



LABORATORIO DE MECÁNICA

MANUAL DEL ESTUDIANTE
NOMBRE:





JUSTIFICACIÓN

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Los laboratorios del departamento de física y geología, en especial los pertenecientes al programa de física de la Universidad de Pamplona, prestan un servicio institucional y académico no lucrativo, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades e intereses de estudio, experimentación e investigación de los estudiantes y docentes.

En el curso de laboratorio de mecánica, el estudiante aplicará de forma experimental los conceptos aprendidos de forma teórica y con ello afianzarlos firmemente en su conocimiento profesional. La actividad experimental basada en un marco teórico bien estructurado, ha demostrado ser el método más eficiente para entender los conceptos correspondientes a los fenómenos naturales particularmente en el área de las ciencias básicas y las ingenierías.

El estudiante debe con anticipación estudiar las guías de laboratorio, para tener el conocimiento previo de la práctica a la cuál debe dar solución en las horas estipuladas por el reglamento estudiantil para las materias prácticas, por lo que significa que el estudiante debe ser integrante activo en él, esto es, actuar en el desarrollo del trabajo experimental, intervenir en la discusión técnica e intelectual, aportar su comprensión, su preparación y su conocimiento de cada tema. Nunca es suficiente haber leído minutos antes de la clase la guía de la experiencia, se debe "estudiar" el contenido de estas guías, puesto que lo que necesita es "aprender" el tema para lograr dar una aplicación adecuada al trabajo, y por consiguiente una comprensión satisfactoria del tema.

Para realizar las prácticas propuestas en la guía de laboratorio, el estudiante deberá utilizar herramientas didácticas que lo acerque de alguna manera a la forma de hacer ciencia. Por ejemplo, se puede preguntar antes de realizar la guía de laboratorio sobre lo que espera que suceda según lo estudiado en el marco teórico y el procedimiento descrito en la misma guía, y establecer en los estudiantes que la física no es solo resolver ejercicios planteados en la literatura sino que de montajes de ya establecidos en el laboratorio o por medio de observaciones como lo fue y es en la física, y que la parte matemática (ecuaciones) solo es un lenguaje por el cual la física como ciencia da resultados a las observaciones realizadas.

Resulta de mucha importancia apoyarse en la bibliografía recomendada para cada

experiencia, de esta forma él estudiante estará preparando de un modo serio y comprometido una materia que por su naturaleza no puede ser descuidada.

La física se puede hacer agradable si sabemos aprovechar los experimentos en el aula. La parte experimental de la física puede aprovecharse para:

- a) Proporcionar experiencias de aplicación de los conceptos de física.
- b) Desarrollar habilidades en hacer mediciones, registrar datos, organizarlos y analizarlos bajo las leyes de la física.
- c) Ofrecer experiencias que permitan simular y resolver problemas elementales observados de manera directa, manejando la parte de la programación y las hojas de cálculo se pueden convertir en una herramienta de apoyo muy valiosa para lograr los objetivos señalados. Y ojo con que se dice apoyar, no se dice sustituir.

PRÁCTICAS PROGRAMADAS

Cada práctica de laboratorio consta de dos partes interrelacionadas, estas son:

a) Preparación teórica para la actividad de laboratorio. El estudiante debe tener un mínimo de conocimientos acerca de la práctica de laboratorio que desarrollará. Para esto el estudiante debe tener la guía del experimento previamente a la práctica de laboratorio. El estudiante dispondrá de tres horas de clase para preparar la guía de laboratorio que debe realizar la siguiente semana.

b) Evaluación al final de la preparación del laboratorio. Al final de la clase de preparación le será realizada al estudiante una evaluación sobre el tema preparado con el objeto de garantizar un mejor funcionamiento del laboratorio en todas sus facetas.

c) Proceso de experimentación. El estudiante la clase siguiente a la preparación del laboratorio, realizará la práctica del laboratorio correspondiente tomará nota de los resultados de su experimentación.

d) Presentación y de un informe de laboratorio. Una vez concluida la sección de la práctica laboratorio, los estudiantes elaborarán un informe de laboratorio con los datos experimentales obtenidos, donde corroborarán la ley o leyes cuyo objetivo tuvo la práctica. Esta comprobación será realizada basados en la teoría de errores.



Objetivos

1. Entender y familiarizarse con el tratamiento de datos y su presentación, teniendo en cuenta la incertidumbre propia de todo proceso de medición.
2. Familiarizarse con el concepto de propagación del error para determinar incertidumbres de mediciones indirectas.

Esquema del laboratorio y materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Reglas graduadas en decímetros, centímetros y milímetros.	1	
Cronómetro.	1	
Montaje de Péndulo Simple.	1	
Calculadora.	1	

Marco teórico

INCERTIDUMBRE

Ninguna cantidad física (longitud, masa, temperatura, etc.) puede ser medida con completa certidumbre. Teniendo mucho cuidado se puede ser capaz de reducir las incertidumbres hasta que estas sean extremadamente pequeñas, pero no eliminarlas por completo.

Ejemplo: Se quiere medir la longitud de una hoja de papel. Para ello puede usarse una regla calibrada en centímetros, pero es muy poco probable que el final de la hoja coincida exactamente con una de las líneas de graduación de la regla. De este modo, el error de la medición será del orden de 1 centímetro. Para minimizar el error podría pensarse en conseguir una cinta métrica calibrada en milímetros, pero de nuevo si el final de la hoja no coincide con una de las líneas de graduación el error sería de 1 milímetro. Si se quiere ser más preciso, se podría tratar de medir la longitud de la hoja usando interferómetro laser, pero incluso en este caso la incertidumbre será del orden de la longitud de onda de la luz ($0.5 \times 10^{-6} m$).

ERROR

El Análisis del error es el estudio y evaluación de las incertidumbres en las mediciones. No existen mediciones que estén completamente libres de error a pesar de todas las precauciones que se puedan tomar. En este sentido, la palabra “error” no toma la connotación usual de desacuerdo, sino que representa la incertidumbre inevitable que se presenta en cualquier medición. Experimentalmente lo mejor que se puede hacer es asegurarse de que el error sea tan pequeño como sea razonablemente posible y tener una estimación de su tamaño.

Tipos fundamentales de error:

- **Errores Sistemáticos:** Son los debidos a la presencia de un factor no considerado en el montaje experimental o al mal conocimiento de algún otro. Como consecuencia el valor medido está siempre por encima o por debajo del valor verdadero. Pueden tener su origen en deficiencias de los aparatos. Su existencia es difícil de detectar pero son los más fáciles de corregir pues sólo requieren de la adecuada calibración del aparato.
- **Errores Accidentales:** Son los resultantes de la contribución de numerosas fuentes incontrolables que desplazan el valor medido por encima y por debajo del valor real. Idealmente puede considerarse que su contribución es absolutamente al azar, de forma que aunque son imposibles de eliminar totalmente, pueden ser estimados y de esta forma obtener el grado de confianza con el que hemos realizado la medida.
- **Errores en Observaciones Directas:** Los errores estadísticos o aleatorios pueden ser estimados realizando un cierto número de veces “ n ” el experimento. A estas medidas repetidas de una cierta magnitud, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, las llamaremos datos.

MEJOR ESTIMADO (VALOR MEDIO) \pm INCERTIDUMBRE

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente sobre el mejor valor estimado y su incertidumbre, como regla general, el resultado de cualquier medición de una cantidad física “ x ” está dado por:

$$\text{Valor medido de } x = x_{\text{prom}} \pm \delta x \quad (0.1.1)$$

Donde:

- x_{prom} representa el promedio de todos los datos medidos. Este valor está dado por la suma de todos los datos dividido en la cantidad de datos medidos.

$$x_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (0.1.2)$$

- ∂x define el intervalo en el que se encuentran los datos medidos. (dependiendo de los datos medidos este valor al aplicar los dos casos que se presentan a continuación dan el mismo resultado, de no ser así se promedian los dos resultados para obtener el valor propio de ∂x)

$$\partial x_1 = Dato\ mayor - x_{prom} \quad (0.1.3)$$

$$\partial x_2 = x_{prom} - Dato\ menor \quad (0.1.4)$$

$$\begin{aligned} & \text{Si } \partial x_1 = \partial x_2 = \partial x \\ & \text{Si } \partial x_1 \neq \partial x_2 \Rightarrow \partial x = \frac{\partial x_1 + \partial x_2}{2} \end{aligned}$$

COMPARACIÓN ENTRE VALORES MEDIDOS Y ACEPTADOS

Esta comparación radica en verificar si el valor medido con su respectiva incertidumbre concuerda con el valor aceptado para esa medición.

Ejemplo: para una medición de la velocidad se ha establecido que la velocidad aceptada es de *velocidad aceptada* = 330m/s ; al medir varias veces esta variable y determinar el mejor con su incertidumbre se obtuvo *velocidad medida* = $329 \pm 5\text{m/s}$. Como se puede notar a partir de la incertidumbre el rango en que estuvo esa medida fue entre 324 y 334 y ya que la velocidad aceptada se encuentra dentro del rango, se puede decir que la medición fue satisfactoria.

DISCREPANCIA

La discrepancia hace referencia al desacuerdo “DIFERENCIA” que existe entre dos valores medidos de una misma cantidad.

Ejemplo: si se tomaron dos medidas de una longitud y los datos medidos son 20cm y 23 cm , $20\text{cm} - 23\text{cm} = 3\text{cm}$ luego existe una discrepancia de 3cm . Por otra parte si se busca calcular la discrepancia de dos medidas o dos valores dados que cuentan con su respectiva incertidumbre, es posible definir si esa discrepancia es insignificante o no; por ejemplo si se tienen dos medidas de resistencia $40 \pm 5\Omega$ y $42 \pm 8\Omega$, $40\Omega - 42\Omega = 2\Omega$ luego la discrepancia es de 2Ω pero 2Ω es menor que cualquiera de las incertidumbres de esos dos valores así que se puede considerar que la discrepancia es insignificante.

INCERTIDUMBRE FRACCIONAL Y PORCENTUAL

La incertidumbre fraccional representa la calidad de la medición y la incertidumbre porcentual expresa el valor de la incertidumbre fraccional en términos estadísticos “%”.

- **Incertidumbre fraccional:**

$$\frac{\partial x}{x_{\text{prom}}} \quad (0.1.5)$$

Luego la medida se puede expresar en términos de la incertidumbre fraccional de la siguiente manera:

$$x = x_{\text{prom}} \pm \left(\frac{\partial x}{x_{\text{prom}}} \right) \quad (0.1.6)$$

- **Incertidumbre porcentual:**

$$\frac{\partial x}{x_{\text{prom}}} * 100 \quad (0.1.7)$$

Luego la medida se puede expresar en términos de la incertidumbre porcentual de la siguiente manera:

$$x = x_{\text{prom}} \pm \left(\frac{\partial x}{x_{\text{prom}}} * 100 \right) \quad (0.1.8)$$

PROPAGACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La mayoría de las cantidades físicas no pueden ser medidas de forma directa, sino que deben ser determinadas indirectamente mediante un cálculo en términos de dos o más variables medidas directamente. A continuación se muestra la manera de operar valores que están presentados con sus respectivas incertidumbres:

Sean los valores: $x = x_{\text{prom}} \pm \partial x$ e $y = y_{\text{prom}} \pm \partial y$

- **Suma** $q = x + y$

$$q = (x_{\text{prom}} + y_{\text{prom}}) \pm (\partial x + \partial y) \quad (0.1.9)$$

- **Resta** $q = x - y$

$$q = (x_{prom} - y_{prom}) \pm (\partial x + \partial y) \quad (0.1.10)$$

- **Producto** $q = x * y$

$$q = (x_{prom} * y_{prom}) \pm (x_{prom} * \partial y + y_{prom} * \partial x + \partial x \partial y) \quad (0.1.11)$$

- **Producto (Fraccional)**

$$q = (x_{prom} * y_{prom}) \pm (x_{prom} * y_{prom}) \left(\frac{\partial x}{|x_{prom}|} + \frac{\partial y}{|y_{prom}|} \right) \quad (0.1.12)$$

- **Cociente (fraccional)**

$$q = \left(\frac{x_{prom}}{y_{prom}} \right) \pm \left(\frac{x_{prom}}{y_{prom}} \right) \left(\frac{\partial x}{|x_{prom}|} + \frac{\partial y}{|y_{prom}|} \right) \quad (0.1.13)$$

CIFRAS SIGNIFICATIVAS

En trabajos de alta precisión, las incertidumbres son usualmente establecidas hasta de dos cifras significativas, pero en el trabajo introductorio del laboratorio se puede adoptar como regla general que las incertidumbres experimentales deben ser redondeadas a una cifra significativa.

Ejemplo: para un valor de incertidumbre 0.02385 debe ser redondeada a 0.02. Sin embargo, existe una excepción a esta regla: si el número que determina la incertidumbre es 1, entonces puede ser mejor mantener la siguiente cifra significativa. Por ejemplo, si se tiene un valor de incertidumbre de 0.14 redondear a 0.1 puede representar una substancial reducción proporcional, de modo que es mejor mantener la siguiente cifra significativa.

Una vez la incertidumbre ha sido estimada, se debe considerar cuales son las cifras significativas de la cantidad medida.

Ejemplo: una medición que se expresa como:

$$\text{velocidad} = 1053.87 \pm 20 \left[\frac{m}{seg} \right]$$

No es correcta, dado que la incertidumbre de 20 significa que el dígito “5” (tercera posición de 1053.87) puede realmente ser tan pequeño como ($3 = 5 - 2$) o tan grande como ($7 = 5 + 2$). De cualquier forma los dígitos 3.87 no tienen ningún sentido, y deben ser descartados. La forma correcta de establecer la medición debe ser:

$$\text{velocidad} = 1050 \pm 20 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}} \right]$$

De aquí se deduce otra regla que debe ser observada a la hora de presentar resultados de una medición:

“La última cifra significativa en cualquier respuesta debe ser del mismo orden de magnitud (en la misma posición decimal) que la incertidumbre.”

La anterior regla se aplica a la presentación de los resultados. En los cálculos intermedios debe mantenerse una cifra significativa más que la que es finalmente justificada, esto reduce los errores de redondeo. Sin embargo, la respuesta final deberá ser redondeada eliminando esta cifra significativa extra. Debe también tenerse en cuenta la elegancia en la presentación de los resultados: claramente es mejor escribir:

$$C = (2.35 \pm 0.04) \times 10^{-19} [\text{Coulombs}]$$

Que escribir:

$$C = 2.35 \times 10^{-19} \pm 4 \times 10^{-21} [\text{Coulombs}]$$

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué es una medición y medir?
2. Consultar y dar ejemplo de mediciones directas e indirectas.
3. ¿Qué es una medida ideal?
4. Si una medición de longitud es realizada con una regla graduada en milímetros, ¿cuál es la incertidumbre de la medida?
5. Si una medición de longitud es realizada con una regla graduada en centímetros, ¿cuál es la incertidumbre de la medida?
6. ¿Cuál es la expresión utilizada para calcular el periodo con un péndulo simple a partir del número de oscilaciones y el tiempo?
7. En un experimento se introducen dos líquidos en un matraz y se quiere hallar “solo” la masa total del líquido y su respectivo error de la forma ($M \pm \partial M$), usando las **ecuaciones (0.1.9)** y **(0.1.10)**

Se conocen:

$$\begin{aligned} M_1 &= \text{Masa del matraz 1 con el líquido} = 540 \pm 10 \text{ gr} \\ m_1 &= \text{Masa del matraz 1} = 72 \pm 1 \text{ gr} \\ M_2 &= \text{Masa del matraz 2 con el líquido} = 940 \pm 20 \text{ gr} \\ m_2 &= \text{Masa del matraz 2} = 97 \pm 1 \text{ gr} \end{aligned}$$

Procedimiento

ANÁLISIS DEL ERROR

- Escriba el siguiente conjunto de datos de mediciones de la **tabla 1** en la forma presentada en la ecuación (0.1.1)

Mejor estimado de la medición	Rango de confianza	$x_{prom} \pm \delta x$
210mm	180mm - 240mm	
30 V	27.5 V - 32.5 V	
0.3 A	0.1A - 0.5A	
0.52 mV	0.47 mV - 0.57 mV	

Tabla 1. Presentación de datos con su respectiva incertidumbre.

- Reescriba las medidas que se presentan en la **tabla 2** con el número correcto de cifras significativas.

Cantidad física	Mediciones	Cifras significativas
Altura (m)	$5,03 \pm 0,04328$	
Tiempo (seg)	$17,5325 \pm 5$	
Carga eléctrica (C)	$-2,32 \times 10^{-19} \pm 1,60 \times 10^{-20}$	
Longitud de onda (m)	$0,000000754 \pm 0,00000005$	
Momentum (gr.cm/seg)	$453,13 \times 10^{-3} \pm 0,039$	

Tabla 2. Cifras significativas.

- Un estudiante mide 10 veces la densidad de cierto objeto y obtiene como resultado la serie de datos que se presentan en la **tabla 3**

LABORATORIO DE MECÁNICA
TOMA DE DATOS E INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DEL
ERROR

- Identifique el mejor estimado con su respectiva incertidumbre y registre este valor en la **tabla 3**.
- Calcule la discrepancia entre el valor obtenido en el paso anterior y el valor aceptado para la densidad del objeto $1.83\text{gr}/\text{cm}^3$

Valores de densidad [gr/cm^3]	
1.8	1.7
2.0	1.9
2.0	2.0
1.9	1.9
1.8	2.1
$\rho_{prom} \pm \partial\rho =$	
Discrepancia con $1.83\text{ gr}/\text{cm}^3$	

Tabla 3. Análisis de discrepancia.

4. Determine la cantidad de pulsaciones cardíacas en 15 segundos haciendo uso de un cronómetro y complete la **tabla 4**.

- Realice esta medición una vez y estime la mejor medición y su incertidumbre.
- Ahora haga esta medición diez veces y estime el mejor valor y su incertidumbre.

$t = 15\text{ seg}$		
Cantidad de mediciones	# pulsaciones	$x_{prom} \pm \partial x$
2 mediciones		
10 mediciones		

Tabla 4. Pulsaciones cardiacas.

5. Un estudiante toma las siguientes mediciones:

$$\begin{aligned}a &= 5 \pm 1 [cm] \\b &= 19 \pm 3 [cm] \\c &= 11 \pm 2 [cm] \\t &= 2.9 \pm 0.4 [s] \\m &= 17 \pm 1 [gr]\end{aligned}$$

Calcule las siguientes cantidades con sus respectivas incertidumbres (fraccional y porcentual)

- $a + b - c$
 - mb
 - $\frac{mb}{t}$
6. Teniendo en cuenta que con un reloj es posible medir tiempo en un rango de un segundo hasta varios minutos con una incertidumbre de 0.1s. realice el montaje de un péndulo simple y tome los siguientes datos:
- Mida el tiempo de 5 oscilaciones. Calcule el valor del periodo mejor con su respectiva incertidumbre, complete la **tabla 5**.
 - Mida el tiempo de 20 oscilaciones. Calcule el valor del periodo mejor con su respectiva incertidumbre, complete la **tabla 6**.

$n = 5 \text{ osc.}$			
Cantidad de mediciones	Tiempo "t" [seg]	Periodo "T" [seg]	$T_{\text{prom}} \pm \partial T$
2 mediciones			
10 mediciones			

Tabla 5. Periodo de un péndulo simple para 5 oscilaciones.

$n = 20 \text{ osc.}$			
Cantidad de mediciones	<i>Tiempo "t" [seg]</i>	<i>Periodo "T" [seg]</i>	$T_{\text{prom}} \pm \partial T$
2 mediciones			
10 mediciones			

Tabla 6. Periodo de un péndulo simple para 20 oscilaciones.

7. Las mediciones de “ T ” y “ l ” para un péndulo simple en un experimento siendo el siguiente resultado:

$$l = 92.8 \pm 0.1 \text{ [cm]}$$

$$T = 1.935 \pm 0.004 \text{ [s]}$$

- Calcule el mejor valor que se puede estimar para “ g ” y para “ ∂g ” a partir de las siguientes expresiones:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

$$\frac{\partial g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\partial l}{l}\right)^2 + \left(2 \frac{\partial T}{T}\right)^2}$$

Preguntas de control

- ¿Cree usted que la discrepancia calculada en el inciso 3 del procedimiento es significativa? **Sustente su respuesta.**
- ¿Qué conclusión se puede extraer del experimento realizado en el inciso 4 del procedimiento?
- De las dos mediciones realizadas en el inciso 6 del procedimiento para el sistema del péndulo simple, ¿Cuál cree usted que resulta ser la más exacta? **Sustente su respuesta.**

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.

Objetivos

1. Aprender a identificar las variables que intervienen en un experimento de física. Así mismo relacionar las variables representadas mediante una función matemática.
2. Aprender a elaborar correctamente gráficas en papel milimetrado, a fin de facilitar la interpretación y cálculo de las constantes físicas de interés.
3. Linealizar el comportamiento de las gráficas para facilitar el estudio de las constantes físicas de interés, a partir de la obtención de la pendiente y término independiente producto de la linealización.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Papel milimetrado.	4	Suministrados por el estudiante
Escuadras.	2	
Calculadora	1	

Marco teórico**ANÁLISIS GRÁFICO**

En física es muy importante, además de predecir el error que tiene una medición, formular la ley que rige el fenómeno en estudio, o sea, que las experiencias realizadas permitan determinar la tendencia o relación entre las variables que influyen en el evento estudiado. Estas leyes físicas expresadas en forma matemática es lo que constituye una “relación funcional”.

Uno de los objetivos del experimentador es tratar de expresar la relación entre las diferentes variables en su experimento en la forma de una ecuación matemática. Así, cuando una cantidad se relaciona con otra por medio de alguna ecuación, se dice que una de las cantidades es función de la otra. Si la variable observable “y” está relacionada con la variable “x”, se dice que y es una función de x . Generalmente, esta relación se escribe, en notación abreviada, como $y = f(x)$ la cual se lee: “y es una función de x”. Cuando los valores de y dependen de los de x , la variable y se denomina variable dependiente y x es la variable independiente.

La tarea que nos ocupa ahora es analizar las diferentes formas que puede adoptar la función $f(x)$ obtenida a partir de una serie de datos experimentales.

Una de las mejores maneras de llegar al tipo de dependencia funcional que existe entre dos variables, es dibujar una gráfica de las variables en un sistema cartesiano de coordenadas. Así los valores experimentales de la variable independiente se marcan en el eje horizontal (*abscisa*) y la variable dependiente se marca sobre el eje vertical (*ordenada*). Despues de analizar si la tendencia de los puntos en el gráfico se ajusta a una línea recta o a una curva, se puede determinar la naturaleza de la función que relaciona las variables, especialmente si esta función tiene una forma sencilla.

