

ESCUELA DE INGENIERÍA, CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
GUÍAS DE LABORATORIO FÍSICA I

**Autores**

Paula Catalina Cañón Soler  
*Estudiante de Ingeniería Industrial, EICT*

Juan David Ríos Vargas  
*Estudiante de Ingeniería Industrial, EICT*

Alexander Cardona Rodríguez  
*Profesor de cátedra, EICT*

Jose Augusto Galvis Echeverri  
*Profesor Principal de Carrera, EICT*

**Prólogo**

¡Bienvenidos al fascinante mundo de la Física Experimental!

**Para los Estudiantes:**

Cada estudiante que ingresa a la Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología (EICT) de la Universidad del Rosario porta consigo un deseo insaciable de entender el funcionamiento del mundo que nos rodea. La física, ciencia dedicada a entender el universo, nos brinda las herramientas para no solo comprender, sino también, aplicar los fenómenos naturales. En este sentido, el estudio de dichos fenómenos se compone de dos pilares fundamentales: la teoría y la práctica, las cuales están fuertemente ligadas en el proceso de aprendizaje. Es en el laboratorio donde se cristalizan los conceptos, donde las ecuaciones cobran vida y donde se forja el verdadero entendimiento del mundo que nos rodea.

Este documento proporciona las guías de laboratorio del curso de física 1, que se alinean estrechamente con las necesidades y expectativas de los estudiantes de la EICT. No es solo un compendio de experimentos, sino una ventana a la metodología, la precisión y el rigor que caracterizan a un verdadero ingeniero y científico. Les instamos a abordar estos laboratorios con mente abierta y curiosidad insaciable. Con cada experimento, están un paso más cerca de convertirse en los innovadores y líderes del mañana.

**Para los Profesores:**

La enseñanza es un arte y una ciencia en sí misma. A lo largo de los años, hemos reconocido la importancia de proporcionar a nuestros estudiantes herramientas pedagógicas adaptadas a sus necesidades específicas. Las guías de laboratorio contenidas en este do-

cumento son el resultado de un esfuerzo colaborativo, uniendo la experiencia y conocimiento de profesores expertos en el área con la perspectiva fresca, vibrante y apasionada de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología.

Estas guías no solo buscan instruir, sino también inspirar. Buscan fomentar la curiosidad, la investigación y el pensamiento crítico. Reconocemos y valoramos el papel crucial que desempeñan los laboratorios en la formación de nuestros estudiantes, y es por ello por lo que hemos puesto tanto empeño en asegurar que estas guías reflejen la excelencia y el compromiso con la educación que caracteriza a nuestra institución. En este libro encontrarán las guías de laboratorio que fueron pensadas para estar alineadas con las clases teóricas, que permitan entregar a nuestros estudiantes una formación en física basada en la práctica y la experiencia (hands-on) sellos que identifican nuestra EICT.

Estas guías de laboratorio han sido estructuradas en base a los experimentos y material bibliográfico de la compañía PASCO scientific, reconocida compañía en el diseño y fabricación de herramientas didácticas para el aprendizaje integral de la física. Estimado profesor, usted es parte del mejoramiento de este material, lo invitamos a realizar cualquier sugerencia de mejora de las presentes guías y a la construcción de nuevo material.

¡Adelante, estudiantes y profesores, y que el viaje hacia la física experimental comience!

Los autores,

### **Agradecimientos:**

Los autores manifiestan su agradecimiento a la Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología y su Decano Rafael Alberto Méndez Romero, por todo el apoyo en la construcción de este documento. También manifiestan un especial agradecimiento a los auxiliares de laboratorio y al Coordinador de Laboratorios David Nicolás Castiblanco Ávila por toda su incondicional ayuda siempre que los requerimos. A los estudiantes del curso de Física 1 del segundo semestre de 2023 y primer semestre del 2024 por sus sugerencias en la implementación práctica de este documento, son ustedes los estudiantes la razón y fin de estas guías.

## Contenido

Introducción.....	3
LABORATORIO # 1: TRATAMIENTO DE DATOS .....	9
Laboratorio # 2: MOVIMIENTO PARABÓLICO .....	14
Laboratorio # 3: LEYES DE NEWTON .....	22
Laboratorio # 4: FUERZA CENTRÍPETA .....	27
Laboratorio # 5: LEY DE HOOK .....	33
Laboratorio # 6: CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA .....	39
Laboratorio # 7: PÉNDULO BALÍSTICO .....	44
Laboratorio # 8: EQUILIBRIO DE CUERPO RÍGIDO .....	52
Laboratorio # 9: HISTERESIS EN SISTEMAS MECÁNICOS .....	57

### TEORIA DE INCERTIDUMBRES EXPERIMENTALES

Un experimento consiste en la observación metódica de un comportamiento de interés de la naturaleza. En el proceso de medición que se realiza durante el experimento se presenta una interacción activa entre el ejecutante y el instrumento. Esta interacción queda plasmada en el resultado mismo de la medición el cual no es infinitamente preciso debido a las limitaciones del juicio humano y de la técnica experimental.

La especificación de una magnitud física medible requiere:

1. Un valor numérico
2. Una unidad de medida
3. Grado en que se puede confiar en la medición, conocido también como índice de precisión.

En el ámbito científico y de ingeniería se debe evaluar lo relativo de una medición sea directa o indirecta. Se debe tener una “conciencia del error”. Esto quiere decir que cuando se reporte un resultado se debe incluir el grado de confianza con que la medición fue realizada. Generalmente las mediciones se presentan dentro de un rango, por ejemplo, si se realizó una medida de una masa y se reportó  $20.70 \pm 0.10$  kg, se puede interpretar que las medidas están en un rango de 20.60 a 20.80 kg. Este ejemplo nos muestra que el resultado de la medición debe estar acompañado por un valor, la incertidumbre asociada y la unidad correspondiente.

El número de cifras significativas contenidas en el resultado expresa el orden de magnitud de la incertidumbre en la cantidad física medida. Es necesario ser conscientes que ningún experimento es absolutamente preciso, es decir el resultado de la medida de la cantidad física no coincide de forma exacta con el valor teórico esperado. En el trabajo experimental es necesario reportar siempre la desviación del valor medio con respecto al valor teórico, la teoría de incertidumbres estudia como estimar la desviación.

## **Tipos de medición**

Las mediciones pueden ser clasificadas en medidas directas o indirectas. Las medidas directas son realizadas por medio de la comparación directa que se realiza de una magnitud física desconocida con un instrumento adecuado. Por ejemplo, si se desea medir la altura de una persona, puede ser usado como instrumento de comparación un flexómetro. En cambio, las mediciones indirectas son derivadas por medio de un cálculo usando una función la cual puede contener una o más mediciones directas. Por ejemplo, el volumen de una esfera puede ser obtenido por la medición directa de su radio:

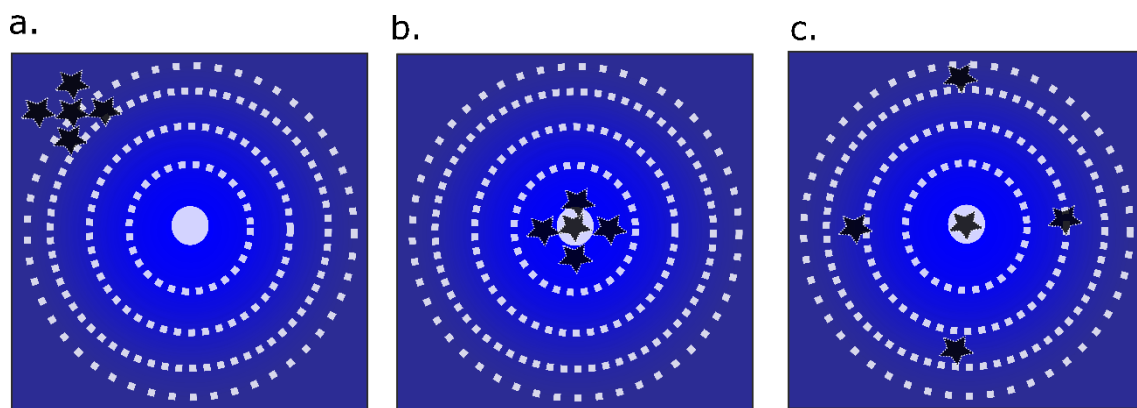
$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

La inexactitud obtenida en  $r$  se triplicará cuando sea determinado el volumen, dado que depende del radio al cubo.

## **Errores o incertidumbres experimentales**

El concepto de error en el contexto experimental tiene un significado diferente, y este asociado a la incerteza en la determinación del resultado de una medición de una cantidad física. Se busca los límites probabilísticos de las incertezas. En el proceso de medición se presentan limitaciones proporcionadas por los instrumentos de medición usados. Los instrumentos de medición tienen una precisión finita, donde siempre existe una variación mínima conocida como apreciación nominal del instrumento. Por ejemplo, en un flexómetro graduado en milímetros no se pueden detectar variaciones menores a una fracción de milímetro.

Como fuente de error que se presenta en los instrumentos además de la precisión se tiene la exactitud. La precisión de un instrumento está asociada a la sensibilidad o menor variación de la magnitud que pueda ser detectada con el instrumento. Por ejemplo, un tornillo micrométrico es más preciso que un flexómetro. Por lo general los instrumentos vienen calibrados dentro de ciertos límites.



**FIGURA 1. EXACTITUD Y PRECISIÓN. (A) PRECISO SIN EXACTITUD (B) EXACTO Y PRECISO (C) EXACTO SIN PRECISIÓN. TABLA 1 LISTA DE ELEMENTOS**

Los datos presentan una tendencia a agruparse o a dispersarse, cuando los datos están muy cercanos uno del otro decimos que son exactos. La figura 1a nos indica la presencia de un error sistemático que no se ha tenido en cuenta debido a deficiencias en el procedimiento. Cuando están cerca de un valor que se conoce previamente decimos que son exactos (el punto central representa el valor conocido). En la figura 1c dada la poca precisión de los datos no podemos estar seguros de que tan confiable el experimento, estas fluctuaciones se deben a errores aleatorios producidos por la dificultad del observador para tomar la medida. Los errores sistemáticos se refieren a errores que se producen de manera consistente y predecible, como el error de la figura 1. Este se debe a diversas causas y son además corregibles, se pueden originar por imperfecciones en los métodos experimentales, instrumentos de medición defectuosos y errores de calibración. Por lo general, un error sistemático afecta todas las medidas de forma similar, ocasionando una desviación sistemática en el valor verdadero. Por ejemplo, una balanza descalibrada que siempre muestra un valor mayor (o menor) al real.

En contraste, los errores aleatorios no se pueden eliminar, estos ocurren por factores impredecibles que no se controlan. Mientras más sensible sea el instrumento de medición mayor es el papel de las variaciones erráticas. Estos son normalmente causados por errores de medición humanas o variabilidad inherente al sistema o al fenómeno físico que pueden ser afectadas por factores externos. En general se espera que los errores aleatorios se distribuyan de forma homogénea alrededor de un valor medio para todos los datos. Los errores ambientales pueden influir en el experimento significativamente, el experimentador debe enfrentar el hecho que el ambiente influirá en el comportamiento de sus

instrumentos y las relaciones con las cantidades a medir. Las soluciones más sencillas: a) aislar el experimento y b) controlar el ambiente.

### **Propagación de error**

En las mediciones indirectas el efecto debido a los errores sistemáticos puede ser seguidos a través de las ecuaciones que sean usadas. Por ejemplo, en el cálculo de una variable directa si se desea calcular el volumen de una esfera por medio de una medición directa del radio, se puede usar la ecuación:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Si derivamos

$$\frac{dV}{dr} = 4\pi r^2$$

$$dV = 4\pi r^2 dr$$

Ahora si dividimos entre  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ , tenemos

$$\frac{dV}{V} = \frac{3dr}{r}$$

Lo cual puede ser usado para calcular el error

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3\Delta r}{r}$$

Lo que significa que el error fraccional o porcentual para  $V$  es casi 3 veces tan grande como el de  $r$  ( $\Delta V \sim 3\Delta r$ ).

Otro ejemplo es el volumen de un cilindro, donde se realiza más de una medida, en este caso se debe medir el radio y la altura del cilindro para conocer su volumen. La ecuación para usar es:

$$V = \pi r^2 h$$

donde  $h$  es la altura del cilindro y  $r$  el radio del cilindro, ahora como depende de más de una variable, usamos derivadas parciales:

$$dV = \frac{\partial V}{\partial h} dh + \frac{\partial V}{\partial r} dr$$

Con lo que se obtiene:

$$\Delta V = \pi r^2 \Delta h + 2\pi r h \Delta r$$

Dividiendo la anterior expresión entre el volumen

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta r}{r}$$

En este caso, el error fraccional en la medida del volumen del cilindro es proporcional al error en la medida de su altura y el doble de la medida de su radio ( $\Delta V \sim \Delta h + 2\Delta r$ ). En otras palabras, el error en la medida de la altura y el radio se propagó al error de la medida del volumen.

