



PACO H. TALERO
MAURICIO VERGARA NIETO
MARTÍN E. JIMÉNEZ PIEDRAHÍTA



**UNIVERSIDAD
CENTRAL**
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ciencias Naturales

LABORATORIO DE

FÍSICA MECÁNICA

Paco H. Talero
Mauricio Vergara Nieto
Martín E. Jiménez Piedrahíta

Bogotá D. C., enero de 2014

Consejo Superior

Fernando Sánchez Torres (Presidente)
Rafael Santos Calderón
Jaime Arias Ramírez
Jaime Posada Díaz
Pedro Luis González
(Representante de los docentes)
Angélica María González Gómez
(Representante de los estudiantes)

Rector

Rafael Santos Calderón

Vicerrector Académico

Fernando Chaparro Osorio

Vicerrector Administrativo y Financiero

Nelson Gnecco Iglesias

UNA PUBLICACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES

Leonor Hernández Hernández
Directora

Laboratorio de física mecánica

ISBN: 978-958-26-0189-8

Autores: Paco H. Talero, Mauricio Vergara Nieto, Martín E. Jiménez Piedrahíta.

Primera edición: agosto de 2012

Primera reimpresión: enero de 2014

© Ediciones Universidad Central

Carrera 5 N.º 21-38. Tel.: 334 49 97

PBX: 323 9868, exts.: 2353 y 2356

editorial@ucentral.edu.co

Catalogación en la Publicación Universidad Central

Talero, Paco H.

Laboratorio de física mecánica / Paco H. Talero, Mauricio Vergara Nieto, Martín E. Jiménez Piedrahíta ;
editora Edna Rocío Rivera Penagos. -- Bogotá : Ediciones Universidad Central, 2012.
183 páginas ; 26 cm.

ISBN: 978-958-26-0189-8

Física – Mediciones - Investigación 2. Mecánica – Investigación

3. Velocidad - Investigación 4. Ondas – Investigación I. Vergara Nieto, Mauricio II. Jiménez Piedrahíta, Martín
E. III. Rivera Penagos, Edna Rocío, editora IV. Universidad Central. Facultad de Ingeniería. Departamento de
Ciencias Naturales

531.1 –dc23

PTBUC/RVP

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Departamento de Comunicación y Publicaciones

Dirección:	Edna Rocío Rivera P
Coordinación editorial:	Héctor Sanabria R.
Diseño y diagramación:	Jairo Iván Orozco A.
Diseño de carátula:	Julio Andrés Moreno B. Jairo Iván Orozco A.
Corrección de textos:	Marcela Garzón Gualteros

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de los editores.

CONTENIDO

1	Introducción	4
2	Tratamiento estadístico de datos	6
3	Desarrollo de ecuaciones empíricas	22
4	Movimiento uniformemente acelerado	30
5	Caída libre	40
6	Tiro parabólico	50
7	Equilibrio estático y descomposición vectorial	59
8	Estudio de la segunda ley de Newton	70
9	Fuerza de fricción	80
10	Fuerza elástica	89
11	Fuerza de empuje	98
12	Movimiento circular	112
13	Estudio del equilibrio traslacional y rotacional	122
14	Conservación de la energía	129
15	Péndulo simple	136
16	Movimiento oscilatorio amortiguado	140
17	Ondas mecánicas estacionarias	151
18	Velocidad del sonido y tubo de Kunt	158
19	Medidas de la longitud de onda y la amplitud de una onda de ultrasonido	167

INTRODUCCIÓN

Este libro reúne un conjunto de actividades experimentales en el área de la física mecánica, encaminadas a contribuir al desarrollo de las habilidades experimentales necesarias para un buen desempeño en el quehacer del ingeniero. Mediante la ejecución de los ejercicios experimentales propuestos se espera que los estudiantes aprendan a formular hipótesis, diseñar experimentos, ser cuidadosos en la toma de datos, analizar críticamente los resultados obtenidos, confrontar resultados con hipótesis y a plantear de manera precisa conclusiones pertinentes.

Estas actividades propuestas no deben entenderse como simples recetas encaminadas a fortalecer el conocimiento adquirido durante la clase teórica, sino más bien como un escenario propicio para adquirir fundamentación en los procesos prácticos y experimentales que, por su puesto, van mucho más allá del típico “ensayo y error” que el sentido común suele asociar a lo práctico. Por esta razón, no deben tomarse con extrema rigidez sino que, por el contrario, se espera una amplia variedad de usos, de manera que el profesor, de acuerdo con su criterio profesional y su enfoque didáctico-pedagógico, debe sentirse en la libertad de

reorientar el contenido de modo que resulte lo más propicio y coherente con sus fines metodológicos.

No obstante, este material está diseñado a manera de cuaderno de trabajo, lo que significa que la gran mayoría de actividades que deben desarrollarse, tanto en el laboratorio como en el trabajo autónomo y extraclase, queda consignada en el mismo libro. Por tanto, se propone un preinforme para que el profesor lo asigne en la clase anterior al laboratorio con la que se desea abordar los temas y lo reciba ese día, garantizando así un acercamiento a los temas que se tratarán en cada práctica de laboratorio.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

La física, como todas las ciencias naturales, es eminentemente experimental. Es decir, evidencia su interés en la vida del ser humano con la aplicación práctica de sus conceptos y efectos. Tal es la importancia de la experimentación en la física, puesto que ha tenido un carácter decisivo en la aceptación de una teoría física. Hay que recordar, por ejemplo, la incidencia de experimentos como los de Oersted, Young, Michelson, etc., en el desarrollo de la ciencia. Experimentos de este tipo se denominan *cruciales*.

Aunque el estudiante de Física I de un programa universitario no está en la capacidad de entender y desarrollar hasta sus últimas consecuencias un experimento crucial, la práctica de laboratorio lo introduce en el método propio que caracteriza el conocimiento de las ciencias: *el método científico*.

Un experimento de física puede tener dos enfoques: cualitativo y cuantitativo. En el primer caso, el tipo de material utilizado, el diseño del montaje y hasta el mismo procedimiento se orientan al análisis concienzudo de las observaciones,

independientemente de los resultados numéricos que arroje; es más importante la aprehensión de un concepto que establece o corrobora una ley. En el segundo enfoque, aunque evidentemente existe el afán de lograr un conocimiento, es primordial efectuar mediciones y cálculos.

De acuerdo con los objetivos institucionales, y con el ánimo de servir al ingenio y a la creatividad, se optará en esta guía el diseño de experimentos de tipo cuantitativo. Para el estudio de los fenómenos naturales en el laboratorio de física se utilizan modelos físicos, que son el medio material para comprobar una determinada hipótesis y, para llegar a esto, es necesario hacer una serie de mediciones de cierta cantidad de magnitudes físicas (d , t , m , v , a , f , E , P , etc.); estas mediciones se denominan *datos experimentales*, las cuales, al llevarse a cabo, son afectadas por diferentes factores, razón por la que se presenta cierta cantidad de errores en el proceso de la medición.

Este primer capítulo tiene como propósito dar a conocer algunos métodos para depurar la información recolectada y determinar las mediciones más confiables, a fin de proceder a su respectivo análisis con el mínimo posible de errores. Los elementos estadísticos que a continuación se presentan se entenderán mejor si se presentan directamente aplicados a un experimento de los muchos que se llevarán a cabo en el laboratorio.

El experimento consiste en determinar el tiempo de una oscilación de un péndulo simple. Para ello se tomará la longitud de la cuerda L de 1,0 m. El estudio teórico del período de oscilación de un péndulo indica que tal tiempo se puede calcular con la ecuación (1):

$$(1) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Al desarrollar los cálculos se tiene que $T = 2,00708$ s. Dicho valor es un dato teórico, en el que no se tiene en cuenta la resistencia del aire, la fricción del punto donde se ancla la cuerda y donde se supone que el ángulo inicial del péndulo no puede exceder los 15° ; se tiene claro que $L = 1,0$ m, y que el cuerpo que oscila tiene dimensiones pequeñas. En cambio, al llevar a cabo dicha experiencia, la resistencia del aire está presente. Posiblemente L no sea 1,0 m sino, por ejemplo,

1. ACTIVIDAD

-
- This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slightly textured appearance and is set against a dark background.

Todos estos factores hacen que la medición difiera del valor teórico establecido. Generalmente, las mediciones se repiten una determinada cantidad de veces; con ello es posible elegir o calcular el valor más confiable de todas esas mediciones. Nótese que, cuanto mayor es la cantidad de mediciones, más confiable será el resultado obtenido.

2. Realice el montaje del péndulo (como se observa en la figura 1) y mida con un cronómetro el tiempo de una oscilación hasta completar la tabla 1.

Figura 1.
Montaje del péndulo simple

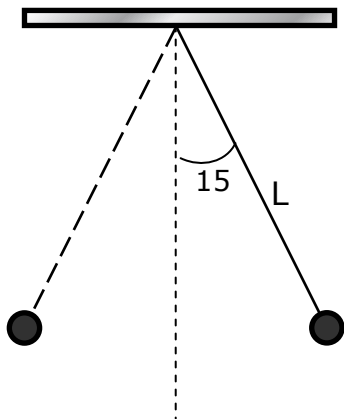


Tabla 1. Mediciones del período de oscilación de un péndulo de longitud 1 m							
T (s)							

2. PREINFORME

1. Complete la tabla 2, donde se resumen algunos tipos de errores, indicando el tipo de error, un ejemplo de este y la forma de minimizarlo.

Tabla 2. Tipos de errores experimentales		
Tipo de error	Ejemplo	Forma de minimizarlo

2. Explique qué son la precisión y la exactitud, y consigne la información en la tabla 3. Realice un dibujo donde se comparen los dos conceptos.

Tabla 3. Comparación entre precisión y exactitud	
Precisión	Exactitud

- [illegible]

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Donde x_i es el i -ésimo dato y n es el número total de datos tomados.

Tome los datos de la tabla 1 y súmelos; posteriormente dicha suma divídala entre el número de datos medidos. El valor de su promedio es: ____.

3.1 ERRORES ABSOLUTO Y RELATIVO

A partir de la media $\bar{x}$ se definen los siguientes errores:

(3) Error absoluto:

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

(4) Error relativo:

$$E_R = \frac{| \bar{x} - x_i |}{\bar{x}}$$

(5) Error relativo porcentual:

$$E_{\%} = \frac{| \bar{x} - x_i |}{\bar{x}} * 100$$

El primero indica cuál es el error o la desviación de cada dato x_i respecto a la media; el error relativo indica cuál fue la desviación de cada dato por unidad de medición, y el tercero indica en porcentaje el error relativo. Por ejemplo, tome el dato t_5 y calcule los tres errores, consígnelos en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de errores para t_5			
Tiempo (s)	E_a (s)	E_R	$E_{\%}$
$T_5 = \text{____} \text{ s}$			

¿Qué se concluye de lo anterior?

En muchas ocasiones, los errores anteriores se definen así:

$$\begin{aligned} (6) \quad E_a &= |V_T - V_E| \\ (7) \quad E_R &= \frac{|V_T - V_E|}{V_T} \\ (8) \quad E_{\%} &= \frac{|V_T - V_E|}{V_T} * 100 \end{aligned}$$

Donde:

V_T = valor teórico

V_E = valor experimental

y se aplican en caso de tener un valor obtenido a partir de la teoría y un valor experimental muy confiable como la media.

Resulta bastante tedioso llevar a cabo todos estos cálculos para cada uno de los datos y, al fin y al cabo, no se podrá definir nada concreto, debido a que los errores están calculados para cada dato y no se da una idea clara del error global cometido en las mediciones. El valor teórico se determina a partir de la teoría que explica un fenómeno específico; para este ejemplo, el valor teórico es $T = 2,00708$ s, mientras que el valor experimental es el tomado en el laboratorio y corresponde a cada uno de los catorce datos tomados.

Ahora bien, como se puede observar, el valor teórico está dado hasta las cien-milésimas de segundo. ¿Sus datos hasta qué valor están tomados? Es claro que tienen menor cantidad de cifras, por lo que se sugiere consultar, basándose en la bibliografía que se encuentra al final de la guía, los conceptos de cifras significativas y redondeo, y aplicarlos a todos los datos hasta ahora obtenidos.

3.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Para lograr determinar el error global en una muestra de mediciones, se trabajará con la *desviación estándar*, que se define operacionalmente así:

$$(9) \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}.$$

Cuando $n \geq 30$, se denomina *desviación estándar típica*; cuando $n < 30$, la desviación se denomina *desviación estándar poblacional* y se define así:

(10)

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

Donde $(\bar{x} - x_i)$ se denomina la *desviación de x_i respecto al valor promedio*.

Este número indica la desviación de cada medición con respecto a la media, es decir, qué tan lejos se encuentran las mediciones de la media. Las desviaciones pueden ser negativas o positivas y, si se hace una sumatoria de ellas, tal suma será muy cercana a cero en la medida en que se tomen muchos datos (más de cien). Por ello, cada una de tales desviaciones se eleva al cuadrado y luego se obtiene su promedio, llegando finalmente a la expresión dada para la desviación estándar, que será la más utilizada ya que indica el grado de dispersión de los datos respecto a la media.

Si se hace un diagrama de los datos contra el número de veces que se repite cada uno de ellos (denominado frecuencia) se tendrá una curva semejante a la de la figura 2, en la que se indica que el punto más alto corresponde aproximadamente al valor promedio de dichas mediciones. Se puede comprobar que en el intervalo $(\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma)$ se encuentra el 68% de todos los datos tomados; en el intervalo $(\bar{x} - 2\sigma, \bar{x} + 2\sigma)$ está el 95% y en el intervalo $(\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma)$ el 99%. Es prudente indicar que los datos de la figura 2 tienen la forma presentada si se toman muchos datos; en este caso muchos datos son más de cien, situación que no es extraña en experimentos de alto nivel en los que se pretende corroborar teorías con gran exactitud y precisión. A tal tendencia de la curva se le denomina *distribución normal* o *gaussiana*, y en ella se nota que los datos alejados a derecha e izquierda de la media se repiten muy poco, mientras que los datos alrededor de la media tienen una mayor repetición.

De lo anterior se puede deducir que, entre más pequeña la desviación estándar, la “campana” es más alta y delgada; esto representa un grupo de datos confiables, ya que presentan poca dispersión. Si por el contrario la desviación estándar es grande, la “campana” será pequeña y ancha, indicando mucha dispersión de datos y, por lo tanto, un grupo de datos no tan confiable (figura 3).

Figura 2.
Relación de desviación
estándar y rangos de por-
centajes de datos

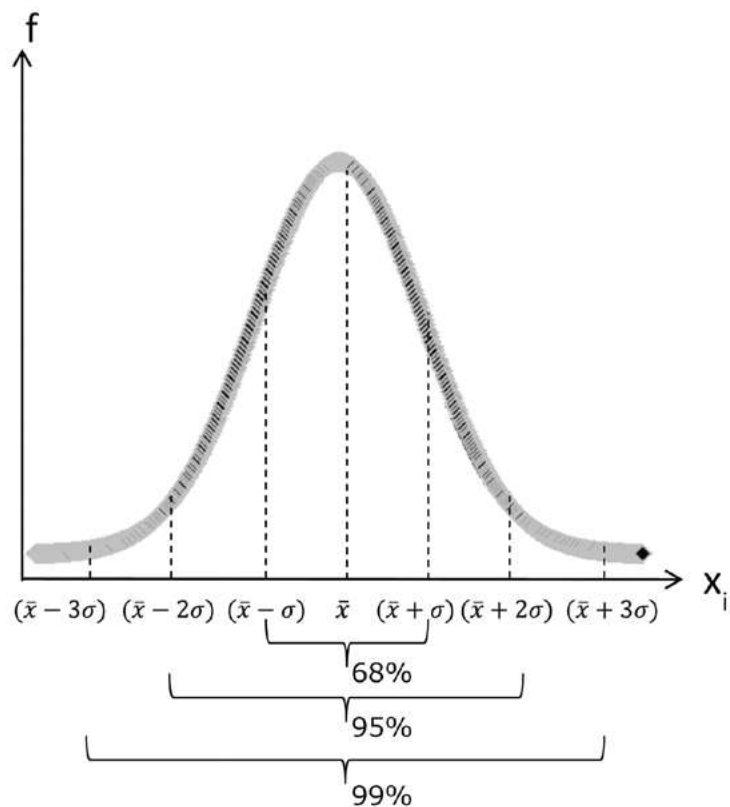
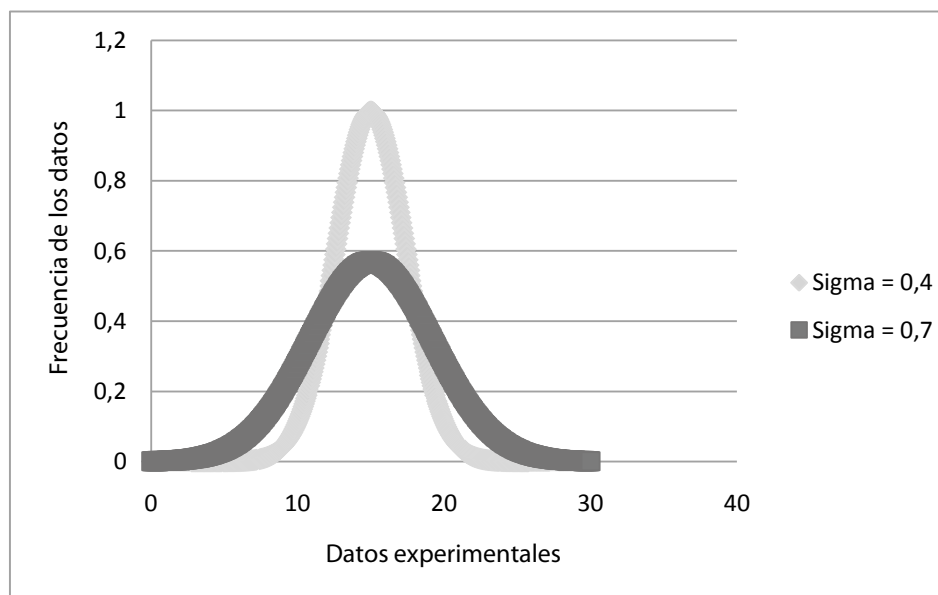


Figura 3.
Comparación de
desviación estándar



Con los datos del ejemplo consignados en la tabla 1, diligencie la tabla 5:

Tabla 5. Cálculo de media y desviación estándar		
x_i	$(\bar{x}-x_i)$	$(\bar{x}-x_i)^2$
$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$
$\bar{x} =$ _____ $\sigma_{n-1} =$ _____		

Se espera que, entre más pequeña sea la desviación estándar, la dispersión de los datos respecto a la media sea menor y, por lo tanto, aumentará la confiabilidad de los datos.

En el caso en que se tengan pocos datos (treinta o cuarenta), se suele utilizar el histograma para observar la tendencia gaussiana de la gráfica de la figura 3. Realice los siguientes pasos para obtener el histograma:

- Tome un grupo de datos con $N = 30$ (cada dato representa el período de oscilación del péndulo).
- Identifique el valor más grande $x_{\text{máx}}$ y el más pequeño de la muestra $x_{\text{mín}}$ (ordene sus datos de mayor a menor para más comodidad).
- Divida el intervalo $(x_{\text{mín}}, x_{\text{máx}})$ en M subintervalos iguales, delimitados por los puntos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_M$, los cuales determinan lo que se denomina *rangos de clases*.
- Cuente el número n_1 de datos que están en el intervalo (x_1, x_2) , el número n_2 de datos que están en el intervalo (x_2, x_3) y así sucesivamente hasta el último intervalo M .
- Con la información obtenida construya un gráfico de barras, donde la base de cada barra es el ancho de cada uno de los M subintervalos, y su altura es la cantidad de datos n en cada subintervalo. Finalmente, dibuje una envolvente

a las barras para obtener una aproximación a la “campana de Gauss”. Como tarea, averigüe cómo se realiza este proceso con ayuda de Excel.

3.3 ERRORES FINALES

Para completar el análisis estadístico, se introducen los siguientes conceptos:

(1 1)

$$E_T = E_{ap} + E_{fl}$$

Donde:

E_T = error total

E_{ap} = error de apreciación

E_{fl} = error de fluctuación

El error de apreciación está relacionado directamente con el instrumento de medición y el error de fluctuación, con las fluctuaciones estadísticas propias de un grupo de mediciones. La suma de estos errores da como resultado el error total de las mediciones y se expresa así:

(1 2)

$$E_{ap} = \frac{5}{16} ap$$

(1 3)

$$E_{fl} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

ap = apreciación del instrumento de medición o mínima medición que es posible detectar con su escala

σ = desviación estándar final

n = número de datos tomados

El error final de la medición se calcula así:

(1 4)

$$E_F = \frac{E_T}{\bar{x}}$$

el cual, presentado en porcentaje, da la siguiente expresión:

(15)

$$E_{\%F} = \frac{E_T}{x} * 100$$

y representa el porcentaje de error cometido en todo el proceso de medición. Para finalizar, diligencie la tabla 6, basándose en los datos de las tablas 1 y 4.

Tabla 6. Cálculos de errores finales					
ap(s)	E _{ap} (s)	E _{fl} (s)	E _T (s)	E _F	E _{%F}

¿Qué se concluye de lo anterior?

Su respuesta final para el tiempo de una oscilación para un péndulo de longitud 1 m es $T = \text{_____ s} \pm \text{_____ s}$.

Los datos de los experimentos que se llevarán a cabo en el laboratorio de física se registrarán en el formato de tratamiento estadístico de datos (TED). El profesor de laboratorio informará oportunamente a los estudiantes cómo diligenciarlo y en qué prácticas deberán realizar el TED.

4. ACTIVIDADES

1. Al llevar a cabo los diferentes cálculos de errores, media, desviación estándar y demás, los resultados obtenidos son números, en algunas ocasiones, de más cifras que los datos experimentales. Existe una regla muy importante que dice que los datos obtenidos en el proceso estadístico no pueden tener más cifras que el número mayor de cifras que los datos experimentales. Consulte sobre las reglas para determinar la cantidad de cifras significativas de un número, así como las reglas de redondeo de estos y aplíquelas a los casos en que se hayan presentado durante el desarrollo de este laboratorio.

2. Dibuje las gráficas que crea conveniente, en las que se visualice una alta dispersión de datos, una baja dispersión de datos y un experimento sin errores.
3. Utilizando los datos presentados en la tabla 7, realice:
 - a) El tratamiento estadístico de datos (TED).
 - b) La comprobación de que la suma de las desviaciones respecto a la media tiende a cero.
 - c) Un histograma tomando un total de diez intervalos. ¿Qué forma tiene? Concluya.
 - d) La comprobación de que en los intervalos $(x - \sigma, x + \sigma)$, $(x - 2\sigma, x + 2\sigma)$, $(x - 3\sigma, x + 3\sigma)$ están almacenados aproximadamente en el 68%, el 95% y el 99% de los datos, respectivamente.

Tabla 7. Toma de datos del tiempo de caída de una esfera

3,099	3,072	3,273	2,892	3,574	2,964
2,763	2,631	3,108	2,895	2,793	2,745
2,985	2,862	3,177	2,934	3,168	2,922
2,043	3,117	3,243	1,592	3,718	2,007
3,214	2,778	2,715	3,303	3,168	3,348
2,412	3,397	2,775	2,985	4,074	3,332
3,063	3,456	3,237	2,796	2,584	2,667
2,964	3,285	2,793	3,255	3,162	3,009
3,189	3,483	3,657	2,385	2,944	3,186
2,847	2,775	3,066	2,646	3,279	2,547
2,898	3,006	3,123	3,021	2,883	3,081
3,054	3,045	2,799	2,811	3,084	3,288
2,958	2,844	3,447	3,252	2,832	3,344
3,141	3,214	3,036	2,739	3,066	3,132
2,955	3,063	2,958	2,464	3,034	2,592
2,988	3,075	3,066	2,568	3,207	3,544
3,057	3,426	2,763	3,084	3,177	3,219
2,616	2,847	3,027	3,102	2,913	3,231
2,622	2,634	2,914	3,078	3,408	2,625
3,276	2,835	2,955	3,195	3,192	2,532

Nota: para la toma de datos se utilizó un cronómetro que mide hasta diezmilésimas de segundo.

5. BIBLIOGRAFÍA

Baird, D. C. (1991). *Experimentación. Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos* (2^a. ed.). México: Prentice Hall.

Gil, S. & Rodríguez, E. (s. f.). *Teoría de errores, incertezas de medición*. Física recreativa. Recuperado de <http://www.fisicarecreativa.com/guias/capitulo1.pdf>

Meiners, H. F. (1989). *Experimentos de física* (4^a. ed.). México: Reverte.

DESARROLLO DE ECUACIONES EMPÍRICAS

1. OBJETIVOS

- Representar y analizar gráficamente un conjunto de datos experimentales.
- Estudiar diferentes métodos de ajustes de curvas para encontrar las ecuaciones asociadas a un grupo de medidas.
- Ajustar una función del tipo potencial a una serie de datos mediante el método de los logaritmos y con la ayuda de Excel.

2. MARCO TEÓRICO

Durante un experimento, el primer paso es realizar una cuidadosa toma de medidas. Una vez se tienen los datos, el siguiente paso es ajustarlos a un modelo; por lo general, esto implica encontrar una función que se ajuste a ellos de forma adecuada. Existen muchos tipos de funciones y la pregunta es: ¿a cuál de ellas se debe realizar el ajuste? Para responder esta pregunta, es importante tener claro el contexto de trabajo en el que se desarrolla la práctica. Los experimentos desarrollados en esta guía buscan, entre muchos otros objetivos, que el estudiante pueda confrontar los conceptos desarrollados en clase con medidas reales. Por esta razón, el mejor criterio para la selección del tipo de función es conocer la ecuación teórica para el fenómeno estudiado. Por ejemplo, si se realizan medidas

3. PREINFORME

-
-
-
-
-
-

- | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>m</i> (g) | 150 | 210 | 290 | 355 | 435 |
| <i>x</i> (cm) | 2,9 | 4,3 | 5,9 | 6,9 | 8,9 |

-
-
-
-
-
-

- (1 6)

I (A)	0,4	0,8	1,1	1,6	1,9	2,3
P (W)	35	139	260	571	799	1148

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Papel milimetrado
- Regla
- Compás
- Tijeras

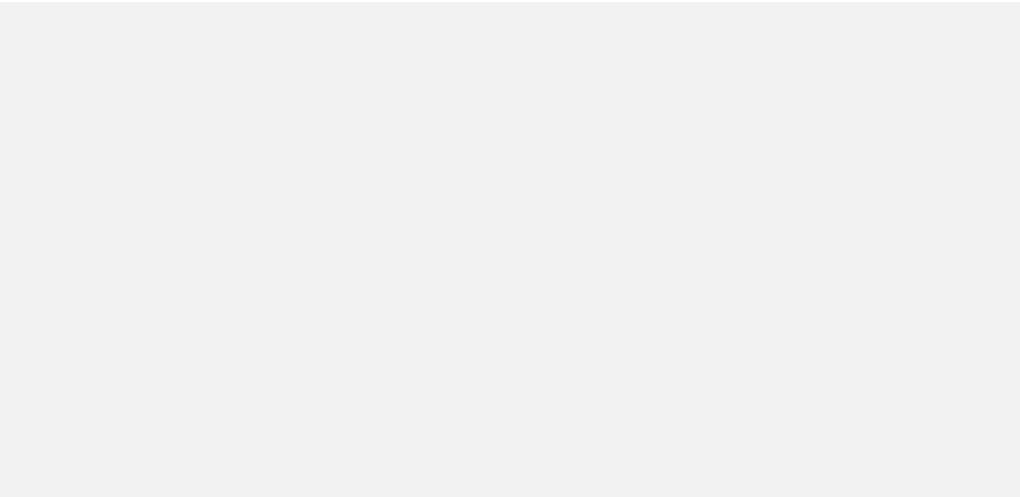
4.2 TOMA DE MEDIDAS

Dibuje cinco circunferencias en el papel milimetrado, todas de diferentes radios. Posteriormente recórtelas. Mida el área de cada círculo contando la cantidad de cuadritos del papel milimetrado que hay en él. Recuerde que cada cuadrito tiene 1 mm^2 de área. Anote sus medidas en la tabla 10.

Tabla 10. Medidas del área de los círculos en función de su radio					
r (mm)					
A (mm ²)					

4.3 AJUSTE DE DATOS CON LA AYUDA DEL PAPEL LOGARÍTMICO

De acuerdo con la investigación realizada en el punto 1 del preinforme, encuentre la ecuación con la ayuda del papel logarítmico. Anexe la gráfica al informe. Compare los resultados obtenidos con la ecuación teórica. ¿A qué corresponden



los valores del exponente y de la constante de proporcionalidad hallados? Analice este resultado.

4.4 AJUSTE DE DATOS CON EXCEL

Escriba la tabla en Excel y realice la gráfica asociada a estos datos. No olvide marcar los ejes y poner el título. Ahora, seleccione la curva con el botón izquierdo del ratón y, posteriormente, pulse el botón derecho del ratón y elija la opción “agregar línea de tendencia” (figura 4).

Figura 4.
Uso de la herramienta:
agregar línea de tendencia



Una vez hecho esto, aparecerá un menú que permite elegir el tipo de función al cual se desean ajustar los datos (figura 5). Como se explicó en el marco teórico, el criterio debe ser la ecuación teórica, que en este caso es del tipo potencial. Para que Excel escriba la ecuación, debe seleccionarse la opción “presentar ecuación en el gráfico”. Si desea saber qué tan adecuado fue este ajuste, se puede elegir: “presentar el valor R cuadrado en el gráfico”; mientras más cercano sea R^2 a 1, mejor.

5. ACTIVIDAD

1. Cu de Se po

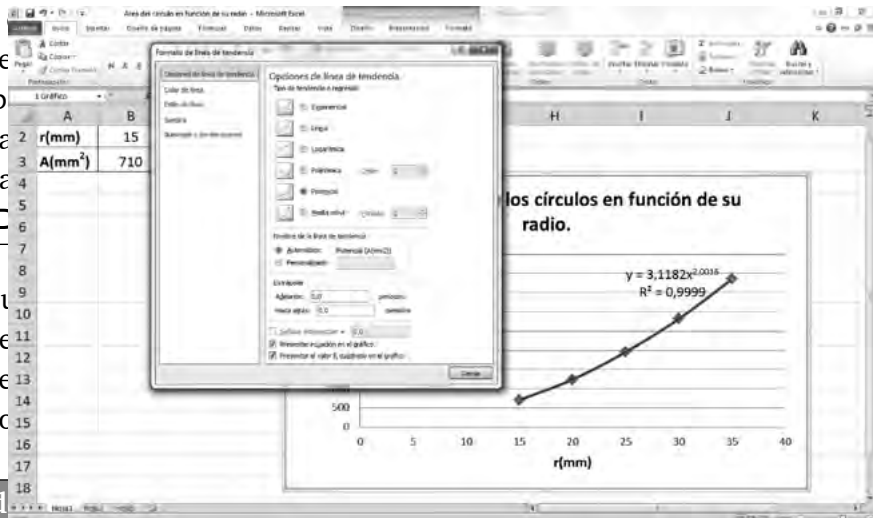


Tabla 11. Población d

t (años)	0	5	10	15	20	25	30
N	200.000	293.910	431.953	634.800	932.930	1.371.030	2.014.950

Donde N es el número de ovejas y el tiempo está en años, medido a partir de 1820. Teóricamente, la población debe responder a una función del tipo exponencial. Investigue un método para ajustar estos datos a una función de

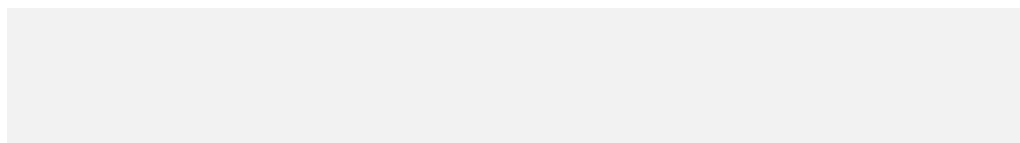
[illegible]

este tipo (sin computador) y realice el ajuste.

2. Un censo realizado para el ratón de campo en un criadero arrojó los siguientes resultados (tabla 12):

Tabla 12. Población de ratones de campo en función del tiempo					
Tiempo (meses)	0	3	6	9	12
Cantidad de ratones	2	7	22	72	245

Teóricamente se espera que el crecimiento de la población obedezca a la ley de Malthus:



Realice el ajuste de estos datos a una función utilizando el método que desee y un análisis de los resultados obtenidos.