Uno de los requisitos más importantes del gráfico, es la elección de escalas para los dos ejes de coordenadas. Debe tenerse presente que el gráfico de datos de laboratorio carece de significado, si no se identifica cada eje con la cantidad medida y las unidades utilizadas para medir. A continuación, se presentan algunas sugerencias para la elaboración de gráficas:

- Poner un título al gráfico que sea conciso y claro. **Ejemplo:** distancia vs. tiempo (ó " x vs. t "). Para la realización del grafico use, papel milimetrado.
- Seleccionar una escala que facilite la representación y la lectura. Se deben elegir escalas que puedan subdividirse fácilmente. No es necesario representar ambas cantidades en la misma escala, ni que comience en cero.
- Representar todos los datos observados. Demarcar claramente los puntos experimentales con un punto dentro de un pequeño círculo, o dentro de un triángulo, o algún otro símbolo semejante.
- Unir el mayor número de puntos con una curva suave, de modo que aquellos que queden por fuera de la curva queden igualmente repartidos por encima y por debajo. Si el gráfico no es una recta, puede utilizarse para el trazado una plantilla especial llamada curvígrafo.
- Un gráfico quedará más claro y adquirirá una mejor presentación si se hace uso de carteles interiores al gráfico, con información complementaria relevante para entender en qué contexto se muestran los datos o sobre las condiciones experimentales particulares bajo las que se los han obtenido.

En el análisis de un problema de física se puede partir de la teoría que predice una cierta ley física la cual se expresa con una ecuación cuya forma matemática nos guiará al analizar la forma del gráfico. La función matemática más simple es la línea recta y es por ello que tiene gran importancia en el análisis de datos experimentales. Por lo tanto, es útil linealizar la curva cuando ésta no sea una recta. Y determinando la pendiente y la intersección con el eje "y", se puede deducir valores numéricos de la pendiente y el termino independiente.

A continuación, se muestran las funciones más comunes con la respectiva ecuación que la define y la manera de obtener la pendiente. (Para los casos potencial y exponencial, se muestra como linealizar para obtener la pendiente fácilmente).

FUNCIÓN LINEAL ($y = ax + b$)

Toda ecuación que este dada de la forma $y = ax + b$ (donde a y b son constantes) representa una recta, lo cual se puede verificar si se asignan valores a las constantes “ a ” y “ b ” y se realiza una asignación de valores a “ x ”. Un ejemplo de una ecuación que está dada de esta forma es la expresión de la velocidad en el caso del lanzamiento vertical hacia abajo:

$$\begin{array}{c} v = gt + v_0 \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ y = ax + b. \end{array}$$

Como se puede notar la ecuación para la velocidad cumple con la forma de una función lineal. En toda ecuación de la forma $y = ax + b$, “ a ” representa la pendiente de la recta, luego para el caso de la velocidad, la pendiente estaría representada por el valor de la gravedad (g). Este valor de la pendiente para la ecuación de la recta $y = ax + b$ se puede calcular de la siguiente manera:

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (0.2,1)$$

FUNCIÓN POTENCIAL ($y = cx^n$)

Toda ecuación que está dada de la forma $y = cx^n$ (donde c y n son constantes) representa una función potencial, la cual se puede linealizar aplicando logaritmo a ambos lados de la igualdad de la siguiente manera:

$$\begin{array}{c} \log y = n \log x + \log c \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ y = a x + b. \end{array}$$

Al aplicar logaritmo a los términos que definen la función potencial cumpliendo la ecuación presentada, se puede obtener una representación lineal (ecuación de la recta). Luego de convertir función potencial a una forma de recta se puede obtener la pendiente aplicando la ecuación (0.2,1).

FUNCIÓN EXPONENCIAL ($y = ka^{bx}$)

Toda ecuación que está dada de la forma $y = ka^{bx}$ (donde k , b y a son constantes) representa una función exponencial la cual se puede linealizar aplicando logaritmo a ambos lados de la igualdad de la siguiente manera:

$$\log y = bx (\log a) + \log(k)$$

Si “ a ” vale 10, debe aplicarse logaritmo en base diez. Si “ a ” tiene cualquier valor, debe aplicarse logaritmo en base a ese valor. **Ejemplo:** $a = 2$, se aplica logaritmo en base 2 luego se tiene:

$$\log y = b \downarrow x \downarrow + \log k \downarrow \\ y = a \downarrow x \downarrow + b.$$

Al aplicar logaritmo a los términos que definen la función exponencial cumpliendo la ecuación presentada, se puede obtener una representación dada de la forma de una ecuación de la recta. Luego de convertir función exponencial a una forma de recta se puede obtener la pendiente aplicando la ecuación (0.2,1).

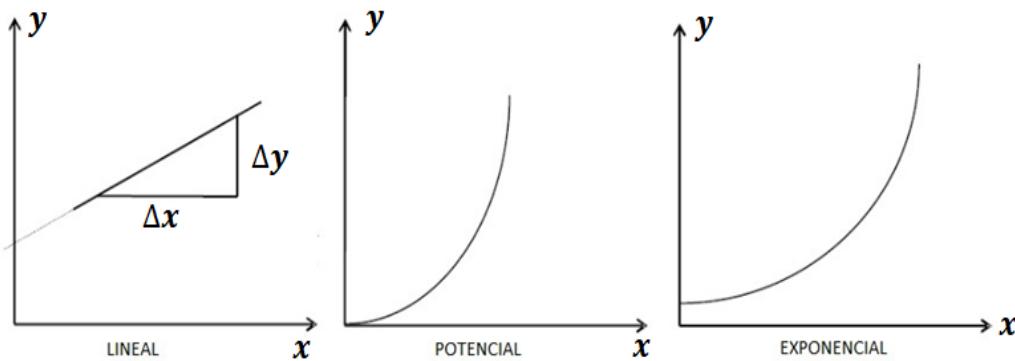


Figura 1. Funciones: Lineal, potencial y exponencial.

TRAZADO DE UNA RECTA QUE PASE ENTRE VARIOS PUNTOS

Cuando se grafican puntos experimentales y por ejemplo se obtiene una línea recta como gráfico, ésta usualmente no pasará por todos los puntos graficados. Los métodos estadísticos demuestran que siempre que la dispersión de los puntos experimentales se deba a los errores casuales de medición, la mejor recta pasará por el centroide de los puntos experimentales que es el punto con las coordenadas (\bar{x}, \bar{y}) , donde “ x ” es el valor medio de las coordenadas “ x ” de todos los puntos, y “ y ” el promedio de las coordenadas “ y ”. Así, es posible dibujar otras rectas alternativas. La pendiente y la intersección pueden ser obtenidos de la mejor recta que se pueda dibujar, o sea, la recta que mejor se ajuste: con igual peso en lo posible, esto es, igual número de puntos por encima y por debajo de la recta. El centroide se calcula entonces como:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (0.2,2)$$

Una vez definido el centroide, la recta de máxima pendiente se construye, como la recta que pasa por el centroide y por la mayoría de los puntos situados en la parte superior derecha del centroide y en la parte inferior izquierda de éste como se muestra en la figura 2. La recta de pendiente mínima debe pasar por el centroide y por la mayoría de puntos situados en la parte inferior derecha del centroide y en la parte superior izquierda de él. La ecuación de la recta óptima es la recta equidistante a ambas rectas y que pasa por el centroide. Así la recta óptima será:

$$y = a_{obt}x + b_{obt}, \quad (0.2,3)$$

donde a_{obt} es la pendiente óptima y b_{obt} es el punto de corte óptimo con el eje "y".

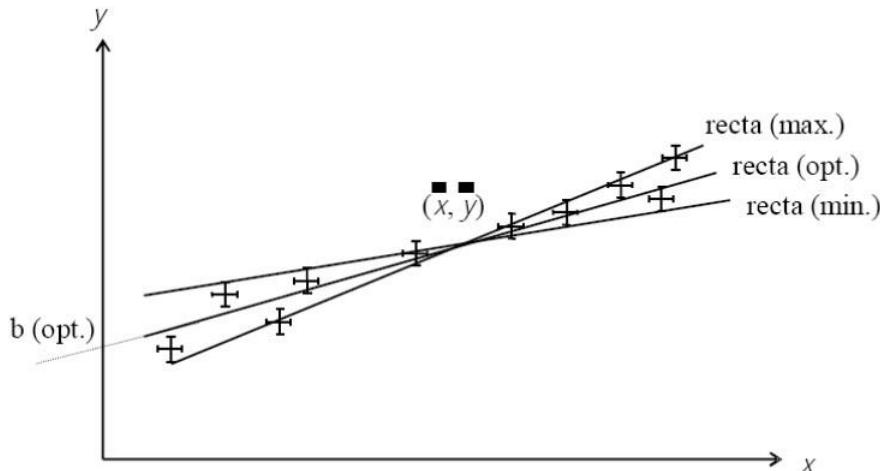


Figura 2. Recta óptima.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Investigar las propiedades de los logaritmos (muestre varios ejemplos).
2. Investigar el comportamiento de las funciones: exponencial, logarítmica y potencial.
3. Investigar el comportamiento físico de: fuerza vs. aceleración, voltaje vs. resistencia, voltaje vs. corriente, potencia vs. velocidad.
4. Investigar y mencionar al menos 4 expresiones matemáticas (*ecuaciones*) que definan un fenómeno físico y que a su vez satisfagan la ecuación de la recta.

Análisis

1. Para un objeto con movimiento uniformemente acelerado se hicieron las siguientes mediciones.

$t(s)$	1	2	3	4
$v(m/s)$	8	11	14	17

Tabla 1. Velocidad de un objeto con movimiento uniformemente acelerado.

- Grafique sobre papel milimetrado los datos de la **tabla 1**.

- Compare la gráfica obtenida, con las estudiadas anteriormente. ¿Con cuál tiene mayor semejanza?
- 2.** Al soltar un objeto en caída libre, se hicieron las mediciones que se indican en la **tabla 2**.

<i>t(s)</i>	1	1.5	2	2.5
<i>d(m)</i>	4.9	11	19.6	30.6

Tabla 2. Distancia en función del tiempo para un objeto que cae libremente.

- Grafique en el papel milimetrado los datos de la **tabla 2**.
 - Compare la curva obtenida con las estudiadas anteriormente. ¿Con cuál tiene mayor semejanza?
- 3.** Se tiene una cierta cantidad del elemento químico polonio, el cual al transcurrir los días comienza a desintegrarse, tal como se indica en la **tabla 3**.

<i>t(días)</i>	0	138	276	414
<i>P(%)</i>	100	50	25	12.5

Tabla 3. Porcentaje de Polonio en función del tiempo.

- Grafique el porcentaje “P” en función del tiempo “t”.
 - Compare la gráfica obtenida, con las estudiadas anteriormente. ¿Con cuál de ellas tiene mayor semejanza?
- 4.** Se aplica una fuerza constante F a un carrito de masa m y se mide su aceleración a del movimiento producido. Se repite el procedimiento para otros valores de masa manteniendo siempre la misma fuerza. Los resultados se consignan en la **tabla 4**.

<i>m (kg)</i>	1	2	3	4	5	6
<i>a (m/s²)</i>	24.30	13.17	8.25	6.30	4.90	4.25

Tabla 4. Aceleración en función de la masa (segunda ley de Newton).

- Dibujar la gráfica a en función de m .
 - Se sabe qué: $F = ma$. Deducir gráficamente la constante F .
 - Encuentre la aceleración, cuando la masa del carrito es $m = 100\text{kg}$.
- 5.** En los problemas que siguen, enuncie el cambio de variables que debe hacerse para linealizar la gráfica de las variables medidas y diga cómo puede encontrarse la incógnita que se pide.
- La velocidad de flujo de salida de un fluido ideal por un orificio en el lado de un tanque está dada por: $v = \sqrt{\frac{2P}{\rho}}$. Donde v y P son las variables medidas. Determine el valor de ρ .

- La frecuencia de resonancia de un circuito L - C en paralelo está dada por $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Donde ω y C son variables conocidas. Determine el valor de L .

Preguntas de control

1. En el inciso 1, de la sección análisis, ¿La recta pasa por el origen de coordenadas? ¿Qué indica esto? ¿Cuál es la ley que rige el movimiento?
2. En el inciso 2, de la sección análisis según el tipo de función, ¿puede obtener una línea recta? ¿cómo lo haría? Sustente su respuesta. Si su respuesta es sí, encuentre la pendiente de la recta. Sustituya los valores encontrados en la ecuación correspondiente y encuentre la ley que rige el movimiento.
3. La relación funcional entre las variables del inciso 3 del procedimiento es: lineal, potencial ó exponencial. ¿Por qué? Según el tipo de función, ¿se puede obtener una línea recta? ¿Cómo lo haría? Sustente su respuesta. Si su respuesta es sí, encuentre la pendiente de la recta. Sustituya los valores encontrados en la ecuación correspondiente y encuentre la ley que rige el fenómeno físico.
4. Realice la regresión lineal de la **tabla 3** y encuentre la ecuación del porcentaje de polonio dependiente del tiempo. ¿Qué cantidad de polonio quedará después de un año?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- Bertha Oda Noda, “Introducción al análisis grafico de datos experimentales”, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias (UNAM, 2005), 212 páginas.



LABORATORIO DE MECÁNICA COMPOSICIÓN Y DESCOMPOSICIÓN DE VECTORES

Objetivos

1. Encontrar la fuerza resultante de dos vectores.
2. Aplicar un sistema para comprender el análisis vectorial.
3. Verificar experimentalmente las condiciones de equilibrio para un sistema.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Mesa de fuerzas	1	
Poleas	3	
Anillo plástico	1	
Portapesas + hilo	1	
Juego de masas	1	
Papel milimetrado	2	Suministrado por el estudiante.



Esquema de Laboratorio

Marco teórico

Suma de vectores

Considere los vectores \vec{A} y \vec{B} que se muestran en la Figura 1. El vector resultante $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$ está determinado por el vector que une el origen del vector \vec{A} con el extremo final del vector \vec{B} .

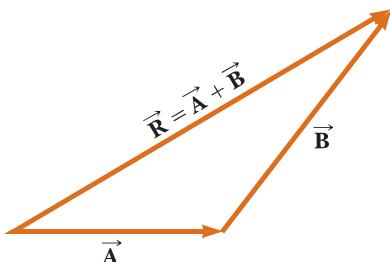


Figura 1. Suma de dos vectores \vec{A} y \vec{B}

Analíticamente, la suma de los vectores $\vec{A} = A_x\hat{i} + A_y\hat{j}$ y $\vec{B} = B_x\hat{i} + B_y\hat{j}$ es igual a:

$$\vec{R} = (A_x + B_x)\hat{i} + (A_y + B_y)\hat{j} \quad (1.1)$$

La magnitud y dirección del vector resultante \vec{R} están determinadas por:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (1.2)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) \quad (1.3)$$

Donde $R_x = A_x + B_x$ y $R_y = A_y + B_y$.

Descomposición de vectores

Considere el vector \vec{A} que está en el plano xy y forma un ángulo θ con el eje x como muestra la Figura 2.

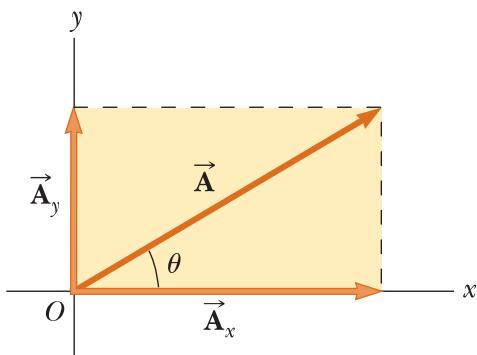


Figura 2. Descomposición de un vector en sus componentes rectangulares

Las componentes rectangulares del vector \vec{A} estarán determinadas por:

$$A_x = A \cos \theta \quad (2.4)$$

$$A_y = A \sin \theta \quad (1.5)$$

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué es un vector y cuáles son sus características?
2. ¿En qué consiste el método del paralelogramo? Explique con un ejemplo.
3. Sean los vectores $\vec{A} = 4\hat{i} + 5\hat{j}$ y $\vec{B} = -2\hat{i} + 3\hat{j}$, encontrar la magnitud y dirección del vector resultante gráficamente y analíticamente.
4. Sea el vector con coordenadas polares $\vec{A}(r, \theta) = (6, 38^\circ)$, graficar el vector en el plano xy y encontrar sus componentes rectangulares $\vec{A}(x, y)$.

Procedimiento

Montaje experimental 1: suma de vectores

1. Realice el montaje de las poleas y el juego de masas como se observa en la Figura 3. Para ello ubique la polea 1 en un ángulo θ_1 entre 0 y 90 grados (diferente de 0° y 90°) según indique el goniómetro de la mesa y regístrelo en la **Tabla 1** como θ_1 . Sobre el portapesas que pasa por esta polea, coloque una masa menor que 150 gr. y regístrela en la **Tabla 1** como m_1 .
2. Ubique la polea 2 en un ángulo θ_2 entre 90 y 180 grados (diferente de 90° y 180°) según indique el goniómetro de la mesa y regístrelo en la Tabla 1 como θ_2 . Sobre el portapesas que pasa por esta polea, coloque una masa menor que 150 gr. y regístrela en la **Tabla 1** como m_2 .
3. Ahora ubique la polea 3 y varié la masa del portapesas 3 hasta que quede centrado el anillo con el círculo dibujado sobre la mesa de fuerzas. Registre el ángulo de la polea 3 como θ_e (ángulo equilibrante) y la masa del portapesas 3 como m_e (masa equilibrante) en la **Tabla 1**.



Figura 3. Montaje experimental.

NOTA: Para minimizar el efecto de la fricción en la polea, mueva el hilo de una de las componentes hasta que se equilibre.

Montaje experimental 2: composición de vectores

1. Coloque la polea 1 a 0 grados y en el portapesas coloque una masa menor que 150 gr. Registre esta masa como m_1 en la **Tabla 4**.
2. Coloque la polea 2 a 90 grados y en el portapesas coloque una masa menor que 150 gr. Registre esta masa como m_2 en la **Tabla 4**.
3. Coloque masa sobre el portapesas 3 y ajuste la polea 3 hasta que se equilibre el anillo con el círculo dibujado sobre la mesa de fuerzas. Cuando se logre el equilibrio, registre en la **Tabla 4** la masa del portapesas 3 como m_e y el ángulo de la polea 3 como θ_e .

Análisis de datos

1. Convierta a kilogramos las masas m_1 , m_2 y m_e . registre estos datos en la **Tabla 1**.
2. A cada dato de masa anterior, multiplíquelo por la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) para encontrar las fuerzas F_1 , F_2 y F_e respectivamente.

3. Recuerde que la masa resultante es igual a la masa equilibrante ($m_r = m_e$), que la magnitud de la fuerza resultante es igual a la magnitud de la fuerza equilibrante ($F_r = F_e$) y que la dirección de la fuerza resultante es 180° menos que la dirección de la fuerza equilibrante ($\theta_r = \theta_e - 180^\circ$). Registre estos valores en la **Tabla 1**.

Masas m(gr)	Masas m(kg)	$F=mg(N)$	Ángulo (grados)
$m_1 =$	$m_1 =$	$F_1 =$	$\theta_1 =$
$m_2 =$	$m_2 =$	$F_2 =$	$\theta_2 =$
$m_r =$	$m_r =$	$F_r =$	$\theta_r =$
$m_e =$	$m_e =$	$F_e =$	$\theta_e =$

Tabla 1. Datos método experimental.

4. En una hoja de papel milimetrado, grafique las fuerzas F_1 y F_2 de la **Tabla 1**, escogiendo para ello una escala adecuada de tal forma que se puedan observar en forma clara y permita realizar la suma de estas fuerzas por cualquier método gráfico (Método del paralelogramo, método del triángulo). Mida la magnitud y dirección de la fuerza resultante encontrada mediante este método y regístrelas en la **Tabla 2** como F_r y θ_r .

Masas m(gr)	Masas m(kg)	$F=mg(N)$	Ángulo (grados)
$m_1 =$	$m_1 =$	$F_1 =$	$\theta_1 =$
$m_2 =$	$m_2 =$	$F_2 =$	$\theta_2 =$
$m_r =$	$m_r =$	$F_r =$	$\theta_r =$
$m_e =$	$m_e =$	$F_e =$	$\theta_e =$

Tabla 2. Datos método gráfico.

5. Encuentre la magnitud y dirección de la fuerza equilibrante ($F_e = F_r$), ($\theta_e = \theta_r + 180^\circ$) y regístrelas en la **Tabla 2** como F_e y θ_e .
6. Tome los valores de las fuerzas F_1 y F_2 y mediante el método analítico encuentre sus componentes. Luego súmelas y encuentre la magnitud y dirección de la fuerza resultante. Registre estos valores en la **Tabla 3** como F_r y θ_r .

7. Masas m(gr)	Masas m(kg)	$F=mg(N)$	Ángulo (grados)
$m_1 =$	$m_1 =$	$F_1 =$	$\theta_1 =$
$m_2 =$	$m_2 =$	$F_2 =$	$\theta_2 =$
$m_r =$	$m_r =$	$F_r =$	$\theta_r =$
$m_e =$	$m_e =$	$F_e =$	$\theta_e =$

Tabla 3. Datos método analítico.

8. Encuentre la magnitud y dirección de la fuerza equilibrante y regístrelas en la Tabla 3 como F_e y θ_e .

9. Encuentre el error porcentual de la fuerza resultante experimental (F_r Tabla 1, valor experimental) y la fuerza resultante analítica (F_r Tabla 3, valor teórico) mediante la fórmula:

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (1.6)$$

10. Registre este valor en la **Tabla 7**.

11. Encuentre el error porcentual de la fuerza resultante por el método grafico (F_r Tabla 2, valor experimental) y la fuerza resultante analítica (F_r Tabla 3, valor teórico) mediante la fórmula 1.6 y registre este valor en la **Tabla 7**.

12. Tome los datos de masa m_1 , m_2 y m_e de la **Tabla 4** y conviértalos a kilogramos. Regístrelos en la **Tabla 4**.

13. A cada dato de masa anterior, multiplíquelo por la gravedad para encontrar las fuerzas F_1 , F_2 y F_e respectivamente.

14. Recuerde que la masa resultante es igual a la masa equilibrante ($m_r = m_e$), que la magnitud de la fuerza resultante es igual a la magnitud de la fuerza equilibrante ($F_r = F_e$) y que la dirección de la fuerza resultante es 180° menos que la dirección de la fuerza equilibrante ($\theta_r = \theta_e - 180^\circ$). Registre estos valores en la **Tabla 4**.

Masas m(gr)	Masas m(kg)	$F=mg(N)$	Ángulo (grados)
$m_1 =$	$m_1 =$	$F_1 =$	$\theta_1 = 0$
$m_2 =$	$m_2 =$	$F_2 =$	$\theta_2 = 90^\circ$
$m_r =$	$m_r =$	$F_r =$	$\theta_r =$
$m_e =$	$m_e =$	$F_e =$	$\theta_e =$

Tabla 4. Composición de un vector método experimental.

15. En una hoja de papel milimetrado, grafique las fuerzas F_1 y F_2 de la **Tabla 4**, escogiendo para ello una escala adecuada de tal forma que se puedan observar en forma clara y permita realizar la suma de estas fuerzas por cualquier método grafico (Método del paralelogramo, método del triángulo). Mida la magnitud y dirección de la fuerza resultante encontrada mediante este método y regístrelas en la **Tabla 5** como F_r y θ_r .