Para calcular la propagación de los errores en una forma general, supongamos una magnitud  $f$  que es función de los parámetros  $x, y, z$  etc. Entonces la propagación del error en la medición de  $f$  viene dada por:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta z\right)^2 + \dots}$$

Para una magnitud física dada que es medida  $N$  veces, suponga que se tiene resultados  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N$ . Estas  $N$  mediciones corresponden a la medida de un mismo parámetro, por consiguiente, cada medida debe representar el valor de dicho parámetro con cierto error. Podemos definir el promedio de las  $N$  mediciones como:

$$\bar{x} \equiv \langle x \rangle = \frac{\sum_{j=1}^N x_j}{N}$$

La cantidad que se desvía o aleja cada medición con respecto al promedio, se puede escribir como:

$$\Delta x_j = x_j - \bar{x}$$

Esto nos permite definir una cantidad denominada la varianza ( $\mu$ ) en términos del promedio:

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N(N-1)}$$

La varianza es una medida estadística que nos indica la dispersión del conjunto de los  $N$  datos. Este valor nos indica que tan dispersos están los valores respecto al promedio.



La desviación estándar ( $\sigma$ ) es otra medida de dispersión ampliamente usada, esta es la raíz cuadrada de la varianza, puede definirse en términos de la desviación de cada medición y está dada por:

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

La desviación estándar permite obtener una medida de la dispersión de los datos en la misma unidad de los datos, es la medida de dispersión típica o promedio de los datos con respecto a la media.

El error relativo de una medida representa la desviación de cada dato  $x_i$  por unidad de medición. Para ello, el valor absoluto de la dispersión se divide por su promedio:

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

Puede ser más útil expresar el error relativo en términos porcentuales, siendo útil a la hora de analizar y concluir, el cual viene dado por:

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

Cuando en un experimento se conoce el valor teórico de una cantidad física y se desea comparar con su valor obtenido experimentalmente, es útil usar el error relativo como:

$$E_{\%} = \frac{|x_{teórico} - x_{experimental}|}{x_{teórico}} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

$$E_R = \frac{|x_{teórico} - x_{experimental}|}{x_{teórico}}$$

Esta cantidad indica cuanto en porcentaje se aleja el valor obtenido de forma experimental del valor teórico esperado. En el desarrollo de todo experimento que implique la toma de datos, se debe incluir el valor de la desviación estándar y el error porcentual. Los resultados finales deben ir acompañados del error relativo, de la siguiente forma:

$$X = \bar{x} \pm E_R \quad (2)$$

De forma que el número de cifras significativas de  $E_R$  sea igual o menor al número de cifras significativas de  $\bar{x}$ .

Por ejemplo, suponga que la medida de una velocidad promedio fue de 10,4 m/s, con un error relativo de 0,567, la forma de presentar el resultado será:

$$V_{med} = 10,4 \pm 0,6 \text{ m/s}$$

De forma que el valor del error relativo se redondea al número de cifras significativas del valor obtenido.

## Laboratorio # 1: TRATAMIENTO DE DATOS

### Objetivo

Aplicar los conceptos básicos de la teoría de incertidumbre en la toma de datos experimentales, donde se identifican los diferentes tipos de errores existentes en un experimento y la forma correcta de analizarlos

### Marco teórico

#### *Introducción a péndulo simple*

Un péndulo simple representa un modelo idealizado consistente en una masa puntual suspendida con una cuerda de masa despreciable e inextensible con longitud  $L$ . Dicha masa suspendida se desplaza de una posición inicial, que forma un ángulo vertical no mayor a  $15^\circ$ , y oscila alrededor de dicha posición. Entonces la trayectoria de la masa será el arco de un círculo con radio  $L$  (longitud de la cuerda) que recorre el arco y retoma su posición inicial dando lugar a una oscilación. El periodo de la oscilación es el tiempo que tarda al pasar por una posición y regresar a esta, es decir:

$$T = \frac{\text{tiempo}}{\#\text{oscilaciones}} \quad (1.1)$$

En el caso del péndulo simple, es fácil demostrar que el tiempo necesario para una oscilación, es decir el periodo, se describe por la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1.2)$$

Esta ecuación describe la relación entre el periodo ( $T$ ) longitud ( $L$ ) y gravedad ( $g$ ), note que la masa no tiene ninguna implicación en el periodo. Haciendo el respectivo despeje usted puede obtener de forma sencilla la gravedad terrestre en términos del periodo del movimiento y la longitud de la cuerda.

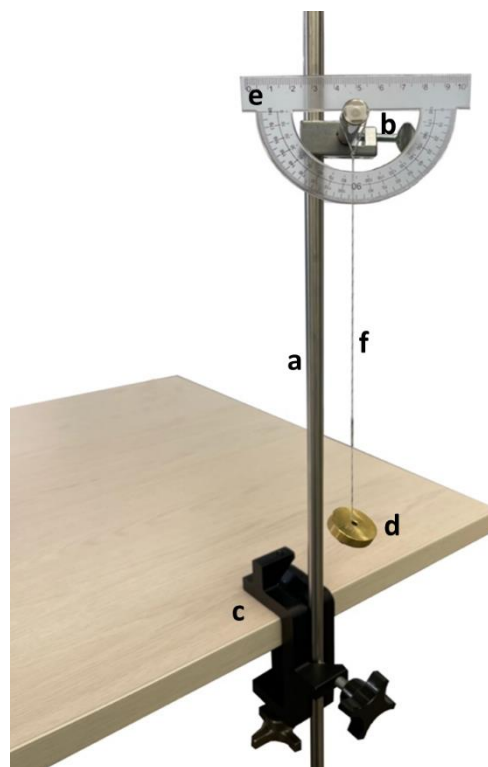
Nota: Para este laboratorio es muy importante que lea el capítulo de introducción sobre teoría de incertidumbre, así como la sección 13.5 de péndulo simple del libro guía del curso de física I, Física Universitaria de Sears y Zemansky, volumen 1, decimosegunda edición.

### Metodología

Elementos para solicitar al auxiliar:

a	Varilla 90cm	8738
b	Pinza	9507
c	Abrazadera para mesa	9472
d	Masa 100gr	NA
e	Transportador	NA
f	Hilo	NA
g	Varilla de 45 cm	8736
	Cinta doble cara	NA
	Cronometro	NA
	Metro o regla	NA

**TABLA 1.1 LISTA DE ELEMENTOS**



**FIGURA 1.1 MONTAJE PÉNDULO SIMPLE**

#### Procedimiento

1. Haga el montaje mostrado en la figura 1.1, usando la abrazadera para mesa (c), ubique la varilla (a) en el orificio de esta, para que sirva como soporte para el péndulo.

2. En el extremo de la varilla de 95 cm colóquese la pinza asegurándose que quede bien sujeta. Ubique la varilla de 45 cm en el otro soporte de la pinza, de forma que las dos varillas formen un ángulo de  $90^\circ$  entre ellas.
3. Corte un pedazo de hilo lo suficientemente largo (más de 1 metro) y sujete la masa de 100 gr a este, después amarre la cuerda a la varilla. Debe tener presente que la longitud del hilo variará de acuerdo las longitudes solicitadas en la tabla (1.2), por ello médalo con el metro una vez sujeto a la varilla y confirme su medida inicial.
4. Recorte un pedazo de cinta doble cara para pegar el transportador a la varilla o a la pinza, de forma que no interfiera con el hilo cuando la masa oscile. El uso del transportador es importante para medir el ángulo al momento de hacer los lanzamientos respectivos.

## **Desarrollo experimental**

### **Tips**

1. Una vez hecho el montaje, asegúrese de que la masa no choque con nada al oscilar.
2. El ángulo debe ser el mismo para todas las oscilaciones, se sugiere un ángulo de máximo  $15^\circ$ .
3. Recuerde que una oscilación corresponde a un ciclo completo, es decir, cada vez que la masa retome su posición inicial cuente como una oscilación.
4. Entre los integrantes del grupo fíjese quien es más preciso en el uso del cronometro. Realice la siguiente competencia: cada integrante debe oprimir “start” y “stop” lo más rápido que pueda, quien registre un menor tiempo será quien cronometrará en el experimento.

### **Procedimiento**

1. Ubique la masa de forma que la cuerda tenga un ángulo de máximo 15 grados y esté tensionada, después de soltar la masa registre el tiempo que toma en realizar 10 oscilaciones. Trate de ser muy preciso en el momento que inicia y termina el registro con el cronometro, si tiene dudas, repita la toma.
2. Realice el experimento 3 veces con una misma longitud, registre los tiempos en la tabla 1.2.
3. Obtenga el promedio de los tiempos y regístrelo en la tabla. Con la ecuación 1.1 podrá encontrar el periodo del movimiento, regístrelo en la tabla (T).

4. Eleve cada dato de periodo al cuadrado y regístrelo en la tabla ( $T^2$ ).
5. De acuerdo a lo leído en el capítulo de introducción, encuentre la desviación estándar de los datos obteniendo y regístrelo en la tabla ( $\sigma$ ).
6. Repita el experimento para todas las longitudes propuestas en la tabla.

Longitud de la cuerda (L)	Tiempo	Promedio	$T$	$T^2$	$\sigma$
1m					
0.8m					
0.6m					
0.4m					
0.2m					

**TABLA 1.2 REGISTRO DE DATOS**

### Análisis

Llegó al momento de determinar la gravedad de la tierra con un péndulo simple.

1. Registre los datos obtenidos en la tabla del del programa “TratamientodeDatos.cap” del software Capstone de Pasco, que podrá encontrar en el archivo *c:\Programas Física I* de su computadora asignada.

2. Grafique la longitud (L) en el eje “y” y el periodo (T) en el eje “x”. Ubique las barras de error en la gráfica para el periodo (se usará la desviación estándar obtenida para las barras de error).
3. Grafique la longitud (L) en el eje “y” y el periodo al cuadrado ( $T^2$ ) en el eje “x”. Realice una regresión lineal simple, usando la herramienta “curve fit tool” de Capstone y permita que muestre la *ecuación de la recta*. Verifique el dato de la pendiente ya que será útil para el siguiente cálculo. (si tiene dudas del manejo de las gráficas en Capstone consulte la siguiente ayuda: <https://help.pasco.com/capstone/how-do-i/display-and-analyze-data/graph-display/#fit-a-curve-to-data>). Si lo prefiere, puede usar otro programa de análisis, como Excel, Matlab, Python, etc.
4. A partir de la ecuación 1.2 encuentre una relación entre  $T^2$  y L.
5. De la ecuación obtenida en el inciso anterior y la pendiente de la recta obtenida, deduzca el valor de la gravedad de la tierra.
6. ¿Que representa el punto de corte?

### Análisis de error

Puede ser que el dato le haya dado poco preciso o muy exacto, ¿cómo medir dicho error? Utilizando las ecuaciones del capítulo de introducción sobre teoría de incertidumbres experimentales encuentre el error relativo de su medida de la gravedad terrestre. Para ello use la ecuación 1 del capítulo de introducción, usando como valor teórico para la gravedad  $9.8 \text{ m/s}^2$ . Una vez obtenido este valor, exprese su valor obtenido de forma correcta, como lo indica la ecuación 2 del capítulo de introducción.

*¿Qué pasaría si...?*

1. Tire la masa desde diferentes ángulos, entre 10 a 20 grados, y observe el tiempo que tarda una oscilación, fíjese de que depende el periodo, ¿del ángulo, su longitud, la masa? Analice su respuesta comparando con la ecuación 1.2.
2. ¿Si la masa cambia, cambia el periodo?
3. ¿Qué pasaría si el experimento se hace en la luna y no en la tierra?

A partir de los resultados obtenidos y los análisis correspondientes, escriba el informe de laboratorio de acuerdo con las pautas indicadas por su profesor.





## Laboratorio # 2: MOVIMIENTO PARABÓLICO

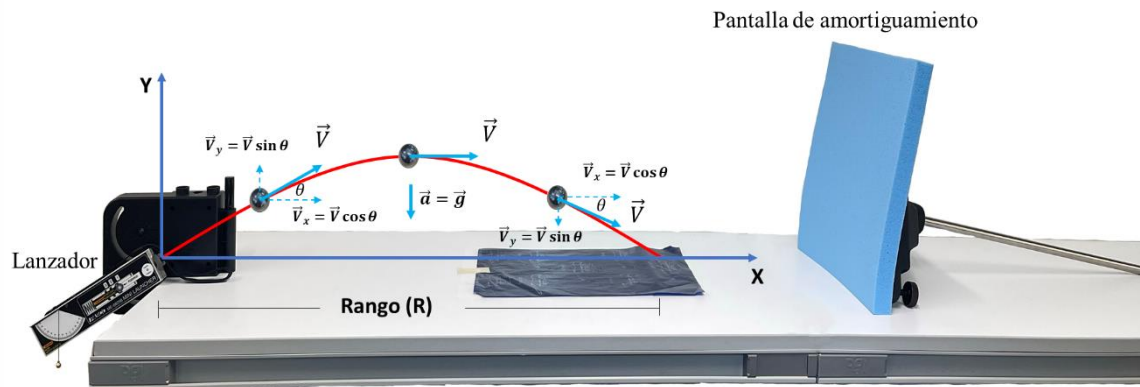
### Objetivos

1. Identificar las características propias del movimiento parabólico y las variables involucradas en su trayectoria.
2. Analizar el comportamiento de la posición, velocidad y aceleración de un proyectil a través de gráficas de estas variables en función del tiempo.
3. Identificar la influencia de la velocidad inicial, la altura y el ángulo de elevación sobre la distancia que recorre un proyectil.

Nota: tenga en cuenta que esta práctica consiste en dos experimentos, el primero será un lanzamiento típico de movimiento de proyectil con ángulo de elevación y el segundo un lanzamiento vertical sin ángulo de elevación. A continuación, encontrará los detalles de los dos experimentos, asegúrese de leer la guía completa.