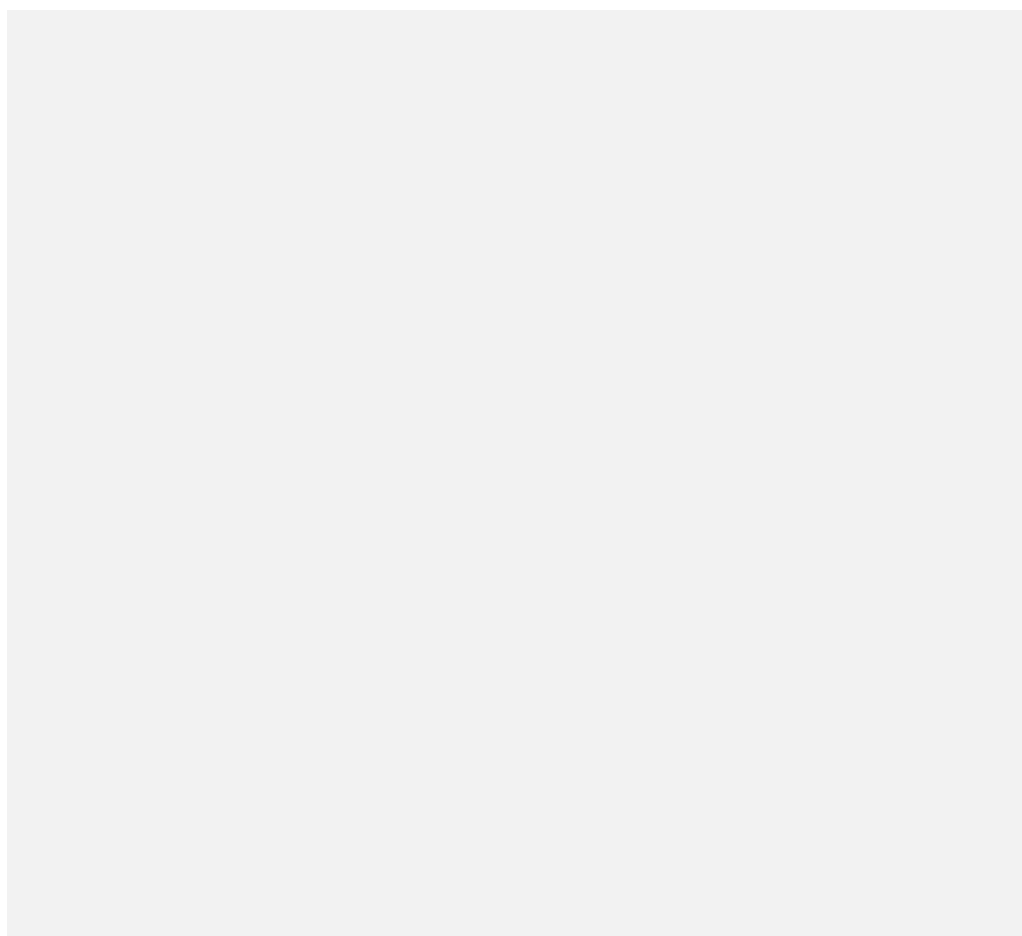
6. BIBLIOGRAFÍA

Baird, D. C. (1991). *Experimentación. Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos* (2ª. ed.). México: Prentice Hall.

Meiners, H. (1989). *Experimentos de física* (4ª. ed.). México: Reverte.

(1 7)

$$N(t) = N_0 e^{at}$$



MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACCELERADO

1. OBJETIVOS

- Estudiar las variables cinemáticas asociadas con el movimiento uniformemente acelerado.
- Realizar gráficas de posición, velocidad y aceleración para este movimiento.
- Utilizar métodos de ajustes de curvas para encontrar las ecuaciones asociadas a cada gráfica.

2. MARCO TEÓRICO

La cinemática se ocupa de la descripción del movimiento sin tener en cuenta sus causas. En una aproximación inicial se asumen los cuerpos como un punto, para no preocuparse por los movimientos rotacionales y vibracionales. Las variables utilizadas para describir el movimiento de un cuerpo son la posición, la velocidad y la aceleración.

La *posición* es la ubicación de un cuerpo en un sistema de coordenadas determinado. En el caso de un movimiento rectilíneo, solo se necesita una coordenada para describir la posición, en este caso se trata de la coordenada x .

La *velocidad* se define como el cambio de la posición de un cuerpo en la unidad de tiempo. Se define la velocidad media entre los instantes t_1 y t_2 como:

$$(18) \quad \overline{V} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Para determinar la velocidad justo en el instante t , la *velocidad instantánea*, se debe tomar Δt muy pequeño, es decir tomar el límite cuando Δt tiende a cero, lo cual se indica así:

$$(19) \quad V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Por lo tanto, la velocidad de una partícula en cualquier instante se define como la derivada de su posición respecto al tiempo. También es posible hallar la posición de un cuerpo a partir de su velocidad:

$$(20) \quad \vec{x}(t) = \vec{x}_0 + \int_a^t \vec{v}(t) dt$$

Esta constituye la primera ecuación de la cinemática.

La *aceleración* es el cambio en la velocidad de un cuerpo por unidad de tiempo. Se define la aceleración media entre los instantes t_1 y t_2 como:

$$(21) \quad \overline{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

La aceleración instantánea en t es el límite de la aceleración media cuando el intervalo Δt tiende a cero, que es la definición de la derivada de v respecto a t :

(22)

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

Por lo que la aceleración instantánea es la derivada de la velocidad respecto al tiempo. Además, se puede ver que

(23)

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a}(t) dt$$

Esta es la segunda ecuación de la cinemática.

El *movimiento rectilíneo uniformemente acelerado* es aquel cuya aceleración es constante y se realiza en línea recta. Las ecuaciones cinemáticas para este tipo de movimiento son las siguientes:

(24)

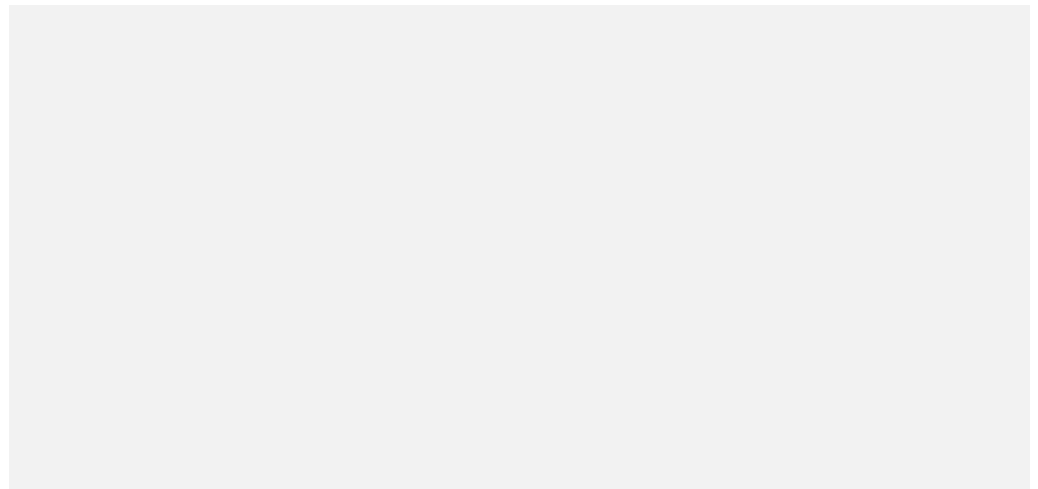
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

(25)

$$v_x = v_{0x} + at$$

3. PREINFORME

1. Deduzca las ecuaciones 24 y 25 del marco teórico a partir de las ecuaciones 20 y 23.



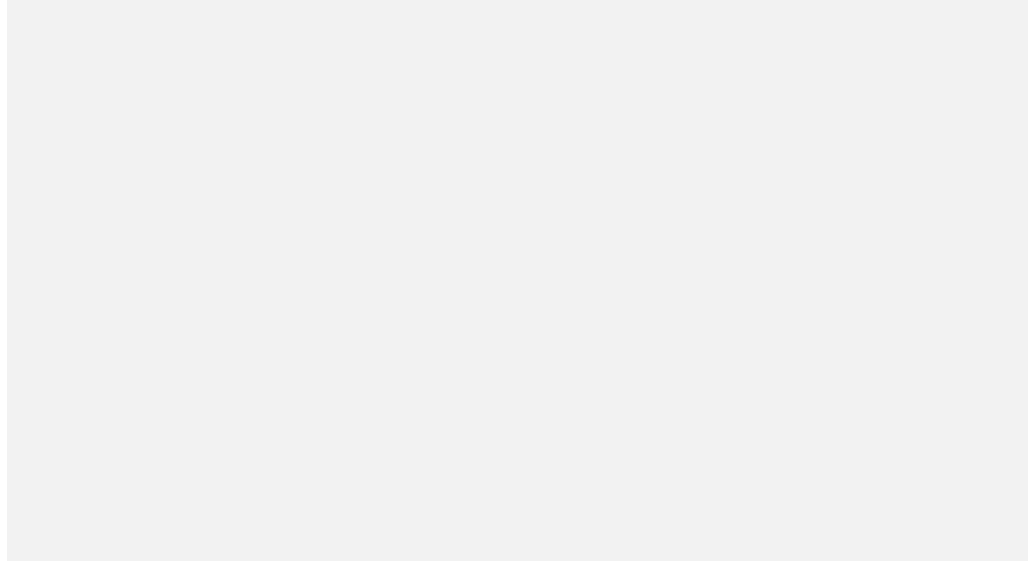
2. Un robot realiza un movimiento rectilíneo descrito por la siguiente ecuación:

(26)
$$x(t) = 4m - \left(5\frac{m}{s}\right)t + \left(2\frac{m}{s^2}\right)t^2$$

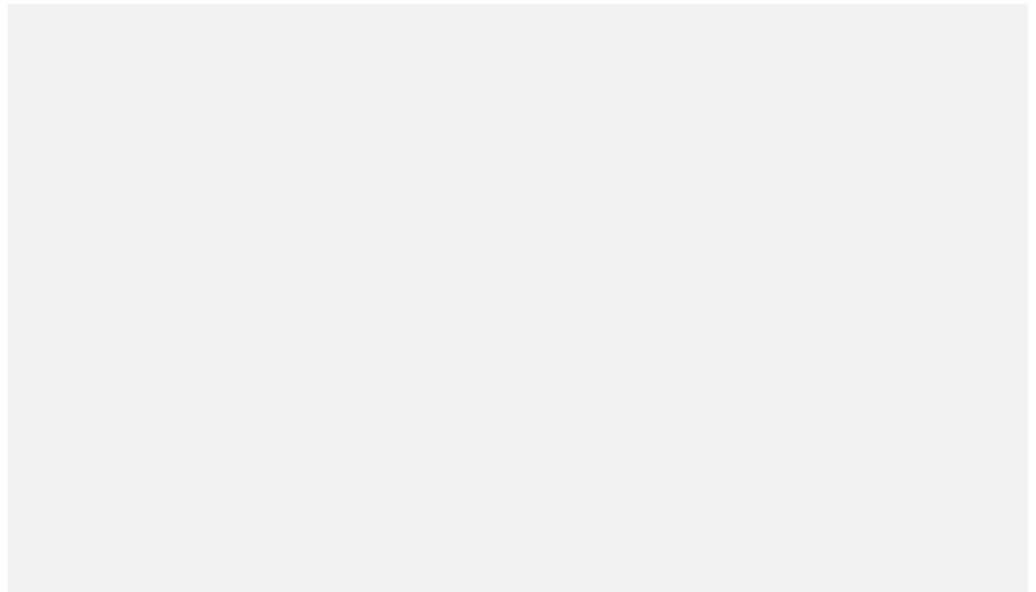
- a) Encuentre la velocidad instantánea del robot a los tres segundos.
- b) Encuentre la velocidad media del robot en los primeros tres segundos.
- c) Calcule la aceleración instantánea del robot a los cinco segundos.

3. Carlos y José apuestan una carrera en línea recta. Carlos quiere darle ventaja a José y le permite partir 10 m más adelante. José se mueve con una velocidad constante de 5 m/s y su competidor lo hace con una velocidad inicial de 2 m/s y con una aceleración de 2 m/s².

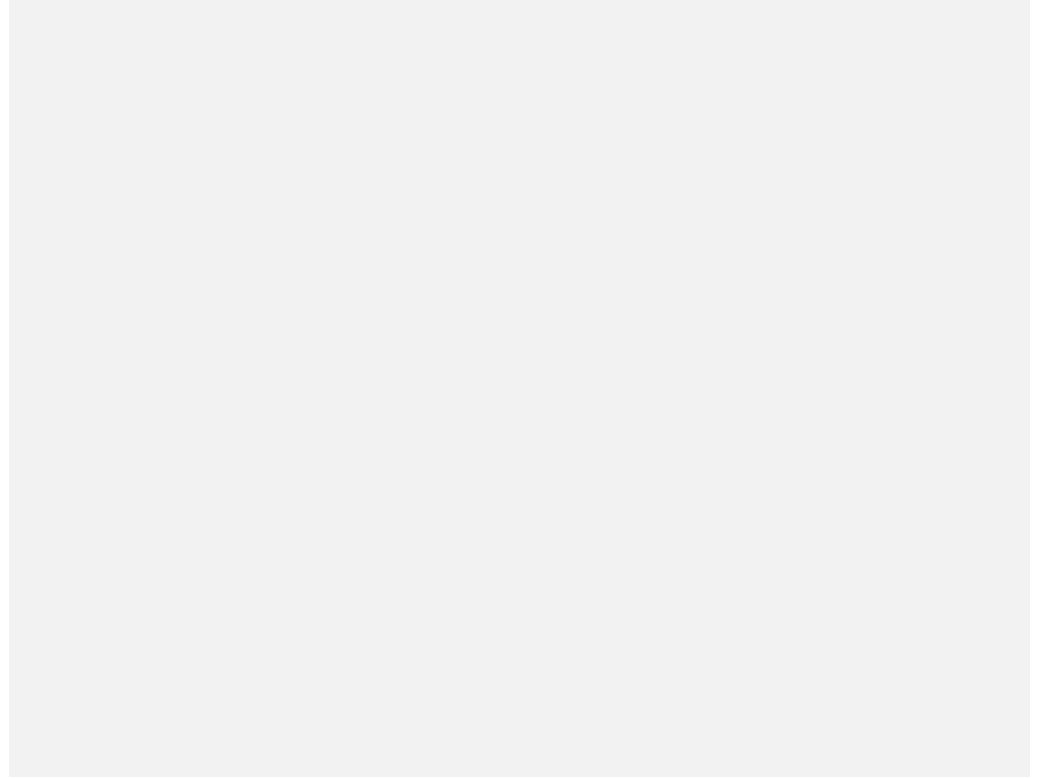
a) ¿Cuánto tiempo tardará Carlos en alcanzar a José?



b) Realice las gráficas de posición contra tiempo para los dos sujetos en un mismo sistema de coordenadas.



4. Durante la práctica se va estudiar el movimiento de un cuerpo que parte desde la posición cero, en reposo, y se mueve con aceleración constante y positiva. ¿Cómo espera usted que sean las gráficas de posición, velocidad instantánea y aceleración instantánea como funciones del tiempo?



4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

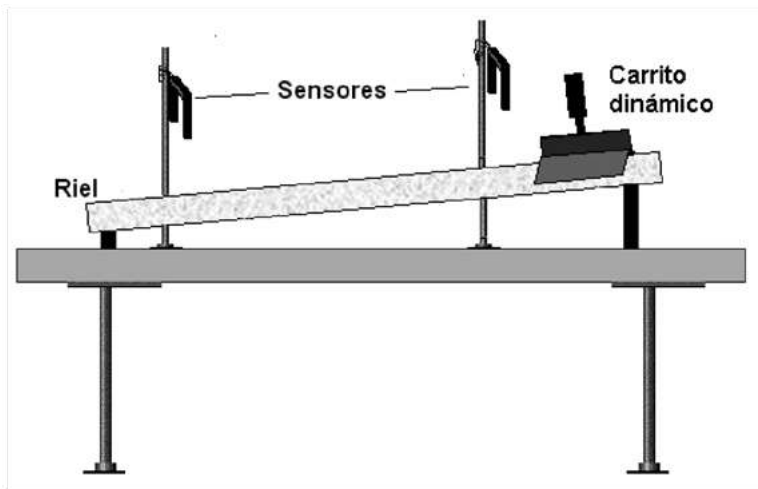
4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Carro dinámico
- Riel
- Contador digital
- Fotocompuertas

4.2 ECUACIONES CINEMÁTICAS ASOCIADAS AL MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO

Realice el montaje mostrado en la figura 6. Cerciórese de que el riel quede con una pequeña inclinación.

Figura 6.
Montaje para la práctica



Coloque los sensores a la distancia indicada por el profesor. Suelte el carrito lo más cerca posible del primer sensor, para tratar que la velocidad inicial sea cercana a cero. Tome diez veces el tiempo que tarda el carrito en recorrer esta distancia, teniendo cuidado de soltarlo siempre desde el mismo punto. Ahora repita este procedimiento para las distancias entre los sensores que le indique el profesor. En todos los casos, el carrito debe soltarse lo más cerca posible del primer sensor. Calcule los tiempos promedio y consigne sus datos en la tabla 13.

Tabla 13. Medidas de tiempo en función de la posición para el carrito dinámico											
X(m)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)	t ₆ (s)	t ₇ (s)	t ₈ (s)	t ₉ (s)	t ₁₀ (s)	t _{prom} (s)

4.2.1 POSICIÓN COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO

Realice la gráfica de la posición del cuerpo como función del tiempo. Encuentre la ecuación que relaciona estas dos variables utilizando alguna técnica indicada por el profesor. ¿Sus resultados son consecuentes con los esperados según la teoría?

4.2.2 VELOCIDAD COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO

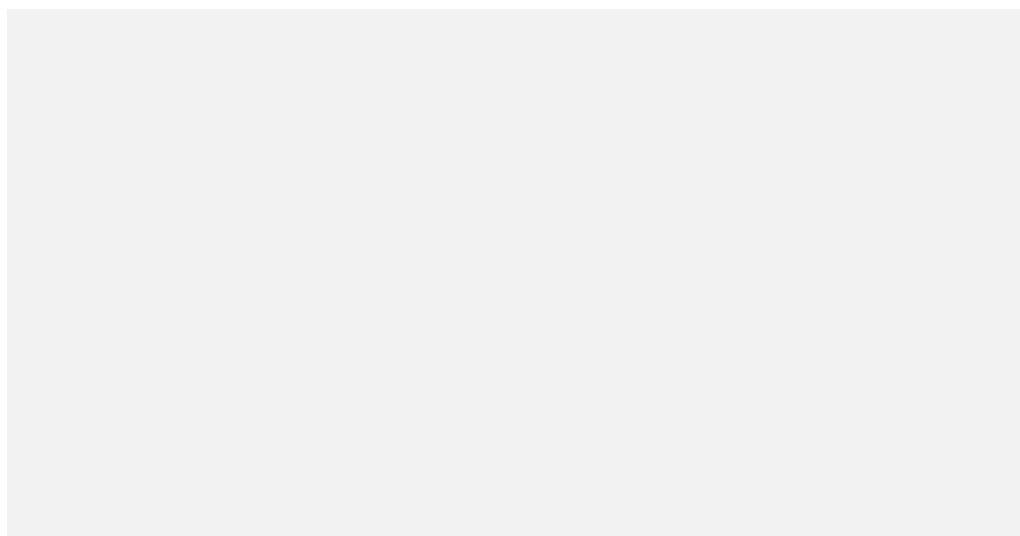
Encuentre la velocidad media para cada intervalo (entre puntos de la curva) y realice una gráfica de velocidad media en función del tiempo. A continuación encuentre la velocidad instantánea usando el concepto de derivada y gráfíquela en función del tiempo, superpuesta a la anterior gráfica. ¿Qué se puede decir? Compare estos resultados con lo que esperaba basándose en los conceptos estudiados en clase.

4.2.3 ACELERACIÓN COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO

Encuentre la aceleración media del cuerpo en cada intervalo y también la aceleración instantánea con el concepto de la derivada de la velocidad. Gráfíquelas en función del tiempo. Analice estas gráficas.

5. ACTIVIDADES

1. Un móvil parte del reposo con una aceleración constante y en 4 s recorre 32 m. Calcule el espacio que recorre en los siguientes 4 s.



2. Un tren se mueve en línea recta, partiendo de la posición $X = 0$ y con una velocidad de 2 m/s . Su aceleración varía con el tiempo, como se muestra en la figura 7. Realice las gráficas de velocidad y posición como funciones del tiempo para los primeros 7 s del movimiento.

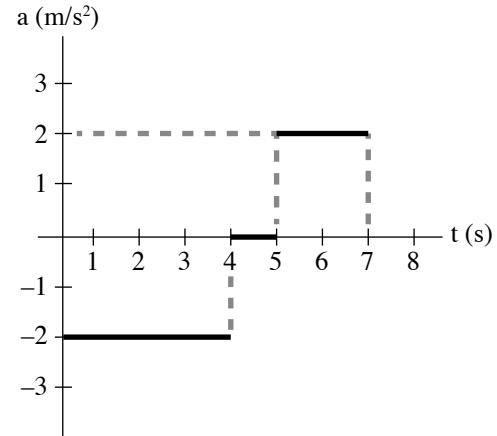
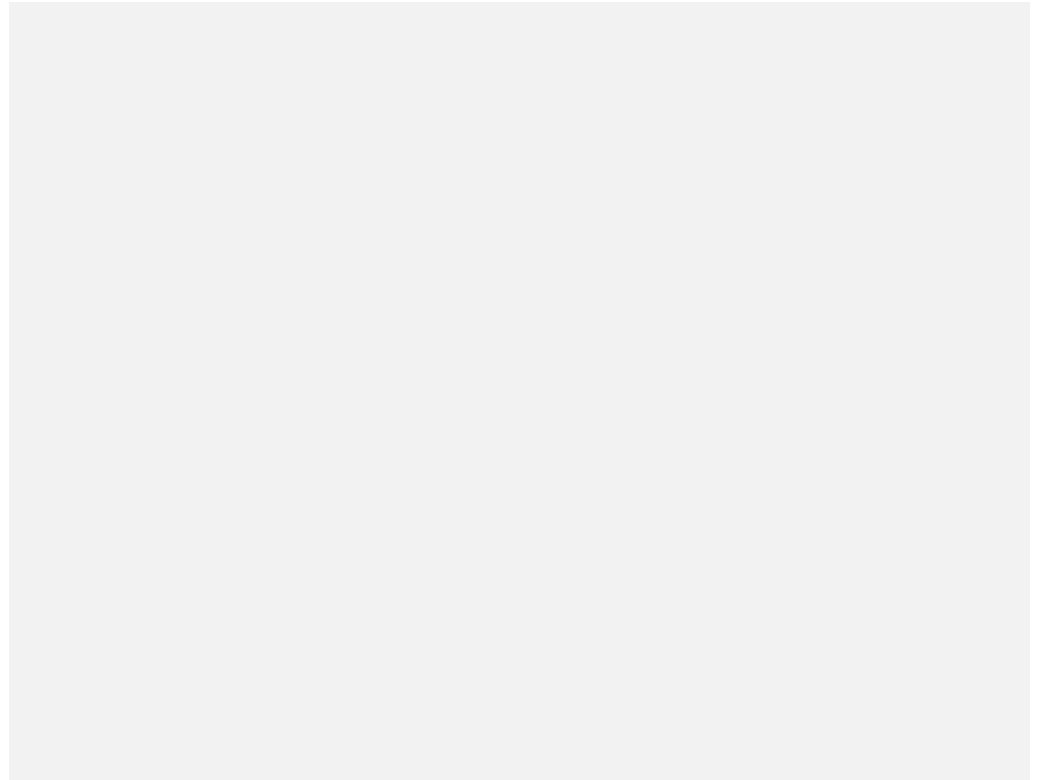


Figura 7.
Aceleración en función
del tiempo para el tren

3. Un coche viaja de noche a 72 km/h y de repente encuentra un camión estacionado a 30 m de distancia. Frena con la máxima aceleración negativa de 5 m/s^2 . Calcule: a) el tiempo que tarda en detenerse, y b) ¿choca con el camión?



6. BIBLIOGRAFÍA

Baird, D. C. (1991). *Experimentación. Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos* (2^a. ed.). México: Prentice Hall.

Pasco Scientific. (1992). *Dynamics cart accessory track set. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9429A*. Roseville, CA: Pasco Scientific.

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5^a. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).

Serway, R., & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería* (t. I, 5^a. ed.). México: McGraw-Hill.

CAÍDA LIBRE

1. OBJETIVOS

- Comprobar las expresiones teóricas que describen la caída libre de los cuerpos.
- Determinar la aceleración de la gravedad.
- Hallar la dependencia de la aceleración de la gravedad con la masa de los cuerpos.

2. MARCO TEÓRICO

En cinemática, la caída libre se da cuando un cuerpo se mueve verticalmente bajo la única influencia de la gravedad. Para que esto ocurra no pueden existir otras fuerzas actuando sobre el cuerpo, por lo que es necesario despreciar la influencia del aire; esto se puede hacer siempre que se trate de cuerpos aerodinámicos y cuya velocidad no sea muy alta, pues la fricción con el aire depende de estos dos factores. Cuando se produce cerca de la superficie de la Tierra es un movimiento uniformemente acelerado, y a esta aceleración se le da el nombre de aceleración

gravitacional, representada por la letra g . En el vacío, la aceleración gravitacional es independiente de la masa del cuerpo, es decir, si se dejan caer un coche y una moneda, ambos cuerpos tendrán la misma aceleración.

Las ecuaciones cinemáticas de un cuerpo en caída libre son las mismas de un movimiento uniformemente acelerado en el que se ha tomado la aceleración como $-g$, para un sistema de referencia en el que la posición en y se toma positiva hacia arriba:

Para la posición:

(27)

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

Para la velocidad:

(28)

$$v = v_0 - gt$$

Las gráficas de posición y velocidad, como funciones del tiempo, dependerán de las condiciones iniciales del movimiento.

3. PREINFORME

1. Consulte qué valor tiene la aceleración gravitacional promedio en cinco cuerpos diferentes del sistema solar.

2. ¿En qué lugar de la superficie de la Tierra considera que la aceleración gravitacional sea mayor? Justifique su respuesta.

3. Suponga que un cuerpo se suelta desde el reposo a una altura h del suelo. Realice las gráficas de posición y de velocidad como funciones del tiempo, despreciando la influencia del aire.

4. Una de las medidas que se van a realizar durante esta práctica es el tiempo de caída de un cuerpo para diferentes masas. En teoría, ¿cómo sería esa dependencia?; ¿de qué factores dependerá este tiempo?

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Contador digital
- Esferas de diferentes masas
- Dispositivo de sujeción de las esferas
- Soporte universal
- Fotocompuertas
- Dispositivo de tope e interruptor del circuito
- Balanza digital

4.2 ECUACIONES CINEMÁTICAS ASOCIADAS A LA CAÍDA LIBRE

Realice el montaje indicado en la figura 8:

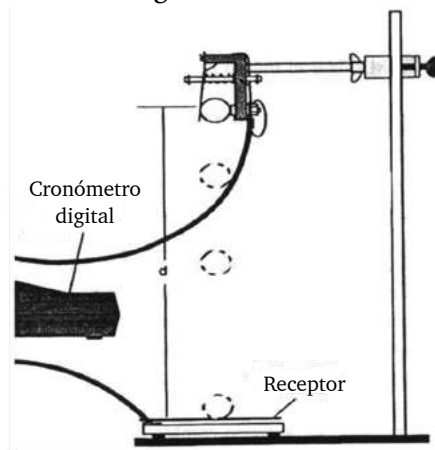


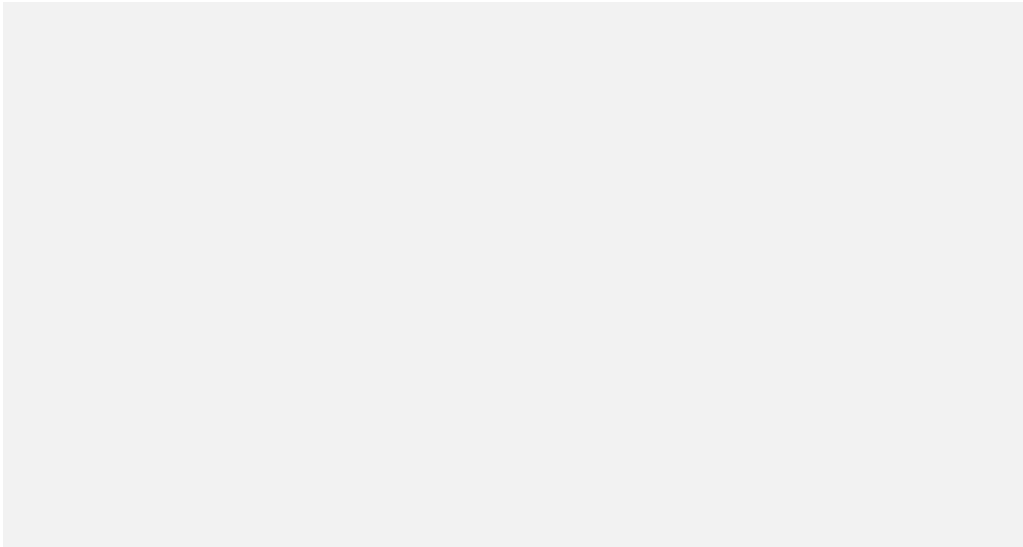
Figura 8.
Montaje para la práctica
Fuente: Pasco Scientific (1994).

Tome una de las esferas y mida su masa. Se determinará el tiempo de caída correspondiente a varias alturas h , con los elementos indicados anteriormente. Para cada altura el tiempo se mide diez veces, con el fin de sacar un promedio que minimice el error en la medida. Escriba los resultados en la tabla 14.

Tabla 14. Medidas de tiempo en función de la altura para la esfera 1											
h(m)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)	t ₆ (s)	t ₇ (s)	t ₈ (s)	t ₉ (s)	t ₁₀ (s)	t _{prom} (s)

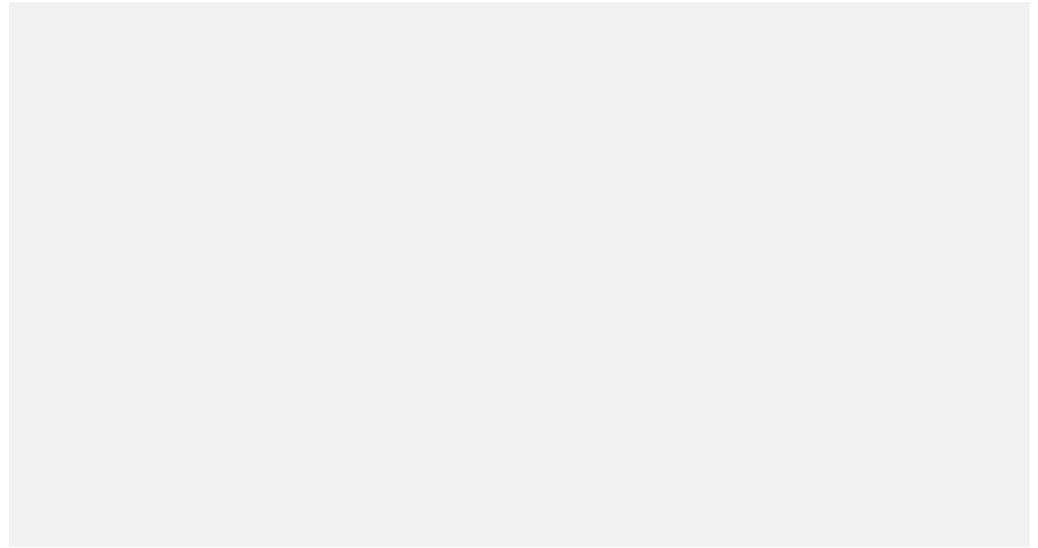
4.2.1 POSICIÓN COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO

Realice la gráfica de la posición del cuerpo como función del tiempo. Usando alguna técnica indicada por el profesor, encuentre la ecuación que relaciona estas dos variables. Compare estos resultados con lo que esperaba a la luz de la teoría.



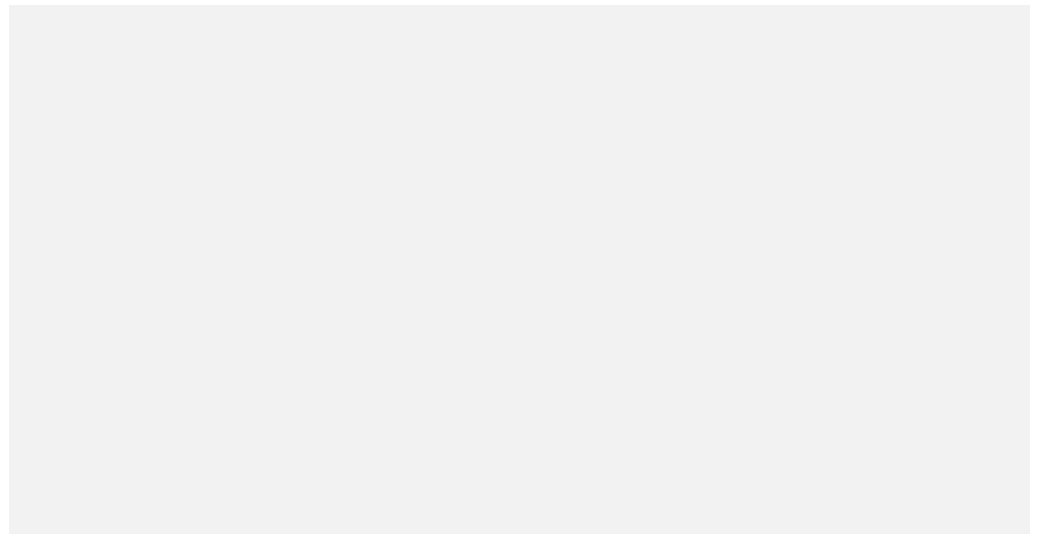
4.2.2 VELOCIDAD COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO

Encuentre la velocidad usando alguna de las técnicas vistas en el curso. Gráfiquela en función del tiempo. Compare estos resultados con lo que esperaba a la luz de la teoría.



4.2.3 ACELERACIÓN COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO

Encuentre la aceleración con la ayuda de las técnicas vistas en el curso. Realice la gráfica de esta aceleración como función del tiempo. ¿Coinciden estos resultados con lo que usted había investigado previamente?