Masas m(gr)	Masas m(kg)	$F=mg(N)$	Ángulo (grados)
$m_1 =$	$m_1 =$	$F_1 =$	$\theta_1 = 0$
$m_2 =$	$m_2 =$	$F_2 =$	$\theta_2 = 90^\circ$
$m_r =$	$m_r =$	$F_r =$	$\theta_r =$
$m_e =$	$m_e =$	$F_e =$	$\theta_e =$

Tabla 5. Composición de un vector método gráfico.

16. Encuentre la magnitud y dirección de la fuerza equilibrante ($F_e = F_r$, $\theta_e = \theta_r + 180^\circ$) y regístrelos en la **Tabla 5** como F_e y θ_e .

17. Tome el valor de las fuerzas F_1 y F_2 y usando las formulas 1.2 y 1.3 encuentre la magnitud y dirección del vector fuerza resultante. Registre estos valores en la **Tabla 6** como F_r y θ_r .

Masas m(gr)	Masas m(kg)	$F=mg(N)$	Ángulo (grados)
$m_1 =$	$m_1 =$	$F_1 =$	$\theta_1 = 0$
$m_2 =$	$m_2 =$	$F_2 =$	$\theta_2 = 90^\circ$
$m_r =$	$m_r =$	$F_r =$	$\theta_r =$
$m_e =$	$m_e =$	$F_e =$	$\theta_e =$

Tabla 6. Composición de un vector método analítico.

	Método experimental Vs. Método analítico	Método gráfico Vs. Método analítico
%Error		

Tabla 7. Porcentaje de error.

18. Encuentre el error porcentual de la fuerza resultante experimental (F_r **Tabla 4**, valor experimental) y la fuerza resultante analítica (F_r **Tabla 6**, valor teórico) mediante la fórmula:

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (1.7)$$

19. Registre este valor en la **Tabla 8**.

20. Encuentre el error porcentual de la fuerza resultante por el método grafico (F_r **Tabla 5**, valor experimental) y la fuerza resultante analítica (F_r **Tabla 6**, valor teórico) mediante la fórmula 1.7 y registre este valor en la **Tabla 8**.

	Método experimental Vs. Método analítico	Método gráfico Vs. Método analítico
%Error		

Tabla 8. Porcentaje de error.

Preguntas de control

1. ¿Cuál de los tres métodos en su concepto es el más exacto y por qué?
2. ¿Analice las fuentes de error presentes y como pudieron ser minimizadas?
3. ¿Son acordes los resultados de la fuerza equilibrante obtenidos experimentalmente con los resultados obtenidos analíticamente, base su respuesta en los cálculos de error realizados?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

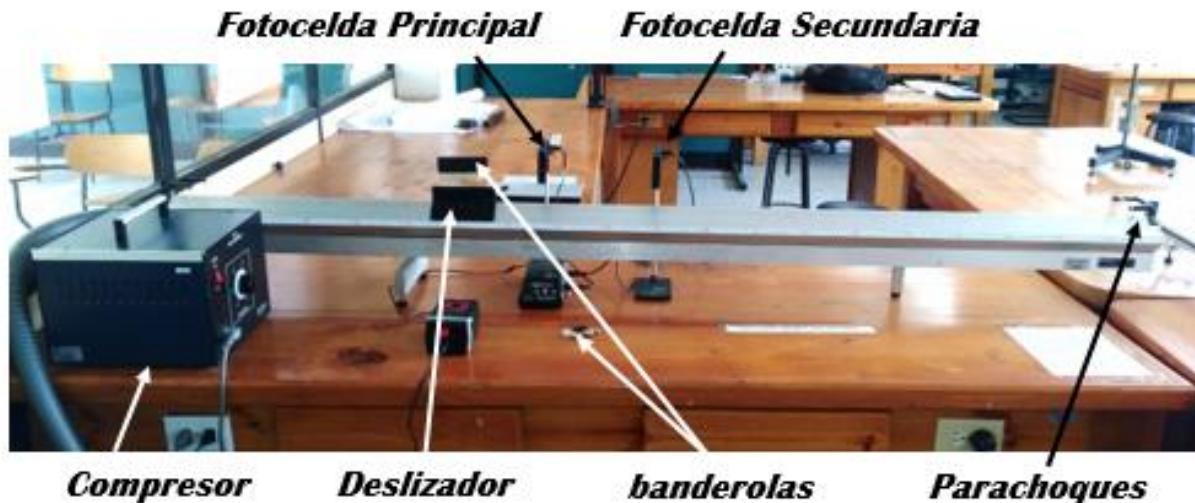
- Serway, R. & Jewet, J.: Física para ciencias e ingeniería Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: Física universitaria volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.

Objetivos

1. Entender los conceptos y relación entre la velocidad media y velocidad instantánea de modo experimental.
2. Entender, como a partir de una secuencia de velocidades promedio se puede deducir la velocidad instantánea.
3. Comprender el funcionamiento de las fotoceldas.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Carril de aire	1	No colocar marcas sobre él.
Deslizador	1	No deslizarlos sobre el carril si éste no está encendido.
Banderolas de 10cm, 2.6cm y 1cm	1 c/u	
Fotocelda principal (ME-9215)	1	
Fotocelda auxiliar (ME-9204B)	1	
Compresor	1	
Parachoques	2	

**Esquema de Laboratorio**

Marco teórico

VELOCIDAD MEDIA Y VELOCIDAD INSTANTÁNEA

VELOCIDAD MEDIA:

“La velocidad media de un objeto se define como la distancia recorrida, dividida por el tiempo transcurrido”

Por su propia naturaleza, la medición del desplazamiento de un objeto implica que formalmente obtengamos siempre valores medios, ya que los objetos requieren cierto tiempo en recorrer una determinada distancia. La velocidad media del movimiento es definida en la ecuación (2.1), como el cociente entre la distancia recorrida (Δx) y el tiempo transcurrido (Δt), así:

$$v_{med} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Sin embargo, si se mide la velocidad promedio de un objeto móvil sobre intervalos cada vez más pequeños de distancia, el valor de la velocidad media se aproxima al valor de la velocidad instantánea del objeto.

VELOCIDAD INSTANTÁNEA:

“es el límite al cual tiende la velocidad media cuando el intervalo de tiempo se aproxima a cero”

La velocidad Instantánea se define según la ecuación (2.2) como:

$$v_{inst.} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (2.2)$$

donde $\frac{dx}{dt}$ es la derivada de x con respecto a t .

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Explique detalladamente las ecuaciones de un movimiento rectilíneo uniforme (MRU).
2. Para el movimiento rectilíneo uniforme (MRU), haga un dibujo del comportamiento de la posición (x) vs. tiempo transcurrido (t) y velocidad (v) vs. tiempo transcurrido (t).

Procedimiento

1. Verifique que las bandas elásticas (ligas) estén puestas en los parachoques, ubicados en ambos extremos del riel como se observa en la **figura 1**.
2. Conecte el compresor a la toma de luz y enciéndalo, en el nivel 4. Mantenga siempre la misma intensidad de aire. Coloque el carrito deslizador sobre el riel, en el extremo izquierdo.

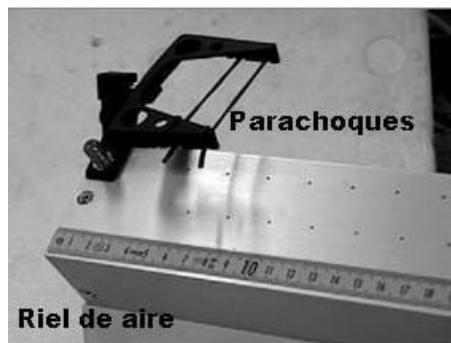


Figura 1. Disposición del parachoques.

3. Ubique la primera fotocelda en la posición de 60cm en la cinta métrica del riel, y ubique la segunda fotocelda a una distancia de 1m (160cm) de la primera. (Deje fija la primera fotocelda).
4. Disponga la fotocelda principal en modo “**PULSE**” y en la escala de **1 ms**. Ajuste la altura de las dos fotoceldas de tal forma que el haz de luz de la fotocelda sea bloqueado cuando el carrito deslizante baje por el carril, cuidando que con ninguna de las posibles banderolas choque con las fotoceldas (el Led ó bombillito rojo se enciende y apaga). Realice 3 pruebas soltando el carrito deslizador con la banderola de 10 cm para ver si funcionan correctamente las fotoceldas y para comprobar que no se presentan choques entre los elementos.
5. Impulse el carrito con la banda elástica del lado izquierdo. Esto garantizará que siempre que se libere el carrito deslizador, este salga aproximadamente con la misma fuerza. Libere el carrito deslizador y tome registro del tiempo en la **tabla 1**, con todos los decimales.
6. Realice el paso anterior 3 veces y registre los datos de tiempo en la **tabla 1**.
7. Realice los pasos 5 y 6 disminuyendo la distancia “*D*” en 10cm, acercando la segunda fotocelda a la primera. Registre los datos en la **tabla 1**. Repita este procedimiento hasta que la separación entre fotoceldas sea de 20cm.

Toma	Distancia "D" (m)	t_1	t_2	t_3	$\Delta t_{mejor} \pm \delta t$ (segundos)	v_{med} (m/s)
1	1.00					
2	0.90					
3	0.80					
4	0.70					
5	0.60					
6	0.50					
7	0.40					
8	0.30					
9	0.20					

Tabla 1. Toma de datos modo “PULSE”. El valor de δt corresponde a la incertidumbre de la mediciones del tiempo.

- Posicione la fotocelda principal en la marca de 1m de la cinta métrica. Disponga la fotocelda principal en modo “GATE” y en precisión de 0.1ms. Mida 3 veces el tiempo cuando la banderola utilizada es de 10cm, 2.5 cm, 1cm y 1mm (en el caso de la banderola de 1cm, gírela para que pase de lado). Registre los datos en la **tabla 2**.

Toma	Distancia “D” (cm) “Banderola”	t_1	t_2	t_3	$\Delta t_{mejor} \pm \delta t$ (segundos)	v_{med} (m/s)
1	10					
2	2.5					
3	1					
4	0.1					

Tabla 2. Toma de datos modo “GATE”.

Análisis de datos

- Calcule el promedio con su respectiva incertidumbre para los 3 datos de tiempo registrados en la **tabla 1** y registre estos resultados en la **tabla 1** como $\Delta t_{mejor} \pm \delta t$, para cada caso.
- Tome Δt_{mejor} como “ Δt ” y D como “ Δx ” para obtener el valor de la velocidad media, usando la ecuación (2.1); registre estos datos como v_{med} en la **tabla 1**.
- Realice los pasos 1 y 2 del análisis de datos con los datos de la **tabla 2**, para completar dicha tabla.

4. Realice una gráfica en papel milimetrado de “ Δx ” Vs. “ Δt ” para los datos de la **tabla 1** y la **tabla 2** por separado.
5. Determine las ecuaciones de la recta de cada una de las dos gráficas realizadas en el punto anterior mediante regresión lineal y explique su sentido físico.

Preguntas de control

1. ¿Con cuál de las cuatro banderolas utilizadas en la tabla 2 cree usted que se obtiene una mayor aproximación a la velocidad instantánea del carro, justifique su respuesta?
2. ¿Qué factores (precisión de cronometrado, tiempo de medición, liberación del objeto, tipo de movimiento) influye en los resultados?
3. ¿Qué tipo de movimiento se ha considerado para analizar la velocidad promedio e instantánea?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Puede consultar el tema en la siguiente bibliografía:

- M. Alonso, E.J. Finn: “Física”, Vol. 1, Fondo Educativo Interamericano.
- P.A. Tipler: “Física para la Ciencia y la Tecnología”. 5^a Edición. Vol. 1, Ed. Reverté.
- F.W. Sears, M.W. Zemansky, H.D. Young y R.A. Freedman: “Física Universitaria”, 12^a Edición. Vol.1, Addison-Wesley-Longman/Pearson Education.
- Serway R (1997). Física, Vol. I 4^a Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana: México.
- Resnick, R. Halliday, D y Krane K. (2000). Física Vol. I, 4^a Edición. Compañía Editorial continental. S.A: México.

**Objetivos**

1. Estudiar el movimiento de proyectiles.
2. Calcular, a partir de datos experimentales, la rapidez inicial, el tiempo de vuelo y el alcance horizontal de un proyectil.
3. Identificar los valores para cada variable que interviene en el movimiento de proyectiles.
4. Predecir y verificar mediante la cinemática el alcance de un proyectil.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Mesa de madera.	1	
Lanzador de proyectiles.	1	
Cargador de proyectiles.	1	
Esfera de plástico.	1	
Cinta métrica.		
Papel carbón, Papel bond, cinta pegante.	1	Suministrados por el estudiante

**Esquema de laboratorio**

Marco teórico

MOVIMIENTO DE UN PROYECTIL

El movimiento de un proyectil es un ejemplo clásico del movimiento en dos dimensiones con aceleración constante. Un proyectil es cualquier cuerpo que se lanza o proyecta por medio de alguna fuerza y continúa en movimiento por inercia propia. Un proyectil es un objeto sobre el cual la única fuerza que actúa es la aceleración de la gravedad. La gravedad actúa para influenciar el movimiento vertical del proyectil. El movimiento horizontal del proyectil es el resultado de la tendencia de cualquier objeto a permanecer en movimiento a velocidad constante.

Los proyectiles que están cerca de la Tierra siguen una trayectoria curva muy simple que se conoce como parábola, un ejemplo se puede apreciar en la **figura 1**. Para describir el movimiento es útil separarlo en sus componentes horizontal y vertical y de esta manera poder predecir el alcance el proyectil estudiado.

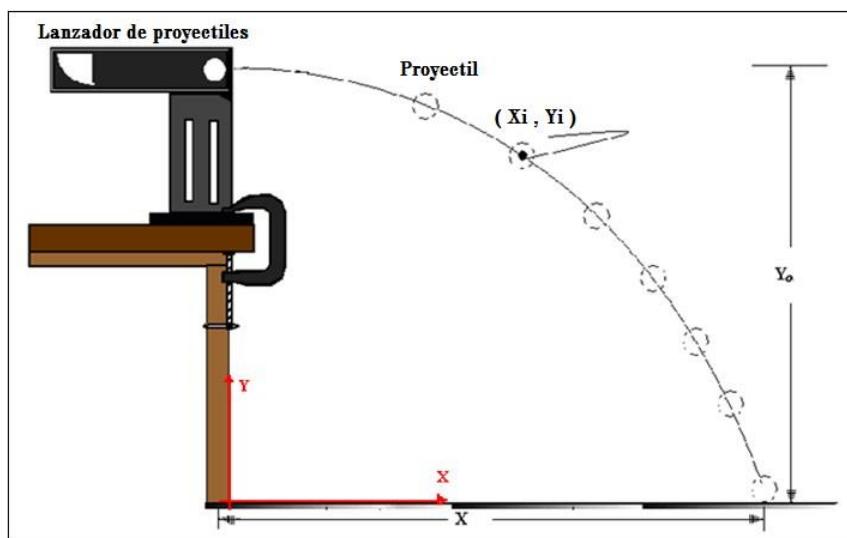


Figura 1. Lanzamiento de proyectiles. Montaje Experimental.

Para predecir donde caerá el proyectil sobre el piso, cuando este es disparo desde cierta altura Y_0 a un determinado ángulo sobre la horizontal, es necesario determinar su rapidez inicial. Ésta se puede determinar lanzando el proyectil horizontalmente y midiendo el desplazamiento horizontal y la altura inicial de este antes del disparo (dentro del Minilanzador) con respecto al piso. Luego se puede utilizar esta velocidad inicial para calcular la posición del punto de aterrizaje cuando se lanza el proyectil con un cierto ángulo.

VELOCIDAD HORIZONTAL INICIAL

Para un proyectil disparado horizontalmente con una rapidez inicial V_0 , la distancia horizontal recorrida por este o su desplazamiento horizontal está determinado por:

$$x = V_0 t \quad (3.1)$$

Donde t es el tiempo que el proyectil permanece en el aire (La fricción con el aire se asume despreciable). Por otra parte, la distancia vertical que recorre el proyectil está dada por:

$$Y - Y_0 = -\frac{1}{2}gt^2 \quad (3.2)$$

Despejando t de la anterior expresión, encontramos el tiempo en que se encuentra el proyectil cuando este está a una cierta altura Y

$$t = \sqrt{\frac{-2(Y - Y_0)}{g}} \quad (3.3)$$

Para poder encontrar la velocidad inicial V_0 es necesario calcular el tiempo de vuelo t_v , que es el tiempo donde la altura es 0 (se llega al suelo), o el tiempo en el que el proyectil permanece en el aire. El tiempo de vuelo t_v , se obtiene reemplazando $Y = 0$ en la ecuación (3.3), obteniéndose la expresión:

$$t_v = \sqrt{\frac{2Y_0}{g}} \quad (3.4)$$

Con base a lo anterior la velocidad inicial V_0 del proyectil puede ser determinada mediante la expresión (3.5), en donde para calcular esta velocidad solo se debe medir las distancias x e Y_0 (estas distancias se muestran en la figura 1).

$$V_0 = \frac{x}{t_v} \quad (3.5)$$

PREDICCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL x

Si se presenta el caso en que el proyectil es lanzado con un ángulo θ por encima de la horizontal, como se muestra en la **figura 2**, la manera de predecir el alcance x del proyectil lanzado con una velocidad inicial V_0 , consiste inicialmente en predecir el tiempo de vuelo empleando la siguiente expresión:

$$Y = Y_0 + V_0 \sin(\theta) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (3.6)$$

Donde Y_0 es la altura vertical inicial del proyectil y Y es su coordenada vertical final cuando golpea el suelo. Para encontrar el tiempo de vuelo se debe reemplazar $Y = 0$ (altura del suelo) en la ecuación (3.6), dando como resultado una ecuación cuadrática que se muestra en la ecuación (3.7).

$$0 = Y_0 + V_0 \sin(\theta) t_v - \frac{1}{2} g t_v^2 \quad (3.7)$$

El tiempo de vuelo se obtiene al resolver esta ecuación cuadrática (Ec (3.7)).

Finalmente, para calcular el alcance del proyectil se aplica la ecuación:

$$X = V_0 \cos(\theta) t_v \quad (3.8)$$

Debe tenerse en cuenta que, si el proyectil es lanzado con ángulo por debajo de la horizontal, θ es negativo.

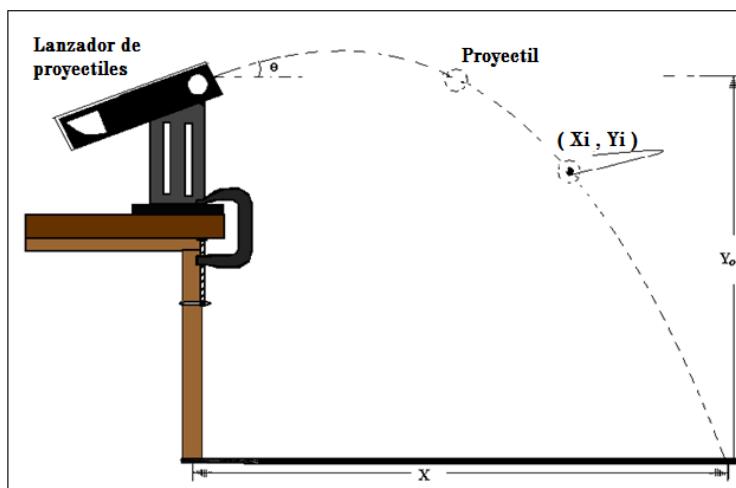


Figura 2. Lanzamiento de proyectiles por encima de la horizontal.

El lanzamiento del proyectil en este laboratorio se efectúa con un Mini lanzador de proyectiles PASCO. Este lanzador dispara esferas por medio de un resorte. El lanzador se carga colocando una esfera de acero en el cañón y comprimiendo manualmente el resorte; a medida que se comprime, el resorte pasa por las tres

posiciones que determinan los rangos de disparo (corto-medio-largo) según la posición en que quede trabado el resorte. Al pasar por cada posición se siente un "clic" del gatillo de traba.



Figura 3. Rangos de disparo del mini lanzador de proyectiles PASCO.

El lanzador se monta sobre el soporte que permite modificar el ángulo y la posición con respecto a la superficie de apoyo. El ángulo del disparo se determina mediante la plomada y el cuadrante que forman parte del propio lanzador.

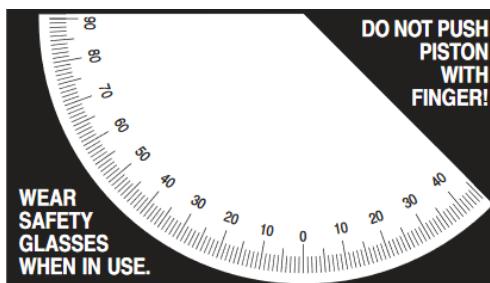


Figura 4. Cuadrante que permite medir el ángulo de lanzamiento.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Explique brevemente ¿En qué consiste el movimiento parabólico?
2. En el movimiento parabólico ¿qué tipo de movimiento se manifiesta en el eje x? y ¿qué tipo de movimiento se manifiesta en el eje y?
3. ¿Qué supuestos se asumen como verdaderos en el movimiento de proyectiles, desde el punto de vista de la cinemática?

Procedimiento

PARTE I. LANZAMIENTO HORIZONTAL

1. Disponga el lanzador de proyectiles de forma horizontal formando un ángulo de **0** grados con la horizontal (el hilo que cuelga del lanzador debe coincidir con 0°).

2. Mida la distancia vertical presente entre el suelo y el punto de salida del proyectil (centro del proyectil). Registre este valor en la **tabla 1** como Y_0 .
3. Ponga la esfera de plástico dentro del lanza proyectiles y cárguelo a su posición de alcance medio (**Tenga en cuenta que esta posición debe mantenerse durante toda la práctica para garantizar que la rapidez inicial del proyectil sea siempre la misma**). Cuando el lanzador de proyectiles este cargado con la esfera de plástico, realice un disparo (este será un disparo de prueba y servirá para tener una idea del sitio en donde se deberá ubicar el papel Bond).
4. Frote la esfera de plástico con el lado con tinta del papel carbón y asegúrese que la esfera quede impregnada con la tinta, de tal forma que al impactar sobre el papel Bond la esfera deje una marca que indicara el lugar del impacto.
5. Realice ocho lanzamientos de proyectil y posteriormente mida las ocho distancias marcadas desde el punto inicial (justo debajo del punto de salida del proyectil en el suelo) hasta cada uno de los puntos marcados por la esfera de plástico impregnada con la tinta del papel carbón sobre el papel Bond.
6. Registre en la **tabla 1** las distancias medidas en el punto anterior como $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$.
7. Realice una sumatoria de $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$, luego divida ese resultado entre 8 y registre ese valor en la **tabla 1** como X_{Prom} , además calcule la incertidumbre de los ocho lanzamientos.