### Marco teórico

La teoría del movimiento de proyectiles se encarga de describir la trayectoria que sigue un cuerpo al que previamente se le ha dado una velocidad inicial y un ángulo de elevación. Como muestra la figura 2.1, el proyectil en su recorrido sobre el plano  $x$ - $y$ , describe un movimiento parabólico que tiene lugar por la fuerza gravitacional ejercida sobre el mismo. La tierra ejerce una fuerza gravitacional sobre el objeto, que se manifiesta como una aceleración en el eje  $y$  del movimiento, la cual, no afecta la componente  $x$ . En este sentido, el movimiento parabólico es la combinación de un movimiento de velocidad constante en el eje  $x$  con un movimiento con aceleración constante en el eje  $y$ . De esta forma, cuando hablamos del recorrido de un proyectil, este se descompone en dos movimientos, uno en el eje de ordenadas ( $y$ ) y otro en el eje de las abscisas ( $x$ ).



**FIGURA 2.1. MOVIMIENTO DE UN PROYECTIL**

La figura 2.1 muestra el movimiento del proyectil del laboratorio a desarrollar, el montaje experimental que usted va a realizar se debe ver igual. En esta figura se pueden observar los vectores velocidad y aceleración asociados al movimiento de proyectiles, los cuales determinan las principales características de este movimiento. En la figura se evidencia como la componente en  $x$  del vector velocidad permanece constante, mientras que la componente del vector velocidad en el eje  $y$  cambia debido al peso del objeto. Cuando el objeto alcanza su altura máxima, la componente en  $y$  de la velocidad se hace cero, y cambia de dirección para el resto del recorrido. Recuerde que la velocidad es un vector, por lo que su dirección y sentido son relevantes para describirla de forma adecuada.

Para el movimiento horizontal en el eje  $x$ , la posición y rapidez (magnitud de la velocidad) viene descritas por las ecuaciones de la cinemática en una dimensión para velocidad constante:

$$x = x_0 + v_x t \quad (2.1)$$

Para el movimiento vertical en el eje  $y$ , usaremos las ecuaciones de la cinemática con aceleración constante:

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.2)$$

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (2.3)$$

En la ecuación 2.2, el signo menos del segundo término surge de la dirección de la aceleración, en este caso la gravedad, que apunta en la dirección negativa del eje  $y$ , de acuerdo con la figura 2.1.

Las componentes de la rapidez inicial están dadas por:

$$v_{ox} = v_o \cos \theta$$

$$v_{oy} = v_o \sin \theta$$

donde  $v_o$  es la rapidez inicial del lanzamiento y  $\theta$  el ángulo de salida del proyectil.

Se puede demostrar que el rango de alcance máximo ( $R$ ) en la dirección  $x$  y la altura máxima en la dirección  $y$  para un ángulo determinado viene dado por:

$$R = x_{max} = \frac{v_o^2 \sin(2\theta)}{g} \quad (2.4)$$

$$y_{max} = \frac{v_o^2 \sin^2(\theta)}{g} \quad (2.5)$$

donde se ha supuesto que  $x_0 = y_0 = 0$ , es decir, el origen del sistema coordenado coincide con la salida del proyectil.

Usted debe obtener las ecuaciones 2.4 y 2.5 en el marco teórico del informe de este laboratorio.

## Metodología

Elementos para solicitar al auxiliar:

Lanzador	ME-6825
Fotodetectores (2 unidades)	ME-9498
Soporte fotodetectores	ME-6821
Receptor de tiempo	ME-6810
Abrazadera de mesa	ME-9472
Base triangular	ME-8736
Varilla 90cm	ME-8738

Varilla 45cm	ME-8736
Espuma	SE-7347
Receptor de tiempo	ME-6810
Interfaz pasco 850	UI-5000
Papel carbón	
Metro o regla	
Cinta	

**TABLA 2.1 LISTA DE ELEMENTOS**

### **Experimento 1**

1. Tome el lanzador y con la abrazadera para mesa, ajústelo en el borde de la mesa. Ubíquelo de manera que el orificio por donde saldrá la esfera quede en el borde de la mesa. Revise la figura 2.2 para verificar su instalación. Deslice el lanzador hacia atrás para que repose sobre el borde de la mesa, que será la posición de lanzamiento de la bola.
2. Una vez realizado el paso previo, en el orificio de la base triangular, ubique la varilla de 45 cm e instale la pantalla de amortiguamiento como muestra la figura 2.3, para que bloquee la trayectoria de la esfera después del lanzamiento.
3. Ahora ponga una hoja a una distancia prudente del lanzador, y sobre ella coloque la hoja de carbón. Verificando que ningún estudiante está en la trayectoria del proyectil y realice un lanzamiento de prueba para ubicar la hoja en el punto del primer impacto. Tenga en cuenta que debe poner una cinta para que la hoja y el papel carbón queden sujetos a la mesa.



**FIGURA 2.2 POSICIÓN DEL LANZADOR  
PANTALLA DE AMORTIGUAMIENTO**



**FIGURA 2.3**

## Desarrollo experimental # 1

### Tips

1. Asegúrese de que no haya nada que interfiera con el recorrido de la esfera al realizar su lanzamiento, y que ningún estudiante se ubique en una posición donde pueda ser impactado por el proyectil.
2. Cuando vaya a realizar los lanzamientos, procure verificar la potencia que tiene graduada (el proyectil tiene tres posiciones) ya que afectará el resultado. Así mismo, tenga presente que no debe tirar lentamente del gatillo, sino debe ser corto y rápido para obtener datos más precisos.
3. Verifique que este bien puesta la espuma, esto para evitar posibles accidentes.

### Procedimiento

1. Una vez realizado el debido montaje, introduzca la esfera en el orificio del lanzador y asegúrese de que el ángulo formado sea el indicado en la tabla 2.2. El sistema trae una pequeña esfera sujeta a un hilo el cual puede ser usado como transportador para determinar el ángulo usado, ver figura 2.2.
2. Observe que la potencia del lanzador este en la primera posición (el mínimo), verifique que la pantalla de amortiguamiento está ubicada y tire del gatillo. Una vez la esfera haya aterrizado sobre la hoja, mida con una regla desde el orificio del lanzador hasta el punto marcado de la hoja. Registre en la tabla la distancia alcanzada por la esfera.
3. Repita dicho proceso 5 veces con un mismo ángulo, bajo condiciones idénticas. Acabado dicho proceso, realice lo mismo con los ángulos indicados y registre en la tabla 2.2 todos los rangos alcanzados.

Angulo	R1	R2	R3	R4	R5	$\bar{R}$	$\sigma$
20°							
30°							
40°							
50°							
60°							
70°							

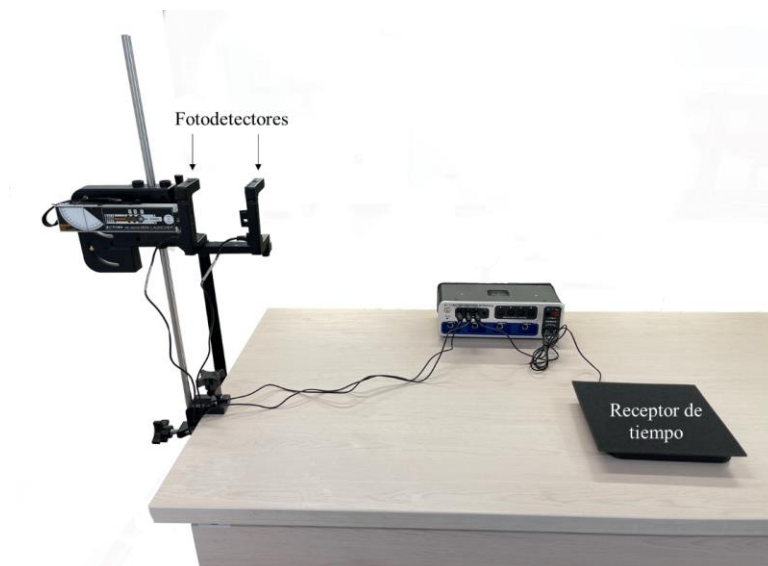
80°							
-----	--	--	--	--	--	--	--

**TABLA 2.2 EXPERIMENTO 1**

### Análisis

1. Registre los datos obtenidos en la tabla de la pestaña del experimento # 1 del programa *Movimiento parabólico* del software Capstone de Pasco, que podrá encontrar en el archivo *c:\Programas Física I* de su computadora asignada.
2. En la tabla registre el promedio del rango de cada lanzamiento y la desviación estándar para cada ángulo. Si lo requiere retome el capítulo de introducción.
3. Realice una gráfica de rango máximo horizontal ( $\bar{R}$ ) vs  $\sin 2\theta$  en el programa Capstone. Use como barras de error la desviación estándar obtenida en la tabla 2.2.
4. Realice un ajuste lineal a esta curva, y compárela con la ecuación 2.4.
5. De acuerdo con esta comparación y análisis, determine cual es la rapidez inicial del proyectil.
6. Con el resultado anterior, determine la altura máxima ( $y_{\max}$ ) alcanzada por el proyectil para cada ángulo.
7. A partir de la gráfica concluya que ángulo proporciona el mayor alcance y por qué.

### Experimento 2



**FIGURA 2.4 EXPERIMENTO # 2 PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE SALIDA**

### Metodología

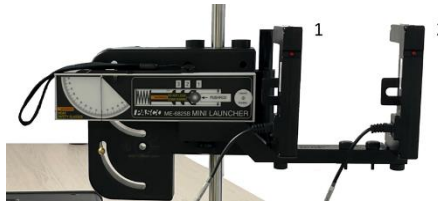
En esta segunda parte del laboratorio, la bola debe ser lanzada de forma horizontal ( $\theta = 0$ ) desde una altura  $h$  determinada, como se muestra en la figura 2.4.

1. Ubique el soporte del lanzador de forma horizontal, asegure el lanzador con los tornillos de mariposa. Asegúrese que el borde del lanzador sobresale ligeramente respecto al borde del soporte negro.
2. Use la barrilla de 90 cm para sostener el soporte del lanzador, y asegúrelo a la mesa usando la abrazadera metálica (figura 2.5). Asegúrese que el ángulo del lanzador y la mesa es de  $0^\circ$ .
3. Recuerde ubicar la base triangular y la espuma para detener la bola y evitar accidentes. Para ellos realice un lanzamiento de prueba, y verifique donde debe ubicar la base y la espuma (figura 2.3).
4. Ajuste la altura de lanzamiento para que la bola no caiga demasiado lejos ni demasiado cerca. Una vez defina esta altura de lanzamiento, médala usando un metro o regla con el receptor de tiempo como base inferior, como se muestra en la figura 2.5.



**FIGURA 2.5 MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LANZAMIENTO**

5. La bola después de ser lanzada debe caer exactamente sobre el receptor de tiempo (equipo ME-6810).
6. Sin cambiar su posición, conecte el receptor de tiempo en el input # 4 de la interfase digital.
7. Instale los fotodetectores de movimiento usando el soporte para fotosensores, que debe ir atornillado a la base inferior del lanzador. Cada fotosensor se debe ajustar de forma que el # 1 quede muy cerca del lanzador y el # 2 en el otro extremo de la base, use la figura 2.6 como guía.



**FIGURA 2.6 INSTALACIÓN DE LOS FOTODETECTORES DE MOVIMIENTO**

8. Conecte el sensor # 1 que está más cerca del lanzador al input # 1 de la interfase digital y el sensor # 2 al input # 2.

## **Desarrollo experimental #2**

Tips experimentales:

1. Asegúrese de que el lanzador este completamente horizontal formando un ángulo cero respectos a la mesa.
2. Haga una prueba de la distancia recorrida por la esfera con cada una de las potencias antes de poner el receptor de tiempo, esto para que tenga noción de donde ponerlo, la idea es que la esfera caiga en el centro del receptor de tiempo.
3. Para cada serie de datos recolectados esté atento a la potencia seleccionada.

Procedimiento

1. Abra la pestaña correspondiente al experimento # 2 en el programa “MovimientoParabólico.cap” del software Capstone de Pasco.
2. Para la primera toma de datos, introduzca la esfera en el orificio del lanzador, ajústelo a la potencia mínima, de clic en “Run” en el programa **Movimiento parabólico** del software Capstone de Pasco e inmediatamente tire de la cuerda del lanzador, recuerde, la esfera debe caer sobre el receptor de tiempo (equipo ME-6810). Repita el procedimiento 3 veces.
3. Realice dicho procedimiento con cada una de las potencias (en total son tres potencias, baja, media y alta), y registre en la tabla 2.3 el tiempo que obtuvo Capstone y su velocidad.

**Análisis**



Una vez obtenidos los datos de tiempo y velocidad, analice los datos obtenidos:

1. Analice el valor que obtuvo para la velocidad de salida del lanzamiento de menor potencia (primera posición del lanzador), *¿se parece al obtenido en el experimento 1?* Calcule el porcentaje de diferencia entre el valor de velocidad medido en el experimento # 1 y el experimento # 2 usando la ecuación del error relativo del capítulo de introducción.
2. De todos los tiempos registrados de los diferentes lanzamientos, calcule el promedio y la desviación estándar de dicha variable, registrándolos en la tabla 2.3.
3. ¿Todos los tiempos dieron muy cercanos? ¿Por qué? Revise la ecuación 2.2.
4. Con las ecuaciones del movimiento parabólico y el promedio de los tiempos registrados, obtenga la altura de lanzamiento respecto a la mesa.
5. Compare el resultado **experimental**, correspondiente a la altura obtenida con el promedio del tiempo y la ecuación, con el valor “teórico” que obtuvo midiendo la distancia de la mesa al lanzador descrita en la metodología.
6. Obtenga el error en la medida de la altura.

