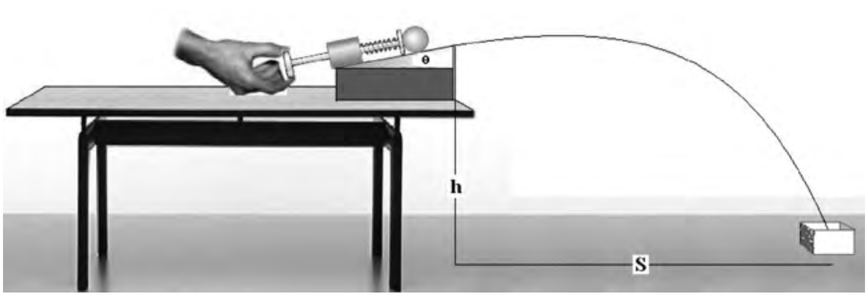


Figura 14.1

3. Cuáles son las unidades de energía y de la constante elástica de un resorte?

4. ¿Qué representa un Joule de energía?

LABORATORIO 15

CONSERVACIÓN DEL MOMENTUM LINEAL

OBJETIVOS

1. Comprobar experimentalmente la conservación del momentum lineal para un sistema de dos partículas que colisionan en un plano.

PREINFORME

1. ¿Qué es Momentum lineal?

2. Explique los diferentes tipos de choques

3. ¿En qué consiste la ley de conservación del momentum lineal?

4. ¿Cómo se podría decir que es el choque entre dos balines?

MARCO TEÓRICO

Las colisiones rigen nuestra vida cotidiana y son generalmente en dos o tres dimensiones, por ejemplo cuando jugamos billar (colisión elástica) en dos dimensiones, o cuando se produce un choque en la ciudad o un accidente aéreo. Todos los cuerpos que presentan un movimiento, tienen la característica de presentar un momento lineal o momentum cuando un cuerpo se encuentra acelerado, es porque hay una fuerza externa que ha provocado una aceleración, es por ello que podemos decir que el cuerpo ha sido impulsado. El momentum lineal, es una magnitud vectorial y está dada por: $\vec{P} = m\vec{v}$.

Conservación del momentum: la ley de conservación del momentum propone que si la resultante de las fuerzas externas que interactúan en el sistema es nula, el momentum se conserva,

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \qquad \sum(m_i\vec{v}_i) = \sum(m_i\vec{v}_f)$$

Las fuerzas internas pueden producir variaciones en el momentum de las partículas de un sistema, pero no producen variación en el momentum total del mismo.

Cuando una partícula de masa m_2 inicialmente en reposo colisiona con una partícula de masa m_2 que se mueve inicialmente con velocidad v_{1i}, después del choque se encuentra que la partícula de masa m_1 se moverá con una velocidad v_{1f} y la de masa m_2 con una velocidad v_{2f}.

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \tag{15.1}$$

$$m_1\vec{v}_{1i} + m_2\vec{v}_{2i} = m_1\vec{v}_{1f} + m_2\vec{v}_{2f} \tag{15.2}$$

Escribiendo la ecuación anterior en el eje x se tiene que:

$$m_1 v_{1i} = m_1\vec{v}_{1f}\cos\alpha + m_2 v_{2f}\cos\beta \tag{15.3}$$

Y en el eje y:

$$o = m_1 v_{1f} sen\alpha - m_2 v_{2f} sen\beta \tag{15.4}$$

Si consideramos el caso en que $m_1 = m_2 = m$, y si $v_{1i} = v$ se tiene:

$$v = v_{1f}\cos\alpha + v_{2f}\cos\beta \tag{15.5}$$

$$o = v_{1f} sen\alpha - v_{2f} sen\beta \quad \Rightarrow \quad v_{1f} sen\alpha = v_{2f} sen\beta \tag{15.6}$$

Considerando además que en un choque entre un balín en reposo y uno en movimiento, el choque es elástico, es decir, la energía cinética total del sistema se conserva y se tiene que:

$$Ec_i = Ec_f$$

$$\frac{1}{2}m_1 v_{1i}^2 = \frac{1}{2}m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2f}^2 \quad \Rightarrow \quad v^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2 \tag{15.7}$$

MATERIALES

Rampa	Papel carbón	Regla	Papel blanco
Nuez	Balines de masas iguales		

PROCEDIMIENTO

1. Realice el montaje como lo ilustra la figura 15.1.

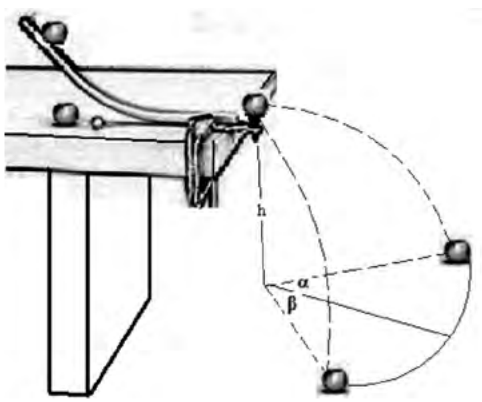


Figura 15.1

2. Suelte uno de los balines desde el borde de la rampa, de tal manera que impacte contra el piso, repita este paso cinco veces, trace un círculo que abarque todos los puntos para tener un punto promedio.