Altura $Y_0(m)$	<i>Distancia Horizontal</i> $X(m)$								$X_{prom} \pm \partial X$ [m]	Tiempo $t_v(s)$	Velocidad inicial $V_0 \left(\frac{m}{s}\right)$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8			

Tabla 1. Lanzamiento horizontal.

PARTE II. LANZAMIENTO EN UN ÁNGULO θ

8. Incline el lanzador de proyectiles un ángulo θ (elija este valor entre 0° y 15°). Registre el valor seleccionado para el ángulo en la **Tabla 2**.
9. Mida la distancia vertical presente entre el suelo y el punto de salida del proyectil (centro del proyectil). Registre este valor en la **tabla 2** como Y_0 .
10. Cargue el lanzador de proyectiles con la esfera de plástico y realice un disparo (este será un disparo de prueba y servirá para tener una idea del sitio en donde se deberá ubicar el papel Bond y el papel carbón).
11. Frote la esfera de plástico con el lado con tinta del papel carbón y asegúrese que la esfera quede impregnada con la tinta, de tal forma que al impactar sobre el papel Bond la esfera deje una marca que indicara el lugar del impacto.

impacto.

12. Realice ocho lanzamientos de proyectil y posteriormente mida las ocho distancias marcadas desde el punto inicial (justo debajo del punto de salida del proyectil en el suelo) hasta cada uno de los puntos marcados por la esfera de plástico impregnada con la tinta del papel carbón sobre el papel Bond.

13. Registre en la **Tabla 2** las distancias medidas en el punto anterior como $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$.

14. Realice una sumatoria de $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$, luego divida ese resultado entre 8 y registre ese valor en la **Tabla 2** como X_{Prom} , además calcule la incertidumbre de los ocho lanzamientos.

Altura $Y_0(m)$	<i>Angulo</i> θ <i>Grados</i>	Distancia Horizontal $X(m)$								X_{prom} $\pm \partial X$ [m]	Tiempo t_v (s)	$X_{teórico}$ [m]	Error Porcentual (%)
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8				

Tabla 2. Lanzamiento por encima de la horizontal.

Análisis de datos

- Utilice las ecuaciones **(3.4)** y **(3.5)** para determinar el tiempo de vuelo y la velocidad inicial del proyectil respectivamente, para el caso en que el proyectil es lanzado horizontalmente y registre los datos en la **tabla 1** (utilice la altura Y_0 y la distancia horizontal promedio X_{prom} de la **tabla 1** para completar las ecuaciones).
- Determine el tiempo de vuelo del proyectil haciendo uso de la ecuación **(3.7)** y registre este valor en la **tabla 2** (recuerde que Y_0 equivale a la distancia vertical presente entre el suelo y el punto de salida del proyectil).
- Con el tiempo calculado en el punto anterior determine el valor teórico $X_{teórico}$ para la distancia horizontal mediante la ecuación **(3.8)** y registre este dato en la **tabla 2**.
- Calcule y registre en la **tabla 2** el error porcentual entre la distancia horizontal promedio X_{prom} y el valor teórico de la distancia horizontal $X_{teórico}$, mediante la ecuación **(3.9)**. (el valor promedio equivaldría al experimental)

$$E_{rel} = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (3.9)$$

Preguntas de control

1. ¿Existe otra manera o equipo para medir la velocidad del proyectil de modo tal que usted pueda verificar los resultados de la práctica? (**sustente su respuesta**)
2. ¿Qué fuentes de error están presentes en la práctica?
3. Calcule el rango establecido por la incertidumbre del valor promedio para la **tabla 1**, mediante la fórmula:
$$[x_{prom} - \partial x, x_{prom} + \partial x] \quad (3.10)$$
4. Calcule el rango establecido por la incertidumbre del valor promedio para la **tabla 2**, mediante la fórmula (3.10).
5. De los 8 lanzamientos de proyectil realizados para la configuración de lanzamiento horizontal (**tabla 1**), ¿Cuántos caen dentro del rango establecido por la incertidumbre del valor promedio calculado en el punto 4? (**Escriba explícitamente el valor de estos lanzamientos**)
6. De los 8 lanzamientos de proyectil realizados para la configuración de lanzamiento por encima de la horizontal (**tabla 2**), ¿Cuántos caen dentro del rango establecido por la incertidumbre del valor promedio calculado en el punto 5? (**Escriba explícitamente el valor de estos lanzamientos**)

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

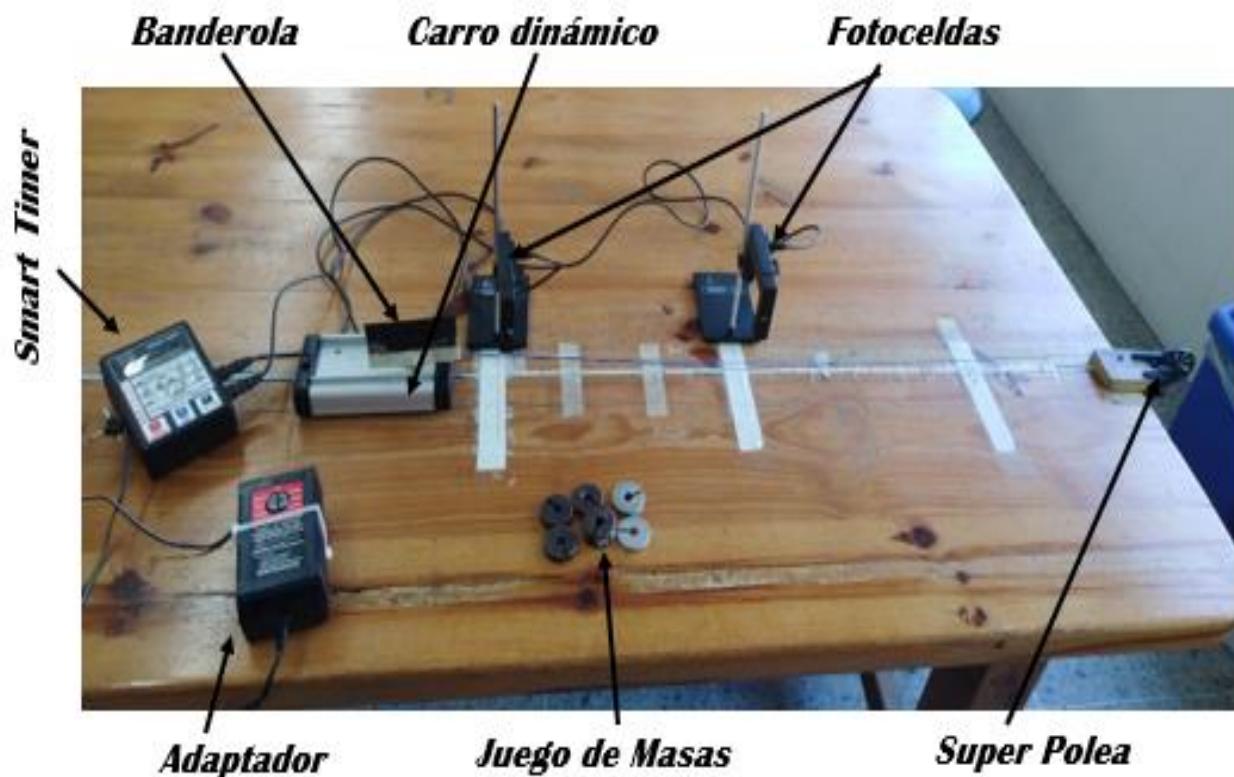
- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.



Objetivos

1. Estudiar y verificar la Segunda Ley de Newton, así como el comportamiento de un sistema con movimiento rectilíneo acelerado.
2. Analizar el comportamiento de la aceleración de un objeto que no varía su masa, cuando la fuerza que se le aplica aumenta.

Esquema del laboratorio y Materiales



Esquema de Laboratorio

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Carrito dinámico	1	
Balanza	1	
Smart Timer	1	
Fotoceldas	2	
Portapesas	1	
Juego de masas	1	
Cuerda (SE-8050)	1	
Súper polea con prensa	1	
Banderola	1	
Cables de conexión para fotocelda	4	

Marco teórico

LEYES DE NEWTON

Las leyes de Newton son la base teórica de la mecánica clásica; han sido comprobadas y utilizadas para describir las características del movimiento mecánico de todos los cuerpos macroscópicos con gran precisión, con ayuda de las ecuaciones del movimiento mecánico se puede predecir en cada momento de tiempo la posición, velocidad, aceleración, o el tiempo transcurrido.

SEGUNDA LEY DE NEWTON

“La aceleración de un cuerpo que está en movimiento debido a una fuerza es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo”

Con la Segunda ley, Newton describió la relación entre la aceleración, la fuerza y la masa; relación que también se puede expresar de la siguiente manera:

$$F = ma \quad (4.1)$$

Ahora bien, si se considera un sistema en el que un cuerpo de masa “M” (masa del carro) se desliza sobre una superficie horizontal debido a la fuerza aplicada por medio de una cuerda que está sujeta a una masa “ m_1 ” (masa que cuelga al final de la superficie plana más la masa del portapesas) a través de una polea; la fuerza neta “ F_{Neta} ” que actúa sobre todo el sistema es el peso de la masa colgante multiplicada por la gravedad que equivale a 9.8 m/s^2 . (si se desprecia la fricción)

$$F_{Neta} = m_1g \quad (4.2)$$

De acuerdo a la Segunda Ley de Newton, esta fuerza neta debería ser igual a la fuerza de la ecuación (4.1); donde “m” es la masa total que está siendo acelerada, la cual en este caso es $(M + m_1)$. Entonces la fuerza neta despreciando la fricción equivaldría a:

$$F_{Neta} = m_1g = (M + m_1)a \quad (4.3)$$

Para determinar la aceleración, el cuerpo que se pretende deslizar se ubicará en el punto de inicio y se medirá en tiempo que tarda en recorrer una distancia “x” y bajo la relación $x = \frac{1}{2}at^2$ “se calculará el valor para la aceleración de la siguiente manera suponiendo que es constante:

$$a = \frac{2x}{t^2} \quad (4.4)$$

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Defina el concepto de fuerza, escriba como mínimo cuatro ejemplos de la vida cotidiana.
2. ¿Qué relación existe entre las variables F , m , a que se involucran en la segunda ley de Newton (ecuación 4.1)? Justifique su respuesta con un ejemplo.
3. Realice el análisis dimensional de la expresión mostrada en la ecuación (4.1) además, consulte las unidades de medida de la fuerza en los sistemas MKS, CGS y sus respectivas equivalencias en ambos sistemas.

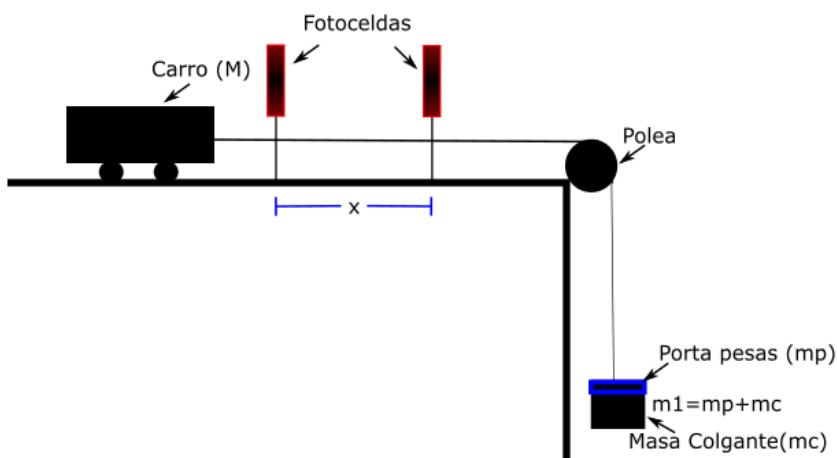


Figura 1. Diagrama del montaje de la Segunda Ley de Newton

4. Según la figura 1 aplique la segunda ley de Newton y demuestre la ecuación (4.3).

Procedimiento

1. Con ayuda de la balanza determine el valor de la masa del carrito dinámico junto con la banderola, el cual corresponde a “ M ” y registre este valor en la **tabla 1**.
2. Ubique y asegure la polea en el extremo de la mesa donde finaliza la línea blanca.
3. Disponga las fotoceldas separadas a 10 cm de la señalización de peligro. Tenga en cuenta que la fotocelda debe estar posicionada de modo tal que alcance a tomar medición de la banderilla del carrito dinámico y a su vez no debe interrumpir el deslizamiento del mismo.
4. Disponga la otra fotocelda a 30 cm de la primera fotocelda siguiendo las mismas condiciones de la disposición de la fotocelda anterior.
5. Con una cuerda de longitud “L” entre ($1m \leq L \leq 1,2m$) una el carrito dinámico y el portapesas. Luego posicione el carrito dinámico justo después de la segunda fotocelda sobre la línea blanca mientras deja caer el portapesas por la polea con la ayuda de la cuerda que une el sistema. (La cuerda que une el sistema carrito dinámico-polea-portapesas debe estar paralela a la línea blanca de la mesa).
6. Sin soltar el carrito dinámico, coloque una masa colgante “ m_c ” sobre el portapesas y regístrela en la **tabla 1**.
7. Libere el carrito dinámico y tome 5 mediciones del tiempo que tarda este en recorrer la distancia entre las dos fotoceldas (30 cm que equivaldrán a nuestro “x”) con ayuda del **Smart Timer** en la opción “Two gate” y registre los valores obtenidos en la **tabla 1** como “ t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 ”.
8. Realice los pasos 6 y 7 cuatro veces más aumentando la masa “ m_c ” en cada ocasión y complete la **tabla 1**.

Masa del deslizador M [kg]	Masa del portapesas + pesas (m_c) [kg]	$t_1(s)$	$t_2(s)$	$t_3(s)$	$t_4(s)$	$t_5(s)$	Tiempo promedio (s) $t_{mejor} \pm \delta t$

Tabla 1. Datos experimentales.

Análisis de datos

1. Calcular los respectivos tiempos promedios y respectivas incertidumbres. Completar la **tabla 1**.
2. Utilizando los datos de la **tabla 1**, emplee la ecuación **(4.4)** para determinar las aceleraciones para cada caso y regístrelas en la **tabla 2**.
3. Para cada caso, calcular el producto de la masa total por la aceleración y completar la segunda columna de la **tabla 2**. (tenga en cuenta que “ m_1 ” equivale a la suma de la pesa colocada en cada caso y la masa del portapesas).
4. Calcule el producto entre la gravedad y “ m_1 ” y registre estos datos en la tercera columna de la **tabla 2**
5. Finalmente determine el error porcentual entre las fuerzas registradas en las columnas 2 y 3 de la **tabla 2**. Recuerde que:

$$E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (4.5)$$

En donde V_{exp} es el valor experimental y corresponde a la fuerza calculada mediante $(M+m_1)a$ y V_{teo} es el valor teórico calculada mediante m_1g .

6. Realice una gráfica de la fuerza neta en función de la aceleración.

Aceleración (m/s^2)	$(M+m_1)a$	$F_{Neta} = m_1g$	%Error

Tabla 2. Datos calculados de la fuerza.

Preguntas de control

1. ¿Cuáles podrían ser las posibles fuentes de error? **Justifique su respuesta.**
2. ¿Verifican los resultados de esta práctica la Segunda Ley de Newton? **Justifique su respuesta.**

3. Utilizando la regresión lineal encuentre la pendiente de la gráfica Fuerza vs Aceleración y que significado tiene esta?
4. Con el valor de la pendiente calculada anteriormente, encuentre la ecuación que describe al movimiento y explique qué significado tiene esta ecuación.
5. ¿Son comparables los resultados de la masa obtenida a partir de la gráfica y la medida con la balanza? Además, calcule el error porcentual utilizando la ecuación (4.5), donde el valor teórico es el medido por la balanza y el valor experimental el obtenido con la pendiente de la gráfica.
6. ¿Explique qué ocurría si el experimento se hace en la luna? Recuerde que esta es aproximadamente 1/6 de la gravedad en la tierra.

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: Física para ciencias e ingeniería Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: Física universitaria volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: Física para ingeniería y ciencias Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.
- ALONSO, M. y FINN, E. J., Física, vol. I, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967.
- SERWAY, RAYMOND. A., Física, Tomo 1, 7^a edi. McGraw-Hill, Bogotá, 2008.



No
5

LABORATORIO DE MECÁNICA

FRICCIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

1. Estudiar los coeficientes de fricción de algunas superficies deslizantes a lo largo de un plano inclinado.
2. Identificar los coeficientes de fricción estático y dinámico para tres superficies diferentes de modo experimental.
3. Realizar una comparación entre valores experimentales de los coeficientes de fricción estático y dinámico y los valores que se pueden obtener por el método teórico.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Plataforma de 2m (ME-9435A)	1	No colocar marcas sobre ella.
Súper polea	1	
Smart timer	1	
Soporte PASCO	1	
Balanza	1	
Juego de Masas y portapesas (ME- 8967)	1	
Cuerda (SE-8050)	1	
Carros con base de diferentes materiales	3	
Indicador de ángulo	1	Posicionado en la plataforma
Fotoceldas	2	

Indicador de Ángulo*Super Polea**Portapesas*

Marco teórico

FUERZA DE FRICTION

La fuerza de fricción es la resistencia de un objeto al movimiento en una superficie o un medio viscoso debido a su interacción con el entorno. La fuerza de fricción puede ser estática o dinámica.

La fuerza de fricción estática se debe a las características propias del material y esta debe ser menor a la fuerza aplicada o presente en el objeto para que se pueda llevar a cabo el movimiento. La fuerza de fricción dinámica se presenta en objetos en movimiento y se dice que antes de generarse el movimiento esta fuerza llega a su punto máximo. Tanto la fuerza de fricción estática y dinámica son proporcionales a la fuerza normal donde su diferencia radica en los coeficientes de fricción estática y dinámica los cuales son adimensionales y se presentan cuando el objeto está a punto de deslizarse y cuando el objeto ya está en movimiento respectivamente.

Generalmente el coeficiente de fricción dinámico es menor al estático y varían entre valores de 0.03 y 1 dependiendo de las superficies independientemente del área de contacto.

Para obtener una expresión para los valores de los coeficientes de fricción se parte del esquema de la figura 1

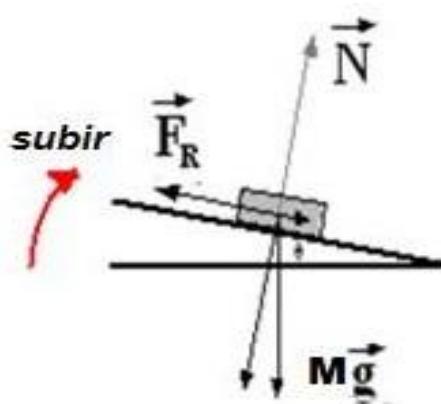


Figura 1. Esquema de un objeto sobre un plano inclinado con fricción.

A partir de la figura 1 se derivan las siguientes expresiones:

$$\sum F_x = mg \sin \theta - F_R = 0 \quad (5.1)$$

$$\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0 \quad (5.2)$$

A partir de la ecuación (5.1) se puede obtener una expresión para la fuerza de fricción:

$$F_R = mg \sin \theta \quad (5.3)$$

A partir de la ecuación (5.2) se puede obtener una expresión para el valor “mg” que forma parte de la fuerza de fricción, en términos de la fuerza normal de la siguiente manera:

$$mg = \frac{N}{\cos \theta} \quad (5.4)$$

Reemplazando (5.4) en (5.3) se tiene:

$$F_R = \frac{N}{\cos \theta} \sin \theta \quad (5.5)$$

Utilizando identidades trigonométricas:

$$F_R = N \tan \theta \quad (5.6)$$

Como se había mencionado anteriormente, la fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal, donde la diferencia para identificar este tipo de fuerza, radica en el coeficiente de fricción, se puede dar otra expresión para la fuerza de fricción:

$$F_R = N \mu_R \quad (5.7)$$

Comparando las ecuaciones (5.6) y (5.7) se puede deducir la expresión para los coeficientes de fricción en donde la expresión es la misma pero los parámetros para su cálculo se obtienen teniendo en cuenta en qué momento se presente cada uno de estos dos coeficientes de tal manera que:

$$\mu_s = \tan \theta \quad (5.8)$$

$$\mu_k = \tan \theta \quad (5.9)$$

Por otra parte, en esta práctica también se realiza el ejemplo que se muestra en la **figura 2** en donde el objeto experimenta una fuerza de fricción mientras es arrastrado por la superficie debido a la fuerza que es ejercida por una masa que cuelga gracias a la super polea. Para este caso, luego de un análisis de cuerpo libre se tiene que el coeficiente de fricción equivale a:

$$\mu_k = \frac{mg - Mg \sin \theta - (M+m)a}{Mg \cos \theta} \quad (5.10)$$

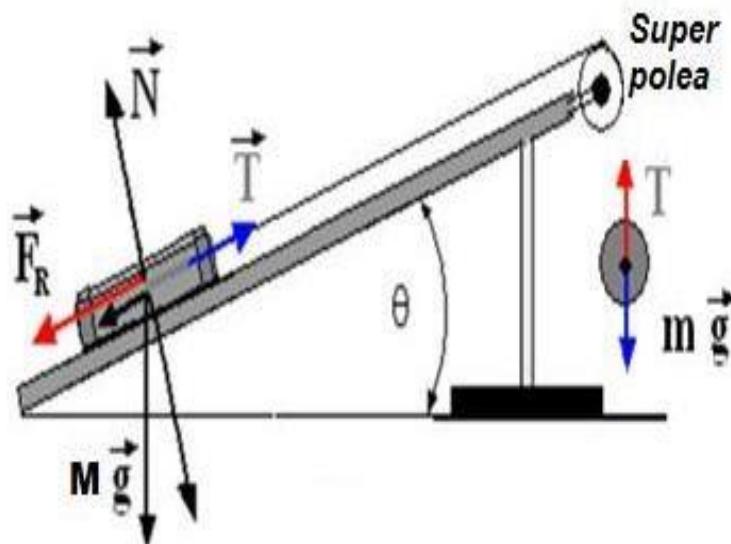


Figura 2: Cuerpo que se desliza por una superficie inclinada debido a la acción de una masa colgante m.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Investigar la tabla de coeficiente de fricción de los materiales (entre ellos, Teflón, corcho, felpa...).
2. Demuestre la expresión (5.10), tomado como punto de partida la **figura 2** y realizando diagramas de cuerpo libre al carro y la masa colgante.
3. Si empujas una bola sobre una superficie, esta terminará parándose en algún momento. ¿No contradice este fenómeno al Principio de Inercia?, Como no se le aplica ninguna fuerza, ¿No debería seguir moviéndose indefinidamente?
4. La fuerza de fricción depende de dos factores. ¿Cuáles son?

Procedimiento

PARTE 1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO μ_s PARA SUPERFICIES DE TEFLÓN, CORCHO Y FELPA.