Potencia	Tiempo	Velocidad	$\bar{t}$	$\bar{v}$
Mínima				
Mediana				
Máxima				

**TABLA 2.3 EXPERIMENTO 2**

*¿Qué pasaría si...?*

1. Si se lanzara dicha esfera a un ángulo  $90^\circ$  y a su vez se lanza una con un ángulo de  $45^\circ$ , ¿cuál cae primero? Y si ahora sus masas son diferentes. Discútalos con su grupo de trabajo.

2. Existe algún ángulo para el cual la altura máxima sea igual al alcance máximo.

A partir de los resultados obtenidos y los análisis correspondientes, escriba el informe de laboratorio de acuerdo con las pautas indicadas por su profesor.

### Laboratorio # 3: LEYES DE NEWTON

#### **Objetivos**

1. Identificar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo a través de diagramas de cuerpo libre.

2. Emplear la segunda ley de Newton para explicar la dependencia de la aceleración con la fuerza neta y la masa de un objeto.

### Marco teórico

La fuerza es un concepto fundamental en física que se utiliza para describir la interacción entre cuerpos y la causa del cambio en su movimiento. Se define como una cantidad vectorial, lo que significa que tiene magnitud, dirección y sentido. La fuerza puede tener diferentes orígenes, ya sea una fuerza de fricción, ejercida por el contacto entre cuerpos (un cuerpo sobre una superficie), la fuerza normal, asociada a una superficie que sostiene un objeto, esta fuerza es perpendicular a la superficie, fuerza de tensión cuando se trata de la fuerza de tirón ejercida por una cuerda sobre un objeto, o la fuerza de atracción gravitacional que la tierra ejerce sobre los cuerpos, o entre cuerpos, descrita por la ley de gravitación universal, entre otras.

Newton define en su primera ley de la dinámica, que la cantidad de cambio del movimiento de un objeto depende de la fuerza neta que actúe sobre este. La cantidad de movimiento ( $p$ ) de un objeto, es el producto entre la masa y la velocidad en un instante dado, cuando hay un cambio de movimiento (debido a una fuerza), este  $\Delta p$  ahora será el producto de la masa ( $m$ ) (que es una constante) por el cambio en la velocidad respecto al tiempo ( $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ), que es la aceleración. Según la segunda ley de Newton, la fuerza se expresa como el cambio de cantidad de movimiento de un objeto, que para cambios infinitesimales viene dado por:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d(\vec{v})}{dt} + \vec{v} \frac{d(m)}{dt} \quad (3.1)$$

Con lo que la segunda ley de Newton se expresa como (cuando la masa es constante):

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (3.2)$$

Esta ecuación será clave para el desarrollo de la práctica y la adecuada descripción del movimiento del objeto. Es útil siempre que se analicen las fuerzas que actúan sobre un objeto, realizar un diagrama de cuerpo libre como el que se muestra en la figura 3.1, el cual le permitirá realizar un análisis por componentes de las fuerzas que actúan en el sistema, y como estas afectan el movimiento del cuerpo en estudio. Tenga presente que

una fuerza en una dirección determinada solo afecta el movimiento del cuerpo en esa dirección.

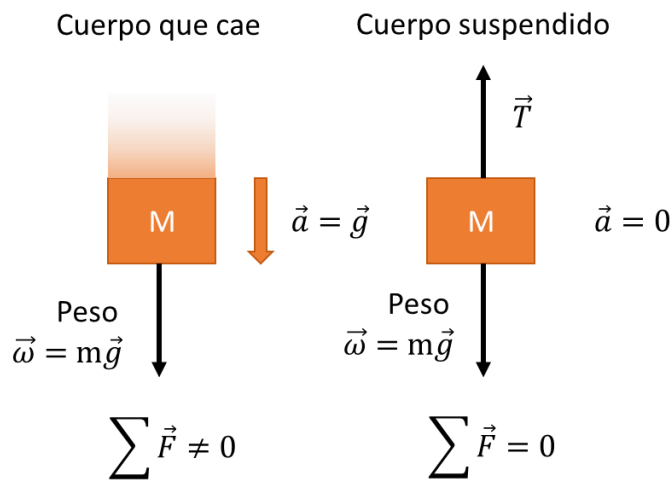


FIGURA 3.1 CONDICIONES DE EQUILIBRIO

La figura 3.1 muestra dos posibilidades, en la primera la fuerza neta (suma vectorial de todas las fuerzas presentes) es diferente de cero, lo que resulta en una aceleración del objeto en la misma dirección de la fuerza. Dada que la única fuerza que actúa sobre este cuerpo en caída libre es la fuerza gravitacional, la fuerza neta corresponde al peso del objeto y su aceleración al valor de la aceleración gravitacional. En el segundo caso, el cuerpo está suspendido por una cuerda, lo que genera una fuera de tensión que se opone al peso del objeto. Dado que el objeto no presenta aceleración, la sumatoria de las fuerzas es igual a cero, por consiguiente y de acuerdo con la segunda ley de Newton, la tensión es igual al peso del objeto. Este simple ejemplo puede ser extendido a sistemas más complejos, donde actúen diferentes tipos de fuerzas, donde siempre puede ser aplicada la segunda ley de Newton para describir la dinámica del objeto.

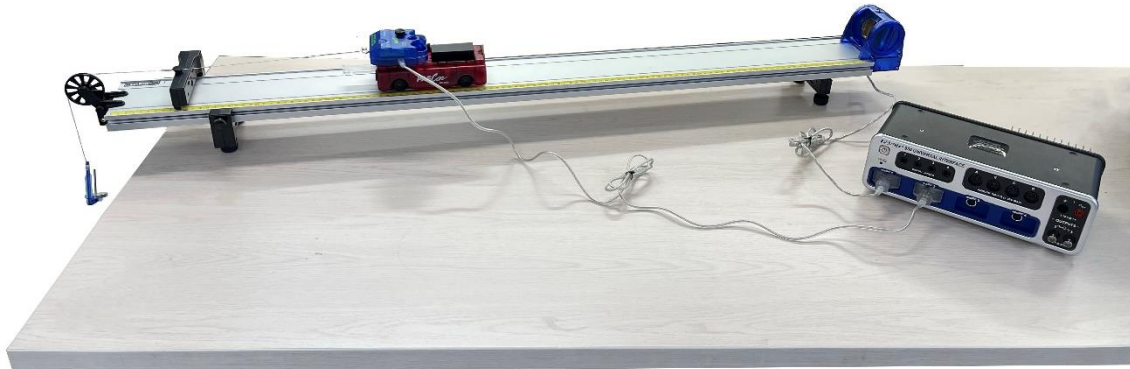
Metodología

Elementos para solicitar al auxiliar:

Riel	ME-6955
Sensor de movimiento	PS-2103A
Sensor de fuerza	PS-2189
Polea	ME-9448B
Cuerda	SE-8050
Masa	ME-8979
Bloque de masa	ME-6755

Balanza	SE-8723
Interfaz PASCO 850	UI-5000

Tabla 3.1 Lista de elementos



**FIGURA 3.2 MONTAJE EXPERIMENTAL**

1. Realice la instalación del carril como se muestra en la figura 3.2, ubicando correctamente sus soportes o patas a cada extremo del riel.
2. Ahora, conecte el sensor de movimiento a la interfaz y en un extremo del riel fíjelo, asegurándose de que quede bien puesto. Ajuste con los botones laterales del sensor la dirección de este, para que esté paralelo al riel, tenga presente que el interruptor en la parte superior del sensor debe estar en modo “carro”. Este sensor se encarga de medir la posición de carro a través de un fotosensor, el cual no debe ser obstaculizado por ningún objeto diferente al carro.
3. Ahora, en la parte superior del carro ubique el sensor de fuerza y fíjelo utilizando el tornillo en forma de mariposa. Antes de realizar dicho procedimiento, la barra plástica tipo pistón del carro debe estar afuera. Una vez realizado esto, ubique el carro en la pista. Para incrementar el peso del carro, ponga sobre este una de las barras negras.
4. En la instalación de la polea, comencará por ajustar la abrazadera en el extremo del riel que no se ha utilizado. Dicho extremo irá en el borde de la mesa.
5. Ahora, utilice el juego de masas y haga uso de un suspendedor de masa para sujetar la masa suspendida a la cuerda. Guiarse con la imagen.
6. Ate un lazo de 1 metro de longitud al suspendedor de la masa y el otro extremo del lazo al gancho del sensor de fuerza. Una vez hecho esto, ubique la cuerda

sobre la polea y asegúrese que la distancia entre la masa suspendida y el suelo sea considerable.

Cuando la estructura este completa, realice el siguiente procedimiento para el monitoreo de datos con Capstone:

1. Una vez ya esté conectado a la interfaz el sensor de movimiento y el sensor de fuerza, verifique la configuración del programa PASCO Capstone “LeyesdeNewton.cap” donde la frecuencia de muestreo para el Sensor de Fuerza debe ser 100 Hz y para el Sensor de movimiento 50 Hz.
7. Se deben tener dos gráficos, uno donde se graficará la velocidad vs tiempo y otro la Fuerza vs tiempo.

### **Desarrollo experimental**

#### **Tips**

1. La posición inicial del carro deberá estar a más de 25 cm respecto al sensor de movimiento.
2. Como se mencionó en la Metodología, debe asegurarse que la longitud de la cuerda sea la adecuada para que en toda la trayectoria del carrito haya tensión.
3. En la toma de datos, antes de soltar el carro, de click en Start en el programa de Capstone y tras esto, suéltelo de forma inmediata. De igual forma, tan pronto se detenga presione Stop.

#### **Procedimiento**

1. Para la primera toma de datos, use la masa de 20 g sujeta al porta-masas suspendido de la cuerda, esta será la encargada de generar la tensión en la cuerda. Con el carro en reposo, libérela y registre los datos, la posición, la velocidad y la fuerza, las cuales aparecerán en gráficas independientes en el software de Capstone.
2. Repita el procedimiento para las siguientes masas: 30 g, 40 g, 50g y 60 g. Asegúrese de que obtiene una curva de posición vs tiempo, Fuerza vs Tiempo y Velocidad vs Tiempo para cada una de las masas.

### **Análisis**

1. Diríjase a la gráfica Fuerza vs Tiempo en Capstone, obtenga el valor medio de la fuerza para cada una de las masas, use las herramientas que proporciona Capstone, para obtener el valor medio de la curva y su desviación estándar.
2. Ahora registre el valor medio obtenido para cada masa en la tabla 3.2.
3. Haciendo uso de la gráfica de Velocidad vs Tiempo hecha en Capstone, haga una regresión lineal y obtenga la pendiente. ¿Cuál es el significado físico de la pendiente? A partir de su análisis registre en la tabla 3.2 sus resultados.
4. Realice una gráfica de posición vs tiempo (escoja solo un set de datos) y realice el ajuste más adecuado.
5. De los datos de la tabla 3.2, realice una gráfica de fuerza media contra aceleración y ubique las barras de error en la gráfica. De acuerdo con la segunda ley de Newton:
  - ¿Qué significado tiene la pendiente de esta curva?
  - ¿Con que valor lo compararía?
  - Obtenga el error absoluto (ayuda: para este punto puede ser útil realizar el diagrama de cuerpo libre sobre el carro).

Masa Suspendida	Fuerza	Aceleración

**TABLA 3.2. FUERZA VS ACELERACIÓN**

*¿Qué pasaría si...?*

Si este mismo experimento se hace en la luna, ¿Qué le pasaría a la fuerza, a la aceleración y al valor de la pendiente que hallo en el análisis?

A partir de los resultados obtenidos y los análisis correspondientes, escriba el informe de laboratorio de acuerdo con las pautas indicadas por su profesor.

## Laboratorio # 4: FUERZA CENTRÍPETA

### Objetivos

1. Estudiar la relación existente entre la fuerza centrípeta, la aceleración centrípeta y velocidad angular para un cuerpo que describe un movimiento circular.
2. Comprender la dinámica y cinemática del movimiento circular a partir de la relación de las variables que describen dicho movimiento.

Nota: tenga en cuenta que esta práctica consiste en dos experimentos, el primero serán repeticiones con un radio constante y el segundo se realizará con radio variable.