3. Permita que el balín colisione con otro balín inicialmente en reposo en la parte inferior de la rampa, repita el procedimiento cinco veces. Trace un círculo que abarque todos los puntos que deja cada balín en el papel para obtener un punto promedio; estos puntos se registran para demostrar gráficamente la conservación del momentum.

4. Trace el origen de coordenadas en el papel empleando una plomada para trazar a partir de allí los vectores que representan el momentum y los ángulos α y β.

5. Trace los vectores sobre el papel y realice la suma gráfica de los mismos. ¿Se conserva el momentum del sistema?

6. Determine las velocidades antes y después del choque empleando las ecuaciones (15.5), (15.6) y (15.7).

7. Determine las velocidades antes y después de choque empleando las ecuaciones de movimiento semi-parabólico.

8. Calcule el porcentaje de error en los valores de las velocidades obtenidas experimentalmente.

9. Si las masas de las esferas son diferentes, ¿es posible encontrarse las velocidades antes y después del choque experimentalmente? Explique.

NOMBRE: .... **NOTA:** ....

» PREINFORME

1. ¿Qué es Momentum lineal? ....

....

....

2. Explique los diferentes tipos de choques: ....

....

....

....

3. ¿En qué consiste la ley de conservación del momentum lineal?

....

....

....

....

4. ¿Cómo se podría decir que es el choque entre dos balines? ....

....

....

BIBLIOGRAFÍA

Alonso-Finn. *Física Mecánica. Tomo I.* Editorial Fondo Educativo Interamericano S.A

Alonso-Finn. *Física Campos y Ondas. Tomo I y II*. Editorial Fondo Educativo Interamericano S.A

Serway-Beschner. *Física para Ciencias e Ingenierías. Tomo I y II*. Mac Graw Hill

Sears-Zemansky-Young-Fresnel. *Física Universitaria. Tomo I y II*. Editorial Pearson Addison Wesley.

Hollyday- Resnick.- Krane. *Física. Tomo I y II.* Editorial CECSA

Paul A. Tippler. *Física para la Ciencia y la Tecnología. Mecánica oscilaciones y ondas. Volumen I*. Editorial Reverte.

Paul A. Tippler. *Física para la Ciencia y la Tecnología. Electricidad y Magnetismo. Volumen*. Editorial Reverte.

Bergmann-Schaefer. *Experiencias demostrativas. Mecánica de los sólidos.* LEYBOLD

Bergmann-Schaefer. *Experiencias demostrativas. Vibraciones.* LEYBOLD

Bergmann-Schaefer. *Experiencias demostrativas. Electricidad y Magnetismo.* LEYBOLD