1. Pese los carros con base de teflón, corcho y felpa por separado y pese además las tres barras cuadradas.
2. El valor de la masa “ M_1 ” será la masa de cada carro más la barra cuadrada registre este valor en la **tabla 1**.
3. Realice el montaje de la **figura 1** posicionando el carro de teflón sobre la plataforma que inicialmente se encuentra de modo horizontal. Eleve poco a poco la plataforma desde un extremo hasta el punto en el que el carro tiende a empezar a deslizarse. En el momento en que se produce ese intento de deslizamiento deje de elevar la plataforma y tome nota del ángulo formado por la plataforma (este ángulo se puede apreciar en el indicador de ángulo con el que cuenta la plataforma). Registre este valor del ángulo como θ_1 en la **tabla 1** para M_1 .
4. Repita el paso anterior para obtener dos nuevas medidas de ese procedimiento y registrarlas como θ_2 y θ_3 en la **tabla 1** para M_1 .
5. Realice los pasos 2 y 3 utilizando los carros de corcho y felpa, tomando registro en la **tabla 1** de los ángulos θ_1 , θ_2 y θ_3 para las masas M_1 en cada caso según el carro utilizado.

6. Seleccione una masa (barra cuadrada) que se pueda posicionar dentro de los carritos de teflón, corcho y felpa. M_2 para cada caso de la **tabla 1** representará el valor de la suma de la masa del carro y la masa ingresada ($M_1 +$ masa adicional). Registre estos valores de M_2 en la **tabla 1** para cada caso según el carro utilizado.
7. Realice los pasos 2,3 y 4 para el valor de la masa M_2 .
8. Seleccione una masa que se pueda posicionar dentro de los carritos de teflón, corcho y felpa (adície otra barra cuadrada). M_3 para cada caso de la **tabla 1** representará el valor de la suma de la masa del carro, la masa ingresada en el paso 5 y una nueva masa adicional ($M_1 +$ masa adicional1+masa adicional2). Registre estos valores de M_3 en la **tabla 1** para cada caso según el carro utilizado.
9. Realice los pasos 2,3 y 4 para el valor de la masa M_3 .

PARTE 2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINÁMICO μ_k PARA SUPERFICIES DE TEFLÓN, CORCHO Y FELPA.

10. Realice los pasos 1 al 8 para registrar datos de los ángulos en la **tabla 2** pero en este caso no tome registro de los ángulos cuando el carrito tiende a deslizarse sino en el momento en que este ya se desliza aproximadamente a velocidad constante. (como se indica en el paso 2, se eleva poco a poco la plataforma, pero en este caso en específico se eleva hasta que el carrito se desliza sin presentar un frenado evidente, en ese momento se deja de elevar la plataforma y se toma registro del ángulo)

PARTE 3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINÁMICO μ_k PARA SUPERFICIES DE TEFLÓN, CORCHO Y FELPA CUANDO EL ELEMENTO SUBE POR EL PLANO INCLINADO DEBIDO A LA ACCIÓN DE UNA MASA COLGANTE.

11. Realice el montaje de la **figura 2** atando el carrito (que se encuentra sobre la plataforma) con una cuerda al portamasas logrando que la cuerda pase por la ranura de la super-polea.
12. Elija un ángulo adecuado entre 5° y 10° , para la inclinación de la plataforma y registre este ángulo como θ en la **tabla 3**.
13. Pese los carritos de teflón, corcho y felpa (incluida la banderola) y registre estos valores como "masas del carro M" en la **tabla 3** para cada caso.
14. Sujete un extremo de la cuerda al carrito y el otro extremo al portamasas. Luego, ubique el carrito en una posición alejada de la super-polea, a una distancia que lo permita la longitud de la cuerda, la distancia marcada en la

plataforma será el punto de partida. Mientras sostiene el carro en esa posición solicite ayuda de otro compañero del grupo quien debe encargarse de la ubicación de las photoceldas.

- 15.** Para la ubicación de las photoceldas disponga la photocelda principal a 10cm de la ubicación de lanzamiento del carrito. Ubique la segunda photocelda a 10 cm de la primera photocelda. Disponga la altura de las photoceldas moviéndolas de tal forma que la banderola del carro pase por el sensor de la photocelda y ajústelas.
- 16.** Disponga el Smart Timer que se encuentra conectado a las photoceldas, en la opción “aceleración Two Gate”; observe en que unidades registra la aceleración el Smart Timer.
- 17.** Seleccione una masa y posiciónela en el portamasas y regístrela en la **tabla 3** como “m”. Sugerencia: puede tomar una masa de 200g para el carro de teflón y de felpa y una masa de 300g para el carro de corcho.
- 18.** Libere el carrito y registre el valor de la aceleración en la **tabla 3**. (Detenga el desplazamiento del carrito tan pronto pase completamente las dos photoceldas, para evitar que se golpee el portamasas contra el suelo).
- 19.** Devuelva el carrito a la posición seleccionada en el paso 13 y realice el proceso de liberación del carro dos veces más para registrar dos valores de la aceleración en la **tabla 3**.
- 20.** Realice los pasos 13 al 18 para los carritos de corcho y felpa y registre en la **tabla 3**.

Análisis de datos

DATOS PASO 1							
Carros con superficies	Masas M (Kg)	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_{promedio} \pm \delta\theta$	$\mu_s = \tan \theta_{prom}$	$\mu_{sprom} \pm \delta\mu_s$
Teflón	$M_1=$						
	$M_2=$						
	$M_3=$						
Corcho	$M_1=$						
	$M_2=$						
	$M_3=$						
Felpa	$M_1=$						
	$M_2=$						
	$M_3=$						

Tabla 1. Determinación del coeficiente de fricción estática μ_s para superficies de teflón, corcho y felpa.

DATOS PASO 2							
Carros con superficies	Masas M (Kg)	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_{prom} \pm \delta\theta$	$\mu_k = \tan \theta_{prom}$	$\mu_{k(prom)} \pm \delta\mu_k$
Teflón	$M_1 =$						
	$M_2 =$						
	$M_3 =$						
Corcho	$M_1 =$						
	$M_2 =$						
	$M_3 =$						
Felpa	$M_1 =$						
	$M_2 =$						
	$M_3 =$						

Tabla 2. Determinación del coeficiente de fricción dinámico μ_k para superficies de teflón, corcho y felpa.

1. Complete la **tabla 1** y la **tabla 2** calculando el promedio de los 3 ángulos medidos para cada caso según las masas con su respectiva incertidumbre.
2. Para cada uno de los ángulos promedio calculados en el paso anterior con los datos de la **tabla 1**, calcule el coeficiente de fricción estático con la ayuda de la ecuación (5.8) y registre en la **tabla 1**.
3. Para cada uno de los ángulos promedio calculados en el paso anterior con los datos de la **tabla 2**, calcule el coeficiente de fricción dinámico con la ayuda de la ecuación (5.9) y registre en la **tabla 2**.
4. Determine los promedios de los coeficientes de fricción según las diferentes superficies de los carros y complete la **tabla 1** y la **tabla 2**.
5. Para los datos de la **tabla 3** determine los valores de las aceleraciones promedio para los tres datos tomados en cada caso.
6. Con los datos de “M”, “m” y la aceleración promedio como “a” de cada uno de los carritos presentes en la **tabla 3** determine el coeficiente de fricción dinámico μ_k utilizando la ecuación (5.10) y registre estos valores como μ_k (teórico) para cada caso en la **tabla 3**.
7. Tome los valores $\mu_{k,mejor}$ de la **tabla 2** e introduzcalos como μ_k (Experimental) para cada caso en la **tabla 3**.
8. Determine los porcentajes de error entre los coeficientes de fricción de la

siguiente manera y complete la **tabla 3**.

$$\%Error = \left| \frac{\mu_k (\text{Experimental}) - \mu_k (\text{Teórico})}{\mu_k (\text{Teórico})} \right| * 100 \quad (5.11)$$

DATOS PASO 3									
Carro con superficie de	Masa del carro M (Kg)	Masa colgante m (Kg)	Aceleración a (m/s^2)			Aceleración promedio (m/s^2)	μ_k (Teórico)	μ_k (Experimental)	% Error
			a_1	a_2	a_3				
Teflón									
Corcho									
Felpa									

Tabla 3. Determinación del coeficiente de fricción dinámico μ_k para superficies de teflón, corcho y felpa con subida del elemento por acción de una masa colgante.

Preguntas de control

1. En relación con la dirección del movimiento, ¿en qué dirección actúa la fuerza de fricción cinética?
2. ¿Cómo varía el coeficiente de fricción con respecto a la masa del carro?
3. ¿Cómo varía el coeficiente de fricción con respecto al tipo de material del carro y de la superficie de la plataforma?
4. ¿Por qué la sumatoria de fuerzas en la primera figura es cero?
5. Identifique las fuentes de error presentes en la práctica.
6. ¿Por qué es más fácil el deslizamiento de un cuerpo en movimiento que el de uno en reposo?
7. Usted presiona con su mano su libro de física plano contra una pared vertical. ¿Cuál es la dirección de la fuerza de fricción que ejerce la pared sobre el libro?

8. Usted juega con su hija en la nieve. Ella se sienta sobre un trineo y le pide que la deslice sobre un campo horizontal plano. Usted tiene la opción de a) empujarla desde atrás al aplicar una fuerza hacia abajo sobre sus hombros a 30° bajo la horizontal (figura a) o b) unir una cuerda al frente del trineo y jalar con una fuerza a 30° sobre la horizontal (figura b). ¿Cuál sería más fácil para usted y por qué?



9. Tomando los resultados obtenidos con las ecuaciones (5.8) y (5.9), compare ambos valores y diga ¿cuál es mayor y por qué?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

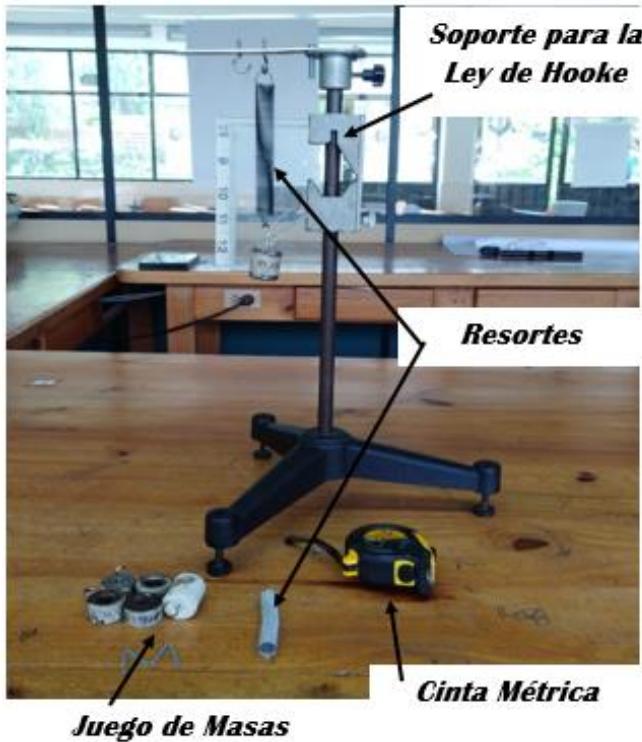
- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.

Objetivos

1. Estudiar la relación que existe entre la elongación de un resorte y la fuerza que lo produce.
2. Calcular la constante elástica "K" de un resorte.
3. Estudiar la relación entre la elongación de una configuración de dos resortes en serie o paralelo y la fuerza aplicada.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Soporte para Ley de Hooke.	1	
Resortes de distintas durezas.	Varios	
Juego de masas entre 5gr y 500gr	1	
Regla, papel milimetrado, calculadora.	1	

**Esquema de Laboratorio**

Marco teórico**LEY DE HOOKE**

“Cuando se trata de deformar un sólido, este se opone a la deformación, siempre que ésta no sea demasiado grande”

$$F = -k \Delta x \quad (6.1)$$

La ley de elasticidad de Hooke o ley de Hooke, establece la relación entre el alargamiento o estiramiento longitudinal y la fuerza aplicada (Ecuación 6.1). La elasticidad es la propiedad física en la que los objetos son capaces de cambiar de forma cuando actúa una fuerza de deformación sobre el objeto. El objeto tiene la capacidad de regresar a su forma original cuando cesa la deformación (o fuerza aplicada). Depende del tipo de material, los materiales pueden ser elásticos o inelásticos. Los materiales inelásticos no regresan a su forma natural.

CONSTANTE DE ELASTICIDAD

La constante de elasticidad, usualmente se denota por la letra “ K ” y es intrínseca del material, es decir, toma su valor dependiendo de la composición que tenga el objeto en cuestión. Casi todas las veces, no puede ser calculada directamente pero existen casos, por ejemplo para un resorte, en donde conociendo el alargamiento y el valor de la fuerza aplicada se logra determinar.

Para un resorte se determina la constante de elasticidad “ k ” como la fuerza “ F ” necesaria para estirarlo en una unidad de longitud “ Δx ” tal como se muestra en la **figura1**. Es decir:

$$k = \frac{F}{\Delta x} \quad (6.2)$$

En donde “ k ” está en unidades [N/m] en el sistema M.K.S.

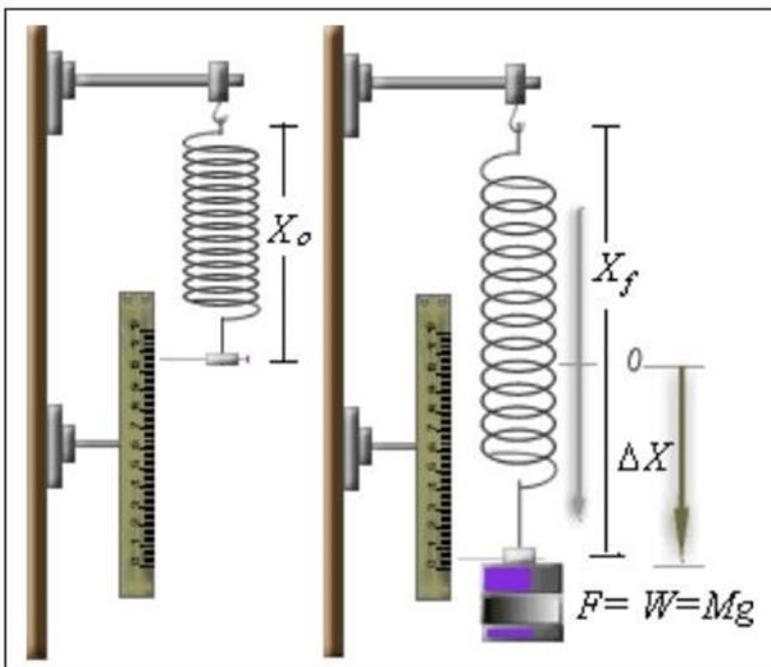


Figura 1. Alargamiento de un resorte simple

Si tenemos dos resortes los podemos combinar para formar un sistema de resortes en paralelo como se muestra en la **figura 2a** o un sistema de resortes en serie como el de la **figura 2b**.

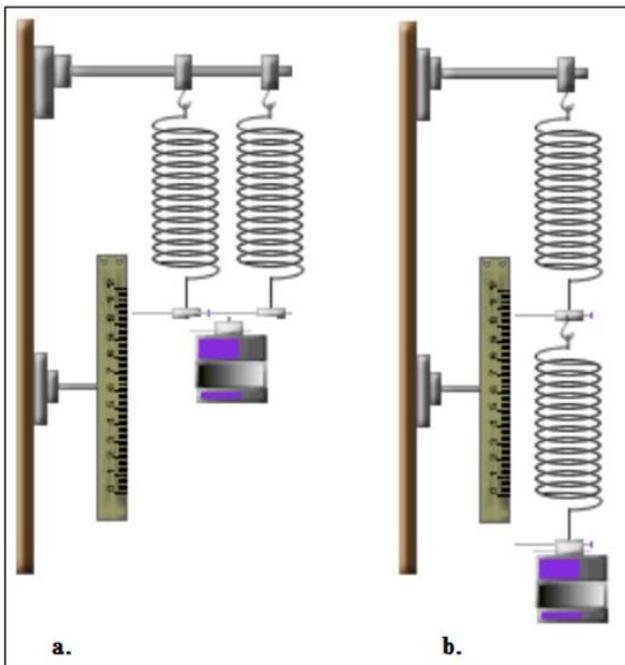


Figura 2. a. Sistema en paralelo, b. Sistema en serie.

Si calibrámos estos sistemas, es decir, si medimos la constante de elasticidad efectiva o resultante “ k_r ” de cada sistema, podremos verificar que para resortes en serie se cumple que:

$$k_r = \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)^{-1} \quad (6.3)$$

Para resortes en paralelo se cumple que:

$$k_r = k_1 + k_2 \quad (6.4)$$

Donde “ k_1 ” y “ k_2 ” son las constantes elasticidad de cada uno de los resortes del sistema y k_r es la constante resultante del montaje en serie o paralelo.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Explique las características de los cuerpos elásticos e inelásticos.
2. Consultar y elaborar la gráfica de F vs Δx para la ley de Hooke y explicar el comportamiento.
3. Demuestre las ecuaciones (6.3) y (6.4)
4. Una persona de 75 kg está parada sobre un resorte de compresión que tiene una constante de resorte de 5000 N/m y una longitud inicial de 0.25 m . ¿Cuál es la longitud total del resorte con la persona encima?
5. Estás diseñando una montura para mover sin problemas una cámara de 1 kg por una distancia vertical de 50 mm . El diseño requiere que la cámara se deslice en un par de carriles, y consiste de un resorte que sostiene la cámara y la jala contra la punta de un tornillo de ajuste, como se muestra en la figura 3. La longitud inicial del resorte es $L_0 = 50\text{ mm}$. Para este diseño, ¿cuál es el valor mínimo requerido para la constante del resorte?

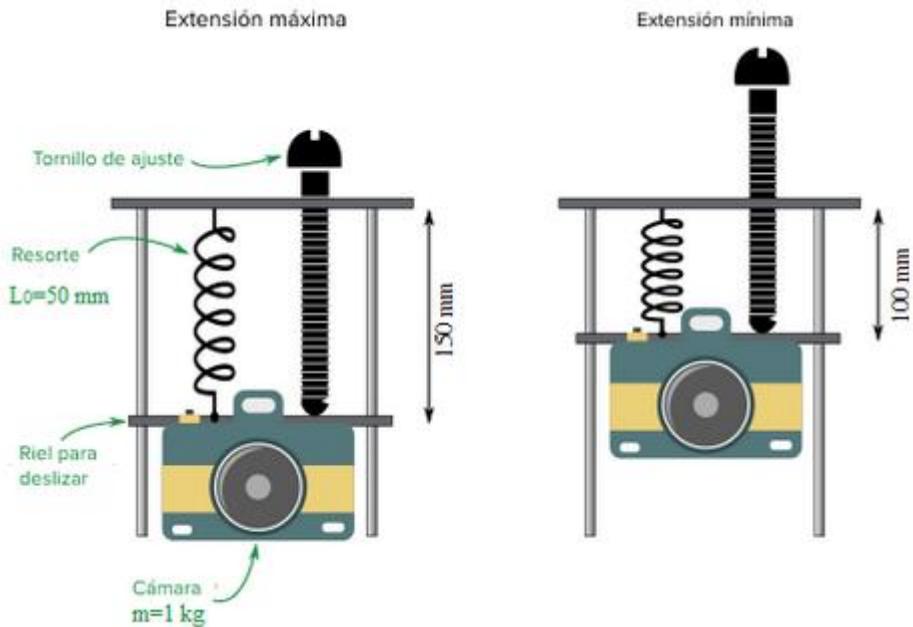


Figura 2. Mecanismo de ajuste de altura de la cámara

Procedimiento

PARTE I. CALCULO DE LA CONSTANTE DE ELASTICIDAD "K"

1. Realice el montaje de la figura 1. Cuelgue un resorte del brazo horizontal del soporte para ley de Hooke.
2. Mida la longitud inicial con ayuda de la escala métrica o cualquier elemento de medida que tenga a su disposición y registre este valor como " X_0 " en la **tabla 1**.
3. Cuelgue del extremo inferior del resorte una masa (el valor de esta masa debe ser registrada en la **tabla 1** como " m_1 ") y mida la longitud final del resorte y registre este valor como " X_{f1} " en la **tabla 1**.
4. Varíe la masa que se cuelga del resorte cuatro veces más y registre estos valores como " m_2, m_3, m_4, m_5 " respectivamente en la **tabla 1**. (Nota: colocar masas donde se aprecie el alargamiento del resorte, o aumentar la masa colgante sin necesidad de retirar la anterior de tal manera que el resorte experimente una fuerza cada vez más grande).

Masa colgante m (Kg)	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Fuerza Aplicada $F = mg$ (Newton)	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Longitud inicial del resorte $X_0(m)$					
Longitud final del resorte $X_f(m)$	X_{f1}	X_{f2}	X_{f3}	X_{f4}	X_{f5}
Alargamiento del resorte $\Delta x = X_f - X_0(m)$	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
Constante de elasticidad $k = \frac{F}{\Delta x}$ (N/m)	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
	$k_{prom} \pm \partial k =$				
Calcule la constante de elasticidad por regresión lineal	$k =$				

Tabla 1. Datos para el resorte 1.

5. Para cada valor de masa tomada en el punto anterior, mida las longitudes finales del resorte y regístrelas en la **tabla 1** como “ $X_{f2}, X_{f3}, X_{f4}, X_{f5}$ ” respectivamente.
6. Encuentre la fuerza aplicada al resorte como “ $F = mg$ ” para cada masa colgante “ m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 ” y registre estos valores en la **tabla 1** como “ F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 ”.
7. Determine el alargamiento del resorte aplicando “ $\Delta x = X_f - X_0$ ” y registre estos datos en la **tabla 1** como “ $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4, \Delta x_5$ ”.
8. Determine experimentalmente el valor para la constante de elasticidad “ k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 ” del resorte aplicando la relación (6.2) utilizando el valor de la fuerza “ F ” y el alargamiento “ Δx ”, complete la **tabla 1**, y utilice los valores anteriores (k) para calcular $k_{prom} \pm \partial k$.
9. Determine gráficamente el valor para la constante de elasticidad del resorte analizando “ F ” en función del alargamiento “ Δx ”, haga regresión lineal y tome la pendiente como valor de k . Complete la tabla 1.
10. Seleccione otro resorte y realice los pasos del 1 al 9 y registre los datos de este segundo resorte en la **tabla 2**.

Masa colgante m (Kg)	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Fuerza Aplicada $F = mg$ (Newton)	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Longitud inicial del resorte $X_0(m)$					
Longitud final del resorte $X_f(m)$	X_{f1}	X_{f2}	X_{f3}	X_{f4}	X_{f5}
Alargamiento del resorte $\Delta x = X_f - X_0(m)$	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
Constante de elasticidad $k = \frac{F}{\Delta x}$ (N/m)	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
$k_{prom} \pm \partial k =$					
Calcule la constante de elasticidad por regresión lineal	$k =$				

Tabla 2. Datos para el resorte 2.