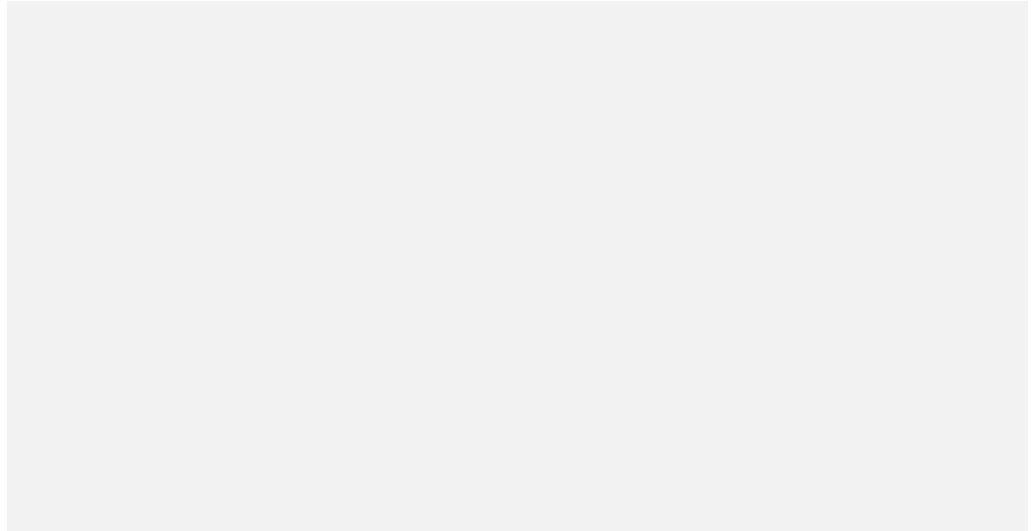
4.3 DEPENDENCIA DE LA ACELERACIÓN GRAVITACIONAL
CON LA MASA DE LOS CUERPOS

Repita las medidas realizadas en el numeral 4.2 para dos esferas de forma similar a la anterior, pero con masa diferente. Consigne los resultados en las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Medidas de tiempo en función de la altura para la esfera 2											
h(m)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)	t ₆ (s)	t ₇ (s)	t ₈ (s)	t ₉ (s)	t ₁₀ (s)	t _{prom} (s)

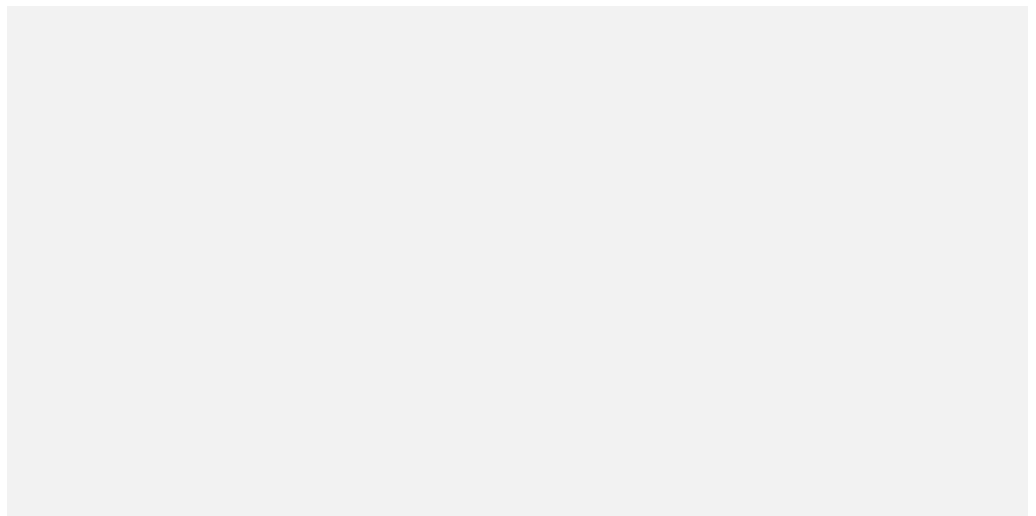
Tabla 16. Medidas de tiempo en función de la altura para la esfera 3											
h(m)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)	t ₆ (s)	t ₇ (s)	t ₈ (s)	t ₉ (s)	t ₁₀ (s)	t _{prom} (s)

Encuentre la aceleración gravitacional para estas dos esferas. ¿Qué puede decir de la relación entre esta aceleración y la masa de las esferas según los resultados hallados para las tres esferas?; ¿coinciden estos resultados con lo que usted esperaba de acuerdo con las predicciones teóricas?



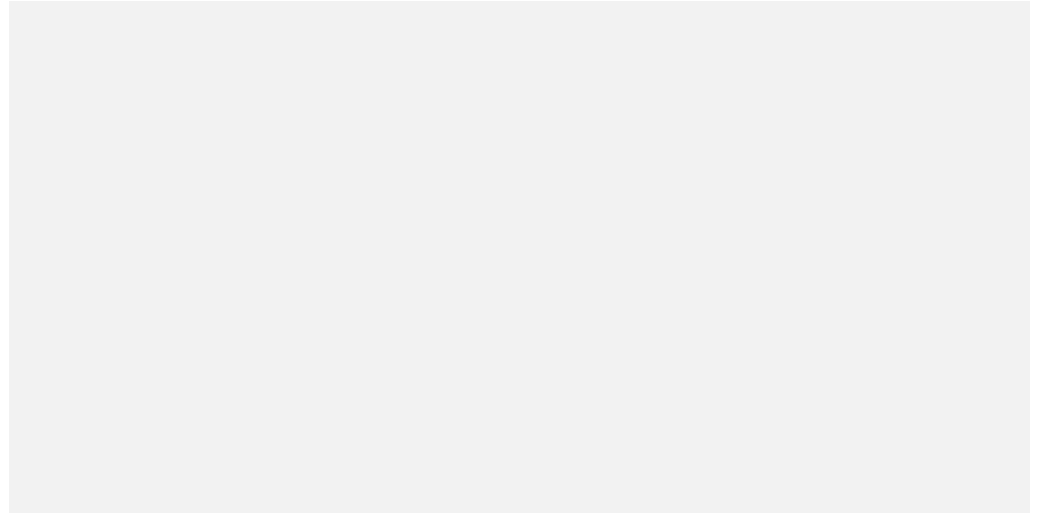
5. ACTIVIDADES

1. Se dispara un proyectil verticalmente hacia arriba con velocidad $v_0 = 100 \text{ m/s}$. Medio segundo después, con la misma arma, se dispara un segundo proyectil en la misma dirección. Determine la altura a la que se encuentran ambos proyectiles.

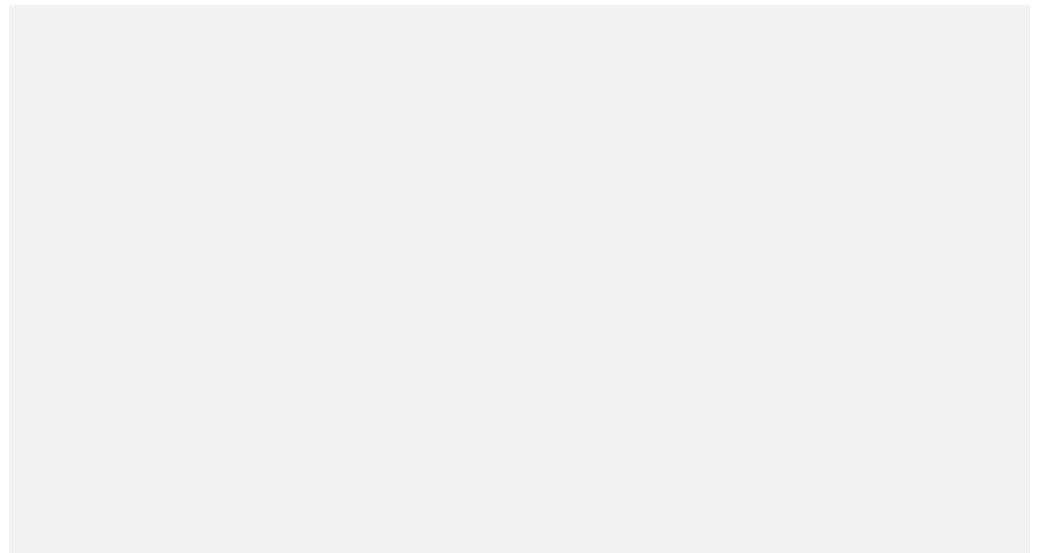


2. Un cohete se dispara verticalmente y sube con aceleración de 20 m/s^2 durante 1 min. En ese instante se acaba el combustible y sigue moviéndose como partícula libre. Calcule:

- a) La altura máxima alcanzada.
- b) El tiempo que está el cohete en el aire.



3. Demuestre lo siguiente: si pueden ignorarse los efectos del aire y se lanza algo verticalmente hacia arriba, tendrá la misma velocidad cuando regrese al punto de lanzamiento que cuando se soltó.



6. BIBLIOGRAFÍA

Baird, D. C. (1991). *Experimentación. Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos* (2ª. ed.). México: Prentice Hall.

Pasco Scientific. (1994). *Free fall adapter. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9207B*. Roseville, CA: Pasco Scientific.

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).

Serway, R., & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería* (t. I, 5ª. ed.). México: McGraw-Hill.

TIRO PARABÓLICO

1. OBJETIVOS

- Determinar que el tiro parabólico es el resultado de la combinación de un movimiento vertical uniforme acelerado y uno horizontal con velocidad constante.
- Comprobar que, sin tener en cuenta la resistencia del aire, la trayectoria de un cuerpo que es lanzado con velocidad inicial v_0 , formando un ángulo θ_0 respecto a una horizontal, es una parábola.
- Determinar la relación del alcance horizontal y la altura máxima con el ángulo θ_0 de lanzamiento en un tiro parabólico.

2. MARCO TEÓRICO

Se quiere estudiar el movimiento de un objeto (pelota de golf) lanzado al aire con cierta velocidad; para esto, el origen del sistema de coordenadas se escoge, por conveniencia, en el punto de lanzamiento del proyectil, con eje y vertical hacia arriba

y eje x horizontal (figura 9). La posición inicial de la pelota es $(x_o, y_o) = (0m, 0m)$. El ángulo que forma inicialmente la trayectoria de la pelota de golf con el eje horizontal es el ángulo de elevación θ_o . Por consiguiente, los componentes de v_o son:

$$(29) \quad v_{0x} = v_o \cos \theta_o$$

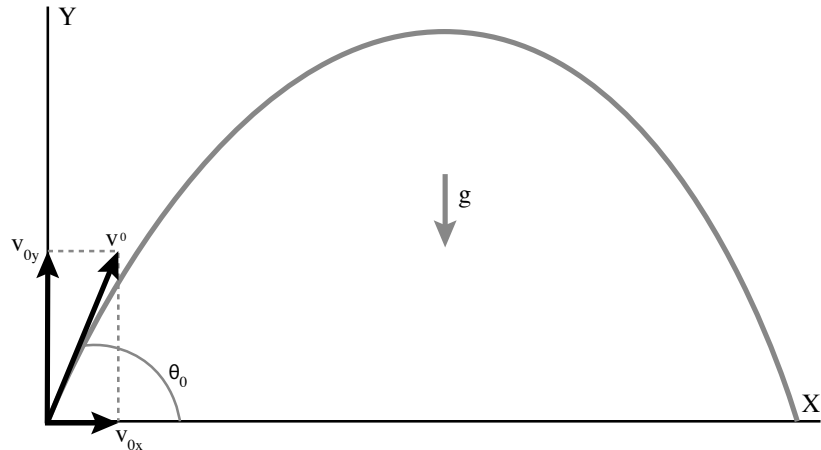
$$(30) \quad v_{0y} = v_o \sen \theta_o$$

Los componentes de la aceleración son:

$$(31) \quad a_x = 0 \frac{m}{s^2}$$

$$(32) \quad a_y = -g \frac{m}{s^2}$$

Figura 9.
Movimiento descrito por un cuerpo lanzado con rapidez v_o y un ángulo de elevación θ_o



Con las ecuaciones cinemáticas mostradas se tiene:

$$(33) \quad x(t) = 0 + (v_o \cos \theta_o) t + 0,5(0) t^2 = (v_o \cos \theta_o) t$$

$$(34) \quad y(t) = 0 + (v_o \sen \theta_o) t + 0,5(0) t^2 = (v_o \sen \theta_o) t - 0,5gt^2$$

y

$$(35) \quad v_{xt} = v_o \cos \theta_o + (0) t = v_o \cos \theta_o$$

$$(36) \quad v_y(t) = v_o \sen \theta_o - gt$$

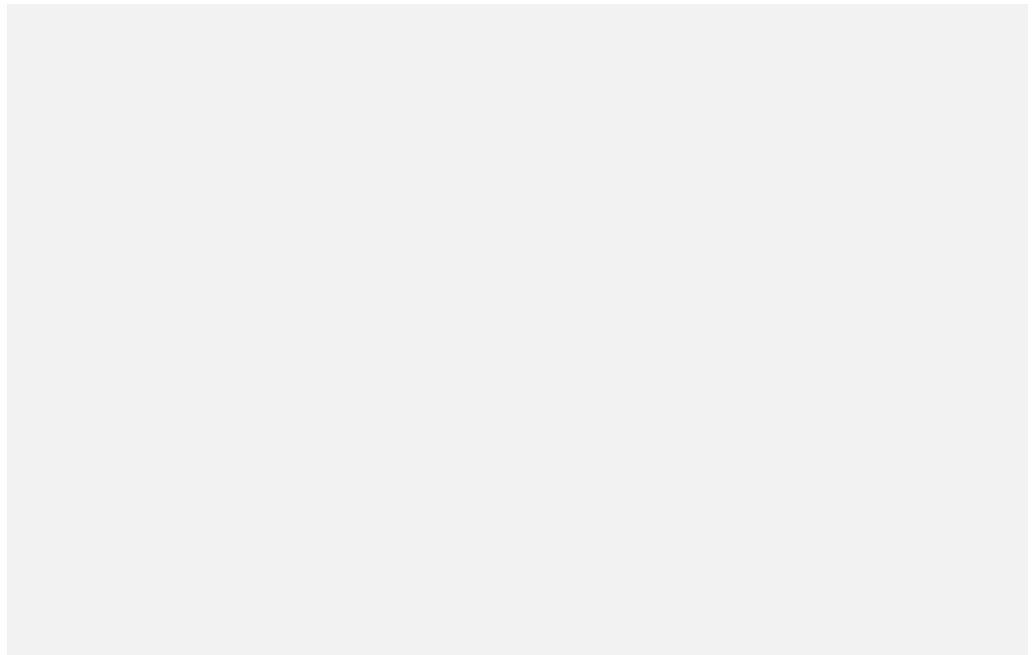
Para obtener la trayectoria de la pelota de golf, es necesario graficar y contra x . Se conocen y y x en función del tiempo, de tal manera que eliminando dicha dependencia se obtiene:

$$(37) \quad y = (tg\theta_0)x - \left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}\right)x^2$$

Como los coeficientes de x y x^2 son constantes, es claro que la trayectoria correspondiente es una parábola cóncava hacia abajo; por lo tanto, se dice que “la trayectoria de todos los proyectiles, bajo condiciones de aceleración constante y sin resistencia de aire, es parabólica”.

3. PREINFORME

1. De lo alto de un edificio se lanzan dos piedras simultáneamente: a una se le imprime una velocidad de 40 m/s, mientras que la otra se deja simplemente caer.
 - a) ¿Cuál de las dos llega primero al piso?
 - b) ¿Cuál llega con mayor rapidez al piso?
 - c) ¿Cuál llega con mayor aceleración al piso?



2. Para que un proyectil lanzado con la misma rapidez inicial logre su mayor alcance horizontal, ¿hay que aumentar el ángulo o disminuirlo? Dé un razonamiento físico con base en la teoría anterior.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Lanzador para tiro parabólico
- Prensa de mesa
- Regla
- Soporte universal con aro
- Cronómetro

4.2 PROCEDIMIENTO

4.2.1 RELACIÓN ALCANCE HORIZONTAL-ÁNGULO DE LANZAMIENTO

Para llevar a cabo esta experiencia, realice el montaje indicado en la figura 10. Una vez listo, varíe el ángulo de lanzamiento θ_0 y lance la esfera, activando el lanzador. Mida la distancia en la coordenada x alcanzada por la esfera cuando vuelva a pasar por la coordenada $y = 0m$, es decir, cuando cruce la horizontal de referencia del lanzamiento. Dicha distancia es el alcance horizontal de la esfera para el ángulo de lanzamiento respectivo. Lleve a cabo diez variaciones angulares entre 0° y 90° , y mida los respectivos alcances. Consigne en la tabla 17 la información obtenida. Tenga cuidado al activar el lanzador, pues se debe utilizar la misma escala de lanzamiento; con ello se asegura que la magnitud de la rapidez inicial sea la misma, sin importar el ángulo de lanzamiento.

Figura 10.
Montaje para el experimento
de tiro parabólico

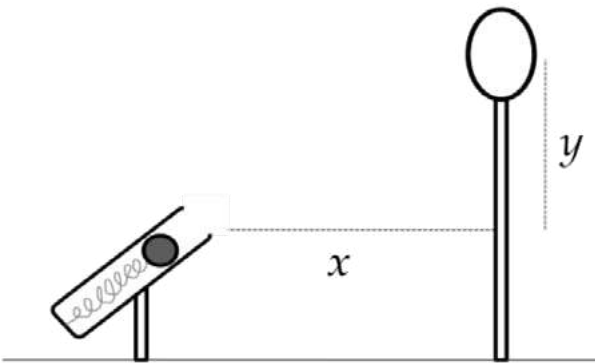
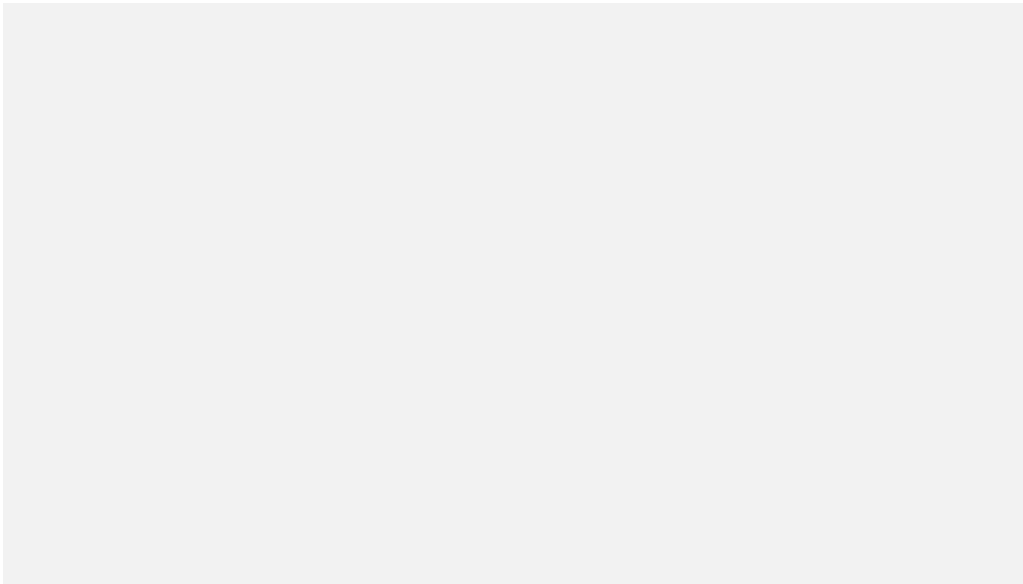


Tabla 17. Datos del alcance horizontal-ángulo de lanzamiento										
θ_0										
$x_{\text{máx}}$										

Una vez completa la tabla, proceda a graficar $x_{\text{máx}}$ contra $\text{sen}(2\theta)$; determine la ecuación de tal gráfica y compárela en la ecuación del alcance horizontal obtenida teóricamente. También determine la aceleración gravitacional actuante en el laboratorio. *Inicialmente, es importante determinar la rapidez de la esfera al ser lanzada.*

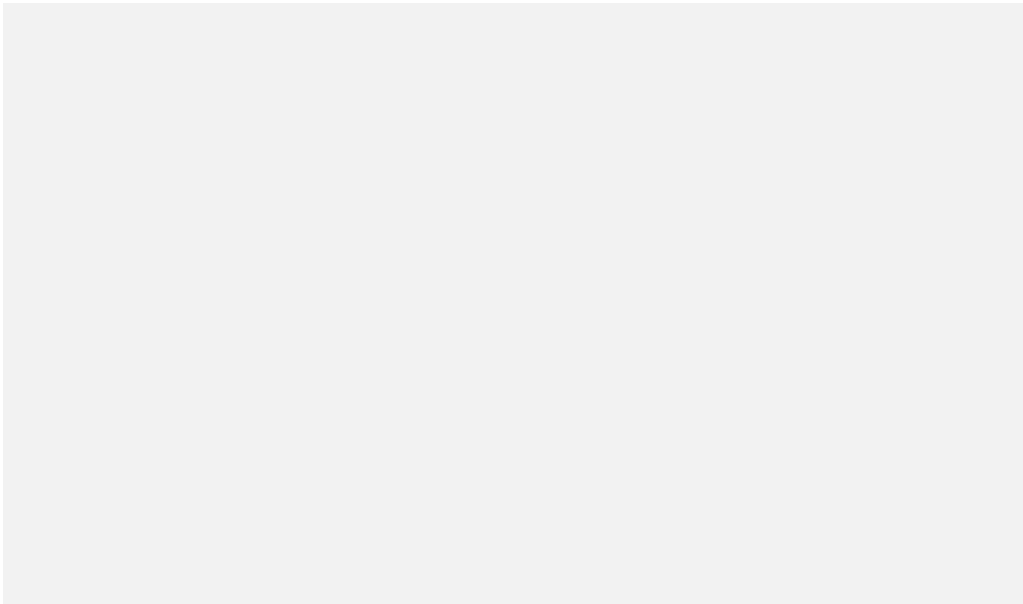


4.2.2 RELACIÓN ALTURA MÁXIMA-ÁNGULO DE LANZAMIENTO

Use el montaje indicado en la figura 10, ubique el lanzador en un ángulo de lanzamiento θ_0 y lance la esfera. Mida la altura máxima que alcanza el proyectil respecto a la horizontal de referencia del lanzamiento. Lleve a cabo este proceso para diez ángulos de lanzamiento entre 0° y 90° . Consigne la información obtenida en la tabla 18. Recuerde que en condiciones ideales la altura máxima del tiro parabólico se logra cuando el cuerpo pasa por la mitad de su alcance horizontal.

Tabla 18. Datos de la altura máxima-ángulo de lanzamiento										
θ_0										
$y_{\text{máx}}$										

Una vez completa la tabla, proceda a graficar $y_{\text{máx}}$ contra $\text{sen}^2(\theta_0)$ determine la ecuación de tal gráfica y compárela con los resultados teóricos obtenidos. Obtenga el valor de actuante en el laboratorio. *Inicialmente, es importante determinar la rapidez de la esfera al ser lanzada.*



4.2.3 RELACIÓN POSICIÓN EN EL EJE X - POSICIÓN EN EL EJE Y,
TRAYECTORIA DE LA ESFERA

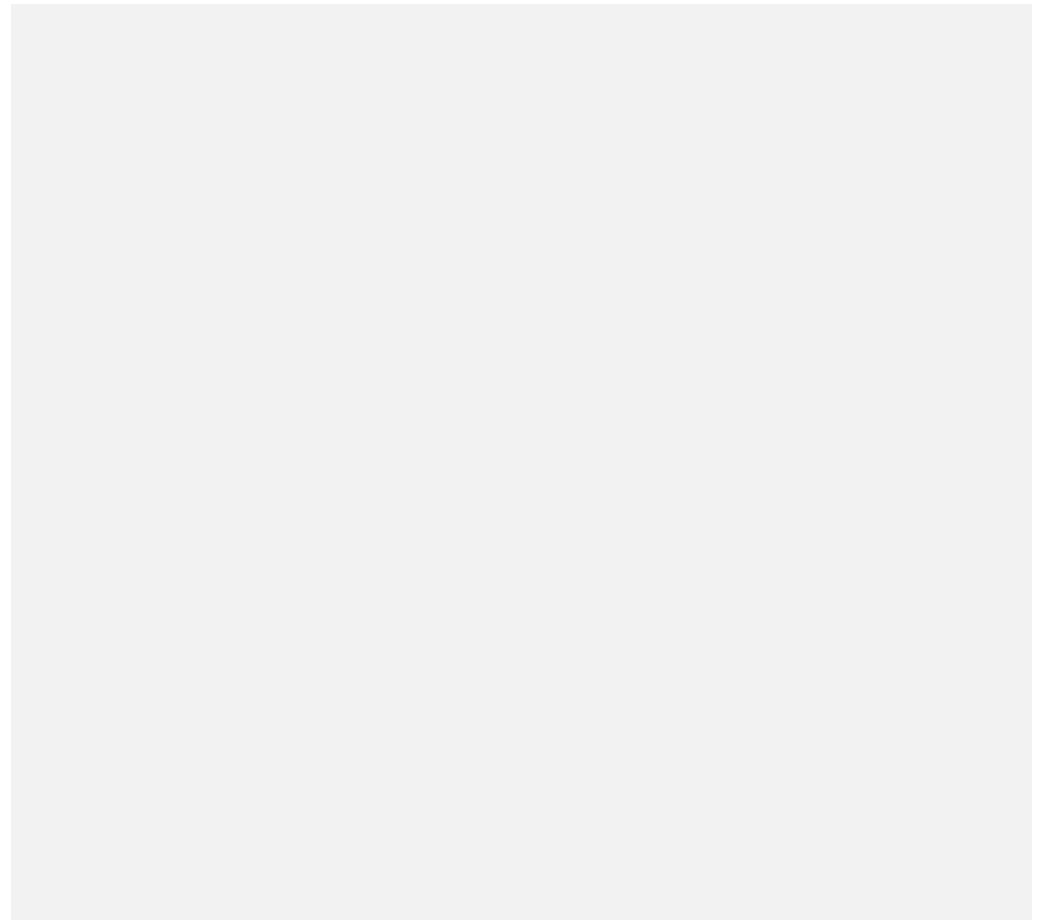
Utilizando el montaje de la figura 10, fije el ángulo de lanzamiento en cualquier valor entre 0° y 90° (se recomienda $\theta_0 = 45^\circ$). En estas condiciones lance la esfera y para varios valores de posición en x determine las correspondientes posiciones en y . Consígnelos en la tabla 19.

Tabla 19. Datos de la posición en el eje x y posición en el eje y										
x										
y										

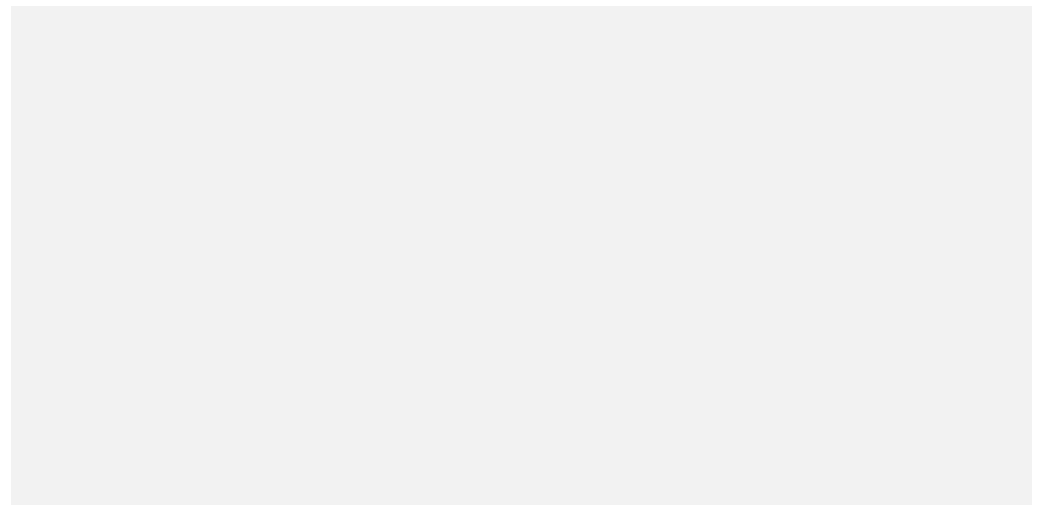
Con los datos obtenidos, grafique y contra x . Utilizando Excel o papel logarítmico, halle la ecuación correspondiente y compárela con la ecuación dada en el marco teórico.

5. ACTIVIDADES

1. La prueba de salto largo en atletismo puede considerarse como un movimiento parabólico, donde el objetivo es lograr el mayor alcance horizontal. Consulte cuál es la marca nacional actual de esta disciplina y, a partir de esta, determine la velocidad de salida del deportista, suponiendo que el ángulo con el que abandona el piso es de 45° .
2. Realice los mismos cálculos para la prueba de salto alto, considerando que en este caso el centro de gravedad del deportista sigue una parábola con alcance horizontal muy pequeño. Consulte la marca nacional actual y la distancia horizontal que recorre el centro de gravedad para determinar el ángulo y la velocidad de salida.
3. Se dispara una bala verticalmente hacia arriba con una rapidez de salida de 400 m/s:
 - a) ¿Qué altura alcanzará?
 - b) ¿Cuánto tiempo tarda en regresar al piso?
 - c) ¿Con qué rapidez regresará al piso?



4. Se dispara un proyectil con rapidez de 100 m/s y ángulos de 30° y 60° . ¿En cuál de estos ángulos es mayor el alcance, la altura máxima y el tiempo de vuelo?



6. BIBLIOGRAFÍA

- Fishbane, P. (1994). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. 1). México: Prentice Hall.
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. 1, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.
- Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. 1, 7ª. ed.). México: Cengage Learning.
- Talero, P. (2009). *Experimentos virtuales de física: mecánica*. Bogotá: Editorial Universidad Central.
- Talero P., Organista J. O., Barbosa L. H., & Rojas, G. (2011). *Física activa: las leyes del movimiento*. Bogotá: Editorial Universidad Central.

EQUILIBRIO ESTÁTICO Y DESCOMPOSICIÓN VECTORIAL

1. OBJETIVOS

- Realizar experimentalmente la suma de varios vectores.
- Comparar diferentes métodos para sumar vectores.
- Comprobar el carácter vectorial de las fuerzas.
- Aplicar la segunda ley de Newton al estudio de un cuerpo que se encuentra en equilibrio estático.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LA SEGUNDA LEY DE NEWTON

La segunda ley de Newton es una relación entre la sumatoria de fuerzas aplicada sobre un cuerpo y su aceleración. Establece que la aceleración experimentada por el cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta aplicada sobre él, e inversamente proporcional a su masa:

(38)

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

De esta ecuación resulta claro que si la aceleración del cuerpo es cero, en particular si el cuerpo se encuentra en reposo, la sumatoria de fuerzas sobre él debe ser cero. Es decir que para un cuerpo en equilibrio estático se debe cumplir que:

(39)

$$\sum \vec{F} = 0$$

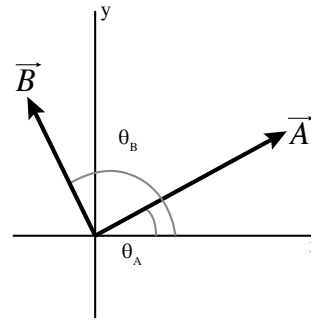
Debido a que las fuerzas son cantidades vectoriales, su sumatoria obedece a las leyes del álgebra vectorial.

2.2 SUMA DE VECTORES

Los vectores pueden sumarse por diferentes métodos. Dos de ellos son:

- *El método analítico:* consiste en descomponer los vectores en cada una de sus componentes cartesianas y sumar de manera independiente cada una de ellas para todos los vectores involucrados. Supóngase por ejemplo que se desea sumar los vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ que se muestran en la figura 11:

Figura 11.
Vectores en el plano cartesiano



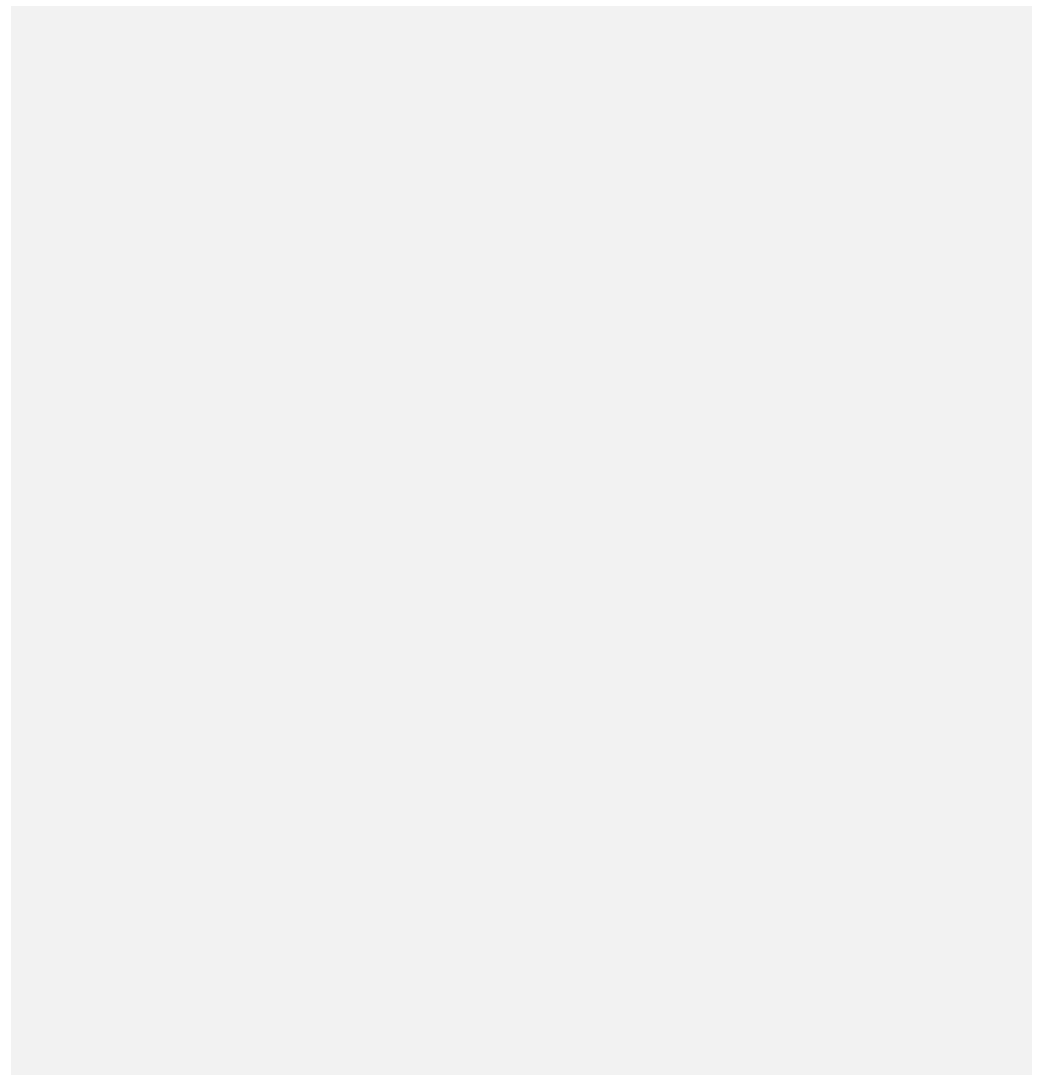
El vector $\vec{A}$ se descompondría como: $A_x = |\vec{A}| \cos \theta_A$ y $A_y = |\vec{A}| \sin \theta_A$

Y el vector $\vec{B}$ se descompondría como: $B_x = |\vec{B}| \cos \theta_B$ y $B_y = |\vec{B}| \sin \theta_B$

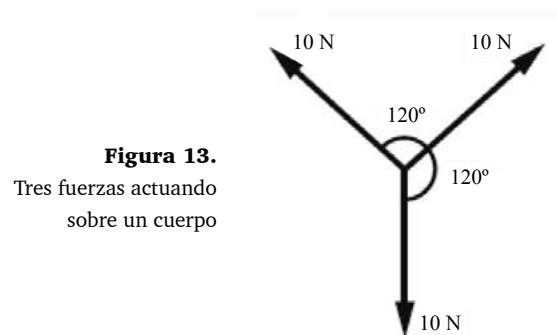
El vector resultante será entonces la suma componente a componente de estos vectores:

$$\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x) \hat{i} + (A_y + B_y) \hat{j}$$

-
- A diagram showing two vectors, $\vec{A}$ and $\vec{B}$, originating from the same point. Vector $\vec{A}$ points towards the upper right, and vector $\vec{B}$ points towards the upper left. A third vector, labeled $\vec{A} + \vec{B}$, originates from the same point and points towards the upper center, representing the resultant of $\vec{A}$ and $\vec{B}$. The vectors $\vec{A}$ and $\vec{B}$ are drawn with thicker lines than the resultant vector $\vec{A} + \vec{B}$.