Eductrade. *Experimentos para alumnos.* Mecánica. LEYBOLD

Eductrade. *Experimentos para alumnos*. Electricidad y Magnetismo. LEYBOLD

Allier-Castillo.Fuse.Moreno. *Física experimental*. Mac Graw Hill

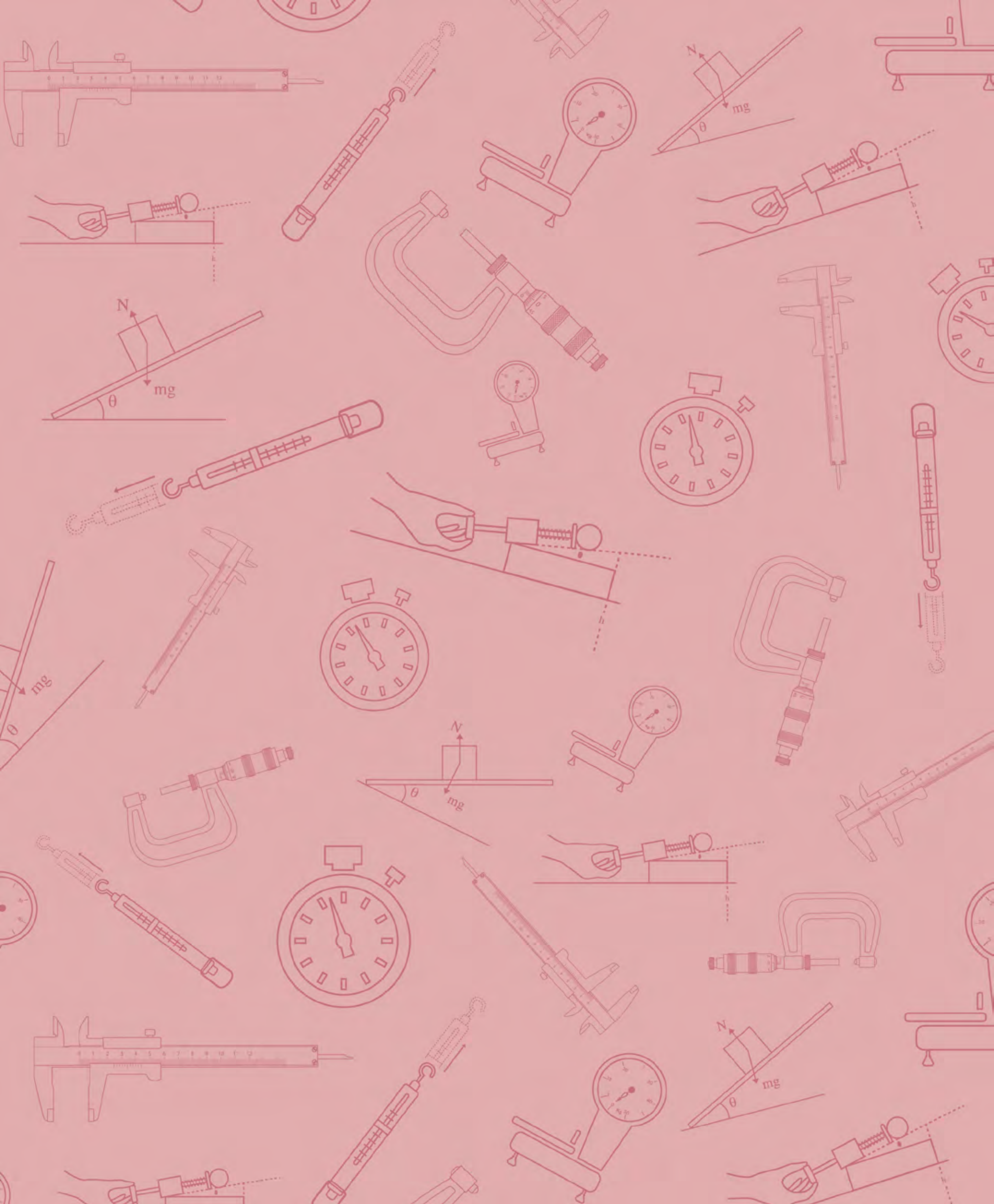
Wolfgang Spangler. *La Física en experimentos*. Mecánica. PHYWE

Rudolf Fiebich-Winfried Rossler-Georg Scholmeger. *La Física en experimentos. Electricidad y Magnetismo*. PHYWE

Georg Schollmeyer-Ralph Hepp. *La Física en experimentos. Optica*. PHYWE

Este libro se terminó de imprimir
en junio de 2017,
en los talleres gráficos de Matiz
Taller Editorial S.A.S.

Manizales, Colombia



UAM
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

Esta guía ha sido diseñada para servir de apoyo en la realización de las prácticas de laboratorio que complementan el curso de Física I (Física Mecánica) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Manizales.

Los laboratorios están organizados alrededor de temas relacionados con tratamiento e interpretación de datos experimentales, instrumentos de medida, medidas de error, cinemática, dinámica, trabajo, energía y momentum. Se espera que el estudiante pueda experimentar con fenómenos que suceden en la naturaleza y que los relacione con los conceptos y las leyes fundamentales en la Física.

En cada práctica se han incluido objetivos generales, al igual que un preinforme que debe ser consultado por cada uno de los integrantes del grupo antes de realizar la respectiva práctica experimental, el cual es completado en una sección al final de cada práctica designada en esta guía para tal fin. El marco teórico es breve y conciso, pero suficiente para la realización de las prácticas; se espera que los estudiantes revisen la teoría y realicen el preinforme para que tengan los conceptos mínimos necesarios previamente al desarrollo del laboratorio. El procedimiento describe el desarrollo experimental de cada práctica; en él se dan las instrucciones necesarias para la realización de la misma. La parte de análisis y resultados es la más importante, pues es ahí donde el estudiante debe obtener conclusiones válidas, utilizando para ello herramientas como: el graficado de resultados, el análisis estadístico, la teoría de errores, entre otros. zEste trabajo debe realizarse en su totalidad en el horario de clase dispuesto para laboratorio de Física, con el fin de obtener mejores mediciones o repetir aquellas en las que exista alguna inconsistencia.

ISBN: 978-958-8730-78-3
9 789588 730783