PARTE II. SISTEMA DE RESORTES EN SERIE Y PARALELO

11. Realice el montaje de la configuración en serie que se muestra en la **figura 2b**.
12. Realice para la configuración en serie los pasos 2 al 7 y complete la **tabla 3**.
13. Determine experimentalmente el valor para la constante de elasticidad del sistema de resortes en serie aplicando la relación **(6.2)** para ello utilice el valor de la fuerza “ F ” y el alargamiento “ ΔX_T ”, de la **tabla 3** y complete esta, además calcule su respectiva incertidumbre como $k_{prom} \pm \partial k$.
14. Determine gráficamente el valor para la constante de elasticidad del resorte analizando “ F ” en función del alargamiento “ ΔX_T ”, haga regresión lineal y tome la pendiente como valor de k . Complete la **tabla 3**.

Masa colgante m (Kg)	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Fuerza Aplicada $F = mg$ (Newton)	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Alargamiento del resorte 1 $\Delta x = X_f - X_0$	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
Alargamiento del resorte 2 $\Delta x = X_f - X_0$	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
Deformación total: $\Delta X_T = \Delta X_{\text{res 1}} + \Delta X_{\text{res 2}}$	ΔX_{T1}	ΔX_{T2}	ΔX_{T3}	ΔX_{T4}	ΔX_{T5}
Constante de elasticidad $k_r = \frac{F}{\Delta X_T}$ (N/m)	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
$k_{\text{prom}} \pm \partial k =$					
Calcule la constante de elasticidad por regresión lineal	$k =$				

Tabla 3. Datos para el sistema en serie.

15. Realice en montaje de la configuración en paralelo que se muestra en la **figura 2a**.
16. Realice para la configuración en paralelo, los pasos 2 al 7 y complete la **tabla 4**.
17. Calcule el valor de “ ΔX_T ” para la configuración en paralelo para cada una de las fuerzas aplicadas.
18. Determine experimentalmente el valor para la constante de elasticidad del sistema de resortes en paralelo aplicando la relación **(6.2)** para ello utilice el valor de la fuerza “ F ” y el alargamiento “ ΔX_T ”, de la **tabla 4** y complete esta, además calcule su respectiva incertidumbre como $k_{\text{prom}} \pm \partial k$.
19. Determine gráficamente el valor para la constante de elasticidad del resorte analizando “ F ” en función del alargamiento “ ΔX_T ”, haga regresión lineal y tome la pendiente como valor de k . Complete la **tabla 4**.

Masa colgante m (Kg)	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Fuerza Aplicada $F = mg$ (Newton)	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Alargamiento del resorte 1 $\Delta x = X_f - X_0$	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
Alargamiento del resorte 2 $\Delta x = X_f - X_0$	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
Deformación total: $\Delta X_T = \left(\frac{1}{\Delta X_{res1}} + \frac{1}{\Delta X_{res2}} \right)^{-1}$	ΔX_{T1}	ΔX_{T2}	ΔX_{T3}	ΔX_{T4}	ΔX_{T5}
Constante de elasticidad $k_r = \frac{F}{\Delta X_T}$ (N/m)	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
$k_{prom} \pm \partial k =$					
Calcule la constante de elasticidad por regresión lineal	$k =$				

Tabla 4. Datos para el sistema en paralelo.

Preguntas de control

1. ¿Qué representa la pendiente de cada una de las gráficas de la fuerza en función del alargamiento de cada resorte?
2. ¿Cuál de las dos configuraciones serie o paralelo soporta una fuerza mayor?
3. ¿En cuál de las dos configuraciones serie o paralelo se presenta mayor alargamiento? Sustente su respuesta.
4. ¿Cómo es el comportamiento gráfico de la Ley de Hooke en el laboratorio? Sustente su respuesta.

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.

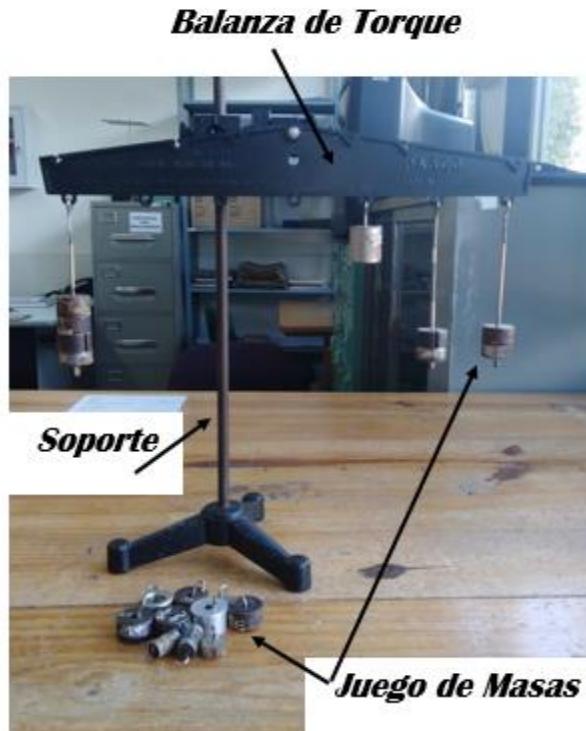


Objetivos

1. Comprender las condiciones de equilibrio de traslación y de rotación utilizando la balanza de fuerzas paralelas.
2. Afianzar el concepto de torque alrededor de un eje fijo.
3. Establecer si bajo la acción simultánea de varias fuerzas en diferentes posiciones con respecto al eje de rotación de la balanza, esta se encuentra o no en equilibrio.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Balanza de torque ME-8949	1	
Soporte	3	
Juego de masas	1	Con gancho para colgar.



Esquema de Laboratorio

Marco teórico**FUERZAS PARALELAS**

Las fuerzas paralelas son aquellas que actúan sobre un cuerpo rígido con sus líneas de acción en forma paralela. Existen 2 tipos de fuerzas paralelas:

- Fuerzas paralelas de igual sentido.
- Fuerzas paralelas de distinto sentido.

La resultante de dos fuerzas paralelas de igual sentido es otra fuerza de dirección y sentido iguales a los de las fuerzas dadas y de intensidad igual a la suma de las intensidades de aquéllas. Por otra parte, la resultante de dos fuerzas de sentido distinto es otra fuerza paralela a las dadas cuya intensidad es igual a la diferencia de las intensidades de las fuerzas dadas, y su sentido es igual al de la fuerza mayor.

Una **balanza de fuerzas paralelas** manifiesta el efecto de fuerzas paralelas generadas por masas ubicadas a distintas distancias respecto a un eje de rotación; que según la relación masa-distancia a cada lado de la balanza, pueden lograr un equilibrio. En la Figura 1 se puede observar una balanza de fuerzas paralelas.



Figura 1. Balanza de fuerzas paralelas

ESTÁTICA

La estática estudia los cuerpos que están en equilibrio, que es el estado de un cuerpo no sometido a aceleración; un cuerpo, que está en reposo, o estático, se halla por lo tanto en equilibrio.

Un cuerpo en equilibrio estático, si no se le perturba, no sufre aceleración de traslación o de rotación, porque la suma de todas las fuerzas y la suma de todos los

momentos que actúan sobre él son cero. Sin embargo, si el cuerpo se desplaza ligeramente, son posibles tres resultados:

- El objeto regresa a su posición original, en cuyo caso se dice que está en equilibrio estable. Por ejemplo, pelota colgada libremente de un hilo está en equilibrio estable porque si se desplaza hacia un lado, rápidamente regresará a su posición inicial.
- El objeto se aparta más de su posición, en cuyo caso se dice que está en equilibrio inestable. Por ejemplo, un lápiz parado sobre su punta está en equilibrio inestable; si su centro de gravedad está directamente arriba de su punta la fuerza y el momento netos sobre él serán cero, pero si se desplaza aunque sea un poco, digamos por alguna corriente de aire o una vibración, habrá un momento sobre él y continuará cayendo en dirección del desplazamiento original.
- El objeto permanece en su nueva posición, en cuyo caso se dice que está en equilibrio neutro o indiferente. Por ejemplo, una esfera que descansa sobre una mesa horizontal; si se desplaza ligeramente hacia un lado permanecerá en su nueva posición.

CONDICIÓN DE EQUILIBRIO TRASLACIONAL

La fuerza externa neta sobre el objeto debe ser igual a cero.

Establece que la aceleración traslacional del centro de masa del objeto debe ser cero cuando se ve desde un marco de referencia inercial.

CONDICIÓN DE EQUILIBRIO ROTACIONAL

La sumatoria algebraica de los momentos provocados por fuerzas que actúan a determinada distancia de cualquier eje o punto centro de giro de referencia debe ser cero.

Cuando esta condición se satisface no hay torque resultante o momento actuando sobre el cuerpo, lo que implica que el cuerpo no tenderá a girar o rotar.

TORQUE O MOMENTO DE FUERZA

Se define el torque $\vec{\tau}$ de una fuerza \vec{F} que actúa sobre algún punto del cuerpo rígido, en una posición \vec{r} respecto de cualquier punto de rotación O , por el que puede pasar un eje sobre el cual se produce la rotación del cuerpo rígido, al producto vectorial entre la posición \vec{r} y la fuerza aplicada \vec{F} .

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (7.1)$$

El torque es una magnitud vectorial, si θ es el ángulo entre \vec{r} y \vec{F} , su valor numérico por definición del producto vectorial, es:

$$\tau = rF\sin\theta \quad (7.2)$$

Su dirección siempre es perpendicular al plano de los vectores \vec{r} y \vec{F} . Generalmente se considera un torque positivo cuando tiende a producir rotación en sentido contrario de las manecillas del reloj y negativo en sentido de las manecillas del reloj.

Las unidades del torque son:

- Sistema MKS: Nm (*Newton · metro*)
- Sistema CGS: dcm (*dinas · centímetro*)

Cuestionario

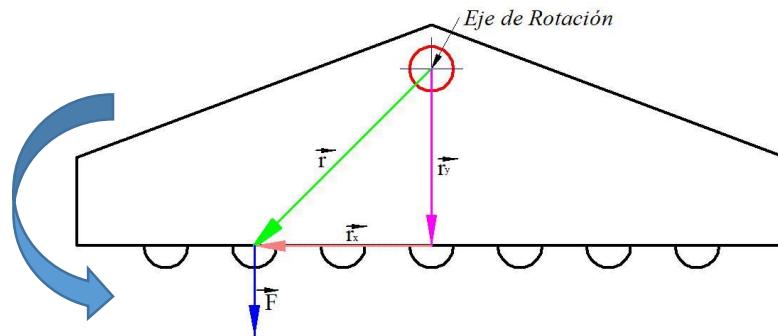
Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Defina fuerzas paralelas.
2. Defina torque y de 3 ejemplos.
3. Consultar la regla de la mano derecha y de 3 ejemplos.
4. Explique la condición de equilibrio rotacional y la translacional.
5. Dadas las tres fuerzas siguientes $\vec{F}_1 = 500 \hat{i} [N]$; $\vec{F}_2 = (-200 \hat{j} + 100 \hat{k})[N]$; $\vec{F}_3 = (-100 \hat{i} + 50 \hat{j} - 350 \hat{k})[N]$
 - a) Determinar el torque resultante de las fuerzas arriba indicadas, con respecto al origen O , si se aplican al punto $(4,3,-10)$.
 - b) Encontrar el torque resultante con respecto al punto O de las fuerzas dadas cuando se aplican en diferentes puntos: \vec{F}_1 en $(3,8,10)$; \vec{F}_2 en $(-2,0,4)$; \vec{F}_3 en $(5,-12,-3)$;

Procedimiento

Análisis vectorial

A continuación se muestra un esquema del montaje experimental para el análisis del equilibrio rotacional



Donde \vec{F} es la fuerza aplicada (peso), \vec{r} es el vector posición que une el eje de rotación con el punto de aplicación de la fuerza, \vec{r}_x y \vec{r}_y son las componentes del vector posición. En este caso, el giro es en sentido antihorario lo cual indica que el signo del torque τ , es positivo y saliendo de la página.

Parte 1

- Realice el montaje de la Figura 1. Asegúrese que la balanza gire libremente sobre su eje de rotación. La balanza debe quedar alineada horizontalmente.
- Coloque una masa entre 200 y 400 gramos en la tercera posición del lado izquierdo de la balanza. Registre este valor como M_i en kilogramos en la Tabla 1.

Masa lado izquierdo(kg)	Masas lado derecho(kg)				
	M_1	M_2	M_3		
Fuerza lado izquierdo (N)			Fuerzas lado derecho (N)		
	F_1	F_2	F_3		
Torque lado izquierdo (Nm)			Torques lado derecho (Nm)		
$\tau_1 =$	τ_1	τ_2	τ_3		
	Sumatoria de torques			$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 =$	

Tabla 1. Datos Parte 1.

3. Coloque masas en el lado derecho de la balanza en diferentes posiciones hasta que se equilibre horizontalmente. Registre el valor de las masas con las cuales se logró el equilibrio en la Tabla 1.
4. Calcule la magnitud de cada una de las fuerzas que actúan sobre la balanza. Recuerde que el peso \vec{W} es una fuerza y se calcula como $\vec{W} = m\vec{g}$. Registre estos valores en la Tabla 1.
5. Tome d como la distancia entre las diferentes posiciones como se observa en la Figura 2.
6. Calcule los torques en función de las distancia d , efectuados por cada una de estas fuerzas mediante la ecuación 7.1 y registre los valores en la Tabla 1.

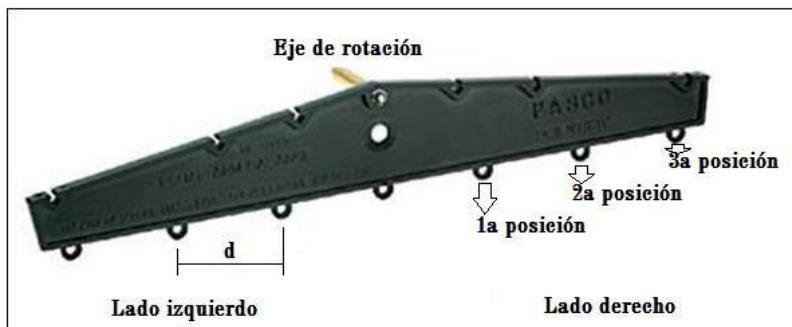


Figura 2. Diagrama de posiciones sobre la balanza.

7. Sume los torques que actúan sobre la balanza, teniendo en cuenta el signo de cada uno de ellos y compruebe la condición de equilibrio rotacional.

Parte 2

1. Coloque dos masas entre 100 y 200 gramos en la segunda y tercera posición del lado izquierdo de la balanza. Registre estos valores en kilogramos como M_{i1} y M_{i2} en la Tabla 2.

Masas lado izquierdo(kg)		Masas lado derecho(kg)		
M_{i1}	M_{i2}	M_1	M_2	M_3
Fuerzas lado izquierdo			Fuerzas lado derecho (N)	
F_{i1}	F_{i2}	F_1	F_2	F_3
Torques lado izquierdo			Torques lado derecho (Nm)	
τ_{i1}	τ_{i2}	τ_1	τ_2	τ_3
Sumatoria de torques			Sumatoria de torques	
$\tau_{i1} + \tau_{i2} =$		$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 =$		

Tabla 2. Datos Parte 2.

2. Coloque masas del lado derecho de la balanza en diferentes posiciones hasta que se equilibre horizontalmente. Registre el valor de las masas con las cuales se logró el equilibrio en la Tabla 2.
3. Calcule la magnitud de cada una de las fuerzas que actúan sobre la balanza. Recuerde que el peso \vec{W} es una fuerza y se calcula como $\vec{W} = m\vec{g}$. Registre estos valores en la Tabla 2.
4. Calcule los torques en función de la distancia d , efectuados por cada una de estas fuerzas mediante la ecuación 7.1 y registre los datos en la Tabla 2. Tome d como la distancia entre las diferentes posiciones como se observa en la Figura 2.

Preguntas de control

1. ¿De los resultados obtenidos se satisface la condición de equilibrio rotacional? **Justifique su respuesta.**
2. Realice un diagrama vectorial de la balanza colocando el sistema de referencia en el punto de rotación de la misma y ubique las fuerzas y sus respectivos radios en forma vectorial para los datos de la **tabla 1** y **tabla 2**.
3. Basado en la gráfica de la tabla 1, escriba analíticamente los cuatro vectores \vec{r} y los cuatro vectores \vec{F} y posteriormente calcule los 4 torques utilizando la **ecuación 7.1**
4. ¿La sumatoria de los torques obtenidos del inciso anterior (torque del lado izquierdo más torques del lado derecho) cumple con la segunda condición de equilibrio?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: **Física para ciencias e ingeniería** Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: **Física universitaria** volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.

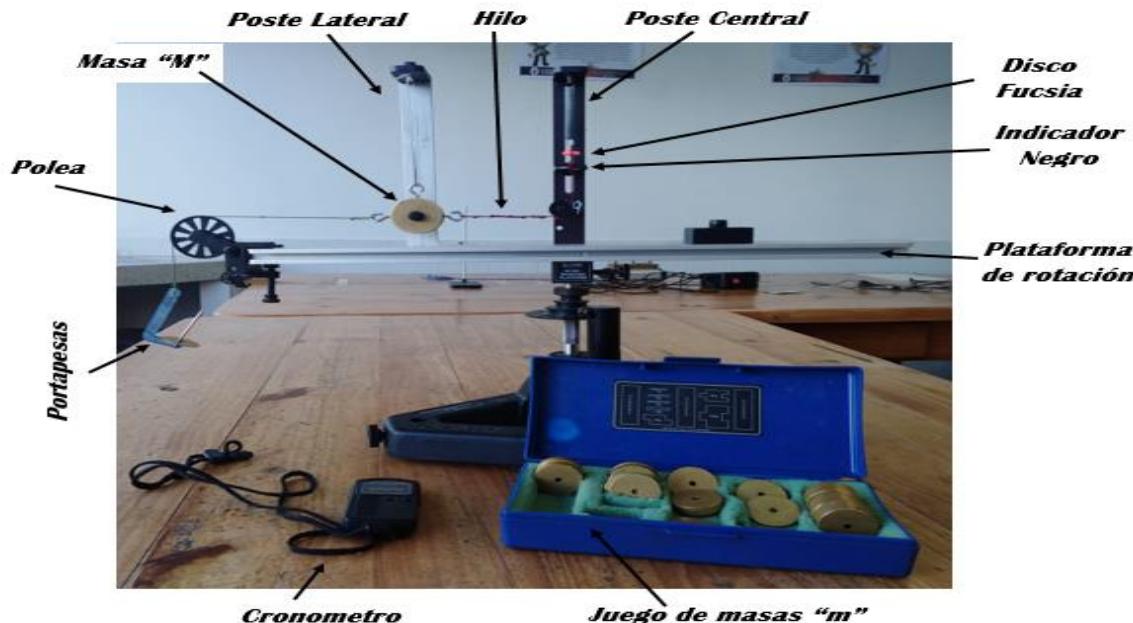


Objetivos

1. Comprobar experimentalmente la relación entre la fuerza centrípeta F_c que actúa sobre un objeto de masa M , y el movimiento en una trayectoria circular de radio R con una velocidad angular ω , que éste cuerpo realiza, bajo la acción de esta fuerza.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Base de la plataforma.	1	
Plataforma de rotación.	1	Girar suavemente
Poste central.	1	
Poste lateral.	1	
Pesa del poste lateral (M)	1	
Polea.	1	
Hilo.	1	
Portapesa (mp).	1	
Juego de masas (m)	1	
Cronómetro.	1	



Esquema de Laboratorio

Marco teórico

FUERZA CENTRÍPETA

Cuando un objeto de masa **M**, atado a un hilo de longitud **R**, se hace mover sobre una circunferencia horizontal, la fuerza centrípeta **F_c** sobre la masa se calcula con la formula (8.1).

$$\vec{F}_c = m * \vec{a}_c \quad (8.1)$$

Donde:

- **m** es la masa del cuerpo
- **\vec{a}_c** es la aceleración centrípeta.

$$a_c = \frac{v^2}{R} \quad (8.2)$$

Donde:

- **v** es la velocidad tangencial
- **R** es el radio de la trayectoria circular

$$v = \omega * R \quad (8.3)$$

Donde:

- **ω** es la velocidad angular.

Introduciendo (8.2) y (8.3) en (8.1) se tiene:

$$F_c = M * R * \omega^2 \quad (8.4)$$

Por otra parte:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (8.5)$$

Donde:

- **T** es el período o tiempo de una vuelta.

Reemplazando (8.5) en (8.4) se obtiene:

$$F_c = \frac{4\pi^2 * M * R}{T^2} \quad (8.6)$$

Para determinar el valor de la fuerza centrípeta, utilizamos un resorte ubicado en el punto central de la plataforma con un disco fucsia en un extremo. Observamos

cuanto se alarga el resorte bajo la acción del peso de la masa ($mp + m$) y luego lo hacemos alargar bajo la acción de la fuerza centrípeta " F_c " que actúa sobre la masa "M".

En estas condiciones el valor de la fuerza centrípeta " F_c " es equivalente al peso del portapesas con la masa ($mp + m$) (masa del portapesas y masa colgante en el portapesas) es decir:

$$F_c = (m_p + m)g \quad (8.7)$$

Donde:

- m_p es la masa del portamasas.
- g es la gravedad equivalente a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Para hallar el valor del periodo "T" se aplica lo siguiente:

$$T = \frac{t}{n} \quad (8.8)$$

- t es el tiempo en realizar n vueltas por la plataforma (medido con el cronómetro)
- n es el número de vueltas requerido ($n=10$).

Por otra parte, se tiene una expresión para "R":

$$R = k_2 * T^2 \quad (8.9)$$

Reemplazando (8.9) en (8.6) y despejando F_{CK} :

$$F_{CK} = 4\pi^2 * M * k_2 \quad (8.10)$$

Donde:

- F_{CK} es la fuerza centrípeta calculada a partir de la pendiente k_1 .

Por otra parte, de la ecuación (8.6) se extrae:

$$F_c = \frac{k_1}{T^2} \quad (8.11)$$

Luego:

$$M_k = \frac{k_1}{4\pi^2 * R} \quad (8.12)$$

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Definir velocidad angular.
2. Definir fuerza centrípeta y de un ejemplo de la vida cotidiana donde se manifieste.
3. Definir fuerza centrífuga y sus unidades en el sistema MKS, cgs e inglés.