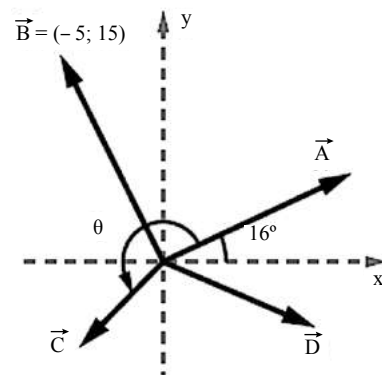


3. Encuentre la resultante de sumar las tres fuerzas de la figura 13 por los métodos analítico y gráfico.



4. ¿Cómo deben ser las componentes del vector D en el sistema mostrado, si la resultante del sistema de vectores es cero? Además: $A = 25 \text{ N}$; $C = 30 \text{ N}$ y $\theta = 217^\circ$ (figura 14).

Figura 14.
Representación de
los cuatro vectores



4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Mesa de fuerzas y accesorios
- Juego de masas
- Balanza digital
- Transportador
- Papel milimetrado

4.2 SUMATORIA DE FUERZAS DE FORMA EXPERIMENTAL

Realice el montaje mostrado en la figura 15, en el que se observa una mesa de fuerzas que tiene una escala angular. En su perímetro se encuentran tres poleas con ayuda de las cuales se suspenden tres cuerdas que están por un lado atadas a un aro, y por el otro lado sostienen pesos.

Figura 15.
Montaje para la práctica



Antes de iniciar las medidas, responda las siguientes preguntas:

1. Durante la práctica se desea que al aplicar las fuerzas el aro quede centrado, ¿por qué se busca esta condición?

2. ¿Qué importancia tiene que las cuerdas queden paralelas a la mesa?

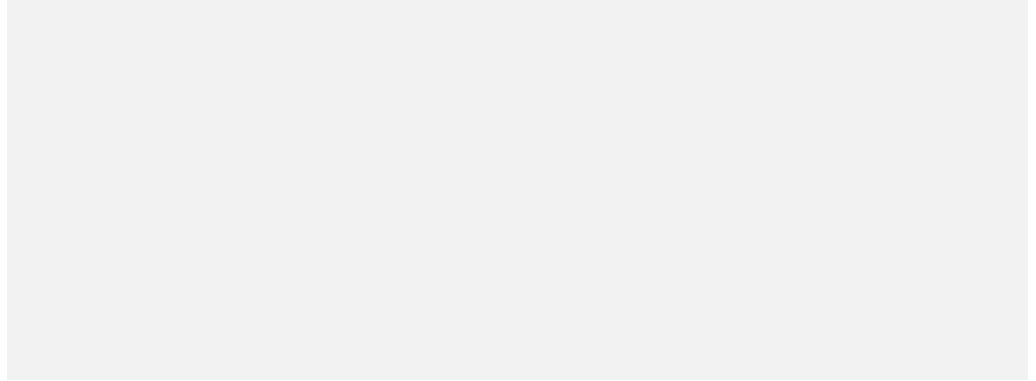
Seleccione tres pesos diferentes y con la ayuda de las poleas busque las condiciones para las cuales el aro queda centrado. Se recomienda dejar una de las cuerdas con un ángulo de 0°, es decir sobre el x. Varíe los ángulos de las otras dos cuerdas hasta que encuentre el equilibrio del aro. Consigne las magnitudes de cada fuerza (peso de los cuerpos suspendidos) y el ángulo con que se aplicó en la tabla 20. Repita el anterior procedimiento con cuatro juegos de pesas diferentes.

Tabla 20. Fuerzas aplicadas en el método experimental					
$F_1(N)$	θ_1	$F_2(N)$	θ_2	$F_3(N)$	θ_3

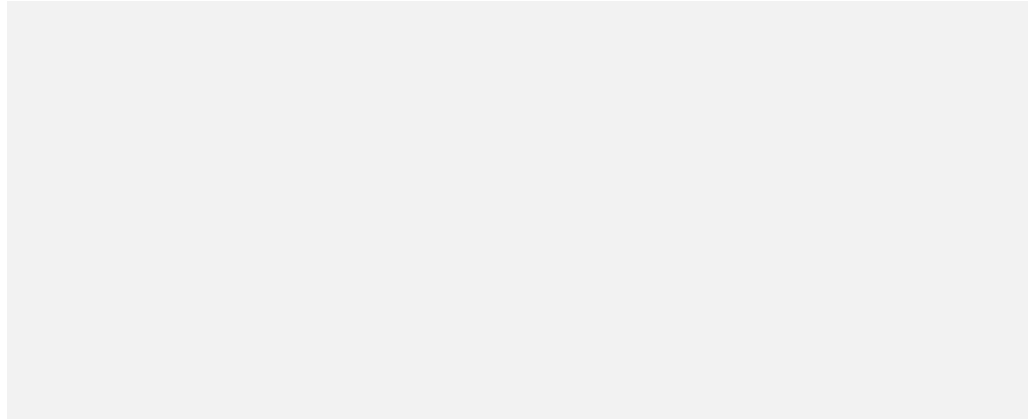
4.3 SUMATORIA DE FUERZAS POR EL MÉTODO ANALÍTICO

Realice la sumatoria vectorial de las fuerzas para cada uno de los cuatro casos, utilizando el método analítico.

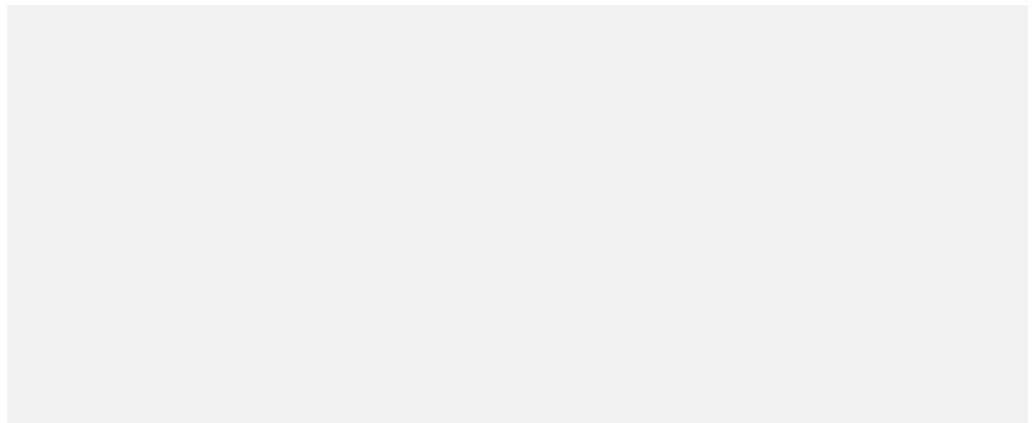
CASO 1.



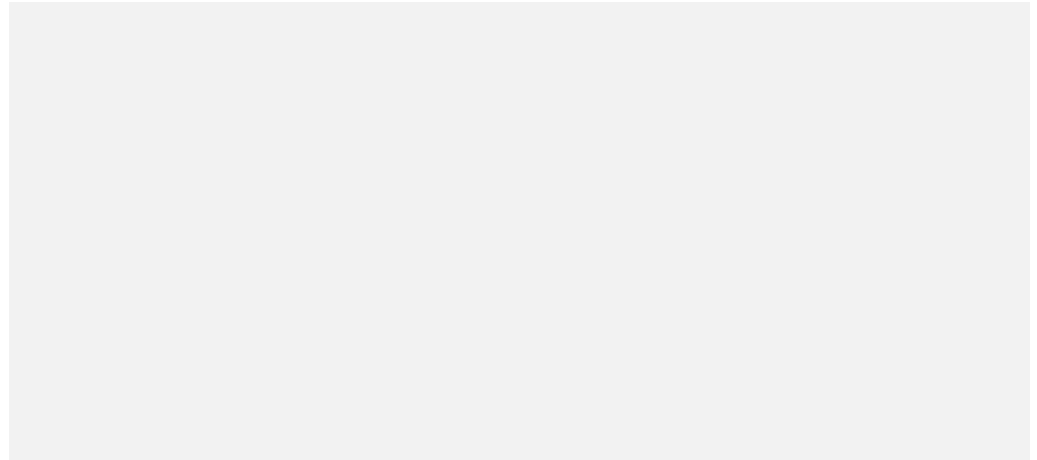
CASO 2.



CASO 3.



CASO 4.



4.4 SUMATORIA DE FUERZAS POR EL MÉTODO GRÁFICO

Con la ayuda de un transportador grafique en papel milimetrado los tres vectores de cada uno de los juegos y realice la suma por el método gráfico. Tenga presente seleccionar una escala adecuada. Debe anexar las cuatro gráficas resultantes al informe. A continuación responda las siguientes preguntas:

1. ¿Qué puede decir de los resultados obtenidos por este método, en comparación con el método experimental y el analítico?

2. ¿Qué se puede decir entonces de la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo que se encuentra en equilibrio?

3. Realice un análisis de los resultados obtenidos al sumar las fuerzas por cada método. ¿El vector resultante dio como se esperaba en cada caso? Compare los resultados obtenidos por los diferentes métodos, ¿cuál le parece más preciso?

5. ACTIVIDADES

1. Se sabe que la sumatoria de fuerzas que actúa sobre un cuerpo es cero. ¿Es posible afirmar que este cuerpo se encuentra necesariamente en reposo? Justifique su respuesta.

2. Una araña pende del sistema de hilos mostrados en la figura 16. Se sabe que la tensión en el hilo A es de 0,02 N. Encuentre la tensión en las cuerdas B y C. ¿Cuál es la masa de la araña?

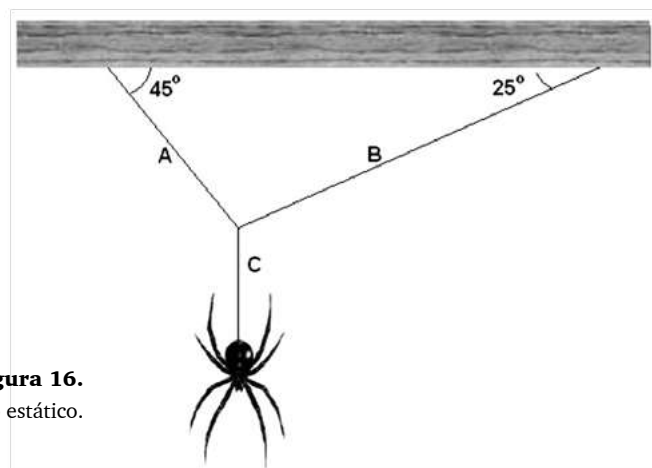


Figura 16.
Araña en equilibrio estático.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M., & Finn, E. (1986). *Física mecánica* (vol. I). México: Fondo Educativo Interamericano.

Pasco Scientific. (1994). *Force table. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-8955*. Roseville, CA: Pasco Scientific.

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5^a. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).

Serway, R., & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería* (t. I, 5^a. ed.). México: McGraw-Hill.

ESTUDIO DE LA SEGUNDA LEY DE NEWTON

1. OBJETIVOS

- Estudiar la segunda ley de Newton aplicada en un sistema físico.
- Determinar la relación entre la aceleración de un sistema físico y las masas de los cuerpos que la componen.
- Aplicar los conceptos estadísticos para el análisis de datos y la regresión lineal por mínimos cuadrados.

2. MARCO TEÓRICO

Una de las leyes más importantes para el estudio del movimiento de un cuerpo que se mueve a velocidades bajas, comparadas con la de la luz, es la segunda ley de Newton. Si el avión militar F16 desarrolla una velocidad de 2400 km/h, ¿qué porcentaje representa tal velocidad respecto a la velocidad de la luz? Explique su respuesta.

Como se puede observar, aunque el F16 se mueve a gran velocidad para la cotidianidad, esta es insignificante en comparación con la velocidad de la luz. Todo objeto que se mueva a velocidades bajas cumple ciertas leyes y condiciones para su movimiento; las leyes de Newton explican el comportamiento de tales movimientos, pero también explican el comportamiento de objetos que no se mueven respecto a un sistema de referencia inercial. Explique a continuación qué es un sistema de referencia inercial y cuál es su principal característica.

La segunda ley de Newton dice que la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es igual al cambio de la cantidad de movimiento del cuerpo, esto es:

(40)

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

Donde $\vec{P}$ representa la cantidad de movimiento de un cuerpo, la cual se define operacionalmente así:

(41)

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

Donde m representa la masa del cuerpo y $\vec{v}$ su velocidad.

Si el cuerpo de masa m sufre un cambio en su velocidad, necesariamente tendrá que estar acelerado y por lo tanto su estado de movimiento tendrá que cambiar; esto implica que sobre el cuerpo debe actuar una fuerza realizada por algún otro cuerpo. Si se reemplaza la ecuación (41) en la ecuación (40) se obtiene que

$$(42) \quad \vec{F} = \frac{d}{dt}[m\vec{v}] = m\frac{d}{dt}\vec{v} + \frac{dm}{dt}\vec{v}$$

Si se supone que el cuerpo no cambia su masa, su variación respecto al tiempo es igual a cero. Ahora se sabe que la derivada de la velocidad representa la aceleración; por lo tanto, se obtiene que

$$(43) \quad \vec{F} = m\vec{a}$$

La ecuación (43) dice que si sobre un cuerpo de masa m actúan varias fuerzas, la fuerza resultante sobre él es igual al producto de su masa por la aceleración que experimenta. Recuerde que tal ecuación es de carácter vectorial, es decir, la fuerza puede tener componentes en las tres direcciones del sistema de coordenadas cartesiano; por lo tanto, la aceleración también, esto se sintetiza así:

$$(44) \quad \sum F_x = ma_x$$

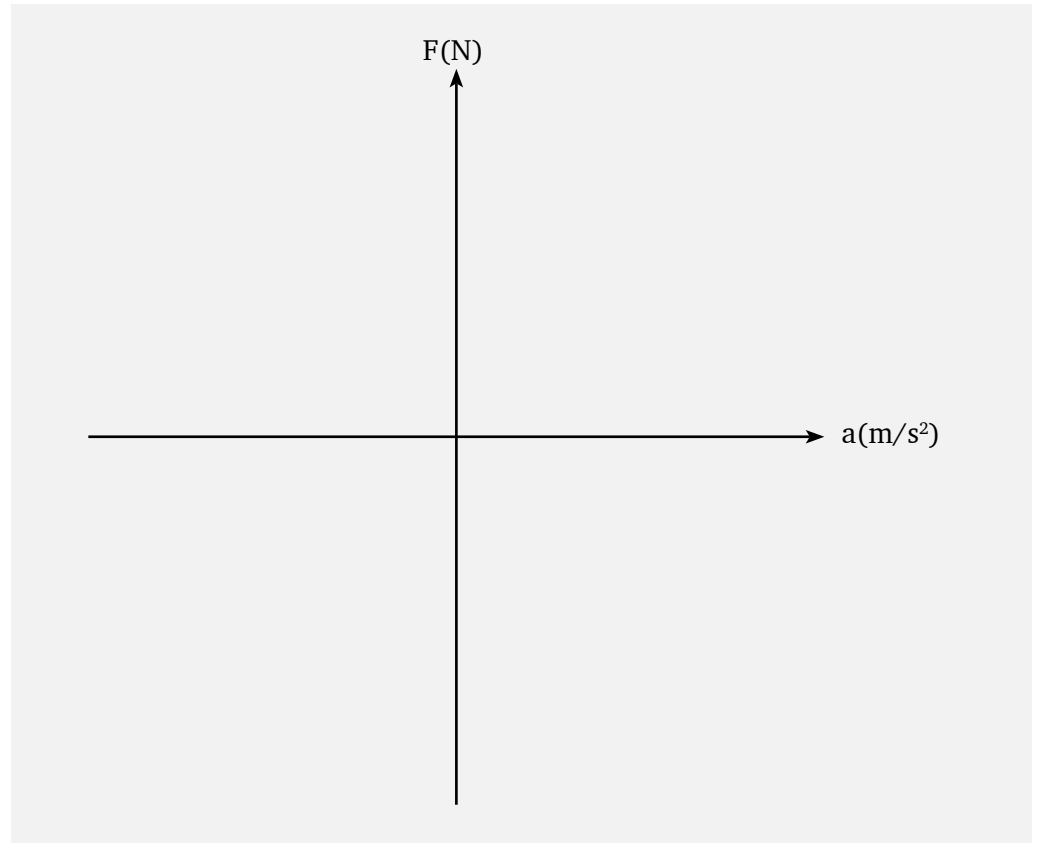
$$(45) \quad \sum F_y = ma_y$$

$$(46) \quad \sum F_z = ma_z$$

3. PREINFORME

1. Teniendo en cuenta la ecuación (43), presente el análisis dimensional que le dará a las tres variables (fuerza, masa y aceleración) durante la práctica en estudio.

2. Según lo que se plantea en la práctica de la sección 4.2, grafique lo que espera obtener.



3. Dé dos ejemplos cotidianos, donde la masa del cuerpo cambie.

4. En el experimento que usted va a realizar, ¿se tendrá en cuenta alguna variación de la masa del sistema? Explique su respuesta.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

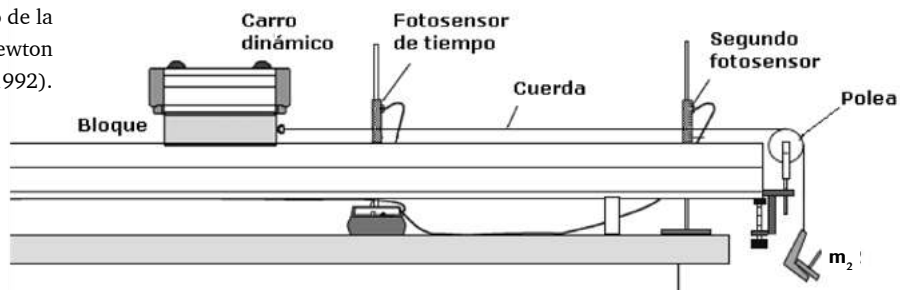
4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Carril
- Carro dinámico
- Bloque de madera con diferentes tipos de superficies
- Dinamómetros
- Soporte universal
- Fotosensores y *smart time*
- Balanza

4.2 PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de la práctica realice el montaje ilustrado en la figura 17:

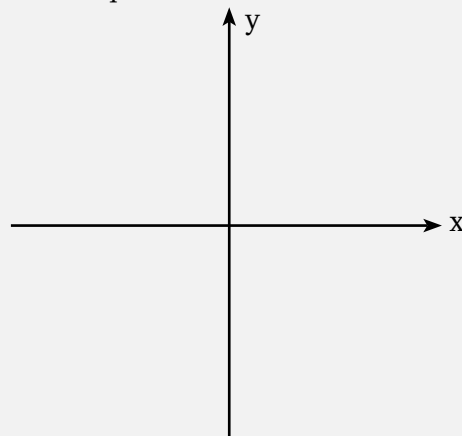
Figura 17.
Montaje para el estudio de la
segunda ley de Newton
Fuente: Pasco Scientific (1992).



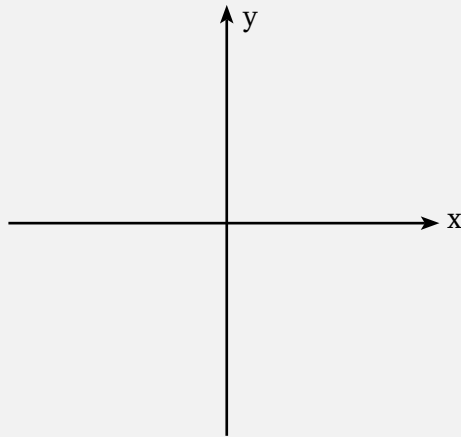
Se desea determinar la aceleración del sistema físico, conformada por el cuerpo de masa m_1 (carro dinámico + bloque) y el cuerpo de masa m_2 , los cuales se conectan por medio de una cuerda de masa mucho menor que los cuerpos. La cuerda pasa a través de una polea que presenta muy poca fricción y cuya masa es pequeña, comparada con los cuerpos. El cuerpo de masa m_1 se mueve a través de la superficie del riel que está construido de aluminio. Para medir la aceleración del sistema se determina la aceleración del cuerpo de masa m_1 . A continuación explique por qué se puede hacer esto.

Supóngase que la posición inicial $x_0 = 0\text{m}$ y la velocidad inicial $v_0 = 0\text{m/s}$; asimismo, observando el sistema, se nota que las fuerzas que actúan sobre el bloque son constantes. Haga el diagrama de cuerpo libre del bloque y del cuerpo m_2 , y explique el origen de cada una de las fuerzas que actúan en el sistema.

DCL Bloque



DCL m2



Como se pudo comprobar, las fuerzas sobre los cuerpos son constantes, por lo tanto la aceleración de los cuerpos también lo será. Según lo anterior, se tiene que el bloque realiza un movimiento uniformemente acelerado y su posición estará dada por:

$$(47) \quad x(t) = x_0 + v_{0x}t + \left(\frac{1}{2}\right)a_x t^2$$

Con las condiciones anteriores la ecuación (47) se reduce a:

$$(48) \quad x(t) = \left(\frac{1}{2}\right)a_x t^2$$

En la ecuación (48) se evidencia que si se fija la distancia recorrida por el bloque y se mide el tiempo, se puede obtener la aceleración. Sea L la distancia fija, entonces se tiene que:

$$(49) \quad \frac{2L}{t^2} = a_x$$

Note que se debe hacer una buena medición del tiempo, pues si los datos no son confiables, el cálculo de a_x tampoco lo será y los análisis posteriores no serán los óptimos, por lo tanto se hace necesario tomar varias veces el tiempo que demora el bloque en recorrer la distancia L ; adicionalmente, como los tiempos son pequeños,

se empleará el sistema *smart time* con fotosensores, como se ilustra en la figura 18. Dicho sistema se activa cuando el bloque corta el haz de luz infrarrojo del fotosensor de tiempo, iniciando así el cronometraje que finaliza L metros adelante, cuando el bloque corta el haz de luz del segundo fotosensor, registrándose así un tiempo bastante confiable.

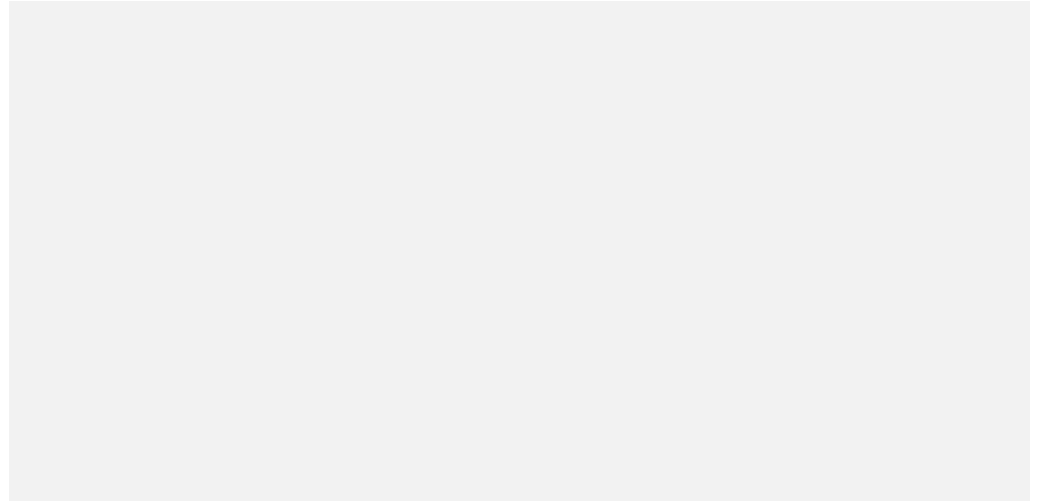
Teniendo claro el procedimiento a realizar, inicie el experimento tomando una superficie determinada del bloque y acomódelo según se muestra en la figura 18. Seleccione la distancia L entre los fotosensores y ubique un cuerpo de masa m_2 en el soporte del extremo derecho de la cuerda. Mida el tiempo que demora el bloque en recorrer la distancia L y repita esta medición mínimo cinco veces. Recuerde ubicar el bloque de tal manera que cuando active el fotosensor de tiempo, su velocidad inicial v_0 sea casi 0 m/s. Una vez calculado el tiempo promedio, con la ecuación (49) determine la aceleración y consigne la información obtenida en la tabla 21; repita el procedimiento para seis diferentes valores de m_2 .

Figura 18.
Disposición del bloque con
diferentes tipos de superficie
Fuente: Pasco Scientific (1992).



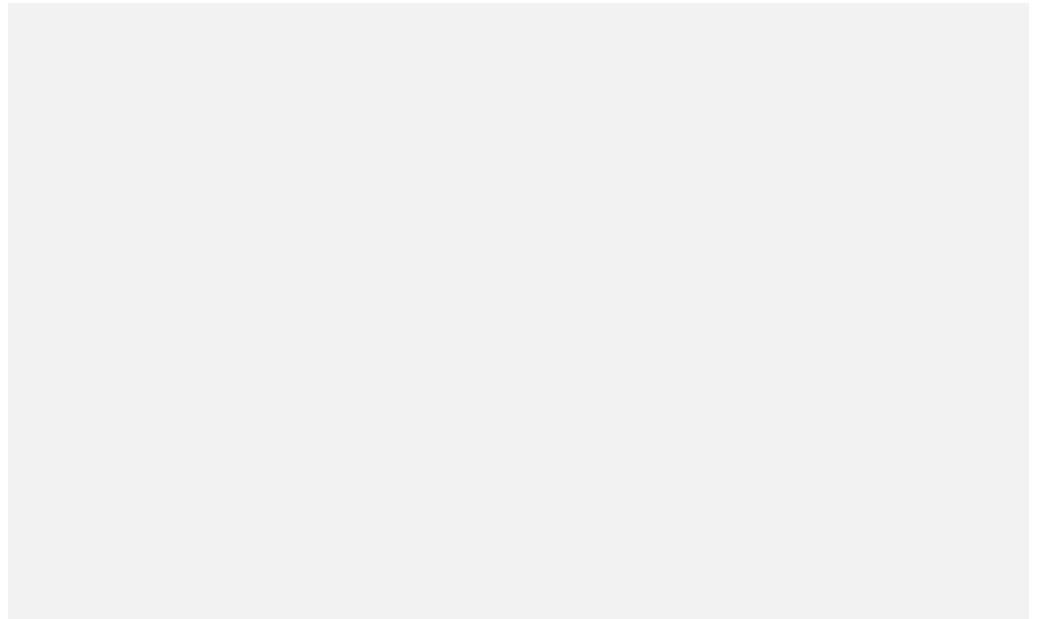
Tabla 21. Datos experimentales segunda ley de Newton							
Masa bloque (kg)	L(m) =			Coeficiente de fricción cinético μ_k =			
	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	t_p (s)	a_x (m/s ²)

Con la información obtenida, realice un gráfico de a_x contra m_2 ; determine la mejor regresión y especifique la ecuación que relaciona las variables en estudio. Explique el significado de las constantes de la ecuación y compárelas con los resultados teóricos de dicha aceleración.



5. ACTIVIDADES

1. Resuelva el problema de estudio utilizando las leyes de Newton, es decir, calcule la aceleración del sistema físico y compare los resultados experimentales con los teóricos



2. ¿Qué características tiene la gráfica de a_x contra m_2 ? ¿Qué puede concluir de este gráfico respecto al valor de g (aceleración de la gravedad)?

3. ¿Qué esperarías si no existiera fricción entre el bloque y la superficie del carril?

6. BIBLIOGRAFÍA

- Pasco Scientific. (1992). *Dynamics cart accessory track set. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9429A*. Roseville, CA: Pasco Scientific.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H. et al. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

FUERZA DE FRICCIÓN

1. OBJETIVOS

- Estudiar la dependencia entre la fuerza de fricción estática máxima y la normal.
- Diferenciar experimentalmente entre la fuerza de fricción estática, estática máxima y dinámica.

2. MARCO TEÓRICO

Cuando dos cuerpos se ponen en contacto aparecen fuerzas de fricción sobre ellos, debido a la rugosidad de las superficies en contacto. Existen fundamentalmente dos fuerzas de fricción: la estática (que se divide a su vez en estática máxima y estática) y la cinética.

La fuerza de fricción estática surge cuando un cuerpo se mantiene en reposo, pese a que una fuerza aplicada diferente a cero actúe sobre él; en este caso, la fuerza

de fricción estática es igual a la fuerza aplicada. La fuerza de fricción estática máxima aparece cuando el cuerpo está sometido a una fuerza externa y el cuerpo está a punto de deslizarse o salir del reposo. En este caso, la fuerza de fricción estática máxima es:

(50)
$$f_{s\text{máx}} = \mu_s N$$

Donde μ_s es el coeficiente de fricción estático y N es la normal sobre el cuerpo.

La fuerza de fricción cinética ocurre cuando los cuerpos se mueven entre sí, y está dada por:

(51)
$$f_k = \mu_k N$$

Donde μ_k es el coeficiente de fricción cinético y N es la normal sobre el cuerpo. La dirección de la fuerza de fricción es contraria a la velocidad que el cuerpo tiene respecto al cual desliza.

3. PREINFORME

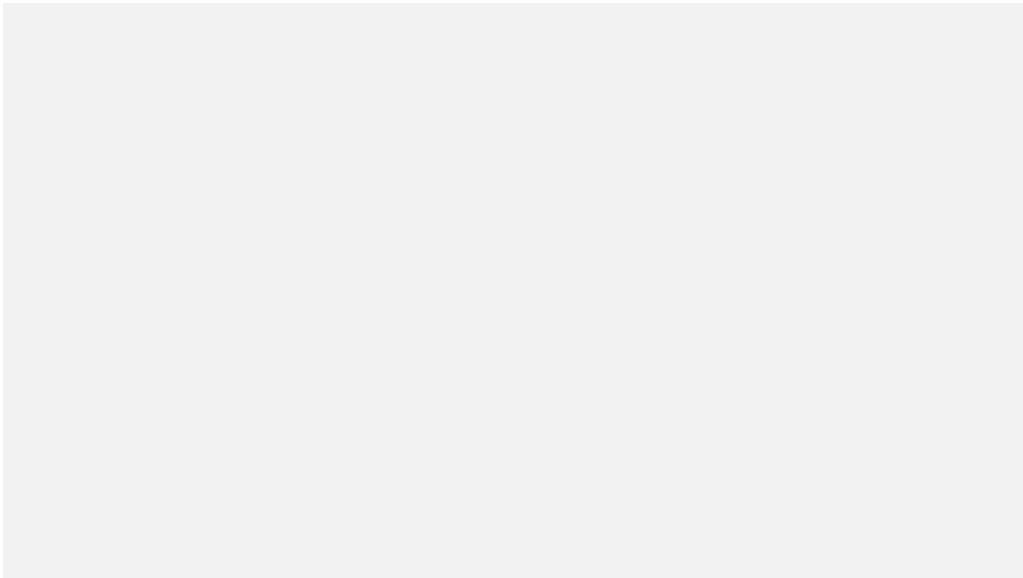
1. De acuerdo con la lectura anterior, ¿por qué las llantas de algunos automóviles tienen un labrado especial?, ¿qué pasaría si no tuviesen tal labrado?

2. Mencione al menos cinco consecuencias de la ausencia de rozamiento entre superficies en la mecánica de un auto. Justifique plenamente.

3. ¿Cómo cambia la teoría si se supone que la fuerza de rozamiento no es proporcional a la normal sino a su cuadrado? ¿Por qué no tendría sentido esta afirmación?

4. Un cuerpo se coloca en reposo sobre un plano inclinado. El ángulo de inclinación se aumenta hasta que comienza a deslizarse. De las ecuaciones anteriores deduzca una relación entre el coeficiente de rozamiento y el ángulo de inclinación del plano inclinado.

5. Según la relación encontrada en el punto anterior, realice la gráfica F_r contra θ .



4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL
Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Bloque con diversas caras
- Juego de pesas
- Dinamómetro de 1 N, 2 N y 5 N

4.2 PROCEDIMIENTO

Coloque el bloque por una de sus caras sobre la mesa y con el dinamómetro tire horizontalmente de él hasta que se deslice; en ese instante observe la lectura del dinamómetro: esa es la fuerza de fricción estática máxima. Complete las tablas 22, 23 y 24, consignando el nombre del material, la masa medida, la normal encontrada y la fuerza de fricción estática máxima observada en el dinamómetro.