### Marco teórico

Para un cuerpo que se mueve describiendo un movimiento circular con rapidez constante (recuerde la diferencia entre rapidez y velocidad), existe una aceleración centrípeta o radial que es tangencial a la velocidad instantánea del cuerpo y dirigida hacia el centro del movimiento, observe la figura 4.1. La aceleración centrípeta depende de la velocidad ( $v$ ) y el radio de la circunferencia ( $R$ ) de acuerdo a la siguiente relación:

$$a_c = \frac{v^2}{R} \quad (4.1)$$

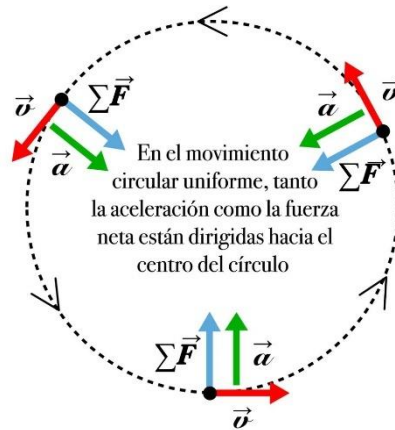
Recuerde demostrar la ecuación 4.1 en el marco teórico de su informe. A partir de la relación de velocidad tangencial y velocidad angular ( $\omega$ ) se puede obtener que:

$$a_c = R \omega^2 \quad (4.2)$$

En el movimiento circular, el cuerpo está sometido a una fuerza que está dirigida al centro del círculo. Aplicando la segunda ley de Newton para un movimiento circular uniforme, se obtiene la fuerza centrípeta en un movimiento circular uniforme:

$$F_c = mR\omega^2 \quad (4.3)$$





**FIGURA 4.1 MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME**

Nota: cuando realice su marco teórico en su informe de laboratorio, aborde y explique los conceptos de velocidad angular, periodo y frecuencia, y establezca sus relaciones.

### Metodología

Elementos para solicitar al auxiliar:

Sensor de movimiento rotatorio	PS-2120
Sensor de fuerza	PS-2189
Péndulo de fuerza centrípeta	ME-9821
Abrazadera de mesa	ME-9472
Varilla 90cm	ME-8738
Abrazadera múltiple	ME-9507
Interfaz pasco 850	UI-5000

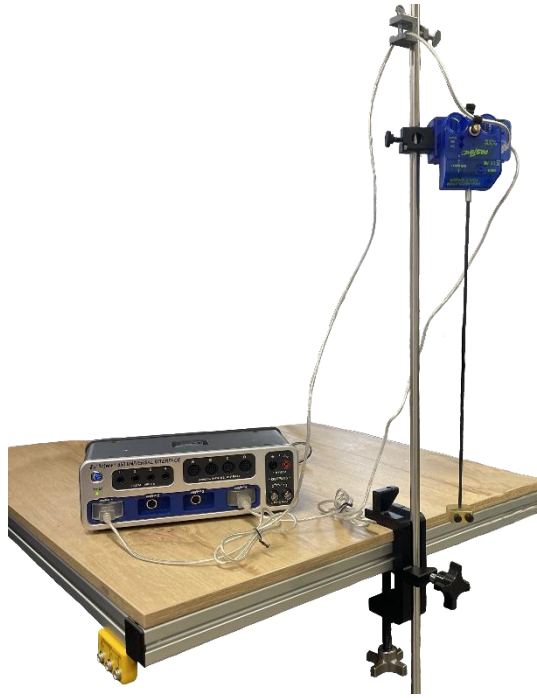
**TABLA 4.1 LISTA DE ELEMENTOS**

1. Realice la debida instalación de la abrazadera de mesa y la varilla, posteriormente ubique el sensor de movimiento haciendo la debida conexión de este a la interfaz.
2. Deslice el sensor de fuerza sobre el eje que resalta del sensor de rotación para que ambos sensores queden conectados. Asegúrese de apretar el tronillo de mariposa que los une, revise la figura 4.2.



**FIGURA 4.2 INSTALACIÓN SENSOR DE ROTACIÓN Y DE FUERZA**

3. Haciendo uso del tornillo mariposa y el clip, fije el cable del sensor de fuerza como se muestra en la figura, esto evitara que el cable interfiera con la trayectoria del péndulo.
4. Haga uso de la abrazadera múltiple para sujetar el cable del sensor de fuerza justo por encima del mismo, conecte el cable del sensor de fuerza a la interfaz.
5. Haga uso de los tornillos mariposa de la masa para fijarla a la varilla del péndulo, verifique que esta masa quede a ras con el extremo de la varilla del péndulo.
6. Por último, ajuste el péndulo a la parte inferior del sensor de fuerza. Guíese por la figura 4.3.



**FIGURA 4.3 MONTAJE FUERZA CENTRÍPETA**

Cuando la estructura de la figura 3 esté completa, realice el siguiente procedimiento para el monitoreo de datos con Capstone:

7. Una vez el sensor de movimiento rotatorio y el sensor de fuerza estén conectados, abra el programa “FuerzaCentripeta.cap” y verifique que aparecen dos gráficas, una para fuerza angular vs tiempo y otra para velocidad angular vs tiempo.
8. Para verificar que el signo de la fuerza centrípeta es positivo, realice una toma de datos soltando el péndulo para un ángulo alrededor de  $15^\circ$ . Tan pronto suelte el péndulo oprima grabar e inmediatamente “stop”.
9. Observe las gráficas y cerciórese que la fuerza siempre está en el cuadrante positivo, si ocurre lo contrario vaya al icono de propiedades (símbolo de engranaje, en la interfaz del sensor de fuerza) y cambie el signo. Repita el paso dos y compruebe que la fuerza es siempre positiva.

## **Experimento 1**

### **Desarrollo experimental**

#### **Tips**

- ## Procedimiento

- [illegible]

--	--	--

**TABLA 4.2 FUERZA VS VELOCIDAD ANGULAR**

### **Análisis**

1. Con la curva de fuerza máxima y velocidad angular al cuadrado, realice una regresión lineal, y a partir de la ecuación de la recta encuentre una relación con la ecuación 4.3.
2. Interprete la pendiente ¿Qué significa? ¿Con que datos del experimento la relacionaría? Halle el valor teórico y el experimental con su respectivo error relativo.

## **Experimento 2**

### **Desarrollo experimental**

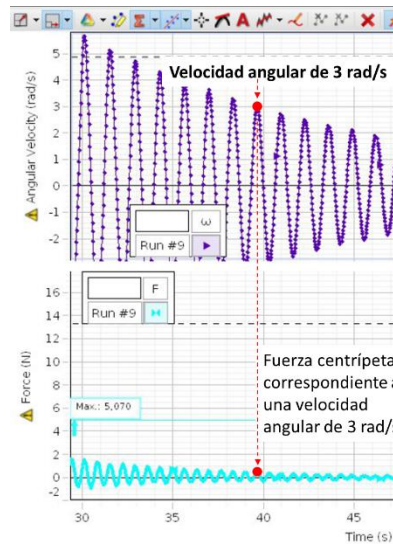
#### **Tips**

1. Para este experimento, el ángulo con respecto a la vertical debe ser ligeramente mayor a  $15^\circ$ , para asegurar una velocidad angular inicial mayor a 3 rad/seg.
2. Si la velocidad angular de 3 rad/seg no es fácil de identificar en la graficar, repetir la toma de datos.

#### **Procedimiento**

Recuerde que para este experimento el radio será variable y velocidad angular constante.

1. Para el primer radio, indicado en la tabla 2, deje oscilar el péndulo asegurándose que la velocidad angular inicial registrada sea mayor a 3 rad/seg, cuando el máximo de velocidad angular sea menor a 3 rad/seg, detenga el registro.
2. Para el valor de 3 rad/seg de velocidad angular, registre el valor de fuerza centrípeta, guíese por los puntos rojos sobre la gráfica de la figura 4.4.



**FIGURA 4.4 REGISTRO DE LA VELOCIDAD ANGULAR Y LA FUERZA CORRESPONDIENTE**

3. Repita el procedimiento 5 veces para un mismo radio, obteniendo 5 valores de fuerza. Registre en la tabla 4.3, con su respectiva media y desviación estándar.

Radio	20cm	25cm	30cm	35cm
Lanzamiento	Fuerza (N)			
1				
2				
3				
4				
5				
$\bar{F}$				
$\sigma$				

**TABLA 4.3 FUERZA PARA VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE (3 RAD/SEG)**

Análisis de resultados:

1. Realice una gráfica que relacione la fuerza promedio y el radio.
2. Realice una regresión lineal de los datos, y por medio de la ecuación de la recta, relacione la ecuación 4.3.

3. Interprete la pendiente ¿Qué significa? ¿Con que datos del experimento la relacionaría? Halle el valor teórico y el experimental con su respectivo error relativo.
4. Compare el experimento 1 y el 2, ¿cual tiene menos error en el cálculo experimental de la masa? ¿porqué?

*¿Qué pasaría ...?*

1. Si se tiene en cuenta la fricción con el aire cuando la masa oscila ¿las ecuaciones se afectan?

## Laboratorio # 5: LEY DE HOOKE

### Objetivo

1. Aplicar el principio de conservación de la energía a través del concepto de energía potencial elástica y la ley de Hooke con el uso de un sistema masa resorte.

Tenga en cuenta que esta práctica consiste en dos experimentos, el primero calculará la constante del resorte a utilizar y el segundo hará uso de la conservación de la energía, por ello tenga en cuenta las instrucciones y el análisis para cada montaje.

### Marco teórico

La ley de elasticidad de Hooke establece que la elongación que experimenta un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre el mismo para estirarlo (o contraerlo). Esta relación se describe con la ecuación 5.1, donde la fuerza es proporcional a la elongación  $\Delta x$ , y la constante  $k$  que es particular a cada resorte, y tiene unidades de N/m. Es importante tener presente el signo negativo que acompaña la ecuación, que indica que la fuerza de restauración del resorte está en dirección opuesta a la fuerza que causó la deformación de este (compresión o elongación).

$$F = -k\Delta x \quad (5.1)$$

Una vez se comprende la fuerza asociada a un sistema resorte, se puede discutir la energía involucrada en dicho sistema. La energía potencial elástica es la energía que se almacena al ejercer una fuerza que deforma un cuerpo elástico. Esta energía se almacena en el cuerpo hasta que se deje de aplicar la fuerza deformante sobre el sistema elástico, una vez el cuerpo se relaja, este retorna a su forma natural, siempre y cuando la deformación no supere los límites de deformación del material elástico. La energía potencial elástica almacenada por un elemento elástico al ser deformado viene dada por:

$$U = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2 \quad (5.2)$$

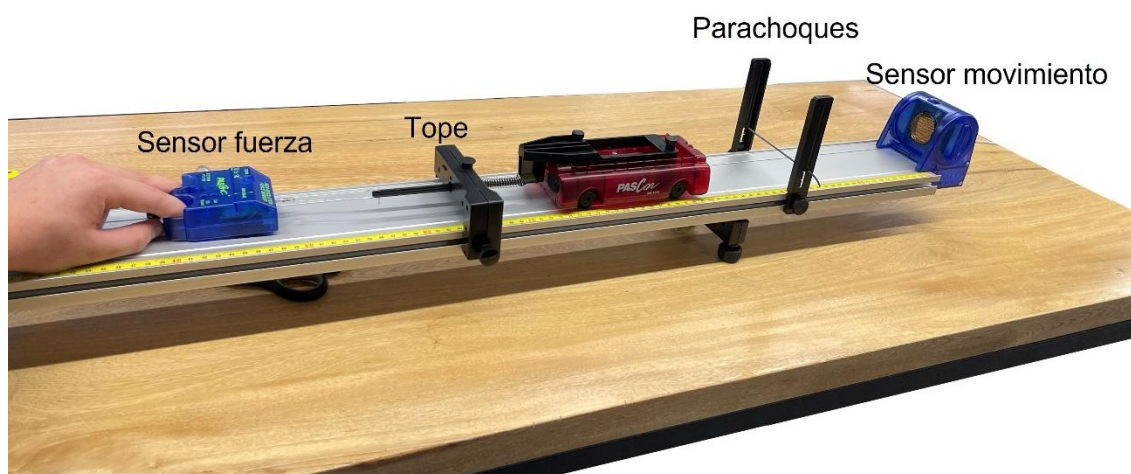
Tenga en cuenta que esta práctica se divide en dos experimentos, por lo tanto, lea atentamente las instrucciones para cada uno de ellos y asegúrese de utilizar los elementos de laboratorio correctos.

## Experimento 1

Elementos para solicitar al auxiliar

Sensor de movimiento	PS-2103A
Sensor de fuerza	PS-2189
Sistema dinámico	ME-6955
Parachoques elástico	ME-8998
Lanzador de carros con resorte	ME-6843
Masas (2 unidades)	ME-6755
Interfaz pasco 850	UI-5000
Cuerda	

**TABLA 5.1 LISTA DE ELEMENTOS**



**FIGURA 5.1 MONTAJE EXPERIMENTO 1**

En esta parte, realizará el montaje mostrado en la figura 5.1 para calcular el valor de la constante del resorte.

## Metodología

1. Instale el sistema carro resorte como se muestra en la figura 5.2:





**FIGURA 5.2 SISTEMA CARRO-RESORTE**

2. En el sistema dinámico (pista donde se moverá el carro), coloque los soportes o patas en los extremos del riel para que este se estabilice. Asegúrese de que la superficie es perfectamente horizontal, de forma que, al poner el carro, este no se desplace por sí solo. Si no es así, ajuste los tornillos de graduación de las patas hasta conseguir una superficie horizontal. A continuación, realice el montaje mostrado en la figura 5.1.
3. En el extremo del sistema dinámico recuerde instalar el sensor de movimiento y el protector elástico (parachoques) que previene choques contra el sensor.
4. Conecte el sensor de movimiento y el sensor de fuerza a la interfaz de pasco.
5. Una vez ya esté conectado a la interfaz el sensor de movimiento y el sensor de fuerza, abra el programa “LeydeHooke.cap” y verifique que la frecuencia de muestreo común para el Sensor de Fuerza y para el Sensor de Movimiento es de 100 Hz. Debe aparecerá un gráfico que relacione Fuerza frente Posición.
6. Oprima “Record” en el programa Pasco y jale lentamente el sensor de fuerza de forma que el resorte se comprima aproximadamente 7cm.
7. Verifique que el valor de fuerza que obtiene en el programa es positivo, de lo contrario abra el “Data Summary” y abra el icono de engranaje, allí podrá cambiar el signo en la casilla correspondiente.
8. Una vez sus datos son adecuados borre todos los intentos previos.