Procedimiento

PROCESO DE NIVELACIÓN DE LA PLATAFORMA Y MEDICIÓN DEL TIEMPO

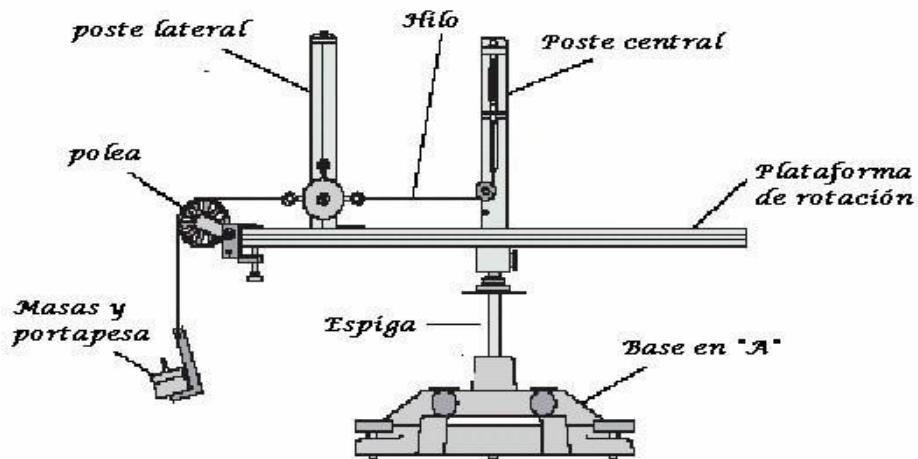


Figura 1. Montaje para estudio de la fuerza centrípeta

Utilice los pasos que se listan a continuación como base para la medición del tiempo a lo largo de la práctica:

Nivelación de la plataforma:

- Desplace el poste lateral alejándose del poste central, hasta q la masa "M" (masa circular que cuelga del poste lateral) quede equilibrada, observando que el hilo que la sostiene del poste este totalmente vertical y el hilo que la une con el resorte quede tensionado.
- Ajuste el poste lateral; observe que la línea en la mitad de este coincide con la cinta métrica de la plataforma rotacional, dicho valor es el radio "R" deseado.
- Ubique el centro de la masa cuadrada (contrapeso) de 300gr a la misma

- distancia “R” en dirección opuesta al poste central y ajústela.
- Desplace el indicador negro en el poste central hasta que quede bien centrado con el disco fucsia en el extremo del resorte, esta va a ser la **posición de equilibrio**.

Medición del tiempo:

- Coloque la masa “m” deseada en el portapesas y cuelgue el portapesas a un extremo de la masa “M” pasando por la polea como se indica en la **Figura 1**.
- El peso de esta masa “m” desequilibra la posición de la masa “M” colocada en el poste lateral y cambia la posición del indicador del resorte del poste central (disco fucsia).
- Observe y deslice el indicador negro hasta la nueva posición del disco fucsia en el poste central.
- Retire el portapesas con la masa “m”, lo cual origina que el resorte y el disco fucsia retorne a su posición de equilibrio.
- Gire la plataforma frotando suavemente la parte inferior de su eje con sus dedos. (**nota:** recuerde girar el sistema sin que cuelgue el portapesas ni la masa m)
- Aumente la velocidad hasta que el indicador del resorte se ubique en el centro del indicador negro, sin que se presente ninguna oscilación.
- Use un cronómetro y mida el tiempo empleado por la plataforma en realizar n = 10 vueltas completas.

PARTE 1: Variación de la fuerza Fc (radio R y masa M constantes)

1. Seleccioné una masa “M” y registré su valor en la **tabla 1.1**.
2. Seleccioné un radio “R” y registré su valor en la **tabla 1.1**.
3. Seleccioné una masa “m” de 30gr y registré su valor en la **tabla 1.1**.
4. Pesé el portapesas “mp” y registré su valor en la **tabla 1.1**.
5. Ejecute el proceso de nivelación de la plataforma y medición del tiempo (ver la parte de procedimiento).
6. Registre en la **tabla 1.1** el tiempo “t” medido.
7. Repita cinco veces los ítems 3, 4 y 5 usando cada vez distintas masas “m” aumentándolas de a 10gr.

Valores constantes:			mp(gr)=		M(gr)=		R(cm)=	
m₁(gr)=		m₂(gr)=		m₃(gr)=		m₄(gr)=		m₅(gr)=
t₁(s)=		t₂(s)=		t₃(s)=		t₄(s)=		t₅(s)=

Tabla 1.1 Medición del tiempo con variación de la Fuerza Fc (radio R y masa M constantes).

PARTE 2: Variación del Radio R (fuerza centrípeta Fc y masa M constantes)

1. Seleccioné una masa “M” (completa) y registré su valor en la **tabla 1.3**.
2. Seleccioné una masa “m” y registré su valor en la **tabla 1.3**.
3. Seleccioné un radio “R” y registré su valor en la **tabla 1.3**.

4. Ejecute el proceso de nivelación de la plataforma y medición del tiempo (ver la parte de procedimiento).
5. Registre en la tabla 1.3 el tiempo “t” medido.
6. Repita cinco veces los ítems 3, 4 y 5 usando cada vez distintos radios “R”, para lo cual introduzca la masa “M” en otro agujero del hilo que la conecta con el resorte.

Valores constantes:			mp(gr)=		M(gr)=		m(gr)=	
R ₁ (cm)=			R ₂ (cm)=		R ₃ (cm)=		R ₄ (cm)=	
t ₁ (s)=			t ₂ (s)=		t ₃ (s)=		t ₄ (s)=	

Tabla 1.2 Medición del tiempo con variación del Radio R (fuerza centrípeta F_c y masa M constantes)

Análisis de datos

1. Tome los datos de las **tablas 1.1** y **tabla 1.2** y realice las debidas conversiones y registre estos datos en la **tabla 2.1** y **tabla 2.2** respectivamente.
2. Utilice la **ecuación (8.8)** para determinar el periodo a partir del tiempo “t” medido y el número de vueltas “n=10”. Registre estos datos en las **tablas 2.1** y **2.2** respectivamente.

PARTE 1: Variación de la fuerza F_c (radio R y masa M constantes)

- Calcule el inverso del cuadrado de cada período y colóquelo en la casilla correspondiente de la **tabla 2.1**.

• Valores constantes:			mp(kg)=		R(m)=				
m ₁ (Kg)=		m ₂ (Kg)=		m ₃ (Kg)=		m ₄ (Kg)=		m ₅ (Kg)=	
t ₁ (s)=		t ₂ (s)=		t ₃ (s)=		t ₄ (s)=		t ₅ (s)=	
T ₁ (s)=		T ₂ (s)=		T ₃ (s)=		T ₄ (s)=		T ₅ (s)=	
T ₁ ⁻² (s ⁻²)=		T ₂ ⁻² (s ⁻²)=		T ₃ ⁻² (s ⁻²)=		T ₄ ⁻² (s ⁻²)=		T ₅ ⁻² (s ⁻²)=	
F _{c1} (N)=		F _{c2} (N)=		F _{c3} (N)=		F _{c4} (N)=		F _{c5} (N)=	
k ₂ =		M (kg)=			M _K (kg)=				

Tabla 2.1 Obtención del valor teórico de la masa del objeto.

- Establezca “M” medido en la **tabla 1.1** como el valor experimental de la masa del objeto.
- Calcule cada valor para la fuerza centrípeta “F_c” utilizando la ecuación **(8.7)** y coloque el valor hallado en la correspondiente casilla de la **tabla 2.1**.
- Dibuje la gráfica **F_c vs T⁻²** utilizando los datos de la **tabla 2.1**.

- Realice la regresión lineal de la gráfica anterior usando la calculadora, donde la pendiente representa “ $k1$ ” y regístrela en la **tabla 2.1**.
- Calcule la masa “ M_k ” usando la ecuación (8.12) con pendiente “ $k1$ ” hallada.
- Considere éste valor “ M_k ” como valor teórico de la masa del objeto y regístrelo en la **tabla 2.1**.

PARTE 2: Variación del Radio R (fuerza centrípeta F_c y masa M constantes)

- Calcule el cuadrado de cada período y colóquelo en la casilla correspondiente de la **tabla 2.2**.
- Calcule la fuerza centrípeta “ F_c ” utilizando la ecuación (8.7) y coloque el valor hallado en la correspondiente casilla de la **tabla 2.2** y considérelo como el valor experimental de la fuerza centrípeta.
- Dibuje la gráfica R vs T^2 utilizando los datos de la **tabla 2.2**, realice la regresión lineal de la gráfica usando la calculadora, donde la pendiente representa “ $k2$ ” y regístrela en la **tabla 2.2**.
- Calcule la fuerza centrípeta “ F_{ck} ” usando la fórmula (8.10) con la pendiente “ $k1$ ” hallada.
- Considere éste valor “ F_{ck} ” como valor teórico de la fuerza centrípeta y regístrelo en la **tabla 2.2**.

Valores constantes:		mp(kg)=		M (Kg)=		m(Kg)=			
R ₁ (m)=		R ₂ (m)=		R ₃ (m)=		R ₄ (m)=		R ₅ (m)=	
t ₁ (s)=		t ₂ (s)=		t ₃ (s)=		t ₄ (s)=		t ₅ (s)=	
T ₁ (s)=		T ₂ (s)=		T ₃ (s)=		T ₄ (s)=		T ₅ (s)=	
T ₁ ² (s ²)=		T ₂ ² (s ²)=		T ₃ ² (s ²)=		T ₄ ² (s ²)=		T ₅ ² (s ²)=	
k1 =		F _c (N)=				F _{ck} (N)=			

Tabla 2.2 Obtención del valor teórico de la fuerza centrípeta.

3. Utilice los valores identificados como valor teórico y valor experimental para “ F_c ” y “ M ” en la parte 1 y parte 2 del análisis de datos, para completar la **tabla 3** y calcule los porcentajes de error con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} \right| * 100 \quad (8.13)$$

Magnitud	Experimental	Teórico	% Error
Fuerza centrípeta F_c (N)	F_c (N)=	F_{ck} (N)=	
Masa del objeto M (Kg)	M (Kg)=	M_k (Kg)=	

Tabla 3 Análisis de los valores teóricos y experimentales para la fuerza centrípeta, la masa del objeto y el radio.

Preguntas de control

1. ¿Cuáles variables fueron medidas directamente?
2. ¿Qué instrumento utilizó para medir cada una de las variables anteriores?
3. ¿Cuál fue el error del experimento, considere todos los factores humanos, ambientales, de equipo, etc, de forma muy específica de acuerdo a la práctica?
4. De acuerdo a los datos de la tabla 2.1, como es el comportamiento del “t” de acuerdo a la masa “m” y que sucede con la fuerza centrípeta.
5. Observe los datos de la tabla 2.2, que sucede con el tiempo “t” de acuerdo al radio “R” de la trayectoria circular, ¿Por qué cree que sucede esto?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

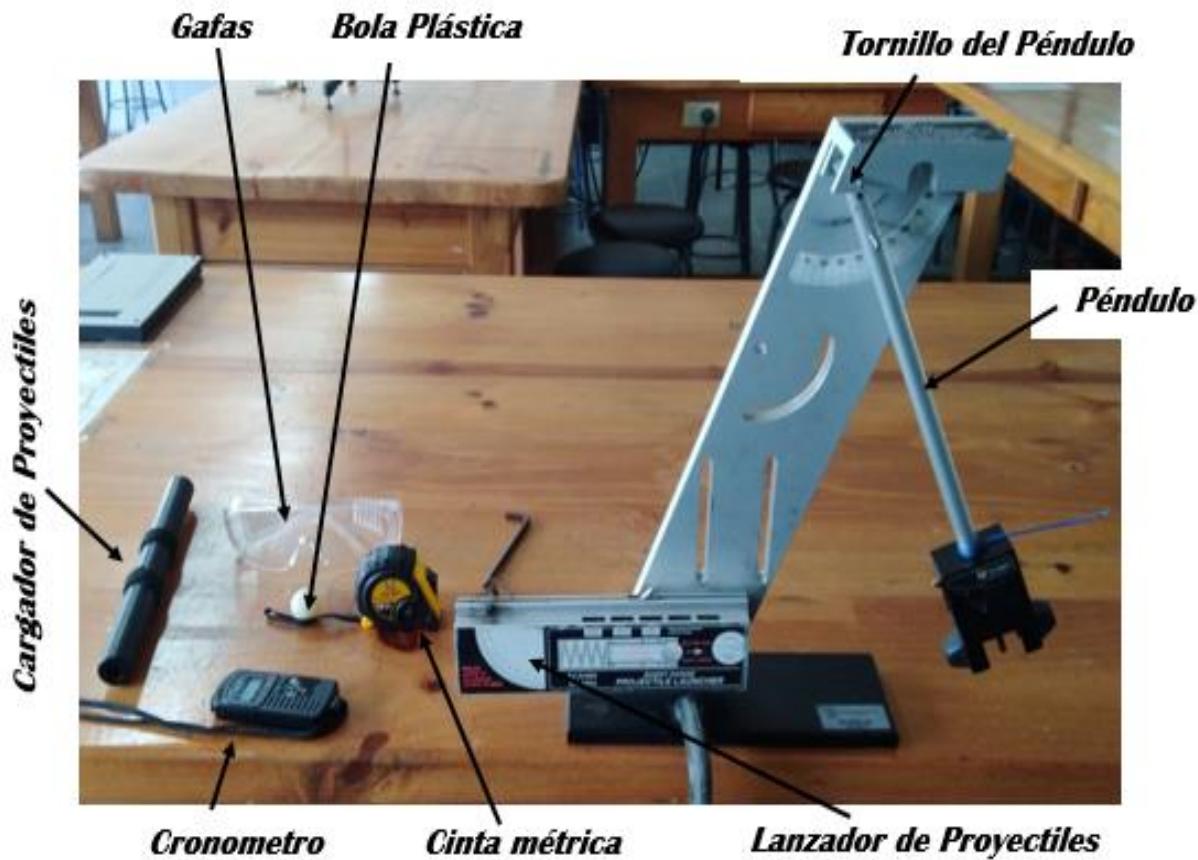
Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.

Objetivos

1. Verificar el principio de conservación de cantidad de movimiento y de la no verificación del principio de conservación de la energía cinética en un choque inelástico.
2. Revisar la teoría física y los principios fundamentales que están presentes en el experimento planteado.
3. Determinar la velocidad de disparo de un proyectil utilizando el método aproximado y el método exacto.

Esquema del laboratorio y Materiales



Esquema de Laboratorio

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Base metálica del Péndulo Balístico.	1	Asegurar la base metálica con la abrazadera en C.
Lanzador de proyectiles	1	No debe mirarse directamente al cañón para saber si está cargado. Tampoco debe introducirse el dedo.
Cargador del lanzador de proyectiles.	1	
Metro	1	
Balanza	1	
Bola de Acero.	1	
Bola plástica.	1	
Gafas de seguridad	1	Usar las gafas de seguridad disponibles, con el fin de disminuir el riesgo de accidentes
Cronómetro	1	
Cuerda	1 metro	

Marco teórico

PÉNDULO BALÍSTICO



Figura 1. Péndulo balístico.

Se dispara horizontalmente una bala contra un bloque suspendido de una cuerda. Este dispositivo se denomina péndulo balístico y se usa para determinar la velocidad de la bala midiendo el ángulo que se desvía el péndulo después de que la bala se haya incrustado en él. Supondremos que el bloque es una masa puntual suspendido de una cuerda inextensible y sin peso.

Los principios de conservación son fundamentales para la Física. Por medio de estos principios es posible estudiar y predecir la evolución en el tiempo de muchos sistemas. En el caso específico de la Mecánica, son de gran importancia los principios de conservación de la energía, conservación del momentum lineal y conservación del momentum angular. En esta práctica se utilizará el principio de conservación del momentum lineal para estudiar el funcionamiento de un péndulo balístico. Este es un dispositivo clásico que permite medir la rapidez de disparo un proyectil.

Utilizando un péndulo balístico (**Figura 2 a.**), un proyectil (balín) de masa m el cual se dispara con rapidez v_b , y al chocar contra el péndulo queda incrustado en él. Como resultado del impacto el conjunto péndulo-proyectil oscila alrededor del punto de suspensión alcanzando una altura máxima Δh (**Figura 2b.**) sobre el punto donde ocurrió la colisión.

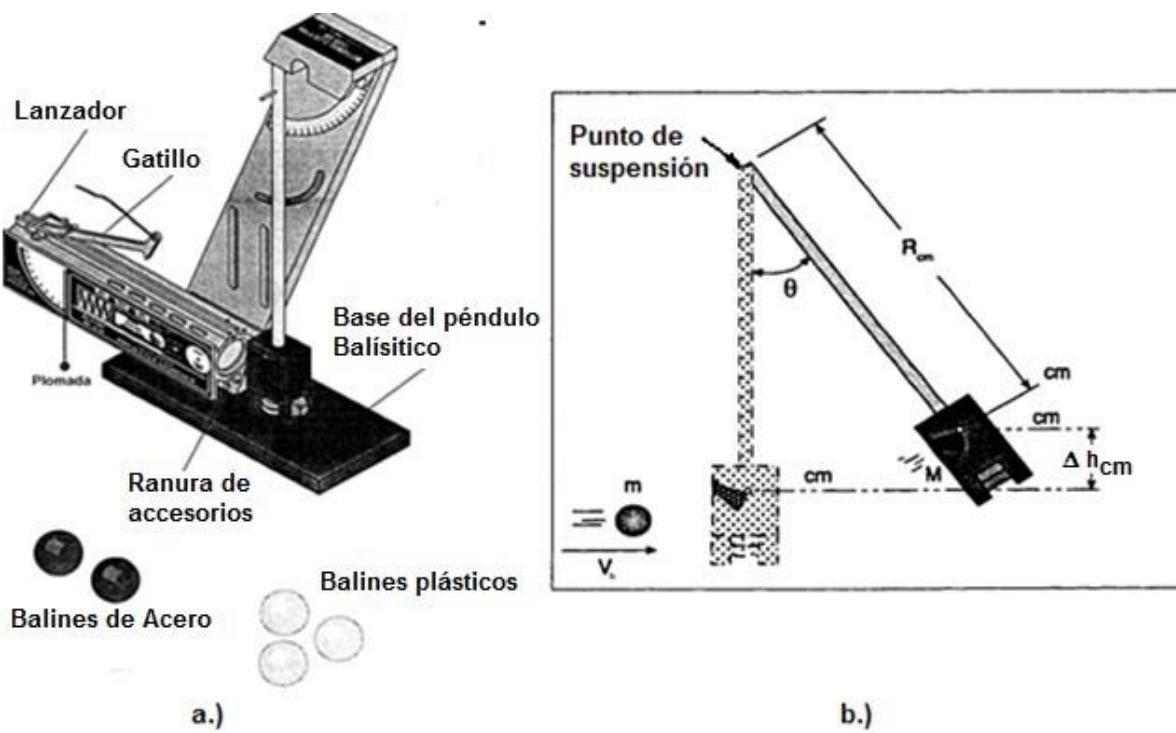


Figura 2. Montaje del Péndulo Balístico

Con la altura Δh (que en adelante le llamaremos h) alcanzada por el péndulo podemos calcular su energía potencial. Esta a su vez es igual a la energía cinética del sistema justo después del choque, si despreciamos la fricción en el pivote del

péndulo. No es posible igualar la energía cinética del péndulo justo antes del choque a la energía cinética del proyectil justo después de él, pues la colisión es inelástica. Sin embargo, dado que en toda colisión se conserva el momentum lineal (cantidad de movimiento), si pueden igualarse los momentum lineales del sistema proyectil – péndulo, justo antes y justo después del choque.

Se puede calcular la velocidad del proyectil (balín) de dos maneras:

1. **EL PRIMER MÉTODO (método aproximado)**, el cual asume que el péndulo y la bola actúan juntos como una masa puntual localizada en su centro de masas combinado. Este método no toma en consideración la inercia rotacional. La velocidad inicial de la bola cuando sale del lanzador de proyectiles se determina disparando la bola dentro del péndulo y observando el ángulo máximo que alcanza el péndulo (**ver figura 2**) La velocidad aproximada de la bola se encuentra utilizando la siguiente ecuación (1):

$$V_p = \frac{M}{m} \sqrt{2gR_{CM}(1 - \cos \theta)} \quad (9.1)$$

Donde:

M = Es la masa combinada del péndulo y la bola (acero o plástico).

m = Es la masa de la bola (acero o plástico)

g = Es la aceleración de la gravedad.

R_{CM} = Es la distancia del pivote al centro de masa del sistema (proyectil + péndulo)

θ = Es el ángulo alcanzado por el péndulo.

2. **EL SEGUNDO MÉTODO (método exacto)**, utiliza la inercia rotacional del péndulo en los cálculos. Las ecuaciones son un poco más complicadas, y es necesario tomar más datos para encontrar el momento de inercia del péndulo; esto hace que los resultados obtenidos sean generalmente mejores. Para determinar la velocidad de inicial de la bola se utiliza la ecuación (9.2):

$$V_p = \frac{1}{mR_b} \sqrt{2IMgR_{CM}(1 - \cos \theta)} \quad (9.2)$$

Donde:

M = Es la masa combinada del péndulo y la bola (acero o plástico).

m = Es la masa de la bola (acero o plástico)

g = Es la aceleración de la gravedad.

I = Es el momento de inercia del péndulo y la bola en el capturador. (Se calcula utilizando la ecuación (9.3))

R_b =Es la distancia entre el punto del pivote y el centro de la bola (acero o plástico)

R_{CM} = Es la distancia del pivote al centro de masas del sistema (bola + péndulo)

θ = Es el ángulo alcanzado por el péndulo.

Cálculo del momento de inercia: Para determinar el momento de inercia del péndulo con la bola en el capturador se utiliza la ecuación (9.3)

$$I = \frac{MgR_{CM}T^2}{4\pi^2} \quad (9.3)$$

Donde:

M = Es la masa combinada del péndulo y la bola (acero o plástico).

g = Es la aceleración de la gravedad.

R_{CM} = Es la distancia del pivote al centro de masas del sistema.

T = Es el periodo del péndulo + bola.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué es un péndulo balístico y para que se utiliza?
2. ¿Qué es la inercia? y **de un ejemplo**.
3. ¿Qué es el momentum lineal y el principio de conservación del momentum lineal?
4. ¿Qué es la energía cinética, energía potencial gravitacional y energía potencial elástica?
5. ¿Qué es un choque elástico? y **de un ejemplo**.
6. ¿Qué es un choque inelástico? y **de un ejemplo**.
7. ¿Por qué no se pueden igualar la energía cinética del péndulo balístico antes y después de la colisión, cuando el choque es inelástico?

Procedimiento

I PARTE: PROCEDIMIENTO

1. Sujete la base del péndulo a la mesa, con una abrazadera en C. Asegúrese que la abrazadera no interfiera con el movimiento del péndulo.
2. Ubique el péndulo a 90° , luego cargue el Lanzador de proyectiles. Permita al péndulo colgar libremente, y mueva el indicador del ángulo para ponerlo en cero grados
3. Quite el péndulo, destornillando y quitando el eje del pivote. Encuentre la masa del péndulo y bola juntos. Realice este procedimiento con la bola de plástico y regístrelo en la **tabla 1** como M_p y con la bola de acero y regístrelo en la **tabla 1** como M_a .
4. Halle la masa de la bola de plástico y regístrela en la **tabla 1** como m_p y de la bola de acero y regístrela en la **tabla 1** como m_a .
5. Encuentre el centro de masa del péndulo con la bola dentro. Para ello utilice la cuerda haga un lazo con la cuerda, y cuelgue el péndulo del lazo hasta que se equilibre horizontalmente. Marque este punto sobre el péndulo. Este es el

centro de masa. (**Ver figura 3**). Usted puede encontrar el centro de masas equilibrando el péndulo en el borde de una regla u objeto similar (Para ello, sitúe el péndulo sobre la mesa, perpendicularmente al borde. Vaya acercando el péndulo al borde hasta que se mantenga en equilibrio. Marque con una línea la posición de equilibrio y mida la distancia desde el eje de giro del péndulo). Anote los datos en la **tabla 1**.