Material: _____

Tabla 22. Datos experimentales de la fuerza de fricción estática máxima											
Masa											
Normal											
f _{smáx}											

Material: _____

Tabla 23. Datos experimentales de la fuerza de fricción estática máxima											
Masa											
Normal											
$f_{sm\acute{a}x}$											

Material: _____

Tabla 24. Datos experimentales de la fuerza de fricción estática máxima											
Masa											
Normal											
$f_{sm\acute{a}x}$											

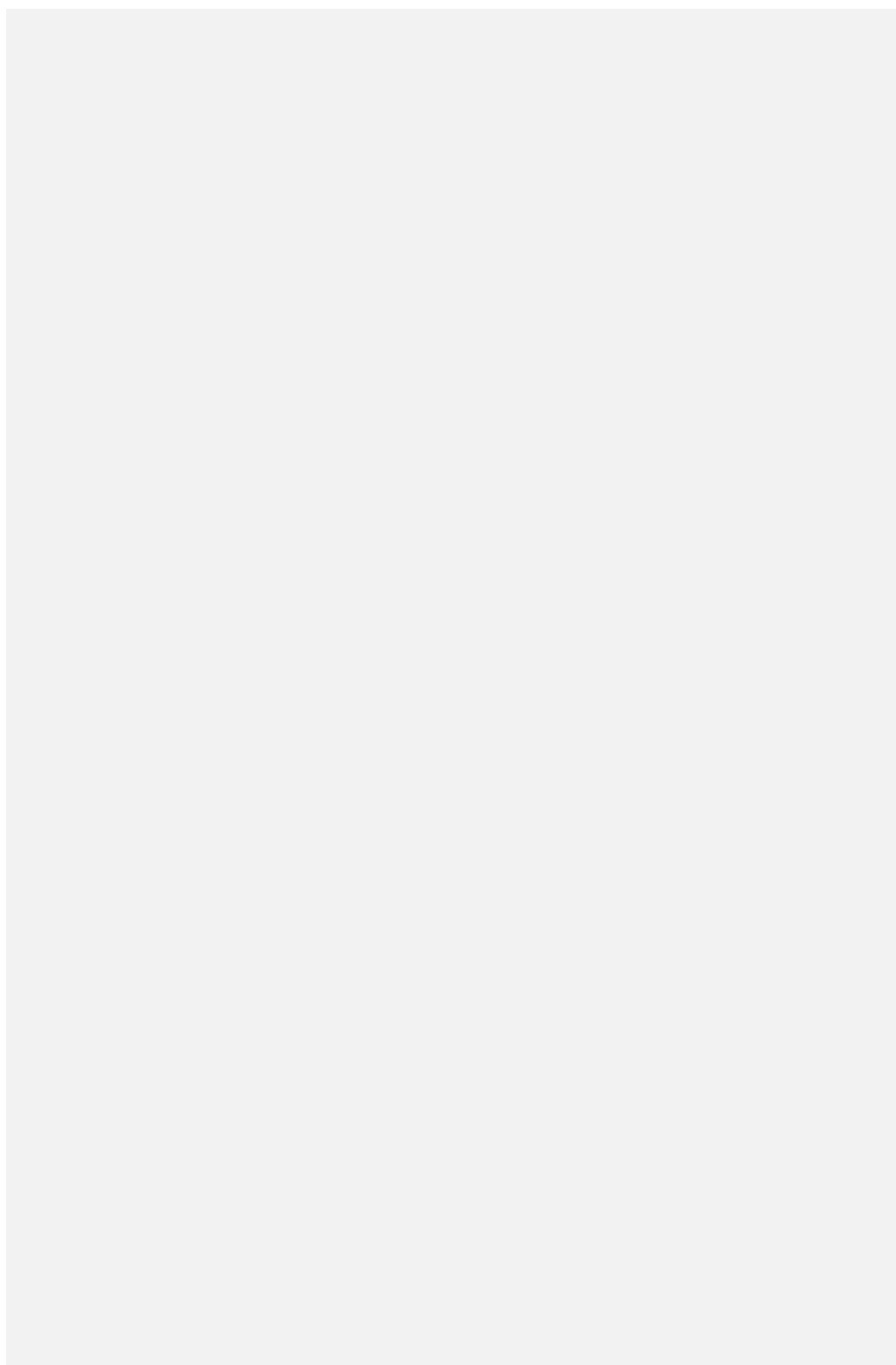
Ahora tome un bloque por una cara, h  lo horizontalmente con el dinamómetro hasta que se deslice y manténgalo deslizando con rapidez constante. Observe el registro del dinamómetro; esta es la fuerza de fricción cinética. Complete la tabla 25.

Material: _____

Tabla 25. Datos experimentales de la fuerza de fricción cinética											
Masa											
Normal											
$f_{sm\acute{a}x}$											

4.3 ANÁLISIS DE DATOS

Con los datos conseguidos en las tablas 22, 23 y 24 forme gráficas de fuerzas de fricción contra la normal. Halle la pendiente,   qu   significado físico tiene?



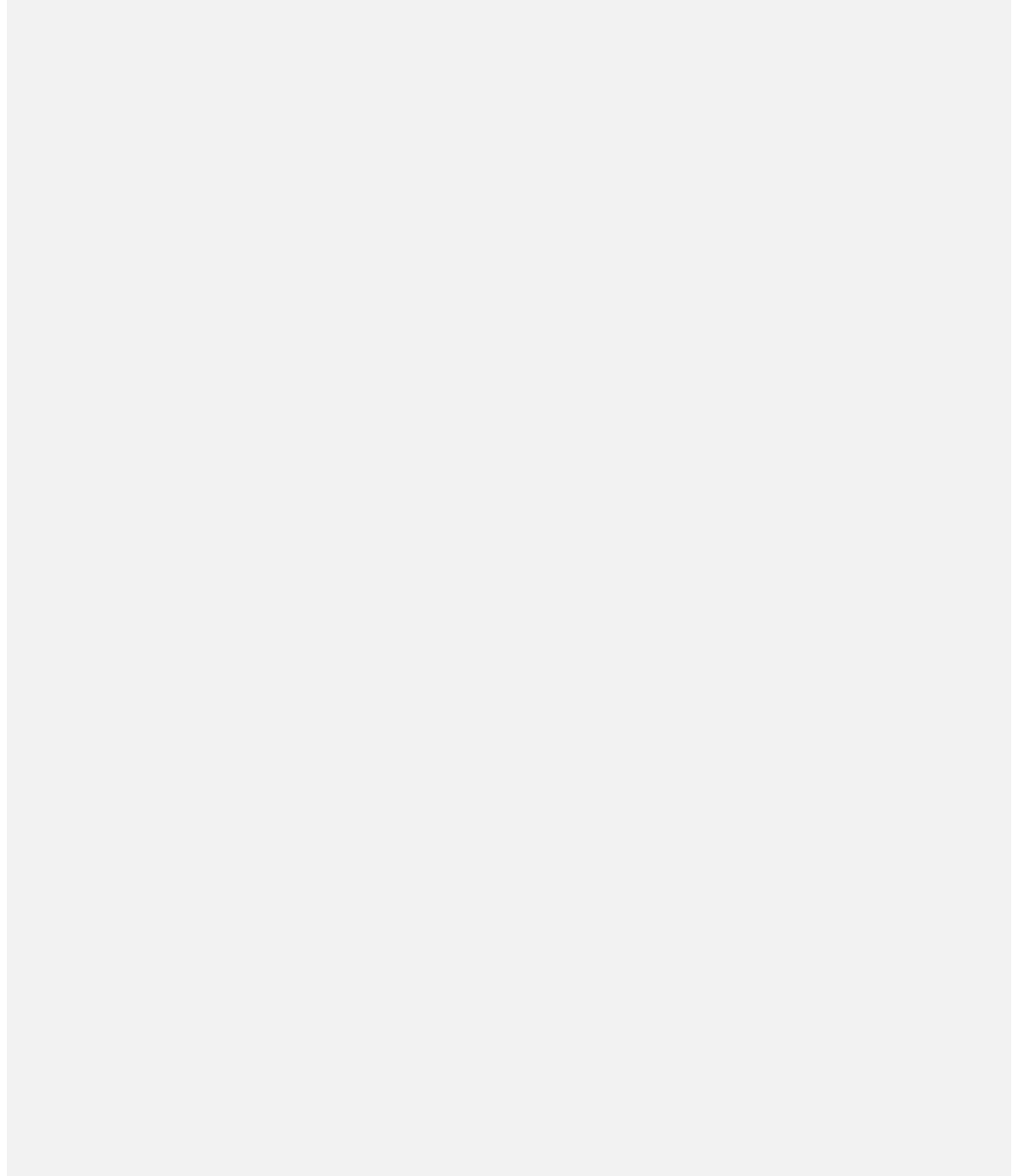
5. ACTIVIDADES

1. En un día soleado, Juan se encuentra dentro de su automóvil, en una rampa. El auto está completamente frenado y sus llantas se encuentran totalmente bloqueadas. Juan decide bajarse y observa desconcertado que el auto se desliza rampa abajo. Explique la razón física de lo ocurrido.

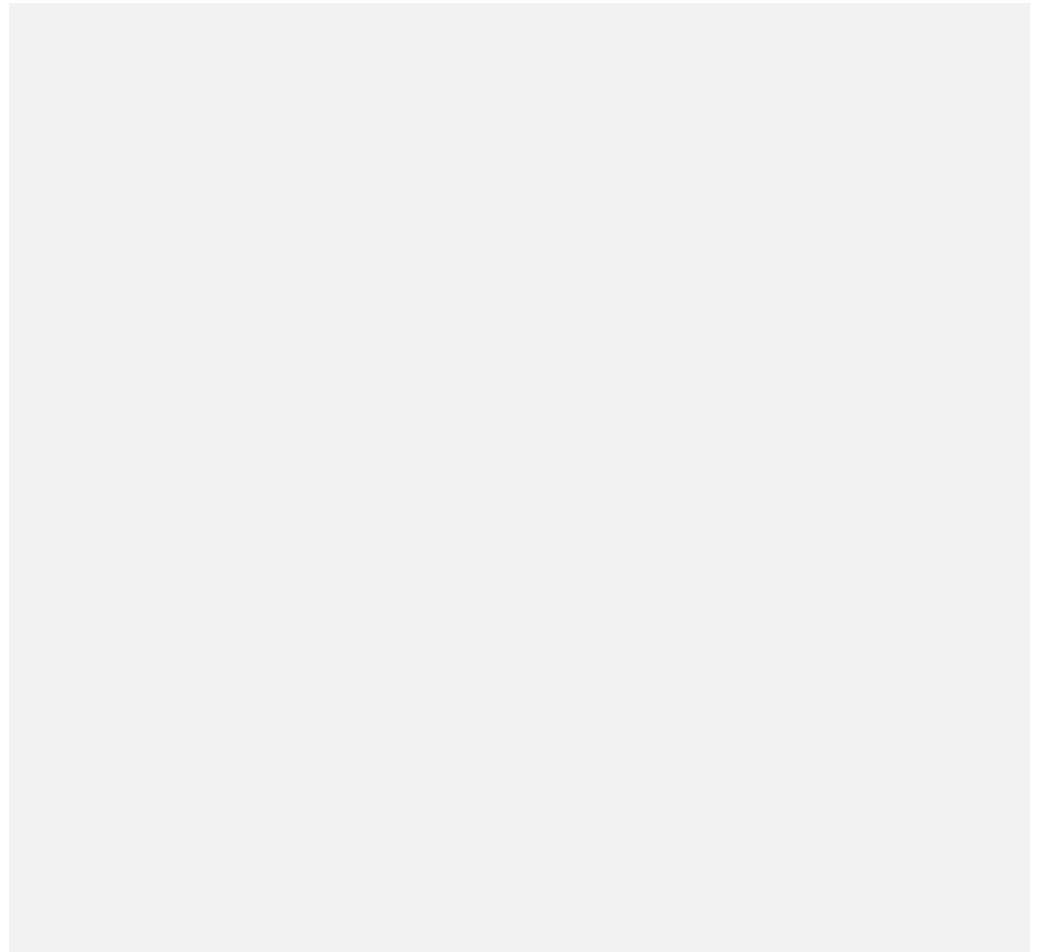
2. Juan sube de nuevo a su auto y lo deja en la misma posición; unos minutos después el clima cambia y el día soleado se convierte en una tarde lluviosa. Cuando una llovizna prolongada cae, el auto de Juan se desliza nuevamente. Explique lo sucedido.

3. Imagine que se encuentra caminando sobre un piso enjabonado. Explique qué sucedería si quisiera incrementar su rapidez.

4. Se pretende hacer deslizar un bloque de cobre sobre una lámina de acero. Si el bloque tiene una masa de 5 kg y la lámina está puesta de forma horizontal sobre el piso, calcular:
- a) La fuerza necesaria para poner el bloque en movimiento.
 - b) La fuerza necesaria para llevarlo con una rapidez de 3 m/s.
 - c) Nuevamente responda las preguntas a y b duplicando la masa del bloque.



5. Explique bajo qué condiciones puede un cuerpo estar en un plano inclinado que forme 90° con la horizontal y no deslizarse. Haga un diagrama de cuerpo libre de un objeto con imán pegado en la nevera.



6. BIBLIOGRAFÍA

Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I, 7ª. ed.). México: Cengage Learning.

Fishbane, P (1994). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. 1). México: Prentice-Hall.

Sears, F, Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

FUERZA ELÁSTICA

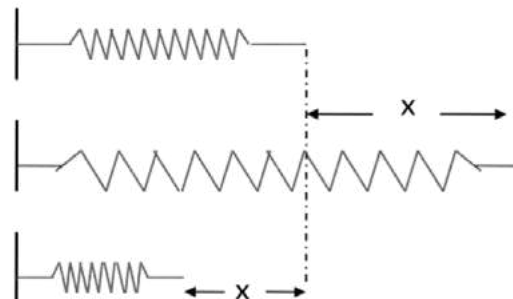
1. OBJETIVOS

- Demostrar experimentalmente que la relación entre la fuerza elástica y la elongación es directamente proporcional, con una constante de proporcionalidad igual a la constante de elasticidad.
- Verificar las relaciones para resortes en serie y para resortes en paralelo.

2. MARCO TEÓRICO

La fuerza F necesaria para mantener un resorte estirado o comprimido una distancia X a partir de su longitud natural es proporcional a dicha distancia, como se muestra en la figura 19.

Figura 19.
Fuerza elástica



La fuerza que realiza la mano o el agente externo sobre el resorte es igual a la que el resorte hace sobre la mano, de manera que la magnitud de la fuerza que ejerce un resorte sobre un agente externo para comprimirlo o estirarlo una distancia x es proporcional a esta distancia, y recibe el nombre de fuerza elástica. De acuerdo con lo anterior, la magnitud de la fuerza elástica está dada por:

$$(52) \quad F = Kx$$

Donde K es una constante que caracteriza cada resorte. Sus unidades en el sistema internacional son N/m .

2.1 RESORTES EN SERIE Y EN PARALELO

Dos o más resortes pueden configurarse en serie o en paralelo, como muestra la figura 20:

Figura 20.
Resorte en serie (a)
y paralelo (b)



Puede demostrarse que dos o más resortes con constantes de elasticidad K_1 , K_2 , $K_3 \dots K_n$, que se encuentran en paralelo, se pueden reemplazar por un único resorte de constante de elasticidad K_{eq} , dada por:

$$(53) \quad K_{eq} = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n$$

Asimismo, si dos o más resortes se encuentran configurados en serie, se pueden reemplazar por un único resorte cuya constante de elasticidad sea K_{eq} , dada por

(54)

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots + \frac{1}{K_n}$$

3. PREINFORME

1. Para estirar un resorte 4 cm se requiere una fuerza de 0,3 N. ¿Qué fuerza se requiere para comprimirlo 8 cm? Explique su respuesta.

2. Un resorte requiere 18 N para ser estirado 4 cm. ¿Cuál es su constante de elasticidad en el Sistema Internacional de Unidades?

- Un resorte tiene una constante de elasticidad de 2 N/cm. Si se estira de medio centímetro en medio centímetro, ¿cuál será la magnitud de la fuerza en cada caso? Consigne los valores en la tabla 26 y realice su gráfica en papel milimetrado (anexar la gráfica en el preinforme).

Tabla 26. Fuerza elástica										
$x(\text{cm})$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$F(\text{N})$										

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

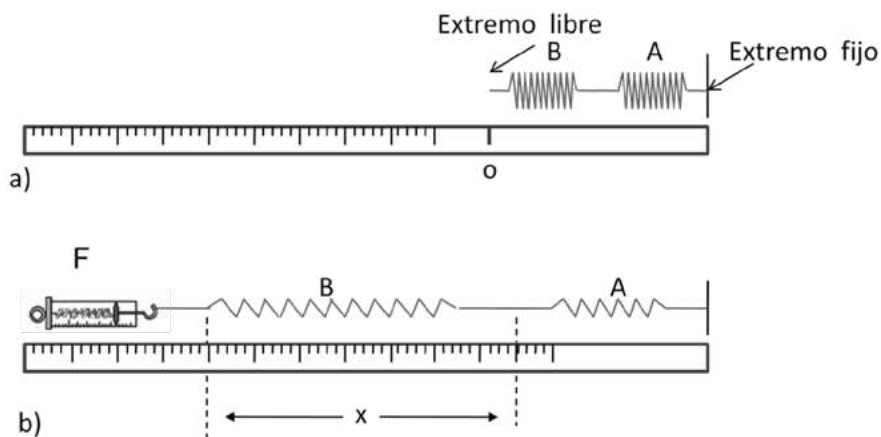
4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Soporte universal
- Regla
- Juego de pesas
- Cuatro resortes de igual longitud

4.2 MEDIDA DE LA CONSTANTE ELÁSTICA DE UN RESORTE A

- Sobre una mesa horizontal fije el resorte y marque como punto cero el extremo libre; luego tome un dinamómetro apropiado, únalo al extremo libre y estire el resorte.

Figura 21.
Configuración inicial en serie (a),
medida de la fuerza elástica (b)



2. Complete la tabla 27, fuerza elástica contra deformación del resorte, tomando diez distancias.

Tabla 27. Fuerza elástica contra elongación del resorte A										
x(cm)										
F(N)										

Grafique los datos obtenidos de la tabla 27 en hoja milimetrada logarítmica o en Excel, y halle la pendiente de la recta. ¿Qué significa físicamente esta pendiente?

3. Realice un procedimiento similar con el resorte B y complete la tabla 28.

Tabla 28. Fuerza elástica contra elongación del resorte B										
x(cm)										
F(N)										

4. Tome dos resortes A y B en paralelo, como muestra la figura 22, y complete la tabla 29.

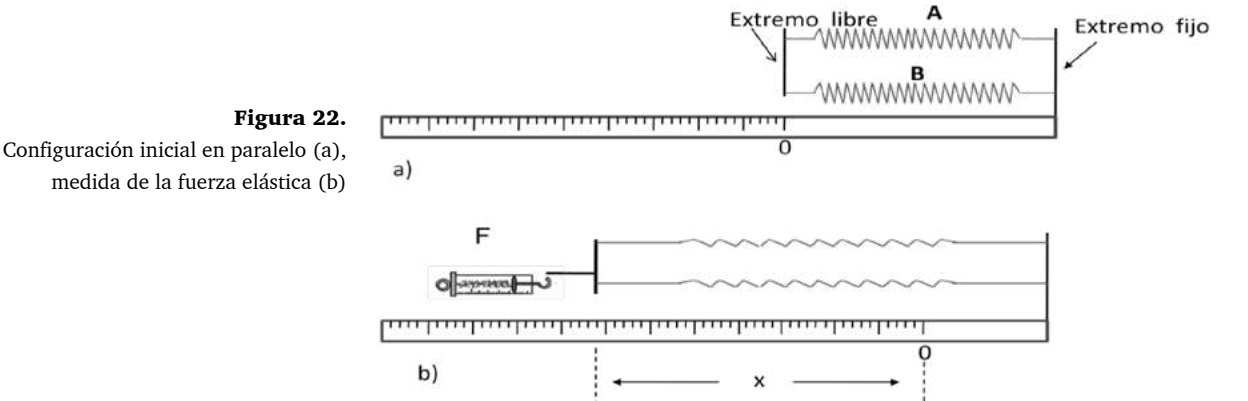


Tabla 29. Fuerza elástica contra elongación para los resortes A y B en paralelo										
x(cm)										
F(N)										

Grafique los resultados consignados en la tabla 29 y halle la constante de elasticidad del sistema.

5. Tome los resortes A y B, ahora en paralelo, como muestra la figura 21, y complete la tabla 30.

Tabla 30. Fuerza elástica contra elongación para los resortes A y B en serie										
x(cm)										
F(N)										

- a) Grafique los resultados de los datos consignados en la tabla 30 y halle la constante de elasticidad del sistema.
- b) ¿Se cumplen las ecuaciones (53) y (54)? A partir de medidas directas de las constantes de elasticidad de los resortes A y B (tablas 26 y 27) calcule lo que se debe esperar mediante la aplicación directa de las ecuaciones (53) y (54) (denótelas como K_{serie} y $K_{paralelo}$).
- c) Ahora denote con K_{serie1} y $K_{paralelo2}$ los resultados obtenidos mediante el análisis gráfico de las tablas 26 y 27. Calcule los errores porcentuales.

(55)

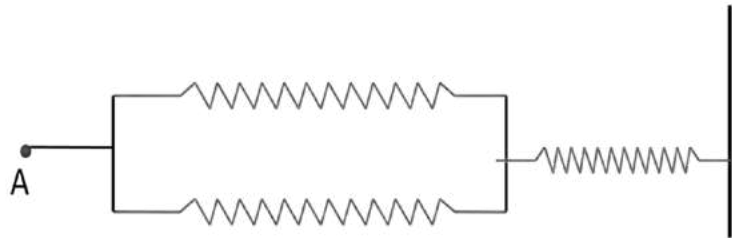
$$\epsilon_s = \frac{|K_{serie} - K_{serie1}|}{K_{serie}} \times 100\%$$

(56)

$$\epsilon_p = \frac{|K_{paralelo} - K_{paralelo1}|}{K_{paralelo}} \times 100\%$$

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

- Figura 23.**
Combinación
de resortes



Todos los resortes tienen una constante elástica de 4 N/cm:

2. Estime la constante de elasticidad de cada uno de los siguientes resortes:

- a) El resorte de un lapicero.
- b) El resorte de amortiguador de un automóvil.
- c) El resorte de amortiguador de una bicicleta.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Fishbane, P. (1994). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I). México: Prentice Hall.
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.
- Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I, 7ª. ed.). México: Cengage Learning.
- Talero, P. (2009). *Experimentos virtuales de física: mecánica*. Bogotá: Editorial Universidad Central.
- Talero P., Organista, J. O., Barbosa, L. H., & Rojas, G. (2011). *Física activa: las leyes del movimiento* (vol. I). Bogotá: Editorial Universidad Central.

FUERZA DE EMPUJE

1. OBJETIVO

Comprender que la fuerza de empuje depende exclusivamente de la densidad del fluido y del volumen del cuerpo sumergido, mas no del material del cuerpo ni de su peso.

2. MARCO TEÓRICO

Cuando un cuerpo se sumerge de forma total o parcial en un fluido, experimenta una fuerza llamada de empuje o flotación, y es igual al peso del fluido (líquido o gas) desalojado por tal cuerpo. Como ilustración considere un vaso lleno por completo con agua; si en él se sumerge una esferilla, cierta cantidad de agua se vuelca sobre la mesa. El peso del agua vertida es igual a la fuerza hacia arriba que ejerce el agua en el vaso sobre el cuerpo sumergido. Es posible encontrar la fuerza de empuje si se entiende que el peso w del fluido desalojado es el producto de su masa m_f por la aceleración g . Así se tiene:

(57)

$$w = m_f g$$

Por otro lado, la densidad del medio ρ_m es la masa por unidad de volumen, luego:

$$(58) \quad \rho_m = \frac{m_f}{V_{cs}}$$

Donde V_{cs} es el volumen del cuerpo sumergido, que es igual al volumen del fluido desalojado. Al despejar m_f de la ecuación (58) y reemplazarla en la ecuación (57), se encuentra que la fuerza de empuje F es:

$$(59) \quad F = \rho_m V_{cs} g$$

Esto es densidad del fluido multiplicada por el volumen del cuerpo sumergido, y multiplicada por la aceleración de la gravedad.

3. PREINFORME

1. Un barco está hecho de metal, y el metal es más denso que el agua. ¿Por qué el barco no se hunde?

2. ¿Cómo controla su inmersión y su flotación un submarino?

3. Es un hecho experimental que cuando un cuerpo se calienta se dilata, es decir, su volumen aumenta. Use este hecho y sus conocimientos de mecánica para explicar por qué se eleva un globo.

4. Los peces cambian el volumen de su cuerpo para desplazarse verticalmente. Explique físicamente cómo es posible esto. Un pequeño cambio en el volumen, ¿qué cambio produce en la fuerza de empuje?, ¿cuando el pez cambia su forma cambia su peso?

5. Tome un vaso con agua y papel aluminio; comprima el papel sobre sí mismo y luego póngalo en el agua, ¿qué pasa?; si ahora hace un barco con el papel, ¿qué sucede? Explique lo ocurrido.

6. ¿Qué resulta más fácil de hundir en una piscina: una pelota de tenis o un balón de voleibol? Explique la razón física.

7. Un viejo barco yace hundido en el fondo del mar. ¿Qué fuerzas actúan sobre el barco?

8. ¿Por qué al abrir un orificio en el fondo de un bote este se hunde?

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Dinamómetros de 1 N, 2 N y 5 N (figura 24)
- Kit de densidad
- Flexómetro
- Soporte universal
- Esferas de diferente radio, peso y volumen
- Probeta plástica
- Aceite

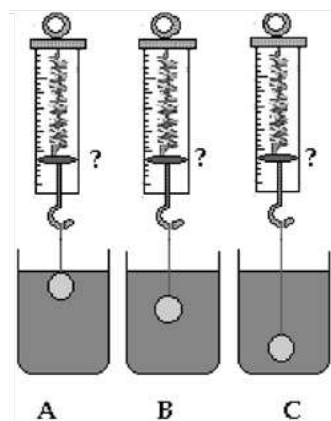
Figura 24.
Dinamómetro



4.2 ¿QUÉ ES LA FUERZA DE EMPUJE?

El peso de los cuerpos. Cuando un cuerpo cuelga de un dinamómetro y el sistema se encuentra en reposo, el dinamómetro registra el peso del cuerpo (figura 24).

Figura 25.
Medida del peso
de los cuerpos



Cuando el cuerpo se sumerge en un recipiente con agua hasta la profundidad A, B o C, ¿la lectura del dinamómetro aumenta, disminuye o permanece igual?

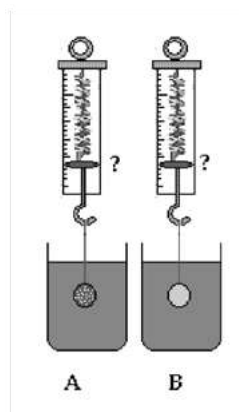
1. Dé una posible solución y argúmentela.

2. Después de observar el experimento, discuta la razón física de lo ocurrido y concluya.

4.3 CUERPOS DE IGUAL VOLUMEN Y DIFERENTE PESO

Dos cuerpos de diferente peso pero igual volumen se van a sumergir en un recipiente con agua (figura 26).

Figura 26.
Comparación del peso
de los cuerpos A y B



Cuando están sumergidos, ¿cuáles son los cambios registrados en cada dinamómetro?

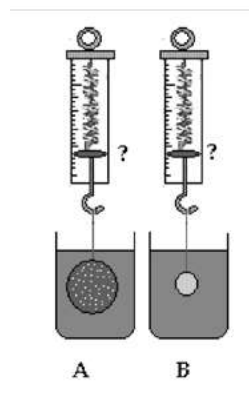
1. Dé una explicación y argúmentela.

2. Después de observar el experimento, discuta la razón física de lo ocurrido y concluya.

4.4 DOS CUERPOS DE DIFERENTE VOLUMEN Y MISMO PESO

Dos cuerpos de diferente volumen y mismo peso van a ser sumergidos en agua (figura 27).

Figura 27.
Comparación de las fuerzas de empuje sobre los cuerpos A y B



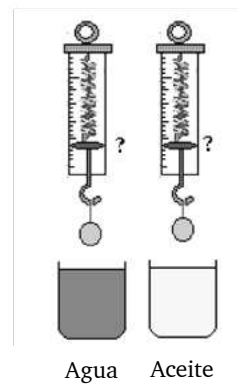
1. ¿Qué cree que ocurrirá? Dé una explicación y argumentela.

2. Después de observar el experimento, discuta la razón física de lo ocurrido y concluya.

4.5 FUERZA DE EMPUJE PARA MEDIOS DIFERENTES

Dos esferas idénticas se dejan sumergir completamente, una en agua y la otra en aceite (figura 28).

Figura 28.
Comparación de la fuerza de empuje en medios diferentes



¿En qué dinamómetro se registrará mayor cambio?

1. Dé una explicación y arguméntela.

2. Después de observar el experimento, discuta la razón física de lo ocurrido y concluya.

4.6 ¿CÓMO DEPENDE LA FUERZA DE EMPUJE DEL VOLUMEN SUMERGIDO?

1. Tome un cuerpo cilíndrico, mida su peso en el aire y sumérjalo paulatinamente, colgando del dinamómetro, en un recipiente con agua mientras observa la lectura del dinamómetro (figura 29). Grafique la profundidad contra la fuerza que registra el dinamómetro y complete la tabla 31.

Figura 29.
Variación de la fuerza de empuje con la profundidad

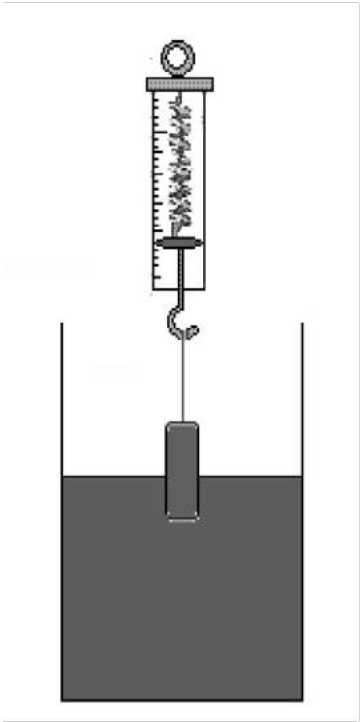
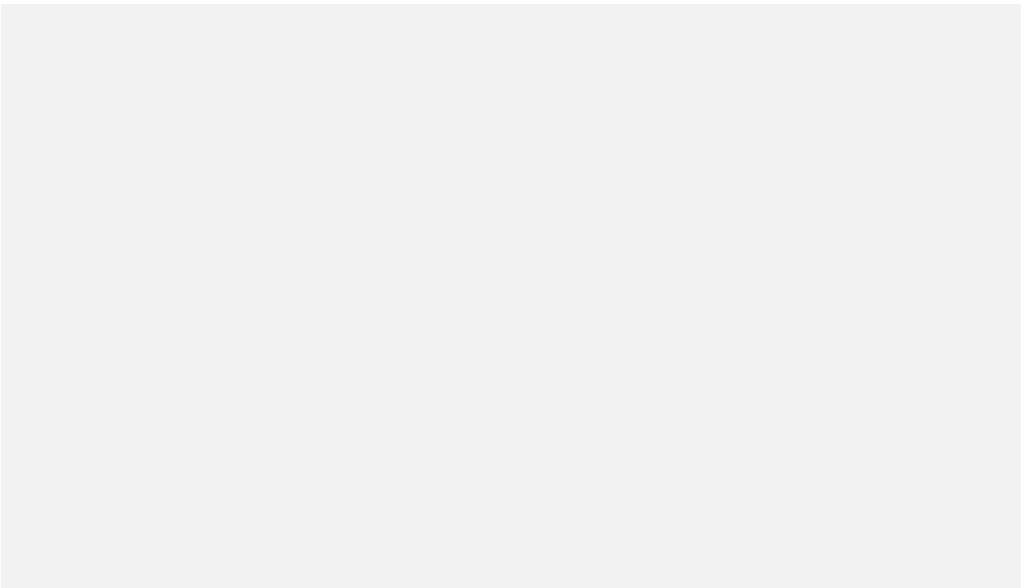


Tabla 31. Fuerza de empuje contra profundidad	
Profundidad en centímetros	Fuerza que registra el dinamómetro en Newton

- Realice un diagrama de cuerpo libre que muestre las fuerzas que actúan sobre un cilindro cuando está algo sumergido.



3. Complete la tabla 32, de fuerza de empuje contra profundidad. Con base en esta tabla realice la gráfica de fuerza de flotación como función de la profundidad.

Tabla 32. Cambio de la fuerza de empuje contra profundidad	
Profundidad	Fuerza de empuje

a) ¿Qué significado físico tiene la pendiente de esta recta?

b) ¿Qué significado físico tiene el punto de corte?

5. ACTIVIDADES

1. Un bloque cúbico de masa desconocida M flota en reposo sobre agua en calma. Si el cubo tiene una arista de 4 cm y se hunde la mitad:
 - a) Calcule el volumen de agua desplazada por el bloque.
 - b) Calcule la masa del volumen de agua desplazado.
 - c) Calcule el peso del agua desplazada.
 - d) ¿Cuánto vale la fuerza de empuje?
 - e) ¿Cuáles son las fuerzas sobre el bloque?
 - f) Si está en equilibrio, ¿cómo son estas fuerzas?

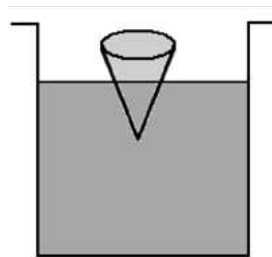
g) ¿Cuál es el peso del bloque?

h) ¿Cuál es la masa del bloque?

No olvidar que la densidad del agua es 1000 kg/m^3 y que la magnitud de la aceleración de la gravedad es 10 m/s^2 .