## **Desarrollo experimental**

### **Tips**

1. Cuando comprima el resorte asegúrese que las espiras del resorte nunca lleguen a tocarse entre ellas para evita su deformación.
2. Verifique que el carro este a un poco más de 20cm del sensor de movimiento, por lo tanto, el tope debe estar a unos 45cm (o más) del sensor de movimiento.

3. Ubique el parachoques a unos 10cm del sensor de movimiento para prevenir impacto sobre este. Tenga en cuenta que el elástico debe estar tensionado. Este tip también será útil para el experimento 2.
4. Recuerde hacer un movimiento lento cuando comprima el resorte, esto asegurara la correcta toma de datos.

### Procedimiento

1. Para esta primera parte deberá halar contra si el sensor de fuerza haciendo dicho movimiento sobre la pista.
2. Antes de halar contra si el sensor de fuerza oprima el botón Grabar y una vez hecho esto aumente la tracción sobre el sensor de fuerza hasta que el resorte se haya comprimido completamente (sin que las espiras se toquen entre ellas). De- tenga el registro cuando esto suceda.
3. Para cada medida, debe aparecer una gráfica de fuerza vs posición en el software, encuentre el valor de la pendiente ( $m$ ) de cada gráfica.
4. Realice 5 repeticiones y registre en la tabla 5.2

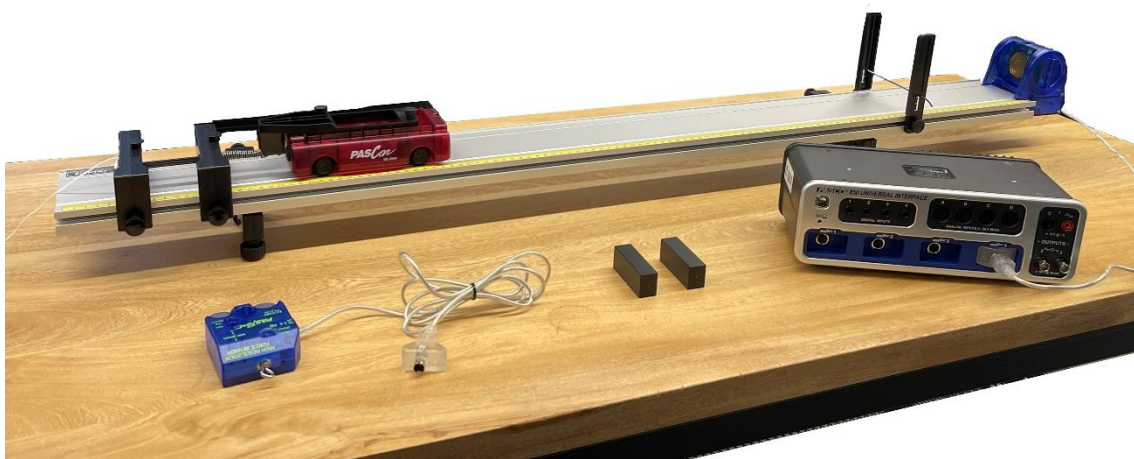
Medida	Pendiente F vs d
1	
2	
3	
4	
5	
$\bar{m}$	
$\sigma$	

**TABLA 5.2 LISTA DE ELEMENTOS**

### Análisis de resultados

1. Halle promedio de la pendiente y su desviación estándar.
2. Analice el resultado obtenido respecto a ley Hooke (ecuación 5.1) ¿Qué significa?
3. ¿La curva de Fuerza vs Posición es lineal todo el tiempo? ¿Debería serlo? Explique por qué.

### Experimento 2

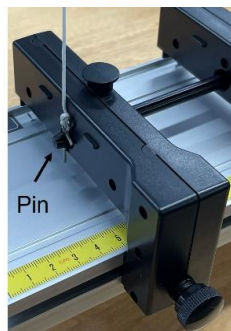


**FIGURA 5.3 MONTAJE EXPERIMENTO # 2**

En este experimento vamos a comprobar la conservación de la energía

### Metodología

1. Para este experimento tendrá que instalar dos topes en el extremo opuesto del sensor de movimiento, el primero debe estar a ras con la pista y el segundo a 7cm del primero, sea preciso en esta medida. Tenga en cuenta que para este experimento no se utiliza el sensor de fuerza. Ver figura 5.3.
2. En los elementos de laboratorio se encuentra un pin, amarre una cuerda a este y realice la siguiente instalación:



**FIGURA 5.4 INSTALACIÓN DEL PIN**

3. Comprima el carro introduciendo la varilla en los dos agujeros de los topes de forma que se asegure que el extremo de la varilla sobre sale del primer tope. En el mismo agujero donde antes amarro la cuerda, ahora introduzca el Pin para que sostenga el carro.
4. Ponga sobre el carro una masa del juego de masas. Verifique que la instalación del sensor de movimiento y el parachoques sea la correcta, **no queremos que el carro impacte el sensor de movimiento y lo rompa**, para eso ponemos el parachoques, guíese con la figura 5.3.

5. Una vez ya esté conectado a la interfaz el sensor de movimiento abra el programa “leydehooke.cap” y diríjase a la pestaña “Experimento 2” donde encontrará el grafico respectivo de Posición vs Tiempo.

## Desarrollo experimental

### Tips

1. Si con la distancia de 7cm entre los topes, el resorte queda muy comprimido use una distancia menor, tenga en cuenta el nuevo valor de compresión para el análisis de resultados.
2. Cuando vaya a registrar los datos, liberando el carro, asegúrese de retirar el Pin de forma rápida.
3. Cuando el carro sea liberado, asegúrese que su movimiento es homogéneo, es decir, sin obstáculos, de lo contrario repita la medida.

### Procedimiento

1. Con la instalación de este experimento realizada, y con el Pin asegurando el carro, de click “Record” e inmediatamente suelte el Pin para liberar el carro. Los datos de Posición vs Tiempo deberían aparecer en la gráfica, obtenga la pendiente de todas las curvas.
2. Realice 5 lanzamientos y teniendo presente la información resultante de la gráfica, registre los datos requeridos en la tabla 5.3.

Medida	Pendiente F vs d
1	
2	
3	
4	
5	
$\bar{m}$	
$\sigma$	

**TABLA 5.3 LISTA DE ELEMENTOS**

### **Análisis de resultados**

1. Con sus conocimientos en cinemática, deduzca el significado de la pendiente que acaba de obtener.
2. Tenga presente que la compresión del resorte ( $\Delta x$ ), es equivalente a la distancia entre los topes.
3. Con los datos anteriores, el resultado del experimento # 1 y la teoría de la conservación de la energía, obtenga la masa del carro.
4. Use la balanza digital para medir la masa del conjunto carro + masa + lanzador de carros, y calcule su error relativo tomando este valor como el teórico.

*¿Qué pasaría ...?*

2. Si la plataforma en la que se mueve el carro es un plano inclinado.
3. Si la constante del resorte fuera demasiado grande o pequeña. Que sucedería con el error obtenido.
4. Si las ruedas del carro presentan mucha fricción, en este caso, ¿hay algún sistema que pueda asegurar la conservación de la energía?

## Laboratorio # 6: ENERGÍA MECÁNICA

### Objetivo

Aplicar el concepto de conservación de la energía mecánica a través de la transformación entre energía potencial y cinética en un sistema de péndulo simple.

### Marco teórico

La energía mecánica es la suma de la energía potencial y cinética de un sistema. En un sistema aislado donde actúan fuerzas conservativas la energía mecánica se conserva. En un sistema como el descrito anteriormente, la energía mecánica total se mantiene igual, sin embargo, la energía cinética y potencial si pueden variar, donde el incremento de una implica la reducción de la otra, garantizando así la conservación de la energía mecánica. Cuando un objeto está en movimiento, posee energía cinética que depende de su masa y velocidad, mientras que su posición en un campo de fuerza, como la gravedad, determina su energía potencial gravitatoria. A medida que el objeto se desplaza, su energía cinética puede convertirse en energía potencial y viceversa, manteniendo constante la suma total.

El péndulo simple es un sistema donde la conservación de la energía mecánica determina todo su movimiento. Un péndulo simple, como muestra la figura 6.1, consta de una masa suspendida de un punto fijo mediante una cuerda o una varilla. A medida que el péndulo oscila de un lado a otro, su energía se transforma entre dos formas: energía cinética y energía potencial gravitatoria. Cuando el péndulo alcanza su punto más alto, toda su energía se encuentra en forma de energía potencial, ya que su velocidad es nula en este punto. A medida que desciende, la energía potencial se convierte en energía cinética, y en su punto más bajo, toda su energía es cinética y su energía potencial es mínima. Dado que, en el punto más bajo del movimiento, la velocidad es máxima, esto le permite alcanzar su punto más alto nuevamente. Esta transferencia continua entre energía cinética y potencial asegura que la energía total del sistema se conserve a lo largo del movimiento del

péndulo y que por esta misma razón la suma de la energía cinética y potencial sean iguales a lo largo del movimiento oscilatorio.

La energía potencial y cinética se definen como:

$$U_g = mgh \quad (6.1)$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (6.2)$$

Donde  $h$  es la altura de la masa  $m$  respecto a un punto de referencia de potencial gravitacional cero.

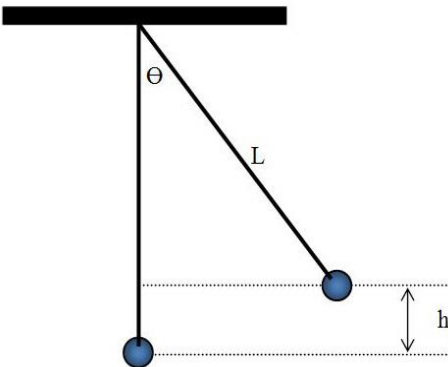


FIGURA 6.1 ESQUEMA PÉNDULO SIMPLE

El primer físico en estudiar las propiedades del péndulo fue Galileo Galilei, el cual observando los grandes candelabros que suspendían del techo de la catedral de Pisa, y usando su propio pulso como reloj, encontró que el periodo de oscilación de los candelabros no dependía de la masa de estos. Esta observación se conoce como la ley del péndulo, y es el principio básico de funcionamiento de un reloj de péndulo. En su marco teórico demuestre la ley del péndulo y encuentre una relación entre el periodo y la longitud de la cuerda al que está suspendido.

### Metodología

Elementos para solicitar al auxiliar

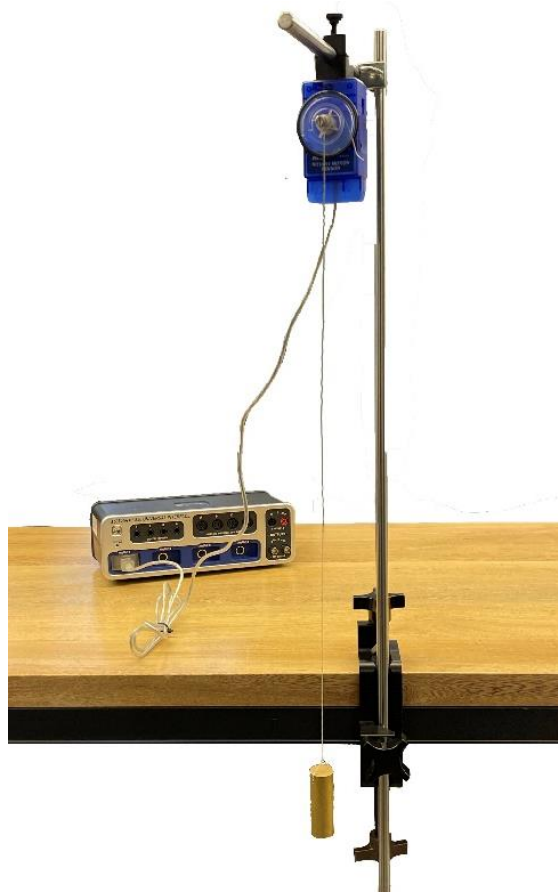
Sensor de movimiento rotatorio	PS-2120
Juego de densidades	ME-8569
Péndulo de fuerza centrípeta	ME-9821

Abrazadera de mesa	ME-9472
Varilla 90cm	ME-8738
Varilla 45cm	ME-8736
Abrazadera múltiple	ME-9507
Cuerda	SE-8050
Interfaz pasco 850	UI-5000

**TABLA 6.1 LISTA DE ELEMENTOS**

1. Fije la abrazadera de mesa a la superficie e instale debidamente la varilla de 90cm a esta. Haga uso de la abrazadera múltiple ajustándola en el otro extremo de la varilla de 90cm y ubique la varilla de 45cm de manera que forme un ángulo de  $90^\circ$ .
2. En la varilla de 45cm podrá ajustar el sensor de movimiento el cual deberá conectar a la interfaz en el canal P1.
3. Utilice la balanza para determinar la masa del cilindro de latón que ha seleccionado del juego de masas. Corte un trozo de cuerda de aproximadamente 1,5m de longitud y ate la masa a un extremo de la esta, asegúrese que la cuerda sea larga sin que la masa toque el suelo.
4. Use el otro extremo de la cuerda pasando esta por los dos orificios de la polea del sensor de movimiento rotatorio, observe la figura 6.2, su montaje se debe ver igual.
5. Sea preciso al determinar la longitud “L” del péndulo tomando la medida desde el centro de rotación hasta el centro de la masa cilíndrica.