6. Mida la distancia del punto al pivote, y anótelo como con la bola de acero y como para la bola de plástico. Anote los datos en la **tabla 1**.

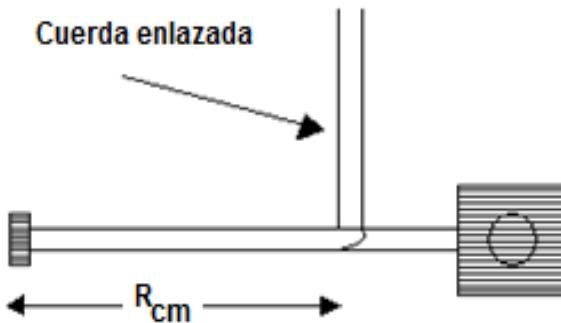


Figura 3. Montaje para encontrar el centro de masa.

7. Reensamble el péndulo, y asegúrese que quede bien hecho. Asegúrese de que el indicador del ángulo, esté a la derecha del péndulo.
8. Dispare el lanzador. Tome y registre el ángulo alcanzado.
9. Cargue el lanzador, luego coloque el indicador del ángulo para orientar 2° o 3° menos del alcanzado en el paso 8. Esto eliminará la fricción causada por el indicador en el arrastre del péndulo, así el péndulo moverá sólo el indicador para los últimos grados. Luego dispare el lanzador, y anote el ángulo alcanzado por el péndulo. Repita este procedimiento tres veces para la bola de acero y para la bola de plástico y anote los datos en las **tablas 2 y 3** respectivamente.
10. Calcule la velocidad aproximada de la bola usando la ecuación (9.1). Tanto para la bola de acero como para la bola de plástico. Anote los datos en las **tablas 2 y 3** respectivamente.
11. Voltee el péndulo de tal manera que la bola no sea atrapada por este. Cargue el lanzador, luego coloque el indicador del ángulo para orientar 2° o 3° menos del alcanzado en el paso 8. Esto eliminará la fricción causada por el indicador en el arrastre del péndulo, así el péndulo moverá sólo el indicador para los últimos grados. Luego dispare el lanzador, y anote el ángulo alcanzado por el péndulo. Repita este procedimiento tres veces para la bola de acero y para la bola de plástico y anote los datos en las **tablas 4 y 5** respectivamente. Además, calcule la velocidad aproximada de la bola usando la ecuación (9.1). Tanto para la bola de acero como para la bola de plástico. Anote los datos en las **tablas 4 y 5** respectivamente.

II PARTE: PROCEDIMIENTO

1. Mida la distancia entre el punto del pivote y el centro de la bola. Anote esto como R_b en la **tabla 1**.
2. Quite el lanzador de proyectiles para que el péndulo pueda girar libremente. Con la bola en el péndulo, dele un desplazamiento inicial de 5° o menos. Haciendo uso del cronómetro tome el tiempo por lo menos de cinco oscilaciones. Realice este procedimiento para la bola de acero y registre este dato como T_a y como T_p para la bola de plástico. Anotar los resultados en la **tabla 1**.
3. Calcule el valor de I utilizando la ecuación **(9.3)**. Realice este procedimiento para la bola de plástico y regístrelo como I_p y para la bola de acero y regístrelo como I_a . Anotar los resultados obtenidos en la **tabla de datos 1**.
4. Calcule la velocidad exacta para la bola de acero y para la bola de plástico con la ecuación **(9.2)** Anote los datos en las **tablas 2, 3, 4 y 5** respectivamente

Análisis de datos

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDADES	VALORES
Masa péndulo + bola de plástico	M_p	Kilogramos(Kg)	
Masa péndulo + bola de acero	M_a	Kilogramos(Kg)	
Masa bola de plástico	m_p	Kilogramos(Kg)	
Masa bola de acero	m_a	Kilogramos(Kg)	
Distancia del pivote al centro de masa del sistema péndulo+bola plástica	R_{CMp}	metros (m)	
Distancia del pivote al centro de masa del sistema péndulo + bola acero	R_{CMA}	metros (m)	
Distancia entre el punto del pivote y el centro de la bola (acero o plástico)	R_b	metros (m)	
Periodo del péndulo + bola de plástico	T_p	Segundos (s)	
Periodo del péndulo + bola de acero	T_a	Segundos (s)	
Momento de inercia del péndulo con la bola de plástico en el capturador	I_p	(Kg. m^2)	
Momento de inercia del péndulo con la bola de acero en el capturador	I_a	(Kg. m^2)	

Tabla 1. Datos para el montaje y Procedimiento 1.

BOLA DE ACERO				
ANGULO	GRADOS	$\theta_{promedio}$	$v_b(m/s)$ <i>Metodo aproximado</i>	$v_b(m/s)$ <i>Metodo Exacto</i>
θ_1				
θ_2				
θ_3				
% Error Porcentual				

Tabla 2. Cálculos para la bola de acero (choque inelástico)

BOLA DE PLÁSTICO				
ÁNGULO	GRADOS	$\theta_{promedio}$	v_b (m/s) <i>Metodo aproximado</i>	v_b (m/s) <i>Metodo Exacto</i>
θ_1				
θ_2				
θ_3				
% Error Porcentual				

Tabla 3. Cálculos para la bola de Plástico (choque inelástico)

BOLA DE ACERO				
ÁNGULO	GRADOS	$\theta_{promedio}$	v_b (m/s) <i>Metodo aproximado</i>	v_b (m/s) <i>Metodo Exacto</i>
θ_1				
θ_2				
θ_3				
% Error Porcentual				

Tabla 4. Cálculos para la bola de acero (choque elástico)

BOLA DE PLÁSTICO				
ÁNGULO	GRADOS	$\theta_{promedio}$	v_b (m/s) <i>Metodo aproximado</i>	v_b (m/s) <i>Metodo Exacto</i>
θ_1				
θ_2				
θ_3				
% Error Porcentual				

Tabla 5. Cálculos para la bola de Plástico (choque elástico)

Preguntas de control

- 1.** Calcule el error entre el cálculo de la velocidad por el método aproximado y el método exacto para la bola de acero y la bola plástica en el choque elástico y el choque inelástico y explique las fuentes de error, recuerde que.

$$E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\%$$

En donde V_{exp} es el valor experimental (velocidad método aproximado) y V_{teo} es el valor teórico (velocidad método exacto).

- 2.** Calcule la energía cinética ($E_c = \frac{1}{2}mv_b^2$) para cada uno de los choques tablas 2, 3, 4 y 5, haciendo uso de las velocidades obtenidas por el método exacto, donde m es la masa de cada bola.
- 3.** Calcule el delta de energía cinética entre la colisión elástica e inelástica para el proyectil de plástico y el de acero.

$$\Delta E_c = E_{c,Elastico} - E_{c,Inelastico}$$

- 4.** ¿Hay más energía o menos energía Cinética cuando el péndulo es girado de tal manera que la bola golpee la parte de atrás de éste?
- 5.** ¿Hay una diferencia significativa entre los valores de la velocidad calculados por los métodos exacto y aproximado?, ¿Qué factores aumentarían la diferencia entre estos dos resultados?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.
- ALONSO, M. y FINN, E. J., Física, vol. I, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967.

Objetivos

1. Investigar la inercia rotacional de algunas distribuciones de masas conocidas.
2. Determinar el momento de inercia de un disco y un anillo utilizando los métodos experimental y analítico.
3. Establecer las diferencias entre el método experimental y el método analítico utilizados en la determinación del momento de inercia.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Balanza (SE-8723)	1	
Superpolea	1	
Calibrador (SF-8711)	1	
Disco	1	
Hilo	2 m	
Masas y portapesas (ME-9348)	1	
Sistema Rotacional (CI-6691)	1	
Cuerda (inc. w/ CI-6691)	1 m	
Anillo	1	

**Esquema de Laboratorio**

Marco teórico

INERCIA ROTACIONAL

La primera ley de Newton nos dice que todos los cuerpos tienden a estar en reposo o a moverse en línea recta con velocidad constante. En la práctica encontramos que existe una ley similar para la rotación:

Todo objeto en rotación permanece girando hasta que un agente externo (un “torque”), modifica dicho estado, de aquí podemos hablar de que un cuerpo en rotación tiene cierta “inercia rotacional”

De la misma manera que la inercia en el movimiento de traslación depende de la masa (de hecho, la inercia se identifica con la masa), la inercia rotacional también depende de la masa, pero en particular de cómo está distribuida alrededor del eje de rotación. Mientras más grande sea la distancia entre el eje de rotación y la mayor concentración de la masa, mayor será la inercia rotacional. A esta distribución se le conoce como momento de inercia.

Dado un sistema de partículas y un eje arbitrario, el momento de inercia del mismo se define como la suma de los productos de las masas m_i de las partículas por el cuadrado de la distancia r_i de cada partícula a dicho eje. Matemáticamente se expresa como:

$$I = \sum m_i r_i^2 \quad (10.1)$$

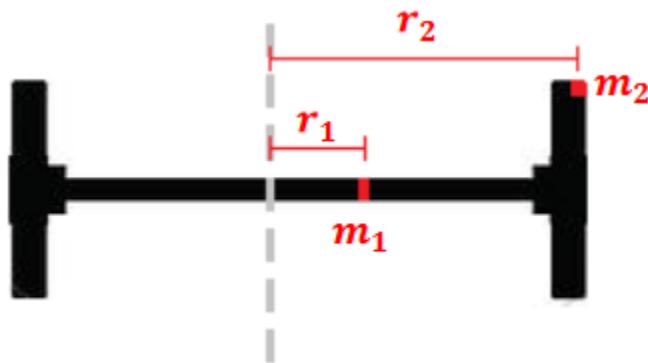


Figura 1. Momento de inercia de un cuerpo.

Para un cuerpo de masa continua (medio continuo), se generaliza como:

$$I = \lim_{\Delta m_i \rightarrow 0} \sum_i r_i^2 \Delta m_i = \int_V r^2 dm \quad (10.2)$$

en esta expresión, el subíndice V de la integral indica que se integra sobre todo el volumen del cuerpo. Se resuelve a través de una integral triple, donde dm es un elemento de masa situado a una distancia x del eje de rotación. Generalmente se reescribe dm en términos de la densidad del objeto, es decir:

$$I = \int_V \rho r^2 dV \quad (10.3)$$

CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA

MOMENTO DE INERCIA DE UN ANILLO

Teóricamente del momento de inercia I de un anillo grueso (**Figura 2**) alrededor de un eje que pasa a través de su centro está dado por la relación:

$$I = \frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2) \quad (10.4)$$

Donde:

M : masa del anillo

R_1 : radio interno del anillo

R_2 : radio externo del anillo

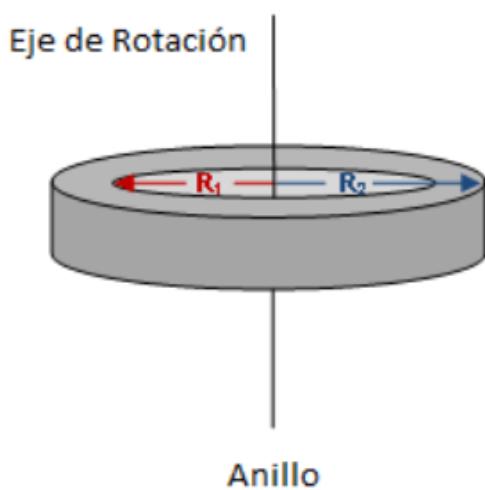


Figura 2. Ejes de Rotación del Anillo.

MOMENTO DE INERCIA DE UN DISCO

El momento de inercia I de un disco de densidad uniforme (**Figura 3**) que rota en un plano horizontal y en el cual el eje pasa por su centro geométrico está dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{1}{2} MR^2 \quad (10.5)$$

Donde:

M: masa del disco

R: radio del disco

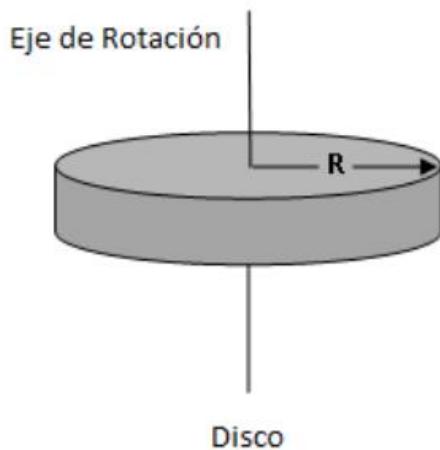


Figura 3. Ejes de Rotación del disco.

MOMENTO DE INERCIA DE UN DISCO VERTICAL

El momento de inercia I de un disco (**Figura 4**) de masa M y radio R , respecto de uno de sus diámetros es:

$$I = \frac{1}{4} MR^2 \quad (10.6)$$

Donde:

M: masa del disco

R: radio del disco

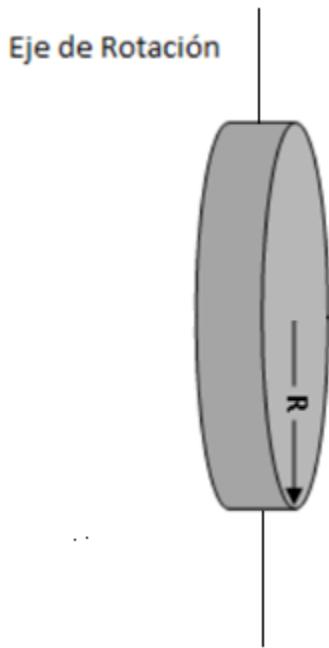


Figura 4. Ejes de Rotación del disco vertical.

Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué es inercia rotacional y de qué factores depende la inercia rotacional de un cuerpo?
2. ¿Un objeto debe estar girando para tener un momento de inercia distinto de cero?
3. Explique porqué al cambiar el eje de rotación de un objeto cambia su momento de inercia.

Procedimiento

1. Mida el diámetro de la polea escogida para el sistema rotacional y a partir del diámetro determine el radio y registre en la **tabla 1**.
2. Tome el anillo y mida el diámetro interno y externo y a partir del diámetro determine los radios interno y externo del anillo y registre en la **tabla 1**.
3. Tome medida del diámetro del disco y a partir del diámetro determine el radio del disco y registre en la **tabla 1**.
4. Con ayuda del docente o del auxiliar encargado del laboratorio, pese por separado el disco y el anillo y registre estos valores en la **tabla 1**.

MAGNITUD	VALORES
Radio de la polea r [cm]	
Radio interno del anillo R_1 [cm]	
Radio externo del anillo R_2 [cm]	
Radio del Disco R [cm]	
Masa del anillo [g]	
Masa del Disco [g]	

Tabla 1. Datos básicos de los elementos del montaje.

5. Realice el montaje para la súper polea del sistema rotacional como se muestra en la **figura 5**.

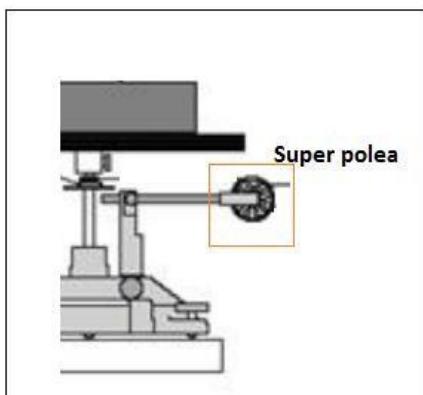


Figura 5. Montaje de la súper polea en el sistema rotacional.

6. Con ayuda del docente o del auxiliar encargado del laboratorio, instale un hilo que vaya desde el eje del sistema rotacional, que pase por la cavidad de la súper polea y llegue máximo hasta 10 cm antes de tocar el suelo como se muestra en la **figura 6**.

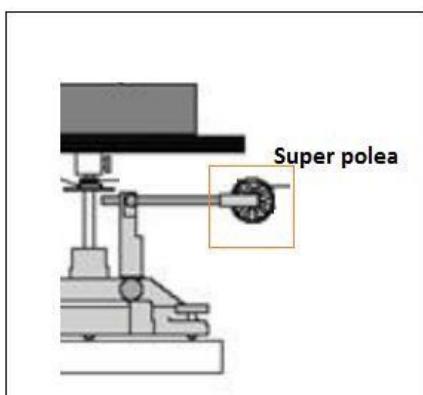


Figura 6. Instalación del hilo a través de la súper polea.

7. Tome la punta del hilo que se encuentra a 10 cm del suelo y átela al porta-masas como se muestra en la **figura 7**.

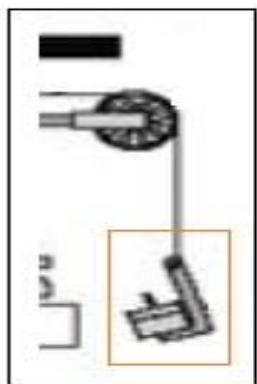


Figura 7. Instalación del porta-masas.

8. Posicione el anillo sobre el disco exactamente en la ranura que tiene el disco.
9. Posicione el sistema disco-anillo sobre el sistema rotacional.
10. Con ayuda del docente o el auxiliar encargado del laboratorio, instale una fotocelda en modo paralelo al sentido de rotación de la súper polea, de modo tal que el lector de la fotocelda quede frente a las ranuras de la súper polea. Conecte la fotocelda al Smart timer.
11. Disponga el Smart Timer en medición de aceleración “Linear Puley”.
12. Añada una masa de 60 g al porta-masas y con cuidado rebobine el hilo girando el sistema rotacional (realice este procedimiento despacio y teniendo total cuidado que el hilo no se salga de la ranura de la súper polea).
13. libere el sistema rotacional permitiendo que el 90% del hilo enrollado en el eje de rotación se desenrolle. Cuando el 90% del hilo es desenrollado detenga la rotación para evitar estropear los elementos involucrados en el sistema. Registre el valor obtenido para la aceleración con ayuda del Smart Timer en la **tabla 2** para “Anillo+Disco”.
14. Realice los pasos 11, 12 y 13 dos veces más para completar la toma de datos de aceleración “Anillo+Disco” y registre en la **tabla 2**. Determine un promedio de las tres aceleraciones tomadas para “Anillo+Disco” y registre en la **tabla 2**.
15. Retire el anillo del sistema y realice los pasos 11, 12, 13, y 14 pero ahora registre estos datos en la **tabla 2** en la sección “Disco solo plano horizontal”.
16. Con ayuda del docente o del auxiliar encargado del laboratorio, disponga el disco verticalmente sobre el sistema rotacional como se muestra en la **figura8**.

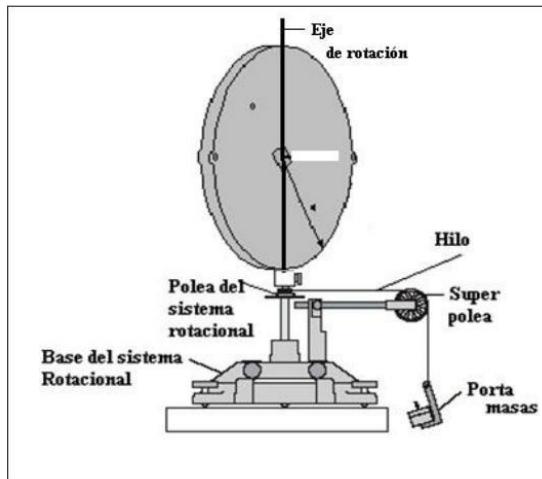


Figura 8. Configuración vertical del disco en el sistema rotacional.

17. Realice los pasos 11, 12, 13, y 14 pero ahora registre estos datos en la **tabla 2** en la sección “Disco solo plano vertical”.
18. Finalmente registre en la segunda columna de la **tabla 2**, el valor para la masa colgante (recuerde que la masa colgante será equivalente a la suma de la masa y el porta-masas).

Descripción	Masa colgante (g)	a_{T1}	a_{T2}	a_{T3}	a_{Tprom}
Anillo+Disco					
Disco solo plano horizontal					
Disco solo plano vertical					

Tabla 2. Aceleraciones tangenciales para tres configuraciones del sistema rotacional.

Análisis de datos

1. Calcule y registre en la **tabla 3** los valores para la inercia rotacional experimental para las configuraciones “Anillo+Disco”, “Disco solo plano horizontal” y “Disco solo plano vertical” utilizando la ecuación (10.7), teniendo en cuenta que para los tres casos a_T es el promedio de las aceleraciones tangenciales medidas y registradas en la **tabla 2** para cada caso, g es la gravedad, m es la masa colgante (masa + porta-masas) registradas en la **tabla 2** para cada caso y r el radio de la polea.

$$I = mr^2 \left(\frac{g}{a_T} - 1 \right) \quad (10.7)$$

2. Determine y registre en la **tabla 3** el valor para la inercia rotacional experimental para “anillo solo” restando los valores obtenidos en el punto anterior: “Anillo+Disco” - “Disco solo plano horizontal”.
3. Calcule y registre en la **tabla 3** el valor para la inercia rotacional teórica del “anillo solo” utilizando la ecuación **(10.4)** con los valores medidos y registrados en la **tabla 1**.
4. Calcule y registre en la **tabla 3** el valor para la inercia rotacional teórica del “disco solo plano horizontal” utilizando la ecuación **(10.5)** con los valores medidos y registrados en la **tabla 1**.
5. Calcule y registre en la tabla 3 la inercia rotacional teórica para “Anillo+Disco” sumando los valores obtenidos en los pasos 3 y 4.
6. Calcule y registre en la **tabla 3** el valor para la inercia rotacional teórica del “disco solo plano vertical” utilizando la ecuación **(10.6)** con los valores medidos y registrados en la **tabla 1**.
7. Finalmente determine el error relativo para cada caso presente en la **tabla 3** utilizando los valores de inercia rotacional teóricos y experimentales, dando uso de la siguiente relación.

$$E_{rel} = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (10.8)$$

Descripción	$I_{Experimental}$	$I_{teórico}$	Error relativo
Anillo+Disco			
Disco solo plano horizontal			
Anillo solo			
Disco solo plano vertical			

Tabla 3. Inercia rotacional (teórica y experimental).

Preguntas de control

1. ¿Existe una diferencia entre el valor de la inercia rotacional en la configuración de disco solo en plano horizontal y la configuración de disco solo en plano vertical? ¿por qué sucede esto? (**sustente su respuesta**).
2. ¿De acuerdo a los errores obtenidos en la tabla 3, Los valores teóricos coincidieron con los obtenidos experimentalmente? Sí o no, por qué?
3. ¿Qué objeto tuvo el mayor momento de inercia rotacional?
4. ¿Qué objeto fue el más fácil de acelerar?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Serway, R. & Jewet, J.: *Física para ciencias e ingeniería* Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning Editores S.A. de C.V., 2008.
- Sears, F. & Zemansky, M.: Young, H. & Freedman, R.: *Física universitaria* volumen 1. Decimosegunda edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009.
- Ohanian, H. & Markert, J.: *Física para ingeniería y ciencias* Volumen 1. Tercera edición. W. W. Norton & Company, Inc. New York-London, 2007.