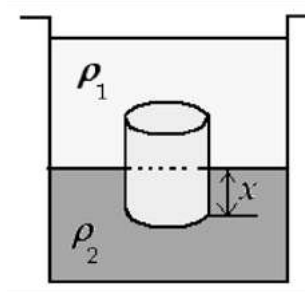
2. Un bloque cúbico de masa 200 g flota en reposo sobre agua en calma. Si el cubo tiene una arista de 4 cm y se hunde la mitad, calcule la fuerza de empuje sobre el bloque.
3. Un avión cayó en una isla y quedaron diez sobrevivientes. Para escapar de la isla, los náufragos construyeron un bote con una semiesfera de radio 5 m . Si cada hombre “pesa” alrededor de 70 kg , ¿se hundirá el bote?
4. Se sumerge un cono de radio R y altura h en un líquido de densidad ρ . Encuentre una expresión de fuerza de empuje como función de la profundidad de la punta del cono (figura 30).

Figura 30.
Fuerza de empuje
sobre un cono



5. Un cilindro de densidad ρ_c , altura h y radio R se sumerge en un recipiente que contiene dos medidas con densidad ρ_1 y ρ_2 (figura 31).

Figura 31.
Fuerza de empuje
debida a dos medios



Calcule la fuerza de empuje cuando el cilindro está sumergido una distancia x en el medio más denso.

- a) ¿Cuál es la fuerza de empuje?
- b) Grafique la fuerza de empuje contra la profundidad del cilindro; suponga que el recipiente es lo suficientemente largo.
- c) Verifique su expresión para el caso particular en que las densidades son iguales.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M., & Finn, E. J. (1967a). *Física* (vol. I, Mecánica). Bogotá: Fondo Educativo Interamericano-Addison Wesley, Reading, Mass.

Alonso, M., & Finn, E. J. (1967b). *Física* (vol. II, Campos y ondas). Bogotá: Fondo Educativo Interamericano-Addison Wesley, Reading, Mass.

Fishbane, P (1994). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. 1). México: Prentice Hall.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1993). *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería* (4ª. ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Sears, F, Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. 1, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. 1, 7ª. ed.). México: Cengage Learning.

Talero, P. (2009). *Experimentos virtuales de física: mecánica*. Bogotá: Editorial Universidad Central.

Talero P, Organista, J. O., Barbosa L. H., & Rojas, G. (2011). *Física activa: las leyes del movimiento*. Bogotá: Editorial Universidad Central.

MOVIMIENTO CIRCULAR

1. OBJETIVOS

- Estudiar las variables cinemáticas asociadas al movimiento circular.
- Encontrar la relación entre el radio de giro y la velocidad tangencial de un cuerpo durante un movimiento circular.
- Hallar la relación entre la fuerza centrípeta y la velocidad tangencial.

2. MARCO TEÓRICO

Un cuerpo que se mueve en una trayectoria circular experimenta un tipo de aceleración, denominada centrípeta. Esta aceleración va dirigida hacia el centro de la circunferencia y es la responsable de cambiar la dirección de la velocidad del cuerpo. Depende de la magnitud de la velocidad del cuerpo (v) y de su radio de giro (r) de la siguiente forma:

(60)

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

Para producir esta aceleración es necesario que la fuerza neta que actúa sobre el objeto tenga una componente que siempre sea perpendicular a su velocidad; se conoce como fuerza centrípeta y es la que ocasiona que el cuerpo experimente este tipo de movimiento. Si se aplica la segunda ley de Newton en la dirección radial del movimiento, se puede ver que

(61)

$$F_c = ma_c = \frac{mv^2}{r}$$

Esto significa que se requiere más fuerza centrípeta para producir una trayectoria circular en un cuerpo mientras mayores sean su masa y su velocidad; pero a medida que crece el radio de la trayectoria, la fuerza requerida es menor.

3. PREINFORME

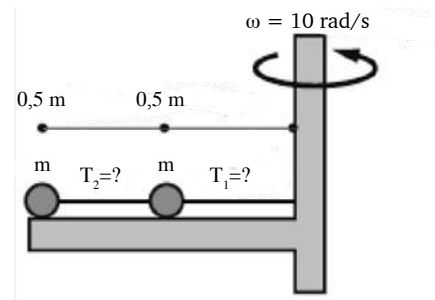
1. Deduzca, a partir de la ecuación (61), una ecuación que relacione la fuerza centrípeta que actúa sobre un cuerpo con su período de rotación.

2. ¿Por qué se dice que la fuerza centrífuga es una fuerza ficticia?

3. Uno de los objetivos de la práctica es encontrar la relación entre el radio de giro de un cuerpo y su velocidad tangencial. ¿Cómo espera usted que sea la gráfica que relaciona estas variables cuando se mantienen fijas su masa y la fuerza centrípeta que actúa sobre él?

4. Dos esferas de 1 kg cada una están unidas por una cuerda de 0,5 m de longitud, y una de ellas mediante otra cuerda de 0,5 m está unida a un eje vertical que gira con velocidad angular constante de 10 rad/s (figura 32). Calcular las tensiones que soporta cada cuerda cuando las esferas giran en un plano horizontal liso.

Figura 32.
Esquema del
problema 4



4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Accesorios para fuerza centrípeta
- Plataforma giratoria
- Motor

- Set de masas y portapesas
- Balanza
- Cronómetro

4.2 RELACIÓN ENTRE EL RADIO DE GIRO Y LA VELOCIDAD TANGENCIAL

Realice el montaje mostrado en las figuras 33, 34 y 35. En esta parte de la práctica se mantienen constantes la masa del objeto (m_1) y la fuerza centrípeta. El objeto colgado en el poste lateral se une por medio del hilo al resorte que está en el poste central.

A continuación, fije la polea con la abrazadera a la plataforma giratoria por el borde próximo al objeto colgante. Ate un hilo al objeto colgante y suspenda un cuerpo de masa conocida al otro extremo del hilo que pasa a través de la polea con abrazadera. Consigne el valor de esta masa (m_2) en la tabla 33. El peso de este cuerpo es igual a la fuerza centrípeta que sentirá el cuerpo colgante cuando se le haga rotar. Seleccione una distancia r para la alineación del poste lateral y anote este valor en la tabla 33.

El objeto colocado en el soporte lateral debe colgar verticalmente. En el poste central ajuste el soporte del resorte verticalmente, hasta que la cuerda de la cual está colgado el objeto en el poste lateral quede alineada con la línea vertical de tal poste. Posteriormente, alinee el soporte indicador ubicado en el poste central con el indicador naranja.

Figura 33.
Ensamble de los postes
central y lateral

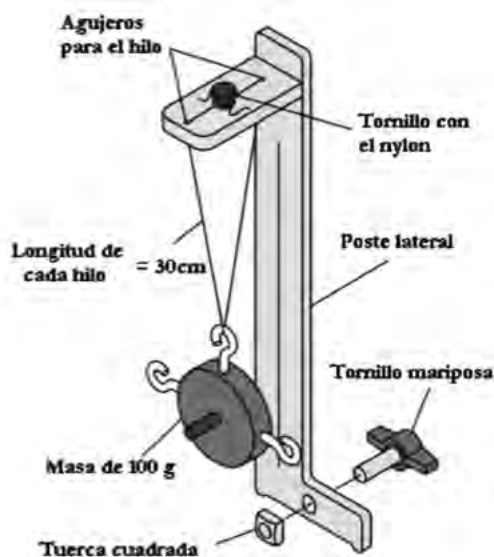
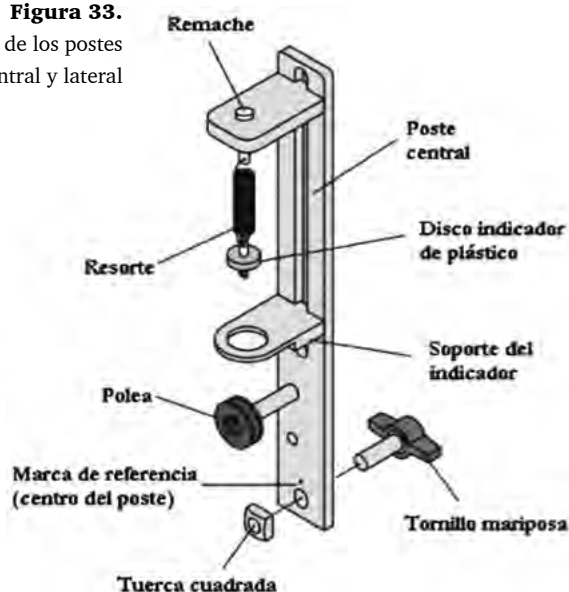


Figura 34.
Ensamble de los postes en
la plataforma rotatoria

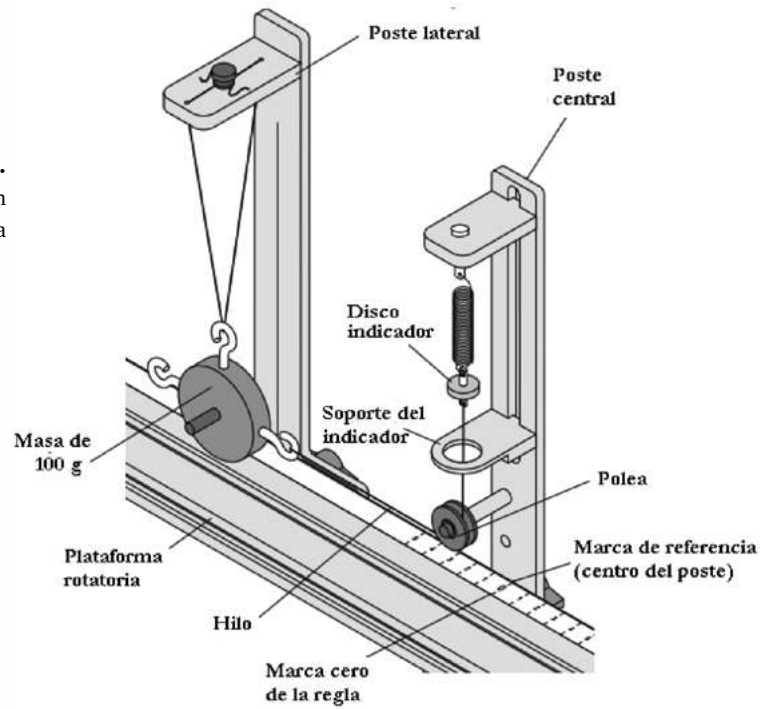
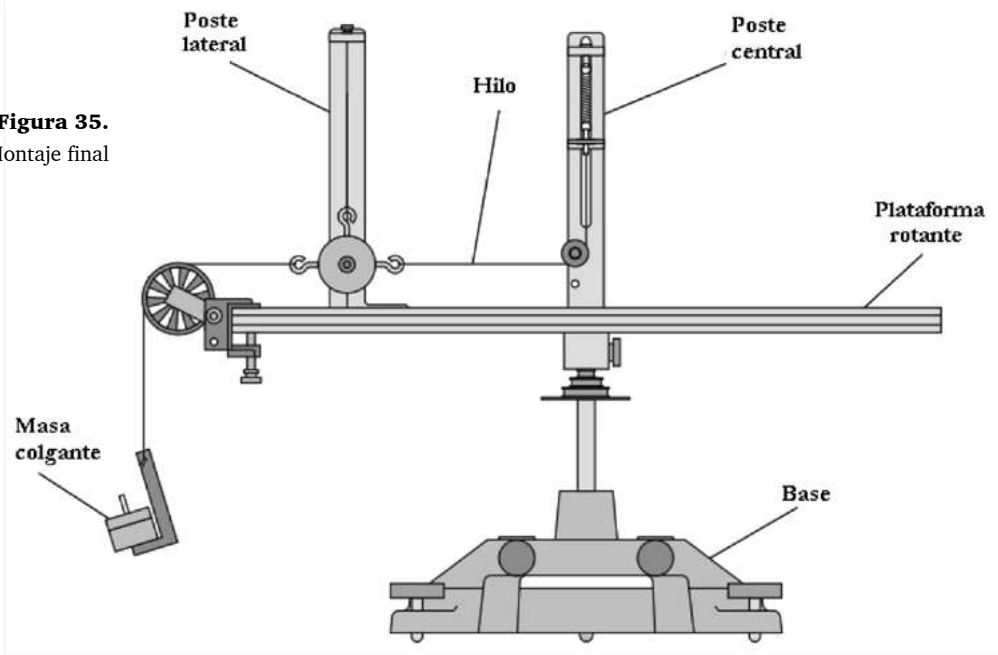


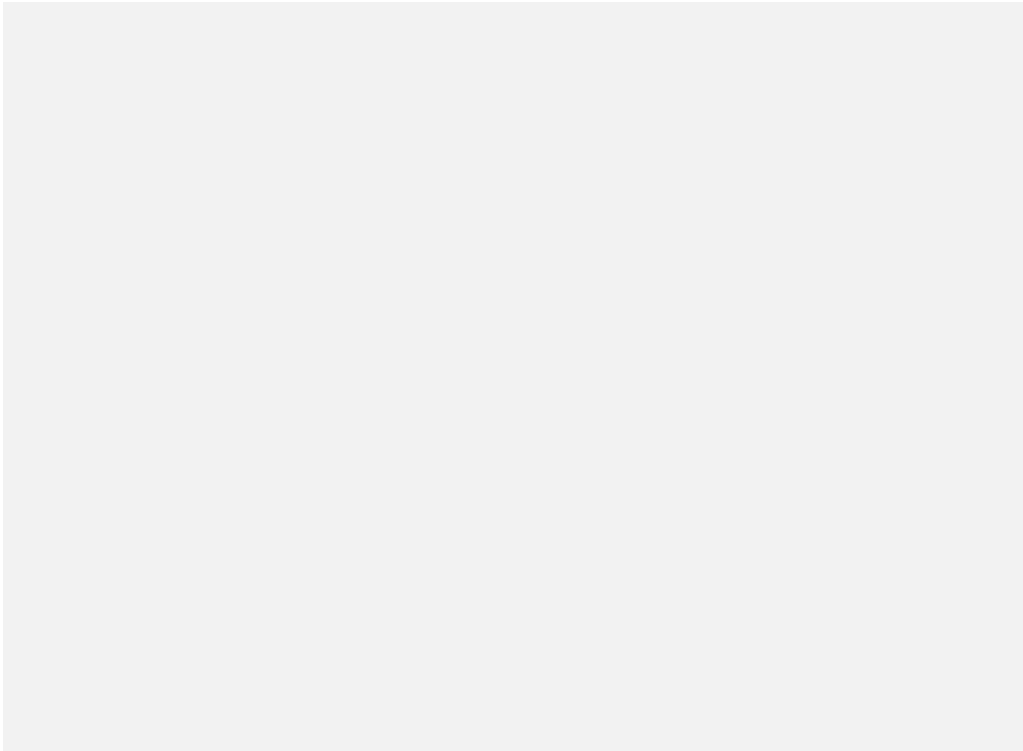
Figura 35.
Montaje final



Ahora retire la polea con abrazadera con el cuerpo suspendido en ella. Haga girar la plataforma, incrementando la velocidad hasta que el indicador naranja esté centrado. Ahora mida el período de giro y la velocidad tangencial, y consígnelos en la tabla 33. Repita este procedimiento para diferentes radios, cambiando la posición del poste lateral.

Tabla 33. Relación entre el radio de la trayectoria y la velocidad tangencial					
Masa del objeto en rotación (m_1)	Masa del objeto colgante (m_2)	Fuerza centrípeta	$r(m)$	$T(s)$	$V(m/s)$

Realice la gráfica del radio de giro en función de la velocidad tangencial y encuentre la ecuación que relaciona estas variables. Analice estos resultados con los esperados a la luz de la teoría.

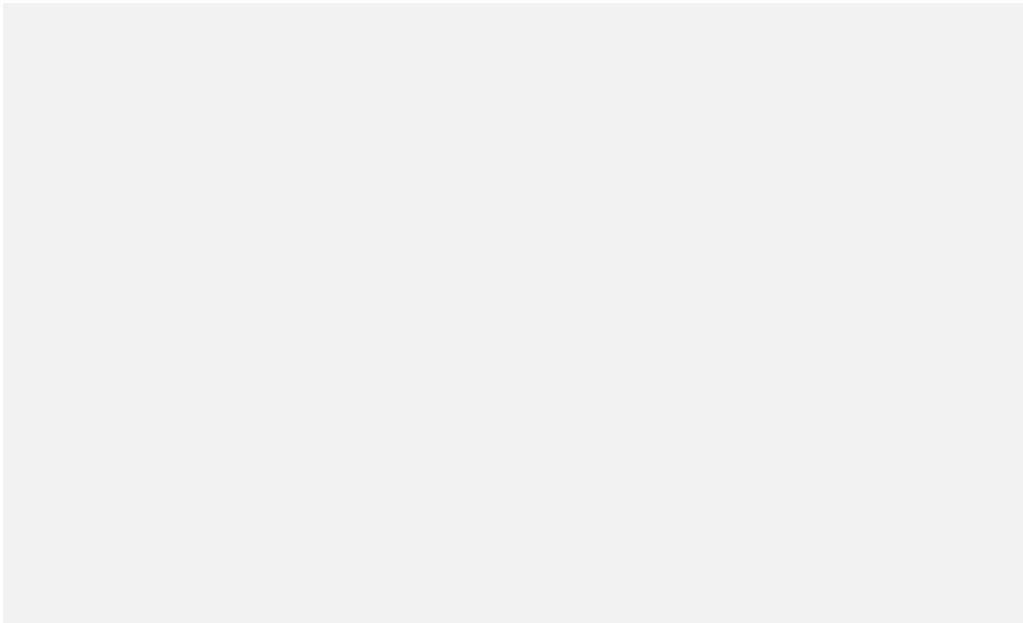


4.3 RELACIÓN ENTRE LA FUERZA CENTRÍPETA
Y LA VELOCIDAD TANGENCIAL

Fije los valores de m_1 y el radio de giro. Haga girar la plataforma incrementando la velocidad hasta que el indicador naranja esté alineado con el soporte del indicador. En ese momento se puede decir que la fuerza centrípeta es igual al peso del objeto suspendido de masa m_2 . Mida el período y la velocidad tangencial del cuerpo y consígnelos en la tabla 34. Repita el procedimiento anterior cambiando m_2 , con el fin de variar la fuerza centrípeta. Utilice cinco masas diferentes.

Tabla 34. Relación entre la fuerza centrípeta y la velocidad tangencial					
Masa del objeto en rotación (m_1)	Masa del objeto colgante (m_2)	Fuerza centrípeta	$r(m)$	$T(s)$	$V(m/s)$

Realice la gráfica de la fuerza centrípeta en función de la velocidad tangencial y encuentre la ecuación que relaciona estas variables. ¿Son sus resultados consecuentes con los esperados según la teoría?

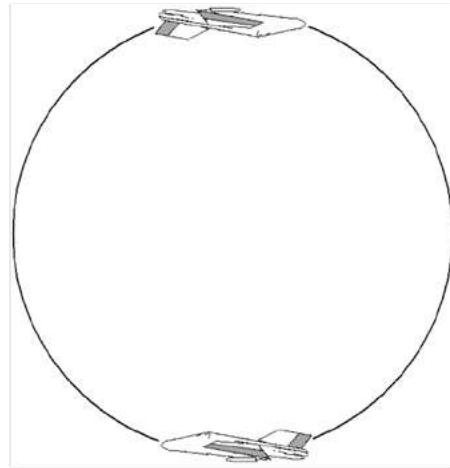


5. ACTIVIDADES

1. Un ingeniero desea diseñar una rampa de salida curva para un camino de peaje, de manera tal que un auto no tenga que depender de la fricción para librar la curva sin patinar. Suponga que un auto ordinario recorre la curva con una velocidad de $13,4 \text{ m/s}$ y el radio de la curva es 50 m . ¿Con qué ángulo debe peraltarse la curva?

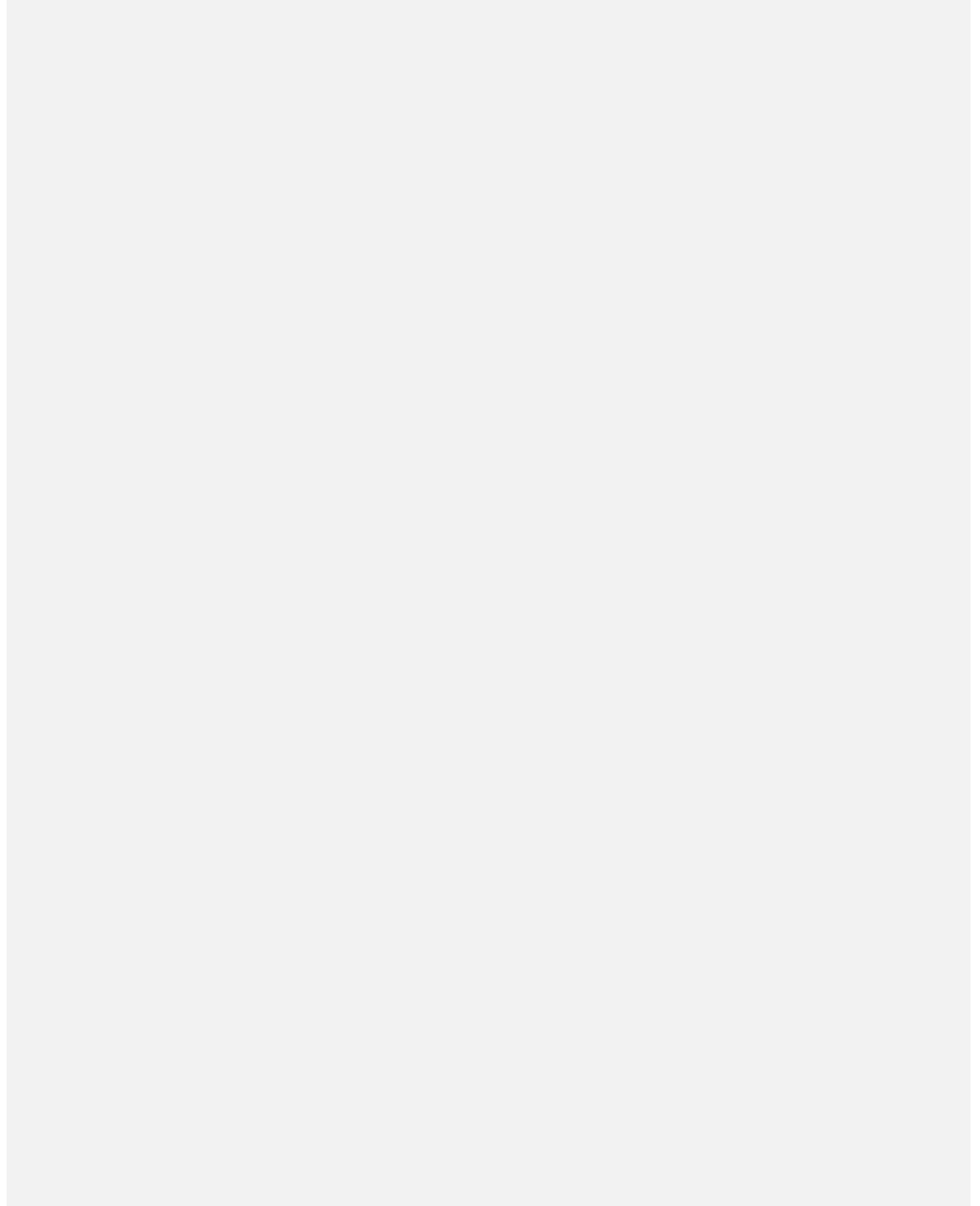
2. Un piloto de masa m en un avión ejecuta una pirueta, como se ilustra en la figura 36. En este patrón de vuelo el avión se mueve en un círculo vertical de $2,7 \text{ km}$ de radio, a una rapidez constante de 225 m/s .

Figura 36.
Avión describiendo
un círculo vertical



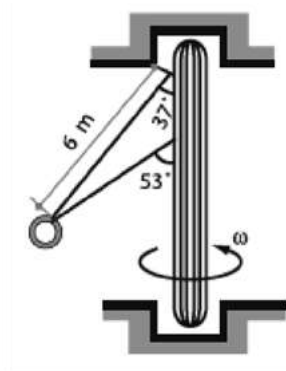
Determine:

- a) El período, la frecuencia y la frecuencia angular del avión durante el giro.
- b) La velocidad tangencial, la aceleración tangencial y la aceleración radial o centrípeta del avión.
- c) La fuerza ejercida por el asiento sobre el piloto en la parte superior del círculo.



3. Calcule la velocidad angular del anillo de masa m que gira en torno al eje mostrado (figura 37). El anillo está sujeto por un cable inextensible ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

Figura 37.
Anillo girando sujeto
a un eje vertical



6. BIBLIOGRAFÍA

- Fishbane, P., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. (1998). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I). México: Prentice Hall.
- Pasco Scientific. (1992). *Dynamics cart accessory track set. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9429A*. Roseville, CA: Pasco Scientific.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).
- Serway, R., & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería* (t. I, 5ª. ed.). México: McGraw-Hill.

ESTUDIO DEL EQUILIBRIO TRASLACIONAL Y ROTACIONAL

1. OBJETIVOS

- Comprobar que el equilibrio traslacional sobre un cuerpo no deformable implica que la fuerza neta sobre tal cuerpo es cero.
- Comprobar que el equilibrio rotacional sobre un cuerpo no deformable implica que el torque neto sobre tal cuerpo es cero.
- Comprobar que el torque producido por una fuerza depende de la magnitud de la fuerza aplicada y del punto de aplicación de esta respecto a algún eje de rotación.

2. MARCO TEÓRICO

Cuando las fuerzas están actuando sobre un cuerpo rígido es necesario considerar el equilibrio en relación con la traslación y la rotación. Por lo tanto, se requieren las siguientes condiciones:

1. La suma de todas las fuerzas es cero (equilibrio de traslación):

(62)

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

2. La suma de todos los torques con respecto a cualquier eje de rotación es cero (equilibrio rotacional):

(63)

$$\sum_{i=1}^n \vec{\tau}_i = 0$$

Si los vectores de posición que indican el punto de aplicación de la fuerza respecto al eje de rotación se encuentran en el plano XY , estas condiciones se reducen a las siguientes tres ecuaciones algebraicas:

(64)

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0$$

(65)

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0$$

(66)

$$\sum_{i=1}^n \tau_{iz} = 0$$

Ahora, para comprender el concepto de torque, considérese una fuerza F que actúa en un cuerpo C que puede rotar alrededor del punto O (figura 38). Si la fuerza no pasa por O , el efecto total será la rotación del cuerpo respecto a O . La experiencia diaria sugiere que la efectividad en la rotación debido a F aumenta con la distancia perpendicular (denominada brazo de palanca) $b = OB$, desde O a la línea de acción de la fuerza. Esta experiencia sugiere la conveniencia de definir una cantidad física τ que se denominará torque o momento de fuerza, de acuerdo con la relación:

(67)

$$\tau = Fb$$

O torque = fuerza $\times$ brazo de palanca. Al notar en la figura 38 que $b = r \sin \theta$, también es posible escribir:

(68)

$$\tau = Fr \sin \theta$$

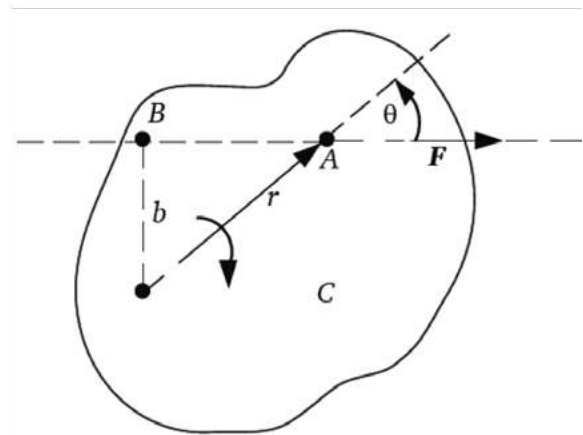
Se concluye que el torque de una fuerza puede considerarse como una cantidad vectorial dada por el producto vectorial:

(69)

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

En el cual $\vec{r}$ es el vector posición, con respecto al punto 0, del punto A en el que actúa la fuerza. Según las propiedades del producto vectorial, el torque de una fuerza está representado por un vector perpendicular tanto a $\vec{r}$ como a $\vec{F}$; esto es, perpendicular al plano formado por $\vec{r}$ y $\vec{F}$, y dirigido en el sentido de avance de un tornillo de rosca derecha, rotado en el mismo sentido que la rotación producida por $\vec{F}$ alrededor de 0 (figura 38).

Figura 38.
Elementos que
genera un torque



3. PREINFORME

1. Un torque es generado cuando una fuerza $\vec{F}$ se aplica a un cuerpo, en un punto cuya posición, respecto al eje de rotación, está dada por el vector de posición $\vec{r}$. Utilizando el método de determinantes, calcule dicho torque.

2. Si $\vec{F} = 3\hat{i} + 5\hat{j} + 2\hat{k}$ (N) y $\vec{r} = -2\hat{i} + 4\hat{j} - 7\hat{k}$ (m), determine el torque producido por $\vec{F}$ sobre el cuerpo.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Soporte universal
- Juego de pesas
- Cuerdas
- Regla
- Balancín de brazos iguales
- Polea

4.2 PROCEDIMIENTO

Teniendo en cuenta la figura 39, lleve a cabo el montaje del equipo solicitado. Una vez realizado, proceda a determinar las fuerzas que actúan sobre el balancín, procurando expresar dichas fuerzas en forma de componentes $\hat{i}$ y $\hat{j}$, después de haber asignado algún sistema de referencia inercial. Encuentre también los vectores de posición de los puntos en los cuales actúan las fuerzas sobre el balancín al punto de posible giro.

Determinadas las fuerzas y sus respectivos vectores de posición, calcule los torques producidos por tales fuerzas y compruebe que su sumatoria vectorial es igual a cero, asegurando así la existencia de equilibrio rotacional. Aplique un mínimo de cinco fuerzas al balancín, por medio de la suspensión de cuerpos de masas m_1 a m_5 a los distintos puntos indicados en este. Lleve a cabo tres montajes diferentes en cuanto a las magnitudes, las direcciones y los puntos de aplicación de las fuerzas sobre el balancín, y compruebe que la sumatoria de torques debe ser igual a cero para que el balancín esté en equilibrio rotacional. Anote sus resultados en las tablas 35, 36 y 37.

Figura 39.
Montaje para el
estudio de torques

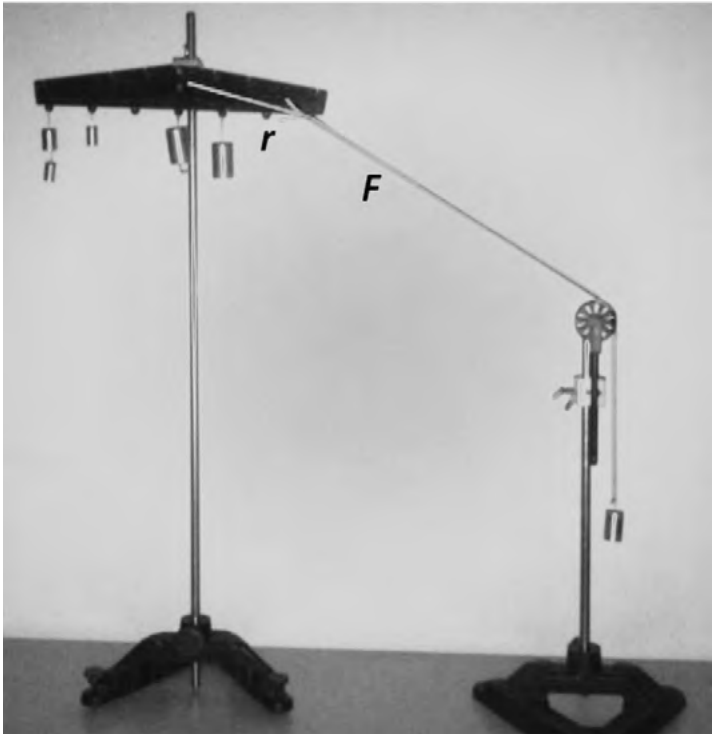


Tabla 35. Primer grupo de combinación de cuerpos de masa m				
$m(\text{kg})$	$\vec{F}_l \text{ (N)}$	$\vec{r}_l \text{ (m)}$	$\vec{\tau}_l = \vec{r}_l \times \vec{F}_l \text{ (Nm)}$	$\sum_{i=1}^5 \vec{\tau}_i =$

Tabla 36. Segundo grupo de combinación de cuerpos de masa m				
$m(\text{kg})$	$\vec{F}_l \text{ (N)}$	$\vec{r}_l \text{ (m)}$	$\vec{\tau}_l = \vec{r}_l \times \vec{F}_l \text{ (Nm)}$	$\sum_{i=1}^5 \vec{\tau}_i =$

Tabla 37. Tercer grupo de combinación de cuerpos de masa m				
$m(\text{kg})$	$\vec{F}_i \text{ (N)}$	$\vec{r}_i \text{ (m)}$	$\vec{\tau}_i = \vec{r}_i \times \vec{F}_i \text{ (Nm)}$	$\sum_{i=1}^5 \vec{\tau}_i =$

5. ACTIVIDADES

1. ¿En qué punto del balancín se debe colocar un cuerpo de masa 0,3 kg para que no exista torque aplicado sobre él?

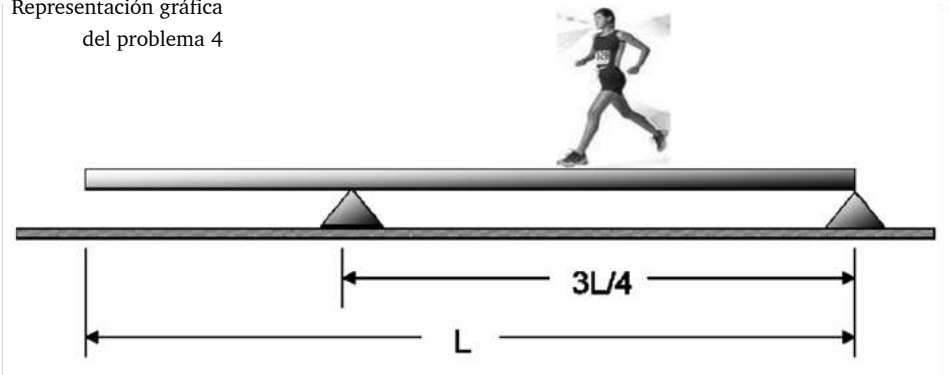
2. Calcule la fuerza que ejerce el pivote donde está empotrado el balancín para cada una de las tres combinaciones propuestas por su grupo de trabajo. ¿Qué torque genera dicha fuerza?