**FIGURA 6.2 MONTAJE EXPERIMENTAL PÉNDULO SIMPLE**

6. Abra el programa “EnergiaMecanica.cap” y verifique que aparecen dos gráficas, una que relaciona Velocidad vs Tiempo y la segunda Angulo vs Tiempo.
7. En la pestaña “Energía mecánica” de Capstone, verifique que aparece una gráfica que combina la energía cinética, potencial y mecánica.

### **Desarrollo experimental**

#### **Tips**

1. Asegúrese de tener una cuerda ni demasiado larga ni demasiado corta, se sugiere una longitud menor a un metro y medio.
2. No use una masa demasiado pesada ni demasiado liviana, se sugiere que haga ensayos con diferentes masas y elija la mejor.
3. Verifique que cuando la masa este oscilando no haya ningún tipo de obstáculo.

## Procedimiento

1. Asegurándose de que la cuerda este tensionada todo el tiempo y que forme un ángulo de  $30^\circ$  respecto a la vertical. De click en “Record” e inmediatamente suelte la masa.
2. Permita que la masa realice al menos 4 oscilaciones y pare la media cuando se hayan cumplido y verifique que los datos de Velocidad y Ángulo fueron registrados de manera correcta, en caso contrario repita la medida.
3. De la gráfica de Velocidad vs Tiempo registre el valor de al menos tres máximos para la velocidad en la tabla 6.2.
4. De la gráfica de Angulo vs Tiempo registre el valor de al menos tres máximos para el ángulo y regístrelo en la tabla 6.2.

Máximos	Velocidad máx.	Angulo máx.
1		
2		
3		
$\bar{x}$		
$\sigma$		

**TABLA 6.2 MÁXIMOS DE ÁNGULO Y VELOCIDAD**

## Análisis de resultados

1. Obtenga el valor medio de las velocidades y ángulos máximos, regístrelos en la tabla 6.2.
2. Interprete los anteriores resultados respecto a la conservación de la energía mecánica del péndulo, cuando la velocidad es máxima ¿Qué pasa con la energía cinética y potencial? ¿y cuando el ángulo es el máximo? ¿Qué pasa con la energía cinética y potencial?
3. Con la ayuda de la figura 6.1, demuestre que ( $h=L(1-\cos\theta)$ ), con esta ecuación y el resultado anterior de ángulo máximo, encuentre **h**.
4. Ahora teniendo en cuenta la conservación de la energía mecánica para los momentos en que el ángulo es máximo y la velocidad es máxima, encuentre una segunda forma de obtener **h**.

5. Con los valores encontrados en los puntos 3 y 4 encuentre el error relativo.
6. Abra la pestaña de “Energía mecánica” y analice cada una de las curvas ¿La energía cinética y la potencial tiene la misma forma? ¿La energía mecánica cambia en el tiempo? Justifique su respuesta.
7. Si la energía mecánica se debería conservar, ¿por qué el péndulo termina deteniéndose?

*¿Qué pasaría ...?*

1. Si la cuerda tiene un peso considerable respecto al peso de la masa.
2. La masa fuera una bola de algodón o, por el contrario, un objeto muy pesado

## Laboratorio # 7: PÉNDULO BALÍSTICO

### Objetivo

Aplicar el concepto de conservación del momento lineal y conservación de la energía para obtener la velocidad de salida de un proyectil con el uso del péndulo balístico.

### Marco teórico

El momento lineal o momentum  $\vec{p}$ , es una cantidad vectorial que describe la cantidad de movimiento de un objeto:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (7.1)$$

Esta definición de momento permite definir la segunda ley de Newton como:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (7.2)$$

Es decir, la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo de masa  $m$  es igual al cambio de su cantidad de movimiento respecto al tiempo.

El concepto de momento lineal es bastante útil a la hora de analizar choques entre diferentes cuerpos, puesto que el momento lineal es una cantidad que se conserva en un choque. Dependiendo de sus características, los choques se pueden clasificar en dos tipos: elásticos e inelásticos.

#### 1. Choques elásticos:

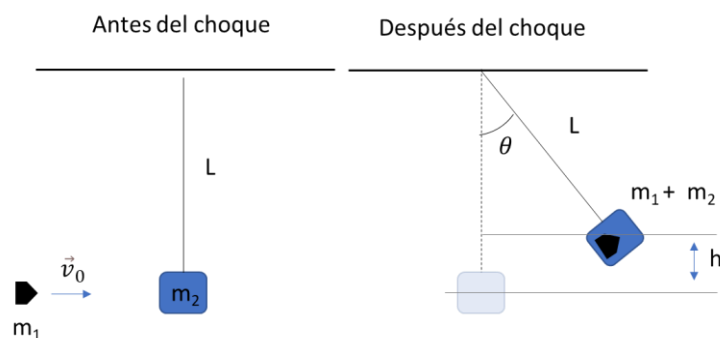
Un choque elástico es aquel en el que la energía cinética total antes y después del choque se conserva. En otras palabras, la suma de las energías cinéticas de los objetos involucrados es la misma antes y después de la colisión. En un choque elástico, los objetos se separan después de la colisión y no hay pérdida de energía cinética debido a la deformación o la fricción interna. Un ejemplo típico de un choque elástico sería la colisión entre dos bolas de billar perfectamente rígidas.

## 2. Choques inelásticos:

En un choque inelástico, la energía cinética total no se conserva, lo que significa que parte de la energía cinética se convierte en otras formas de energía, como la energía térmica o la energía de deformación. En estos choques, los objetos involucrados a menudo permanecen juntos después de la colisión. Un ejemplo sería cuando dos vehículos colisionan y se daña la carrocería de ambos, lo que genera pérdida de energía cinética en forma de deformación y calor.

Además de estos dos tipos principales de choques, existen situaciones intermedias en las que la colisión puede ser parcialmente elástica e inelástica, lo que significa que se conserva parte de la energía. La descripción matemática de los choques se basa en las leyes de conservación del momento lineal y la energía cinética. Estas leyes permiten calcular las velocidades finales de los objetos después de una colisión y determinar si un choque es elástico o inelástico. Los choques son un tema importante en la física y se aplican en una amplia gama de situaciones, desde la física de partículas subatómicas hasta la mecánica de vehículos y la dinámica de las colisiones en el espacio.

Para el laboratorio, se instalará un péndulo balístico. Este consiste en una masa colgada de un punto fijo que es impactada por un proyectil, como muestra la figura 7.1.



**FIGURA 7.1 PÉNDULO BALÍSTICO**

Luego del impacto, la masa  $m_1$  del proyectil queda incrustada dentro de la masa  $m_2$ , convirtiéndose en un sistema  $m_1 + m_2$ . El péndulo se mueve debido al impulso transferido desde el proyectil y alcanza una cierta altura máxima  $h$ . Este es un choque de tipo inelástico donde el péndulo y la bala se vuelven un solo sistema, sin embargo, bajo ciertas condiciones, se puede suponer que la energía cinética se conserva en un péndulo balístico.

El momento lineal total antes y justo después del choque se debe conservar, por lo tanto:

$$m_1 v_0 = (m_1 + m_2) v_F \quad (7.3)$$

Donde  $\vec{v}_F$  es la velocidad del sistema de las dos masas inmediatamente después del choque.

Después de la colisión, el sistema de las dos masas adquiere energía cinética, la que provoca el movimiento del péndulo hasta alcanzar una altura máxima  $h$ . Por conservación de la energía mecánica, la energía cinética adquirida por el sistema de las dos masas se transforma en energía potencial, por lo tanto:

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_F^2 = (m_1 + m_2)gh \quad (7.4)$$

$$v_F = \sqrt{2gh} \quad (7.5)$$

Remplazando en la ecuación 7.3:

$$v_0 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \sqrt{2gh} \quad (7.6)$$

Con lo cual es posible conocer la velocidad de salida del proyectil conociendo las respectivas masas y la altura  $h$ .

Es fácil demostrar que la altura  $h$ , de acuerdo a la figura 7.1, viene dada por:

$$h = L(1 - \cos \theta) \quad (7.7)$$

Demuestre la anterior expresión en el marco teórico de su informe.

Este laboratorio consiste en determinar de forma experimental la velocidad de salida de un proyectil por medio de un péndulo balístico.

## Metodología

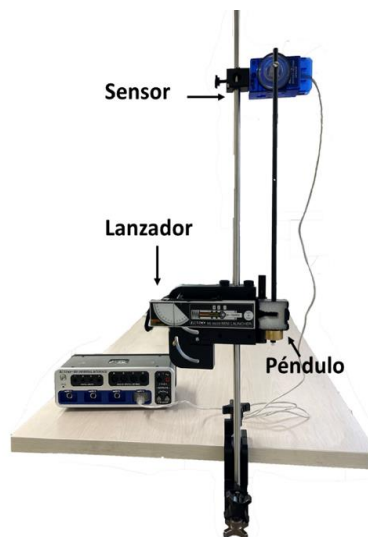
Elementos para solicitar al auxiliar

Sensor de movimiento rotatorio	PS-2120A
Fotosensores	ME-9498A
Soporte de fijación para fotosensores	ME-6821A

Agarradera para mesa	ME-9472
Varilla de 90cm	ME-8738
Mini lanzador	ME-6825A
Péndulo balístico	ME-6829
Metro	SE-8827
Balanza	SE-8723
Interfaz pasco 850	UI-5000

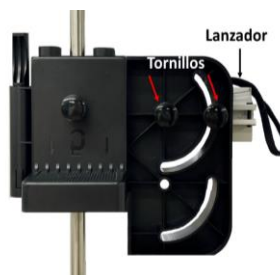
**TABLA 7.1 LISTA DE ELEMENTOS**

## **Experimento 1**



**FIGURA 7.2 MONTAJE EXPERIMENTAL PÉNDULO BALÍSTICO**

1. Asegure la abrazadera de mesa junto con la varilla de 90 cm a la superficie de la mesa, como muestra la figura 2.
2. Fije el lanzador al soporte utilizando los dos tornillos de mariposa a través de los dos orificios indicados, como muestra la siguiente figura:



**FIGURA 7.3. AJUSTE DEL LANZADOR**

3. Deslice el soporte del lanzador sobre la varilla y sujételo en su lugar utilizando los dos tornillos de mariposa en la parte frontal.
4. Fije la masa de 100 g como contrapeso en la parte inferior del receptor del péndulo, como muestra la siguiente figura:



**FIGURA 7.4 AJUSTE LANZADOR Y PÉNDULO BALÍSTICO**

5. Coloque el Sensor de Movimiento Rotativo sobre la varilla de 90 cm y conecte el péndulo a la polea. Conecte el sensor a la interfaz.
6. Ajuste la posición del Sensor de Movimiento de modo que el proyectil (balín) que saldrá del lanzador quede al interior del receptor (dentro del acolchado) una vez sea disparado.
7. Si lo requiere, afloje los dos tornillos de mariposa en la parte posterior del lanzador; esto le permitirá deslizar el lanzador para mejorar la alineación con el receptor. Ajuste el lanzador de manera que quede muy cerca, pero no en contacto completo con el receptor. Asegúrese de que el lanzador esté configurado para un ángulo de lanzamiento de cero grados y luego vuelva a apretar los tornillos de mariposa.

Cuando la estructura este completa, realice el siguiente procedimiento para el monitoria de datos con Capstone:

8. Una vez el sensor de movimiento rotatorio esté conectado a la interfaz, abra el programa “PénduloBalístico.cap” y ajuste la frecuencia de muestreo a los 20 Hz predeterminados. Verifique que aparece un gráfico de Angulo vs Tiempo.
9. Haga clic en Grabar y, a continuación, gire el péndulo alejándolo del lanzador. El ángulo debe ser positivo. Puede cambiar el signo en las propiedades del sensor.

## **Desarrollo experimental**



## Tips

1. Una vez instalado el montaje, realice varios lanzamientos previos a la toma de datos, esto con el fin de asegurar que el receptor cubico capte el balón. Si esto no sucede, reposicione el sistema de acuerdo al numeral 7 de la metodología.
2. Asegúrese de que nada interfiera con la trayectoria del péndulo. De igual modo verifique que el lanzador se encuentra completamente horizontal.
3. Tenga presente utilizar la potencia máxima del lanzador para todos los lanzamientos.

## Procedimiento

1. Ubique el balón en el lanzador y utilice la 3ra posición de potencia de lanzamiento (potencia máxima). Una vez el sistema este en reposo, de clic en Start y libere inmediatamente el balón.
2. Una vez la esfera se haya introducido en el receptor del péndulo, observe su trayectoria y cuando ambos retomen su posición inicial de Stop en Capstone. Si el balón no quedó dentro del receptor, borre los datos y revise la alineación entre el lanzador y el receptor, repita el procedimiento hasta que se asegure que el proyectil queda dentro.
3. Si la toma fue adecuada, podrá observar en la gráfica de Capstone la gráfica de Angulo vs Tiempo, el valor del ángulo máximo será el dato para registrar.
4. Repita el lanzamiento 5 veces y registre los datos obtenidos en la tabla 7.2.