3. Si en el montaje del laboratorio $m_1 = 0,5 \text{ kg}$, $m_2 = 0,2 \text{ kg}$, $m_3 = 1 \text{ kg}$, $m_4 = 0,7 \text{ kg}$ y $\theta = 45^\circ$, determine la masa de un cuerpo m_5 para que el sistema esté en equilibrio tanto traslacional como rotacional.

4. Un atleta de 60 kg de masa tiene libertad de caminar sobre un tablón de 3 m de longitud y de masa $M = 10$ kg (figura 40). Si camina hacia la izquierda del tablón, ¿hasta qué punto se puede mover sin que exista peligro de que el tablón rote?, ¿cómo es la fuerza normal que genera la cuña de la derecha en tal situación?

Figura 40.

Representación gráfica
del problema 4



6. BIBLIOGRAFÍA

- Pasco Scientific. (1992). *Dynamics cart accessory track set. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9429A*. Roseville, CA: Pasco Scientific.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H. et al. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

1. OBJETIVO

Aplicar el principio de conservación de la energía para el estudio de un sistema.

2. MARCO TEÓRICO

El principio de conservación de la energía establece que la energía puede pasar de un sistema a otro o puede cambiar de forma, pero no puede ser creada ni destruida. Si se tiene un sistema en un estado inicial, que tiene una energía total E_i y ocurre un proceso sobre él durante el cual las fuerzas no conservativas realizan un trabajo W_{fcn} , la energía final del sistema será:

(70)

$$E_f = E_i + W_{fnc}$$

En aquellos sistemas en los que las fuerzas no conservativas realizan un trabajo nulo y no hay intercambio de calor con el exterior, la cantidad total de energía es una constante. Esta energía total se puede presentar en el sistema de varias formas: como energía elástica, potencial gravitacional o potencial elástica, y durante un proceso determinado la proporción en la cual se encuentra repartida en cada una de estas

formas puede cambiar. Es posible, por ejemplo, que inicialmente toda la energía sea potencial elástica, como cuando se lanza hacia arriba un objeto con la ayuda de un resorte comprimido. En este caso, a medida que el objeto va subiendo, la energía se convierte en energía cinética y en energía potencial gravitacional. Cuando el cuerpo alcanza su altura máxima, toda la energía que inicialmente era potencial elástica se encuentra en forma de energía potencial gravitacional.

3. PREINFORME

1. El principio de conservación de la energía, mostrado en la ecuación (70), hace referencia a las fuerzas no conservativas. ¿Por qué en esta ecuación no se tienen en cuenta las fuerzas conservativas?

2. En la figura 41 se muestra el montaje que se va a utilizar durante la práctica. Una esfera suspendida de un hilo se suelta desde una altura H ; cuando llega a la posición más baja se corta con una cuchilla y la esfera inicia un movimiento parabólico hasta llegar al suelo. Para este movimiento parabólico la velocidad inicial de la esfera es horizontal. Deduzca una ecuación teórica para el alcance horizontal como función de H .

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Soporte universal y accesorios
- Péndulo
- Papel carbón y papel blanco
- Regla
- Una hoja de afeitar

4.2 MEDIDAS DE ALCANCE HORIZONTAL EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE LANZAMIENTO

Lleve a cabo el montaje presentado en la figura 41. Sujete un péndulo con un hilo muy delgado de la parte superior de un soporte, y sobre la mesa coloque una hoja de papel blanco con una hoja de papel carbón encima. Las medidas se realizan de la siguiente manera: se levanta el péndulo hasta una altura conocida (H) y se suelta, de manera que al llegar a su punto más bajo el hilo sea cortado por la hoja de afeitar. Tenga cuidado de que el punto de corte sea lo más cercano posible a la esfera. Una vez cortada, la esfera realizará un movimiento parabólico hasta llegar al papel carbón y hacer una marca. La distancia horizontal entre el punto en el cual golpea la esfera y la posición de equilibrio se llamará X . Lance la esfera tres veces desde la misma altura y mida los valores de X . Saque el valor promedio de esta variable y luego repita este procedimiento para otras alturas de lanzamiento diferentes. Anote todos estos datos en la tabla 38. Recuerde medir el valor de h .

Figura 41.
Montaje para la práctica

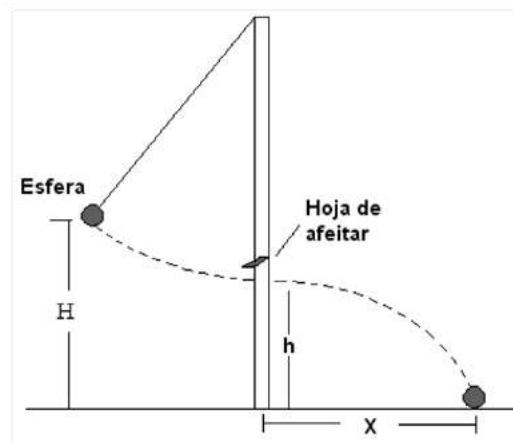


Tabla 38. Resultados de la práctica				
$H(m)$	$X_1(m)$	$X_2(m)$	$X_3(m)$	$X_{prom}(m)$

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

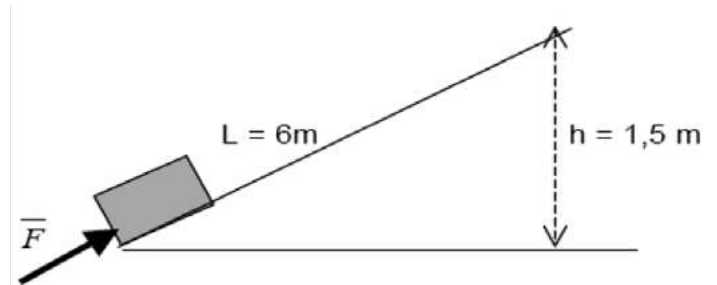
Realice un cálculo teórico del alcance esperado para cada altura de lanzamiento con los datos de la práctica y la ecuación deducida en el preinforme. A continuación, realice una gráfica de alcance horizontal (X) en función de la altura de lanzamiento (H), en la que aparezcan las curvas asociadas a los cálculos teóricos y las medidas realizadas en el laboratorio. Compare y analice estas dos curvas. ¿Qué puede decir de estos resultados a la luz del principio de conservación de la energía?

5. ACTIVIDADES

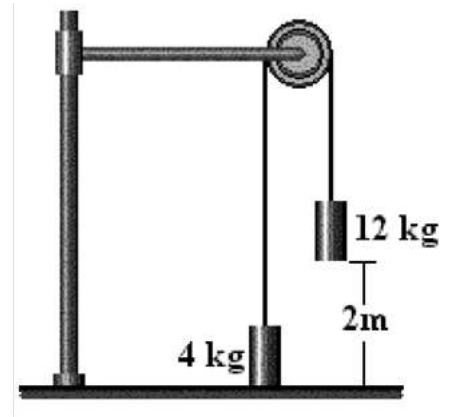
- Un bulto de 100 kg se eleva hacia una plataforma a una altura 1,5 m, por medio de un plano de 6 m de longitud, como muestra la figura 42. El coeficiente de rozamiento entre la superficie y el cuerpo es de 0,2. Calcule:

- a) La fuerza de rozamiento.
- b) La fuerza paralela al plano que hay que efectuar para que el bloque ascienda con velocidad constante.
- c) El trabajo resultante realizado sobre el bloque.
- d) La variación de energía cinética experimentada por el bloque.

Figura 42.
Bloque subiendo por
un plano inclinado

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on the right side, suggesting it's resting on a surface.

2. El sistema mostrado en la figura 43 se suelta desde el reposo cuando el cuerpo de 12 kg está a 2 m del suelo. Usando el principio de conservación de la energía, calcule la rapidez con la que este objeto golpea el suelo.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slightly textured appearance and is set against a dark background.

3. El cuerpo mostrado en la figura 44 se suelta desde el punto A, con una velocidad inicial de 0 y con el resorte comprimido 10 cm. Solo hay fricción entre B y C, y la distancia entre estos dos puntos es 12 m. Si el cuerpo se detiene en la posición C, ¿cuál es la constante del resorte? El coeficiente de fricción cinético entre el cuerpo y la superficie plana es 0,5. La masa del objeto es de 2 kg.

Montaje para la actividad 3



Serway, R., & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería* (t. I, 5ª. ed.). México: McGraw-Hill.

PÉNDULO SIMPLE

1. OBJETIVOS

- Identificar las condiciones físicas bajo las cuales un péndulo simple opera.
- Conocer que el período y la frecuencia de un péndulo simple dependen exclusivamente de la longitud de la cuerda y de la aceleración de la gravedad.
- Usar el péndulo simple para medir la aceleración de la gravedad.

2. MARCO TEÓRICO

Un péndulo simple es un arreglo de un cuerpo macizo que cuelga de una cuerda ligera e inextensible, que a su vez se encuentra sujeta en un punto fijo (figura 45).

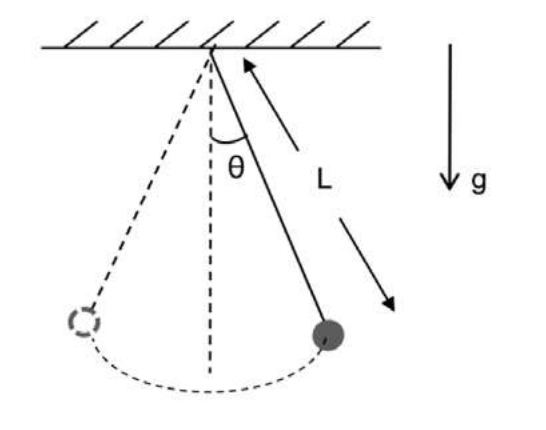


Figura 45.
Péndulo simple

El ángulo θ es siempre menor a 8° y no se considera ningún tipo de fricción. El período T de oscilación del péndulo simple es el tiempo empleado en realizar una oscilación completa. Puede demostrarse que está dada por:

$$(71) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

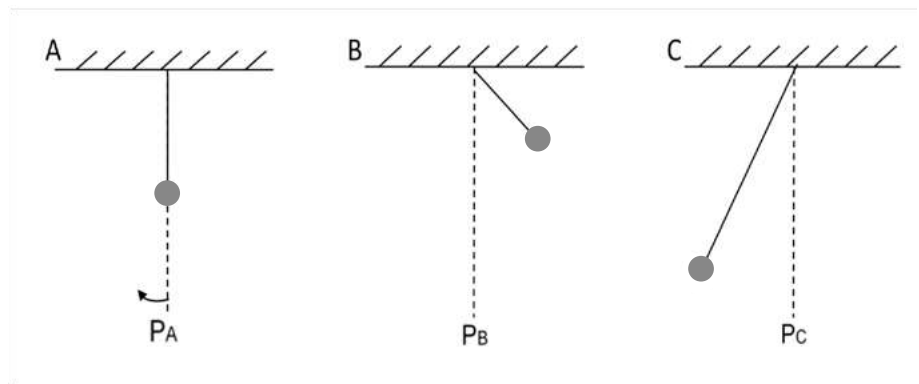
Donde L es la longitud de la cuerda y g es la aceleración de la gravedad. La frecuencia f es el número de oscilaciones en un segundo y está dada por:

$$(72) \quad f = \frac{1}{T}$$

3. PREINFORME

1. Tres péndulos de longitudes L_A , L_B y L_C oscilan cerca a la superficie terrestre, libres de fricción y con un ángulo menor a 10° . Se toma una fotografía de los péndulos mostrada en la figura 46.

Figura 46.
Fotografía de los
péndulos oscilantes



Nota: la imagen no está a escala.

En la figura 46 se observa que el péndulo A pasa por su punto de equilibrio, mientras los péndulos B y C se encuentran en los extremos, es decir, en su máxima elongación. Además se conoce que $L_A = \frac{L_B}{4}$ y $L_B = \frac{L_C}{4}$.

- Realice los dibujos de la figura 46 a escala.
- Si se toma como tiempo cero el instante de la fotografía mostrada en la figura 46, realice las gráficas de todos los péndulos en tiempos $\frac{T_c}{4}, \frac{T_c}{2}, \frac{3T_c}{4}, T_c, \frac{5T_c}{4}, \frac{6T_c}{4}, \frac{7T_c}{4}$ y $2T_c$.
- En el caso particular de que $L_c = 1$ m y $g = 10$ m/s², calcule el período y la frecuencia de cada péndulo.
- Para el caso general, es decir un T_A , T_B y T_c desconocidos, lleve las relaciones entre cada par de períodos y cada par de frecuencias.
- En los puntos P_A , P_B y P_C de equilibrio cada péndulo pasa con cierta rapidez, ya sea a la derecha o a la izquierda. ¿Cuál de los péndulos (A, B o C) tiene mayor rapidez en ese punto? Explique.
- ¿Cuál de los péndulos tiene mayor amplitud? Explique.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Cuerda de 1 m
- Juego de pesas
- Cronómetro
- Soporte universal

4.2 PROCEDIMIENTO

- Tome un péndulo simple y varíe su longitud tomando el período de oscilación para cada período particular. Para precisar la medida del período, tome diez oscilaciones y luego divida el tiempo empleado en diez. Complete la tabla 39.

Tabla 39. Medidas experimentales										
L(m)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
T(s)										

2. Realice la gráfica de T^2 contra L . Use Excel, papel milimetrado o logarítmico.
3. Calcule la pendiente de esta recta. ¿Cómo calcularía la aceleración de la gravedad?

5. ACTIVIDADES

1. Si un péndulo tiene un período de T segundo en la Tierra, ¿cuál será su período en la Luna?
2. Si un péndulo tiene una frecuencia de 4 Hz en la Luna, ¿cuál será su frecuencia en la Tierra?
3. Se quiere construir un péndulo cuyo período sea $1/2$ s. ¿Cuál ha de ser su longitud?
4. Dos péndulos de longitudes L y $L/4$ se sueltan simultáneamente de extremos opuestos.
 - a) Realice gráficas de los péndulos en tiempos de $\frac{T}{4}$, $\frac{T}{2}$, $\frac{3T}{4}$ y T .
 - b) ¿Cuál de los dos péndulos se mueve más rápido en el punto más bajo?

6. BIBLIOGRAFÍA

- Fishbane, P. (1994). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I). México: Prentice Hall.
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.
- Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I, 7ª. ed.). México: Cengage Learning.
- Talero, P. (2009). *Experimentos virtuales de física: mecánica*. Bogotá: Editorial Universidad Central.
- Talero P., Organista, J. O., Barbosa, L. H., & Rojas, G. (2011). *Física activa: las leyes del movimiento*. Bogotá: Editorial Universidad Central.

MOVIMIENTO OSCILATORIO AMORTIGUADO

1. OBJETIVOS

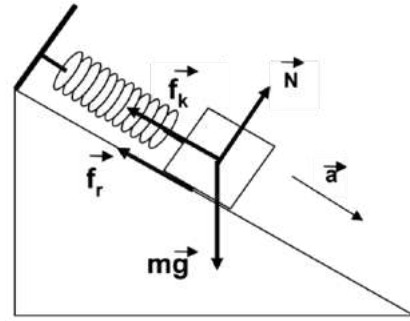
- Estudiar las condiciones y las características de un movimiento oscilatorio amortiguado.
- Analizar el movimiento de un carro, el cual está sujeto a un resorte en un plano inclinado, y comprobar que el decaimiento de las oscilaciones es de tipo exponencial.
- Determinar el coeficiente de amortiguamiento, a partir de la gráfica de posición contra tiempo.

2. MARCO TEÓRICO

Considérese un sistema masa-resorte en un plano inclinado. Si se saca el cuerpo de masa m de su posición de equilibrio y se suelta desde el reposo, se generará un movimiento oscilatorio. En todo sistema real hay fuerzas de resistencia cuya acción conduce a la disminución de la energía. Si el decrecimiento de la energía no se compensa debido al trabajo de las fuerzas externas, las oscilaciones se amortiguarán.

El modelo más sencillo, pero al mismo tiempo con el que con mayor frecuencia se trabaja, es aquel en que el sistema mecánico se encuentra en un medio viscoso, que en este caso será el aire, cuyo coeficiente de viscosidades es r . Cuando hay fuerzas de resistencia, la segunda ley de Newton tiene el siguiente aspecto (figura 47):

Figura 47.
Sistema con
amortiguamiento



$$(73) \quad \sum_{i=1}^4 \vec{f}_i = \vec{f}_k + \vec{f}_r + \vec{f}_v + \vec{f}_g + \vec{f}_N = m\vec{a}$$

Donde $\vec{f}_k$ es la fuerza elástica; $\vec{f}_r$ es la fuerza de rozamiento entre el plano inclinado y el cuerpo de masa m ; $\vec{f}_v$ es la fuerza de viscosidad del medio; $\vec{f}_g$ la fuerza de gravedad, y $\vec{f}_N$ la fuerza normal.

Eligiendo un sistema de referencia en el que el eje X se encuentra a lo largo del plano inclinado y el eje Y perpendicular al plano, se tiene:

$$(74) \quad \sum f_x = -f_k - f_r - f_v + mg \sin \theta = ma_x$$

$$(75) \quad \sum f_y = N - mg \cos \theta = 0$$

De las ecuaciones (74) y (75) se puede deducir la siguiente ecuación diferencial, que describe las oscilaciones amortiguadas del sistema:

$$(76) \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} - \mu_k g \cos \theta - g \sin \theta = 0$$

Simbolizando de la siguiente manera como:

$$(77) \quad w_0^2 = \frac{k}{m}, 2\beta = \frac{r}{m}, \gamma = \frac{\mu_d g \cos \theta - g \sin \theta}{m}$$

Se puede escribir la ecuación (76) de una forma más simplificada:

$$(78) \quad \frac{d^2x}{dt^2} + w_0^2x + 2\beta \frac{dx}{dt} + \gamma = 0$$

Es preciso señalar que ω_0 es la frecuencia que efectuarán las oscilaciones libres al no haber resistencia del medio (para $r = 0$ o $\beta = 0$). La solución general de (78) se da por la siguiente expresión:

$$(79) \quad x(t) = Ae^{-\beta t} \cos(wt + \varphi) - \frac{\gamma}{w_0^2}$$

Donde:

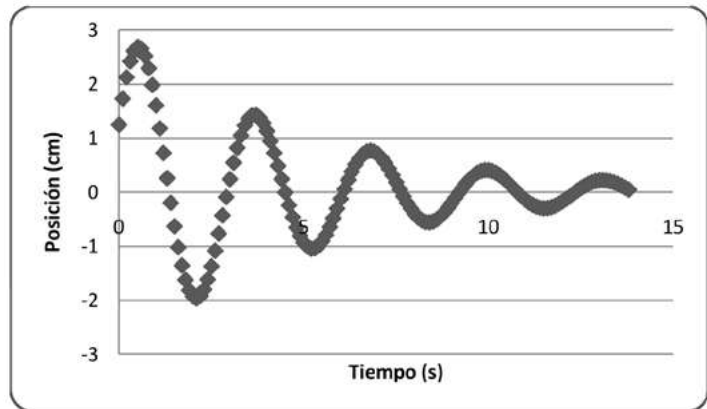
$$(80) \quad w = \sqrt{w_0^2 - \beta^2}$$

$$(81) \quad A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0}{w_0}\right)^2}$$

$$(82) \quad \varphi = \arctan\left(\frac{v_0}{w_0x_0}\right)$$

Según lo anterior, el movimiento del sistema puede ser considerado como una oscilación armónica de frecuencia ω y amplitud que varía por la ley $a(t) = Ae^{-\beta t}$ (figura 48):

Figura 48.
Gráfica posición contra tiempo
movimiento amortiguado



3. PREINFORME

1. Utilizando el método de coeficientes indeterminados, resuelva la ecuación (78) y compruebe los valores dados de la frecuencia angular ω , la amplitud A y la fase.

2. ¿Depende el coeficiente de viscosidad del ángulo de inclinación? Justifique su respuesta.

3. ¿Es el peso una fuerza que amortigua el movimiento? Justifique su respuesta.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

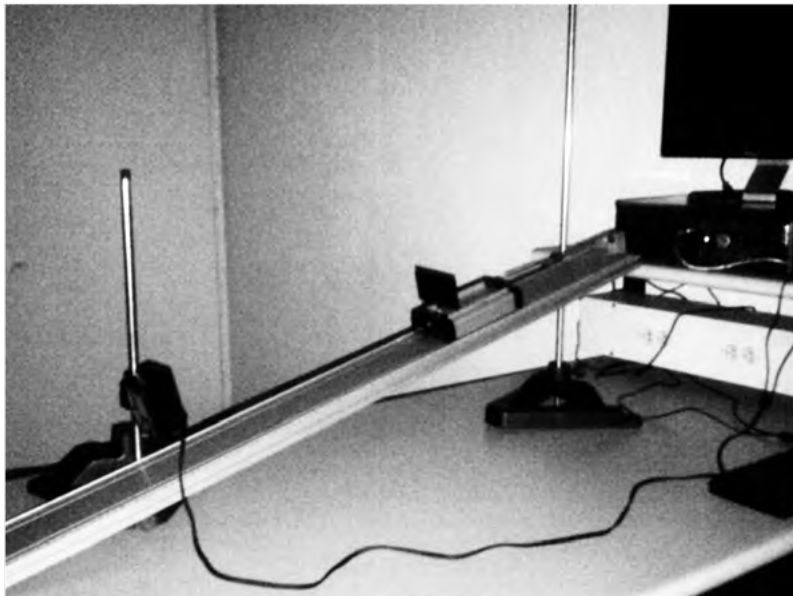
4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Plano inclinado de aluminio, soportes y resortes
- Cronómetro
- Sensor Doppler de posición Pasco
- Interfaz Pasco y computador

4.2 PROCEDIMIENTO

Realice el montaje mostrado en la figura 49. Primero elija un ángulo y luego aleje el carro de su posición de equilibrio, estableciendo y midiendo una amplitud, y finalmente deje en libertad de movimiento. Al mismo tiempo que el carro comienza a oscilar se activa el sensor de movimiento, el cual emite ondas de sonido con una frecuencia f (esta se determina en la parte de calibración, como se explica más adelante).

Figura 49.
Montaje experimento



Para la toma de datos, a continuación se presenta una secuencia a seguir:

1. Para iniciar el trabajo con la interfaz DataStudio, proceda a conectarla al computador por medio de un puerto USB. Ahora siga la ruta “Inicio-programas-DataStudio-DataStudio” (figura 50):

Figura 50.
Inicio de interfaz DataStudio



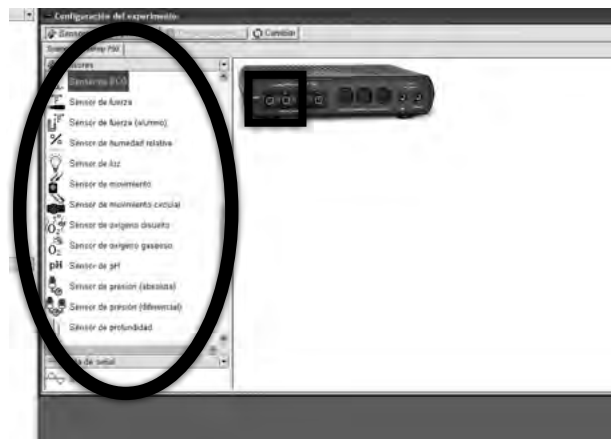
- Una vez realizados los pasos indicados, se desplegará la siguiente pantalla (figura 51):

Figura 51.
Selección de creación de experimento



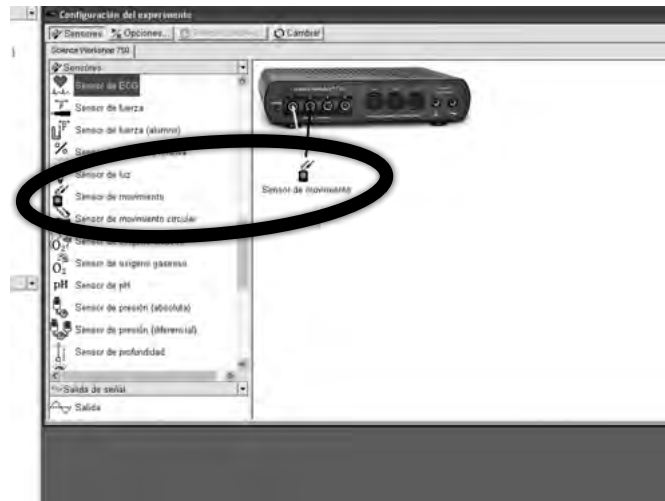
- Allí se presentan cuatro opciones de trabajo y se da clic en “Crear experimento”; esta opción permite trabajar la interfaz para tomar un grupo de datos de interés. Una vez realizada esta secuencia, se despliega la siguiente pantalla (figura 52):

Figura 52.
Selección de sensores y ubicación en la interfaz



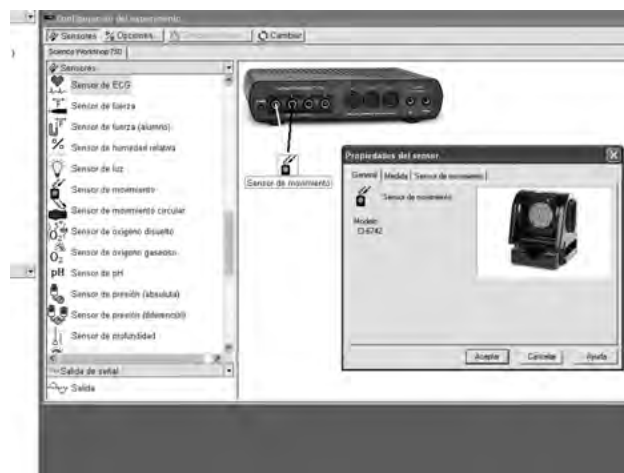
4. En la región señalada con el óvalo se encuentra un listado de los diferentes sensores que se pueden trabajar con la interfaz DataStudio. Como se va a trabajar con el sensor de movimiento, es necesario conectar el sensor a la interfaz; para ello, tome los conectores amarillo y negro del sensor y conéctelos en los sitios marcados como 1 y 2 en la región señalada con el rectángulo en la respectiva interfaz. Hecho esto seleccione del listado el sensor de movimiento y, mientras da clic sostenido, arrastre el dibujo del sensor hasta el rectángulo indicado; suelte el ratón y tendrá el siguiente pantallazo (figura 53):

Figura 53.
Conexión de sensor



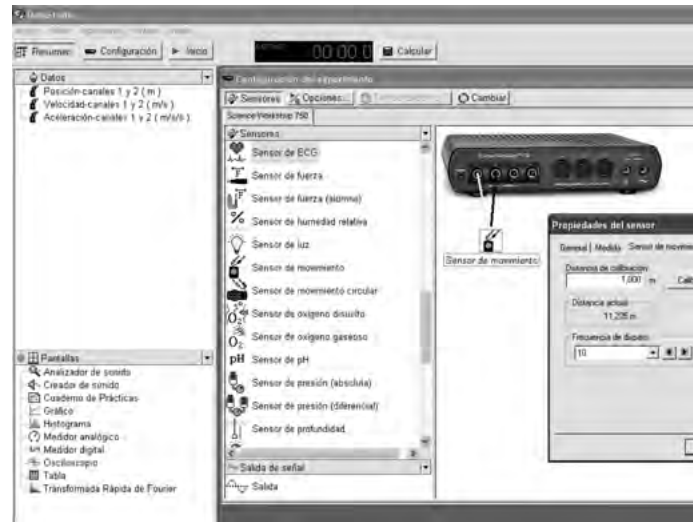
5. Ahora, es necesario calibrar el sensor; para ello dé clic sobre el dibujo del sensor y se desplegará la siguiente pantalla (figura 54):

Figura 54.
Calibración del sensor



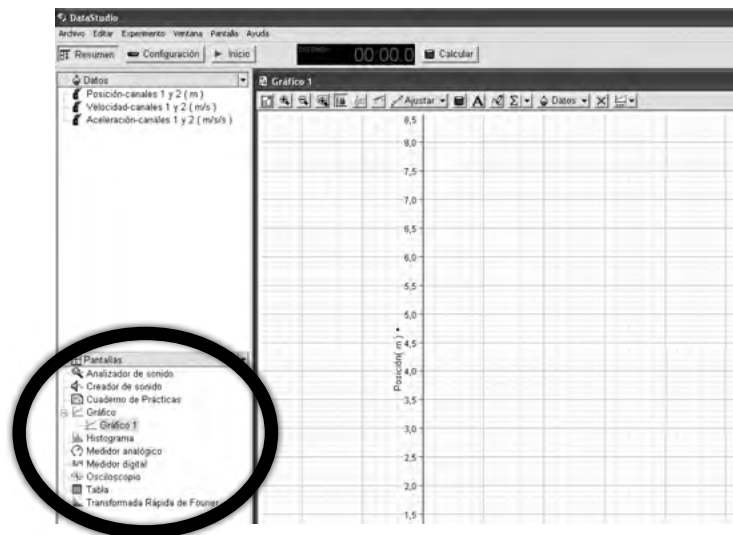
6. Cuando se da clic en la pestaña “Sensor de movimiento”, se despliega la siguiente pantalla (figura 55):

Figura 55.
Asignación de parámetros
de calibración.
Calibración del sensor



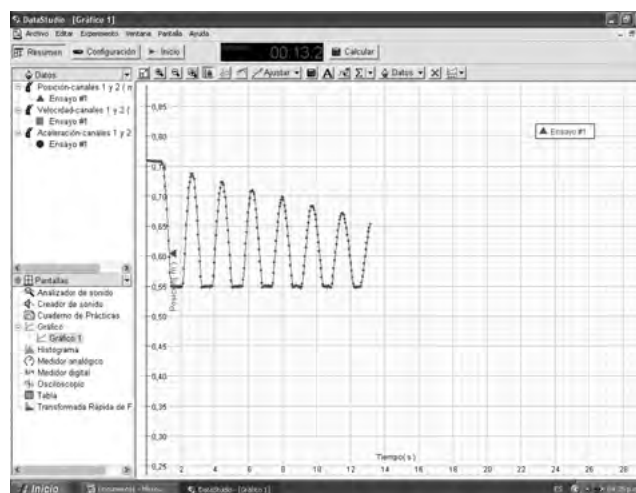
7. Dé clic en el botón “calibrar” y automáticamente el sistema DataStudio calibrará el sensor; no olvide colocar el sensor cerca del objeto del que quiere sensorar su movimiento. Una vez calibrado el sensor se procede a realizar la medición; para ello es necesario seleccionar, de la zona señalada con el óvalo, el tipo de despliegue de la información (gráfico, histograma, medidor análogo, etc.). Para este experimento seleccione “Gráfico”; dé clic sostenido en el ícono de “gráfico” y arrastre hasta el sensor dibujado en la interfaz, una vez realizada esta secuencia se presenta el siguiente pantallazo (figura 56):

Figura 56.
Despliegue del formato
de gráfico



- Para medir, inicie el movimiento a estudiar y dé clic en el botón “Inicio”; deje el sistema funcionando algunos segundos, después detenga la medición dando clic en “Detener” y se observará el siguiente pantallazo (figura 57):

Figura 57.
Registro de información
en la gráfica



- Después de obtener la gráfica de posición contra tiempo y la tabla de datos respectivos (consulte el manual de DataStudio para obtener dicha tabla y su posterior exportación a Excel), tome la mayor cantidad de coordenadas (x, t) donde la posición tiene los valores máximos positivos y construya con ellos una gráfica de x contra t ; utilizando ajuste exponencial, encuentre la ecuación de dichos puntos.

Teniendo en cuenta la ecuación (79) y la ecuación encontrada, calcule el coeficiente de amortiguamiento β . Según su valor indique si el movimiento es sub, sobre o críticamente amortiguado. Finalmente, a partir de la gráfica de posición contra tiempo, construya las gráficas de velocidad y de aceleración respectivas.

5. ACTIVIDADES

- Interprete y resuelva el problema de valor inicial:

$$\frac{1}{10} \frac{d^2 x}{dt^2} + 2,4 \frac{dx}{dt} + 4x = 8 \cos 3tx(0) = 0,5 \frac{dx}{dt}(t = 0) = 0m$$

- Al unir un cuerpo de 44,48 N a un resorte, este se estira 0,61 m. El contrapeso también está unido a un amortiguador, que ofrece una resistencia

numéricamente igual a β ($\beta > 0$) veces la velocidad instantánea. Calcule los valores de la constante de amortiguamiento β para que el movimiento que se produce sea: a) sobreamortiguado; b) críticamente amortiguado, y c) subamortiguado.

3. Sean ω' la frecuencia angular de un oscilador amortiguado y ω la frecuencia angular de un oscilador idéntico pero no amortiguado. Determine el coeficiente de amortiguamiento β que hace que la frecuencia amortiguada ω' sea igual a $\omega/2$.

6. BIBLIOGRAFÍA

Pasco Scientific. (1992). *Dynamics cart accessory track set. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9429A*. Roseville, CA: Pasco Scientific.

Pasco Scientific. (s. f.). *Manual sensor Doppler*. Recuperado de <http://www.pasco.com>

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).

Sears, F., Zemansky, M., Young, H. et al. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

ONDAS MECÁNICAS ESTACIONARIAS

1. OBJETIVOS

- Llevar a cabo un estudio experimental de ondas mecánicas en cuerdas.
- Determinar la velocidad de propagación de una onda en una cuerda, como función de la densidad de masa y de la tensión de esta.

2. MARCO TEÓRICO

Gran parte de los fenómenos de la naturaleza son de tipo ondulatorio; desde el sencillo movimiento de la superficie del agua agitada por la caída de una piedra sobre ella, evidenciado por el movimiento de un corcho que flota, hasta lo complejo de una onda electromagnética, que transmite información de un sitio denominado transmisor hasta otro llamado receptor. A pesar de esto, toda la posible gama de ondas presenta propiedades comunes, sin importar el medio por el que se propagan, bien sea en el agua, en el aire, en cuerdas, en resortes o en el vacío (en el caso de las ondas electromagnéticas). De tal manera, el estudio de un tipo especial de onda permite conocer mucho de las propiedades de los demás, entre ellas su representación matemática, que es análoga; solo cambian algunos parámetros relacionados con la forma de generación y el medio de propagación. En este laboratorio se trabajará con ondas mecánicas.

Una onda armónica, viajera, mecánica, que se propaga, tiene la representación dada por la ecuación (83); en ella coexisten tanto la componente temporal como la espacial. Si se deja fija la componente espacial ($x = \text{constante}$), lo que se visualizará de la onda es el movimiento oscilatorio de uno de los puntos del medio de propagación; por el contrario, si se fija la componente temporal ($t = \text{constante}$), lo que se tiene es una fotografía instantánea de la onda en propagación por el respectivo medio:

$$(83) \quad y(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t)$$

Donde:

y_m = desplazamiento máximo o amplitud de onda

k = número de onda

ω = frecuencia angular

Una característica importante de una onda es su velocidad de propagación, la cual depende, en el caso de que se propague en una cuerda, de la tensión F a la que está sometida y a su densidad lineal de masa μ . Queda como parte del trabajo a realizar averiguar la dependencia existente entre estas tres variables para el caso de una onda en una cuerda, e igualmente las posibles dependencias en el caso de una onda sonora.

Cuando dos ondas viajeras mecánicas se propagan en direcciones contrarias con la misma amplitud y frecuencia, su superposición genera una configuración especial llamada onda estacionaria; en ella ciertos puntos del medio de propagación no se desplazan y reciben el nombre de nodos, mientras que otros se desplazan a su máxima amplitud y se denominan antinodos. La formación de nodos y antinodos tiene las siguientes expresiones, cuya consulta queda como tarea para el estudiante:

$$(84) \quad x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \text{ con } n = 0, 1, 2, \dots \text{ antinodos}$$

$$(85) \quad x = n \frac{\lambda}{2} \text{ con } n = 0, 1, 2, \dots \text{ nodos}$$

Cuando estas ondas son generadas en una cuerda de longitud L atada por ambos extremos, o en un tubo cerrado por ambos lados de la misma longitud, se genera una configuración especial que dependerá de la longitud de la onda y de la longitud del tubo; tal configuración está dada por las siguientes ecuaciones en los casos de estudio:

(86)

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \text{ con } n = 0, 1, 2, \dots \text{ cuerda de longitud } L$$

(87)

$$f_n = n \frac{v}{2L} \text{ con } n = 0, 1, 2, \dots \text{ cuerda de longitud } L$$

Donde f_n representa la frecuencia de excitación a la cual es sometida la cuerda.

3. PREINFORME

1. Deduzca las ecuaciones (84) y (85) dadas en el marco teórico.

2. Deduzca las ecuaciones (86) y (87) dadas en el marco teórico.

3. Averigüe el material y las masas de las cuerdas que forman parte de una guitarra, así como la tensión a la que están sometidas dichas cuerdas para producir las notas básicas.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Generador de señales
- Generador de ondas mecánicas
- Soporte universal
- Cuerdas elásticas de diferente masa
- Juego de pesas
- Balanza o dinamómetro
- Flexómetro

4.2. PROCEDIMIENTO

4.2.1 VELOCIDAD DE ONDA CONTRA TENSIÓN DEL MEDIO (CUERDA)

Lleve a cabo el montaje indicado en la figura 58. Tome una cuerda de determinada masa y calcule su densidad de masa por unidad de longitud μ . Enseguida coloque un objeto de masa m_1 en el extremo derecho de la cuerda y determine la tensión T_1 generada sobre esta. Use el generador mecánico mediante la activación del generador de funciones, que debe estar ajustado para producir una señal sinusoidal. Después de esto, varíe la frecuencia del generador de funciones hasta que aparezca en la cuerda una onda estacionaria donde sea fácil medir la longitud de onda; médala y partir de la información tomada calcule la velocidad v_1 de tal onda y regístrela en la tabla 40. Repita el proceso para seis tensiones adicionales. Grafique v contra T , determine la

ecuación de tal relación y a partir de esta calcule la densidad lineal de masa μ de la cuerda.

Figura 58.
Montaje para medición velocidad
de onda contra tensión
Fuente: Pasco Scientific (1988).

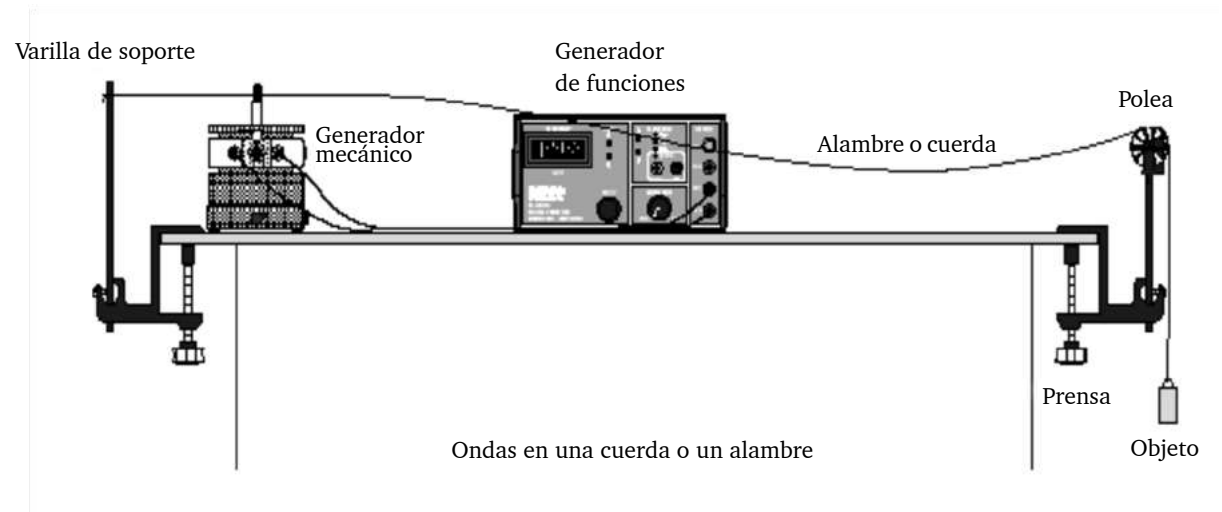


Tabla 40. Tensión contra velocidad			
Masa m (kg)	Tensión (N)	Velocidad (m/s)	Densidad lineal de masa = Longitud =

4.2.2 MODOS NORMALES DE EXCITACIÓN Y FRECUENCIA DE EXCITACIÓN

Teniendo en cuenta el montaje de la figura 58, aplique una tensión T a la cuerda de longitud L y varíe la frecuencia de excitación que generan las ondas estacionarias; determine las frecuencias para los primeros seis modos normales de excitación, mida la longitud de onda generada en cada modo de excitación, calcule la velocidad de onda

respectiva y grafique la velocidad de onda en función del orden del modo. Consigne los datos en la tabla 41. Halle la ecuación de la gráfica anterior y concluya.

Tabla 41. Frecuencia contra modo de excitación en una cuerda		
Frecuencia (Hz)	Modo de excitación	Tensión = Longitud =

5. ACTIVIDADES

- Una cuerda de piano de acero tiene 0,70 m de longitud y una masa de 5,0 g. Se tensa mediante una fuerza de 500,0 N:
 - ¿Cuál es la rapidez de propagación de las ondas transversales en la cuerda?
 - Para reducir la rapidez de la onda a la mitad, sin modificar la tensión, ¿qué masa de alambre de cobre habrá que enrollar alrededor de la cuerda de acero?
- Se ha transmitido una determinada potencia a lo largo de un alambre tenso, mediante ondas armónicas transversales. La rapidez de propagación de la onda es de 10,0 m/s y la densidad másica lineal del alambre es 0,010 kg/m. La fuente de potencia oscila con una amplitud de 0,50 mm.
 - ¿Qué potencia media se transmite a lo largo del alambre si la frecuencia es de 400 Hz?
 - La potencia transmitida puede aumentarse haciendo crecer la tensión en el alambre, la frecuencia de la fuente o la amplitud de las ondas. Si solo se varía una de estas magnitudes, ¿cómo habría de modificarse cada una de ellas con el objeto de producir un aumento de potencia en un factor de 100?
 - ¿Cuál de las variaciones indicadas se podría realizar probablemente con mayor facilidad?

3. La función de onda $y(x, t)$, correspondiente a una cierta onda estacionaria en una cuerda fija por ambos extremos, viene dada por $y(x, t) = 0,30 \text{ sen}(0,20 x) \cos(300,0 t)$, con x e y en centímetros y t en segundos:
- ¿Cuáles son las longitudes de onda y la frecuencia de las ondas?
 - ¿Cuál es la rapidez de las ondas transversales en esta cuerda?
 - Si la cuerda está vibrando en su cuarto armónico, ¿cuál es su longitud?
4. Una cuerda vibra según la ecuación:

(88)

$$y = (0,520 \text{ cm}) \text{ sen} (1,14 \text{ rad/cm}) x \cos (37 \text{ rad/s}) t$$

- ¿Cuáles son la amplitud y la rapidez de las ondas componentes, cuya superposición puede dar origen a esta vibración?
- Calcule la distancia entre los nodos.
- ¿Qué velocidad tiene una partícula de la cuerda en la posición $x = 1,47 \text{ cm}$ en el tiempo $t = 1,36 \text{ s}$?

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M., & Finn, E. J. (1970). *Física* (vol. II, Campos y ondas). Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, J. (2002). *Física* (4ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.
- Pasco Scientific. (1988a). *Manuales Pasco. Instruction sheet for the PASCO Model PI-9587C*. Roseville, CA: Pasco Scientific.
- Pasco Scientific. (1988b). *Manuales Pasco. Instruction and Experiment Guide for the PASCO scientific Model WA-9612*. Roseville, CA: Pasco Scientific.
- Pasco Scientific. (1988c). *Manuales Pasco. Instruction sheet for the PASCO Model WA-9753*. Roseville, CA: Pasco Scientific.

VELOCIDAD DEL SONIDO Y TUBO DE KUNT

1. OBJETIVOS

- Observar de manera fenomenológica la interferencia de ondas sonoras.
- Identificar y cuantificar la posición de los nodos y los antinodos generados en un tubo cerrado.
- Calcular la velocidad del sonido mediante la ubicación de los nodos y los antinodos.

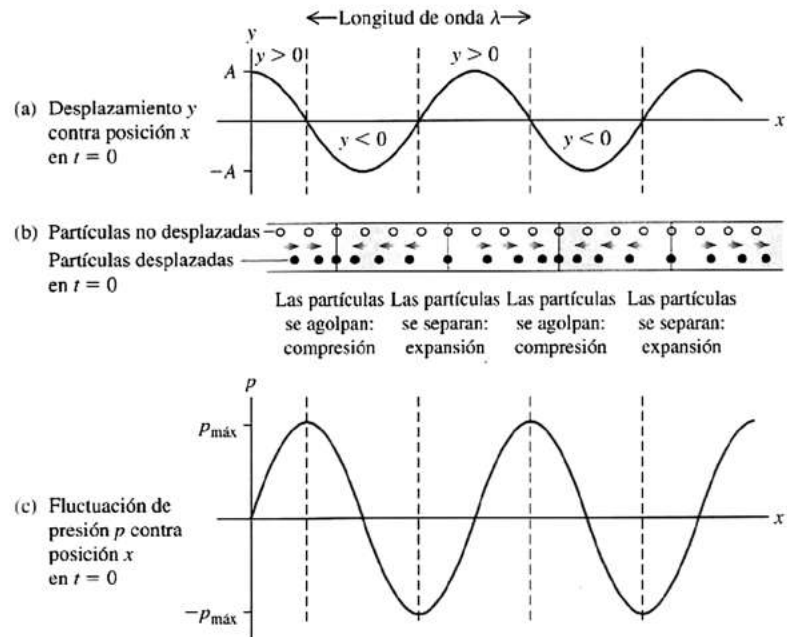
2. MARCO TEÓRICO

El sonido es un caso especial de ondas mecánicas longitudinales, debido a que necesita de un medio físico para propagarse (bien sea el aire, el agua o un medio sólido como el cristal) y a que las partículas que conforman dicho medio oscilan en la dirección en la que se propaga la perturbación que lo generó. Las ondas sonoras que se propagan en el aire son producidas por el movimiento de partículas que oscilan desplazándose respecto a un punto de equilibrio; cuando esto sucede se presentan los fenómenos de compresión y expansión: en el primer caso las partículas se agolpan y en el segundo se separan, generando así una onda de presión que se encuentra desfasada $\pi/2$ de la onda de desplazamiento de las partículas que constituyen el medio físico (figura 59).

Figura 59.

Gráficas de desplazamiento y de presión para una onda sonora

Fuente: Sears et al. (1999).



Cuando una onda de sonido se propaga dentro de un tubo cerrado, esta se refleja en el extremo cerrado e interfiere con la onda que viaja en sentido opuesto, generando una onda estacionaria (*modos normales*), como las producidas en una cuerda. En ciertos lugares las ondas interfieren constructivamente y se genera un *antinodo de desplazamiento*, sitio en el que la amplitud de la onda sonora se refuerza (las partículas oscilan más); si por el contrario la interferencia es destructiva, las ondas se eliminan mutuamente y se tiene un *nodo de desplazamiento* (las partículas están en reposo), en el que la amplitud del sonido es cero, es decir, si se ubica allí un micrófono no se escuchará nada. Este principio es muy utilizado y es la base física de los instrumentos musicales de viento.

La figura 60 muestra un tubo abierto en el extremo derecho y cerrado en el extremo izquierdo; tal dispositivo se denomina tubo cerrado. El extremo derecho abierto es un antinodo de desplazamiento, pero el izquierdo es un nodo de desplazamiento; es decir, las partículas en ese sitio permanecen fijas. La separación entre un nodo y el antinodo adyacente siempre es $\lambda/4$, donde λ es la longitud de onda (distancia entre tres nodos o antinodos sucesivos) de la onda sonora. En la figura 60a se observa la frecuencia más baja posible, la longitud L del tubo es la cuarta parte de la longitud de onda ($L = \lambda/4$), y la frecuencia fundamental es $f_1 = v/\lambda_1$, es decir:

(89)

$$f_1 = \frac{v}{4l}$$

En las partes b, c y d de la misma figura se observan los armónicos: tercero que corresponde a una frecuencia $3f_1$, quinto con $L = 5\lambda/4$ y frecuencia $5f_1$, y séptimo con frecuencia $7f_1$. Con lo anterior se determina que las posibles longitudes de onda están dadas por:

(90)

$$L = n \frac{\lambda n}{4} \text{ o } \frac{4L}{n} (n = 1, 3, 5, 7, \dots)$$

Y las frecuencias de modo normal por:

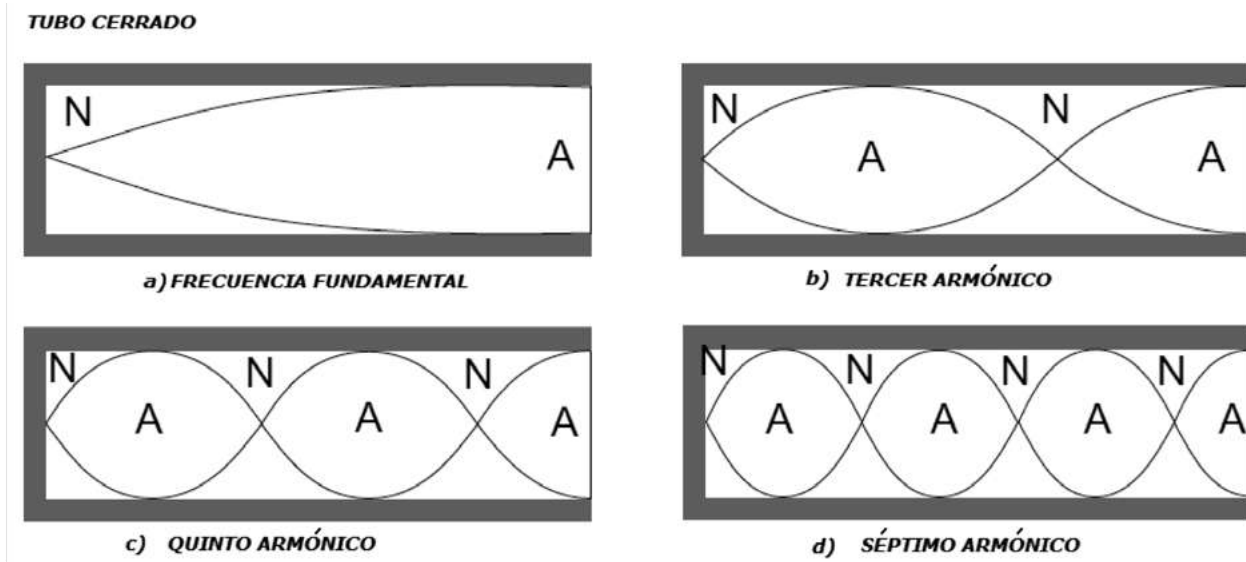
(91)

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \text{ o } f_n = \frac{nv}{4L} \text{ o } f_n = nf_1 (n = 1, 3, 5, 7, \dots)$$

Figura 60.

Tubo cerrado indicando el modo fundamental y los primeros tres armónicos

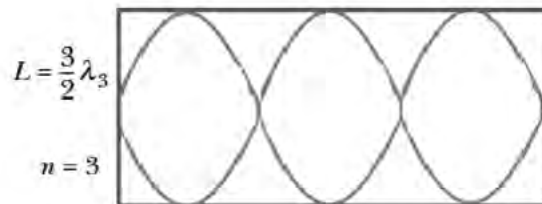
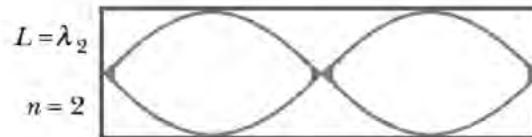
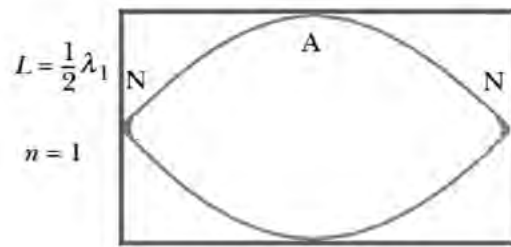
Fuente: Sears et al. (1999).



En el caso de un tubo cerrado por ambos lados hay un nodo en ambos extremos, con lo que el modo fundamental será un solo vientre en el centro del tubo; así, la longitud del tubo corresponderá a una semilongitud de onda. El modo armónico siguiente tendrá tres nodos y dos vientres, con lo que la longitud del tubo corresponderá a tres semilongitudes de onda, y así sucesivamente (figura 61). Se puede relacionar, por tanto, la longitud de onda con el número de nodos (incluidos los extremos):

$$(92) \quad L = (n - 1) \frac{\lambda}{2}, n = 2, 3, \dots$$

Figura 61.
Ondas estacionarias en el tubo
cerrado por ambos extremos
(tres primeros armónicos)



En todos los casos, la longitud de onda depende de la velocidad de propagación de la onda y la frecuencia f , con lo que, conociendo la longitud del tubo y la frecuencia, es posible calcular la velocidad de propagación v así: $f = \frac{v}{\lambda}$

3. PREINFORME

1. Determine las condiciones para lograr el noveno armónico para un tubo cerrado y dibújelo en el siguiente diagrama:

$L =$

$n =$



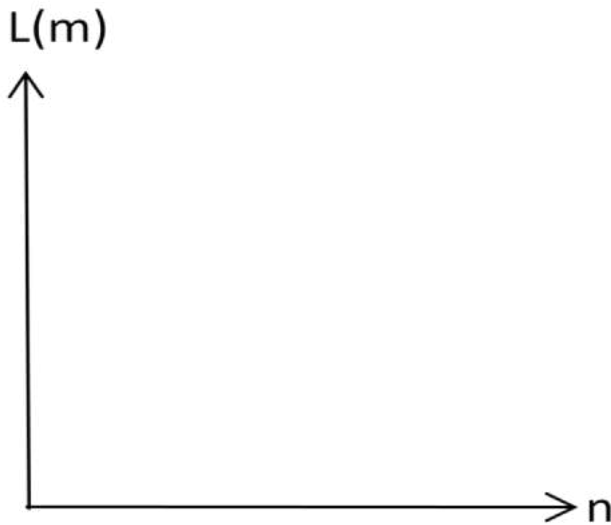
2. Determine las condiciones para lograr el cuarto armónico para un tubo cerrado por ambos lados y dibújelo en el siguiente diagrama:

$L =$

$n =$



3. En el siguiente gráfico indique qué esperaría encontrar en relación con las variables L y n (longitud contra número de nodos), para el caso de un tubo cerrado a frecuencia fija:



4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Tubo de resonancia de Kunt
- Osciloscopio
- Generador de señales
- Micrófono

4.2 PROCEDIMIENTO

Para el estudio de las ondas acústicas se utilizará el tubo de Kunt, que consiste en un tubo largo con extremo de plástico, el cual tiene en su interior un émbolo que se puede desplazar a lo largo de este. Como se desea detectar las ondas sonoras, se empleará un micrófono que irá en el interior del émbolo y estará conectado a un osciloscopio, de tal manera que se verán las ondas sonoras en forma de señal eléctrica; cuando hay ausencia de señal (un sitio de interferencia destructiva) se tendrá un nodo y cuando la señal presente un valor máximo se tendrá un valle o antinodo, un sitio de interferencia constructiva. El tubo está cerrado por un extremo, en el cual se coloca un altavoz alimentado por un generador de señales que permite que este emita ondas sonoras sinusoidales de frecuencia variable (figura 62).

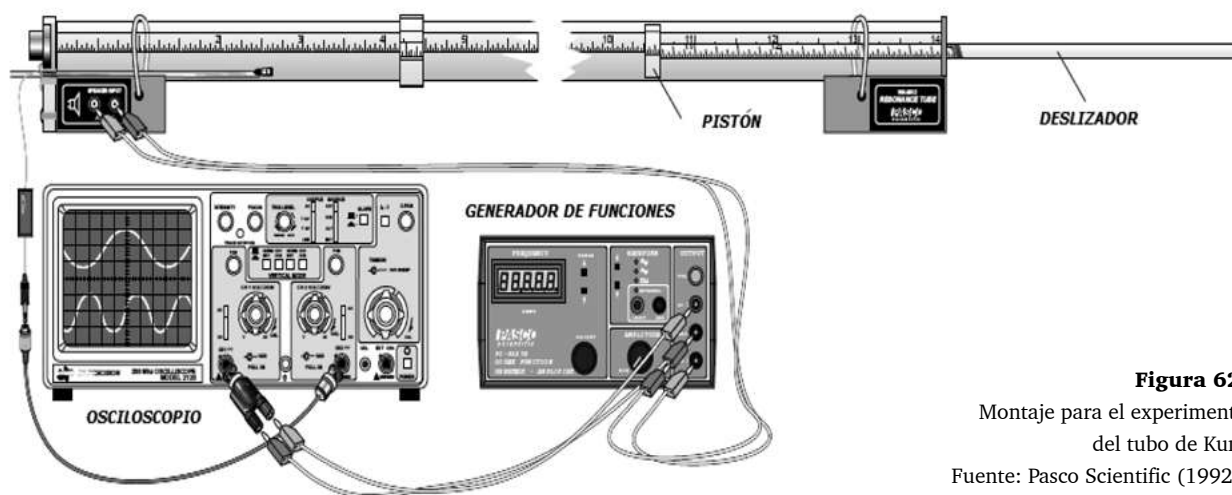


Figura 62.
Montaje para el experimento
del tubo de Kunt
Fuente: Pasco Scientific (1992).

4.2.1 TUBO CERRADO, LONGITUD FIJA

Lleve a cabo el montaje presentado en la figura 62. Seleccione una longitud fija entre 70 cm y 100 cm. Alimente el altavoz del tubo de Kunt con una señal senoidal desde el generador de señales a una determinada frecuencia, deslice el micrófono a lo largo del tubo y mire si se genera una onda resonante en el extremo del tubo donde se encuentra el pistón; si esto sucede, deslice el micrófono a lo largo del tubo y determine cuántos nodos se generaron y, posteriormente, mida la distancia entre dos nodos consecutivos, esto le dará la mitad de la longitud de onda para cada frecuencia. Repita el procedimiento para varios valores de frecuencia entre 200 y 4000 Hz, y consigne sus resultados en la tabla 42.

Tabla 42. Relación frecuencia contra inverso de λ , tubo cerrado y longitud fija							
f(Hz)							
n							
λ (m)							
$1/\lambda$ (m ⁻¹)							

Realice una gráfica de frecuencia f contra el inverso de la longitud de onda ($1/\lambda$) y encuentre la ecuación que describe la tendencia de los puntos de la gráfica anterior. Interprete el significado de las constantes y calcule la velocidad del sonido; compárela con la velocidad teórica que se conoce para el sonido a la temperatura del laboratorio.

4.2.2 TUBO CERRADO, FRECUENCIA FIJA

Ahora se observará qué sucede si se varía la longitud del tubo y se deja la frecuencia de la onda del generador fija. Para esto, inicialmente escoja una frecuencia a la cual observe entre 8 y 10 nodos de desplazamiento para la mayor longitud del tubo (1,0 m), repita varias veces este proceso y promedie los valores obtenidos. ¿Por qué se debe realizar la búsqueda de tal frecuencia?

Determinada la frecuencia, comience a variar la distancia entre el altavoz y el pistón de mayor a menor valor; haga su lectura de distancia cuando detecte (con el osciloscopio) 9, 8,..., 1 nodo, y consigne tal información en la tabla 43.

Tabla 43. Relación longitud del tubo contra número de nodos, tubo cerrado y frecuencia fija									
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L(m)									

Realice una gráfica de longitud L contra el número de nodos de desplazamiento n y encuentre la ecuación que describe la tendencia de los puntos de la gráfica anterior. Interprete el significado de las constantes y calcule la velocidad del sonido; compárela con la velocidad teórica que se conoce para el sonido a la temperatura del laboratorio, igualmente compare los valores obtenidos por los dos métodos y comente cuál es más confiable.

5. ACTIVIDADES

1. Basándose en la práctica realizada, diseñe un experimento para obtener la velocidad del sonido, si el tubo de Kunt está abierto por un lado.

2. Un altoparlante envía una onda sonora de longitud de onda $\lambda = 0,6$ m a una pared que se encuentra a 5 m de distancia. Si usted se mueve hacia la pared, ¿en qué posiciones de su recorrido no escucha ninguna señal?
3. Se producen ondas sonoras estacionarias en un tubo de 1,20 m de longitud. Para la fundamental y los dos primeros sobretonos, ¿en qué puntos del tubo (midiendo desde el extremo izquierdo) están los nodos de desplazamiento y los nodos de presión si: a) el tubo está abierto por ambos extremos, y b) el tubo está cerrado por el extremo izquierdo y abierto por el derecho?

6. BIBLIOGRAFÍA

Franco, Á. (1998). Física con ordenador. Curso interactivo de física en internet. Recuperado de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>

Pasco Scientific. (1992). *Dynamics cart accessory track set. Instruction manual and experiment guide for the PASCO scientific model ME-9429A*. Roseville, CA: Pasco Scientific.

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2002). *Física* (vol. I, 5ª. ed.). México: Compañía Editorial Continental (CECSA).

Sears, F., Zemansky, M., Young, H. et al. (1999). *Física universitaria* (vol. I, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

Serway, R. (2004). *Física* (vol. I). México: Thompson.

MEDIDAS DE LA LONGITUD DE ONDA Y LA AMPLITUD DE UNA ONDA DE ULTRASONIDO

1. OBJETIVOS

- Medir la longitud de onda del ultrasonido, a través de medidas directas, para estimar la velocidad.
- Encontrar la dependencia entre la intensidad de una onda sonora y la distancia.

2. MARCO TEÓRICO

El sonido está compuesto por ondas mecánicas longitudinales de presión y desplazamiento, que se encuentran en un rango de frecuencias que va desde 20 Hz hasta 20 kHz. Las ondas que están por encima de este rango son llamadas ultrasonido, y son ondas mecánicas que se propagan en el aire y en otros medios. Las ondas de ultrasonido pueden generarse mediante transductores de ultrasonido que son alimentados por un generador de voltaje alterno. En su mayoría, estos transductores están basados en cristales piezoeléctricos cuyas frecuencias de oscilación están bien definidas y dependen del tipo de cristal y de su geometría. Usando ondas de ultrasonido es posible estudiar la propagación de ondas de presión en el aire y también analizar aquellos fenómenos comunes de la propagación de ondas.

3. PREINFORME

1. ¿El sonido se propaga de manera instantánea o tiene alguna velocidad?

2. ¿Qué se propaga con mayor rapidez en el aire: el sonido o el ultrasonido?

3. ¿Qué onda tiene mayor frecuencia: el sonido o el ultrasonido?

4. A medida que una persona se aleja de una fuente sonora, ¿aumenta o disminuye la amplitud? Explique su respuesta.

5. A medida que una persona se acerca a una fuente sonora, ¿aumenta o disminuye la frecuencia? Explique su respuesta.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

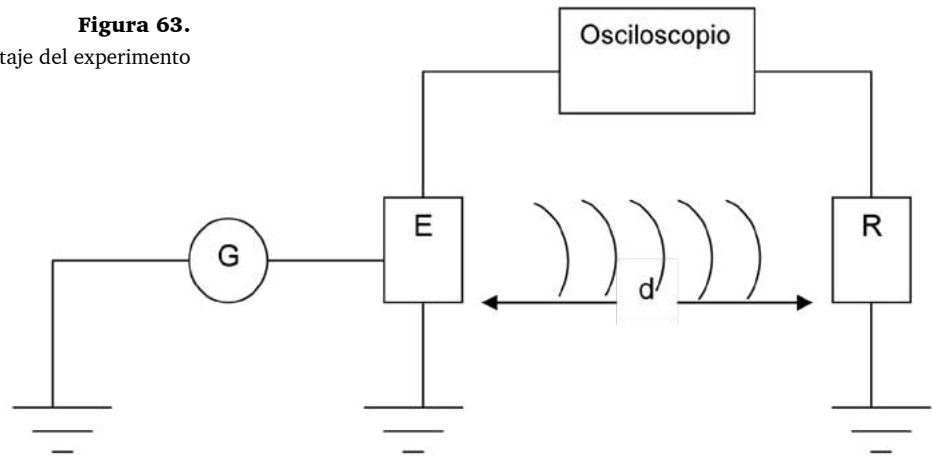
4.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- Regla
- Dispositivos de emisión y recepción de ultrasonido
- Osciloscopio
- Generador de funciones

4.2 PROCEDIMIENTO

Conecte el emisor de ultrasonido al generador de funciones (G) y el receptor de ultrasonido (R) al osciloscopio, como muestra la figura 63. Ponga especial atención en que los dispositivos se encuentren a una distancia fija entre ellos. Varíe la frecuencia del generador de funciones entre 20 kHz y 30 kHz, y observe en qué frecuencia la amplitud recibida es mayor; esta frecuencia es llamada frecuencia de resonancia. Deje el generador en esta frecuencia para el resto de la práctica.

Figura 63.
Montaje del experimento



4.2.1 LONGITUD DE ONDA

Disponga el osciloscopio en modo xy, ponga el emisor y el receptor de ultrasonido alineados sobre una regla y deslice el receptor sobre la regla para observar en el osciloscopio las figuras de Lissajous. Tome como referencia una recta de pendiente 1, deslice el receptor sobre la regla hasta que aparezca de nuevo la recta, mida la distancia entre el punto inicial y el punto final; esta distancia es la longitud de onda. Realice diez medidas con diferentes distancias.

4.2.2 VELOCIDAD DEL SONIDO

Observe la frecuencia f en el generador de funciones. De acuerdo con la relación $v = \lambda f$, encuentre la velocidad del sonido.

4.2.3 DEPENDENCIA ENTRE LA INTENSIDAD DE UNA ONDA Y LA DISTANCIA

Excite el emisor de ultrasonido en su frecuencia de resonancia, teniendo cuidado de mantener constante la amplitud que es proporcional al voltaje V_g puesto en el generador. Ubique al frente el receptor de ultrasonido cuyo voltaje V_r es medido en el osciloscopio. Varíe la distancia desde unos 3 cm hasta 1 m cada centímetro.

4.3 RESULTADOS

Registre los resultados en la tabla 44.

[illegible]

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Qué valor de longitud de onda obtuvo? Escriba su valor medio y su error.
2. Compare la velocidad del sonido obtenida en el experimento con los valores reportados en la literatura, ¿coinciden los valores? Explique su respuesta.
3. Con los datos registrados en la tabla 44 realice una gráfica y busque una relación entre la amplitud de la gráfica y la distancia de la forma: $V_r = A x^n$. De acuerdo lo anterior, ¿cómo varía la intensidad de la onda con la distancia? Compare este resultado con lo que se esperaba de la teoría.

4.5. CONCLUSIONES

Escriba las principales conclusiones de la práctica.

[illegible]

5. ACTIVIDADES

1. ¿Cómo influye la temperatura en la velocidad del sonido? Encuentre una relación simple.

2. ¿Qué principios físicos permiten el funcionamiento de un parlante y de un micrófono? Explique su respuesta.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M., & Finn, E. J. (1967a). *Física* (vol. I, Mecánica). Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.

Alonso, M., & Finn, E. J. (1967b). *Física* (vol. II, Campos y ondas). Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.

Fishbane, P. (1994). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. I). México: Prentice Hall.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1993). *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería* (4^a. ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. (1999). *Física universitaria* (vol. 1, 9ª. ed.). México: Addison-Wesley Longman.

Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* (vol. 1, 7ª. ed.). México: Cengage Learning.

Talero, P. (2009). *Experimentos virtuales de física: mecánica*. Bogotá: Editorial Universidad Central.

Talero, P., Organista, J. O., Barbosa, L. H., & Rojas, G. (2011). *Física activa: las leyes del movimiento*. Bogotá: Editorial Universidad Central.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$