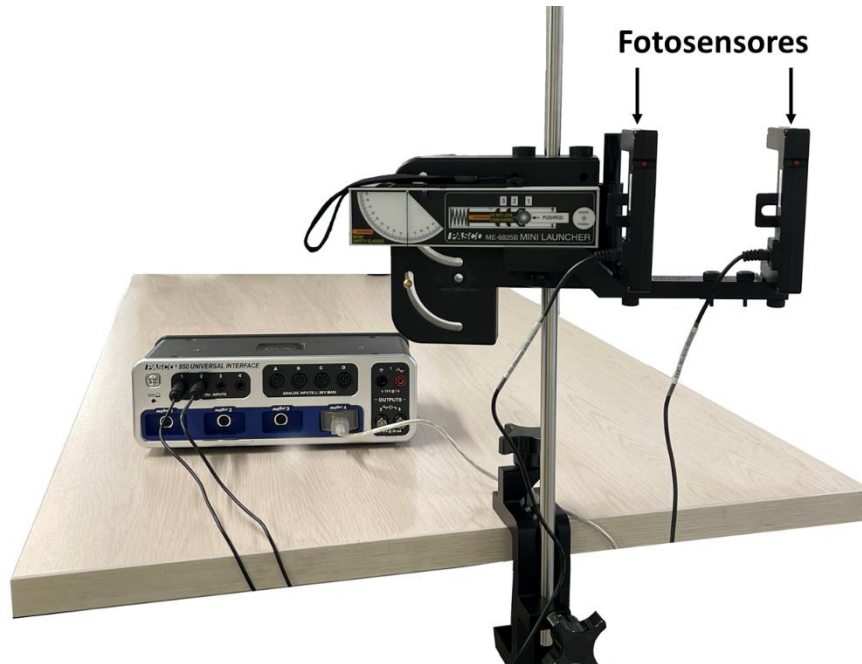
Lanza- miento	Angulo
1	
2	
3	
4	
5	
$\bar{v}$	
$\sigma$	

**TABLA 7.2 REGISTRO DE ÁNGULO**

5. Haciendo uso del promedio del ángulo, calcule la velocidad inicial del balón con las ecuaciones del marco teórico.

Ahora realice el experimento 2 para validar el resultado anterior.

## Experimento 2



**FIGURA 7.5 MONTAJE EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD INICIAL DEL PROYECTIL**

Para este experimento se deben realizar las siguientes modificaciones al montaje experimental:

1. Retire el sensor de movimiento rotatorio y el péndulo balístico. A continuación, instale los fotosensores sujetándolos al lanzador, como muestra la figura 7.5. Procure que uno de ellos quede lo más cerca posible al lanzador y el segundo a exactamente 10 cm del primero.
2. Conecte el fotosenzor que está más cerca del lanzador a la entrada digital 1 de la interfaz y el otro fotosenzor a la entrada digital 2.

Cuando la estructura este completa, realice el siguiente procedimiento para el monitoria de datos con Capstone:

3. Una vez los fotosensores estén conectados a la interfaz. En PASCO Capstone abra la pestaña 2 donde podrá hacer clic en Entrada Digital # 1 y seleccione un Photogate, haga clic en Entrada Digital # 2 y seleccione Photogate.
4. Abra la Configuración del Temporizador y elija un temporizador preconfigurado (Pre-configured timer), seleccione ambos fotosensores (Two Photogates), configure velocidad entre Compuertas (Speed between Gates), y un espaciado de 0.1 m (photogate spacing).

## Desarrollo experimental

### Tips

1. Asegúrese de que la distancia entre los sensores es de 10 cm.
2. Este atento a que nada interfiera con la trayectoria del balón. De igual modo no olvide en la toma de datos dar Start antes de que libere la esfera. Para evitar cualquier tipo de accidente, antes de disparar asegúrese que nadie esté en el camino del proyectil y que éste no cocará con ningún objeto delicado.

### Procedimiento

1. Introduzca el balón en el lanzador y seleccione la misma potencia que utilizó en el experimento anterior. De clic en Start en Capstone e inmediatamente libere la esfera, cuando esto suceda y la esfera haya pasado entre los fotosensores, verifique que aparece la media de velocidad en el programa Capstone, la toma de la medida se detendrá de forma autónoma.
2. Repita el procedimiento 5 veces y registre en la tabla 7.3 sus resultados.

Lanza- miento	Angulo
1	
2	
3	
4	
5	
$\bar{v}$	

$\sigma$	
----------	--

**TABLA 7.3 REGISTRO DE ÁNGULO**

### **Análisis de resultados**

1. Compare el resultado obtenido del Experimento 1 con el 2. Tome el valor del Experimento 2 como el valor teórico y obtenga el respectivo error relativo.

*¿Qué pasaría?...*

Si en vez de usar una esfera sólida, se hiciera uso de una de goma.

## Laboratorio # 8: EQUILIBRIO DE CUERPO RÍGIDO

### Objetivos

Aplicar el concepto de equilibrio de cuerpo rígido, a través de un sistema que presenta diferentes tipos de fuerzas.

### Marco teórico

Para este laboratorio, es fundamental tener en mente ciertos conceptos previamente abordados. Recordemos la segunda ley de Newton, que se mencionó en el capítulo del experimento # 3. En esta ley, se establece que cuando la suma de todas las fuerzas actuantes sobre un objeto es igual a cero, dicho objeto se encuentra en un estado de equilibrio, como muestra la ecuación 8.1. Esto significa que el objeto no experimentará ninguna aceleración y, en caso de que estuviera en reposo previamente, permanecerá en esa condición.

$$\Sigma F = 0 \quad (8.1)$$

Esta definición será clave para introducir la condición de equilibrio de movimiento traslacional, la cual se refiere a una situación en la que un objeto se encuentra completamente en reposo, téngase en cuenta que el hecho de que un objeto no se desplace no implica que no rote. Es por ello que es importante introducir una segunda condición de equilibrio, además de la sumatoria de fuerzas, para que podemos hablar de un reposo absoluto de cuerpo.

En un primer lugar, tenga en cuenta la definición de torque como una magnitud que mide la tendencia de una fuerza para hacer que un objeto gire alrededor de un punto o un eje de rotación. Este se define como el producto de la fuerza ( $F$ ) aplicada a un objeto y la distancia ( $r$ ) desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el eje de rotación. Dado que el torque es un vector perpendicular al plano formado por el vector fuerza y el vector distancia, el torque se define como el producto cruz entre estas cantidades vectoriales (ecuaciones 8.2 y 8.3). El ángulo  $\theta$ , es el ángulo entre el vector de fuerza y el vector de distancia desde el eje de rotación. Como el torque es el encargado de generar la rotación de un objeto alrededor de un eje, cuanto mayor sea el torque total aplicado a un objeto, más rápido girará.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (8.2)$$

$$\tau = r F \sin(\theta) \quad (8.3)$$

Similar al concepto de masa desde la segunda ley de Newton, entendida como la dificultad que presenta un cuerpo para ser acelerado, el momento de inercia (I) de un objeto indica la dificultad que pone al cambio en su velocidad angular, es decir, a ser rotado. Su relación con el torque es análoga a la relación entre la fuerza y la masa en el movimiento lineal. Un torque aplicado a un objeto causa una aceleración angular ( $\tau = I\alpha$ ), donde " $\alpha$ " es la aceleración angular, de manera similar a cómo una fuerza causa una aceleración lineal en la segunda ley de Newton ( $F = ma$ ) en el movimiento lineal.

Retomando la definición de equilibrio de movimiento traslacional, la sumatoria de fuerzas, como lo comprende la segunda ley de Newton, debe ser igual cero. De forma análoga, la sumatoria de torques debe cumplir esta misma condición. Cuando el objeto puede rotar alrededor de un punto fijo, es necesario que la suma de los momentos o torques sea igual a cero para que el objeto esté en equilibrio rotacional:

$$\Sigma \tau = 0 \quad (8.4)$$

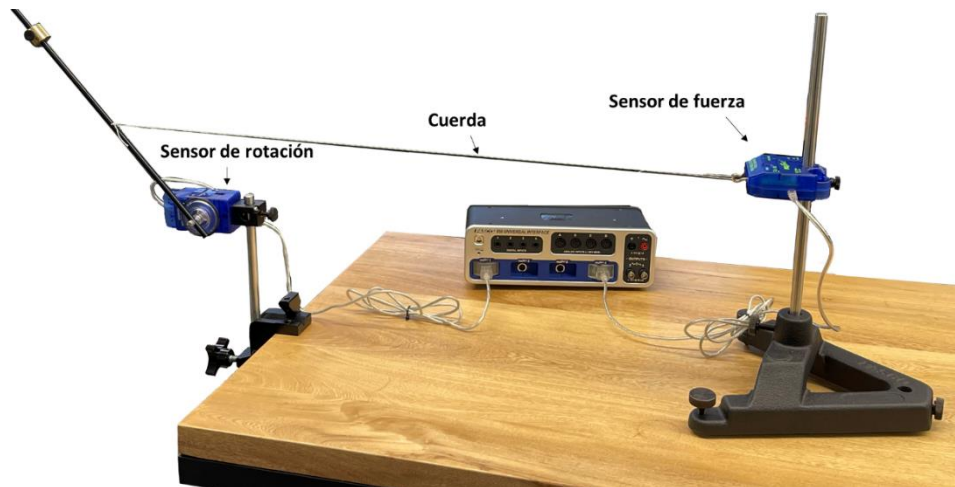
De forma tal que, la ecuación 8.1 y 8.4 representan las condiciones para que un cuerpo esté en equilibrio.

## Metodología

Elementos para solicitar al auxiliar

Sensor de movimiento rotatorio	PS-2120
Accesorio rotacional	CI-6691
Sensor de fuerza	PS-2189
Base de triangular	ME-8735
Varilla 90cm	ME-8738
Varilla 45cm	ME-8736
Abrazadera para mesa	ME-9472
Cuerda	SE-8050
Metro	SE-8827
Bacula	SE-8723
Interfaz pasco 850	UI-5000

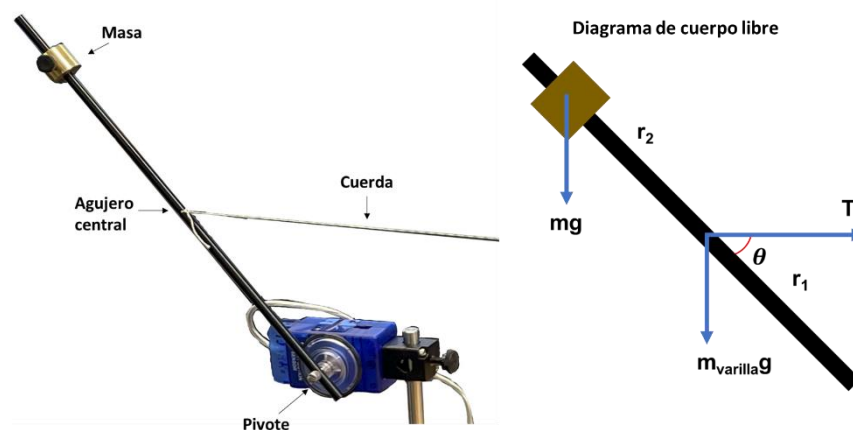
**TABLA 8.1 LISTA DE ELEMENTOS**



**FIGURA 8.1 MONTAJE EXPERIMENTAL**

1. Coloque el Sensor de Movimiento Rotatorio sobre el extremo de la mesa utilizando la abrazadera y la varilla de 90 cm como se muestra en la Figura 8.1. Conecte el sensor al puerto P1, pero no fije todavía la varilla negra que va sujeta al Sensor de Movimiento Rotatorio.
2. Guiándose nuevamente con la Figura 8.1, ubique el sensor de fuerza utilizando la base triangular y la varilla de 45 cm. Conecte este sensor en el puerto P4, y ponga en cero el sensor.
3. Haciendo uso de la varilla negra incluida en el accesorio de rotación, retire el tornillo de mariposa que va sujeta a este, y con la báscula, mida la masa de la varilla sola y aparte la masa cilíndrica de latón.
4. Por otro lado, mida la distancia  $r_1$ , desde el orificio del pivote ubicado en el sensor de rotación hasta el orificio central donde se va a amarrar la cuerda. Vea la Figura 8.2 para que tenga mayor claridad. Este radio se utilizará para calcular el torque causado por la cuerda y el torque causado por el peso de la varilla, actuando en su centro de masa.
5. Coloque la masa de latón en algún lugar cerca del extremo de la varilla opuesto al agujero del pivote. No importa dónde la ubique, solo asegúrese de no cambiar su posición en el transcurso de la práctica. Una vez hecho esto, mida la distancia  $r_2$ , que corresponderá a la medida desde el pivote hasta la masa.

6. Fije la varilla al sensor de movimiento rotatorio utilizando la polea y el tornillo de mariposa plateado. Ahora, corte un trozo de cuerda de aproximadamente 1m de longitud. Ate un extremo de la cuerda al orificio central de la varilla y el otro al gancho que sobresale del sensor de fuerza.



**FIGURA 8.2 SISTEMA EN EQUILIBRIO Y DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE**

7. Para ajustar la altura del sensor de fuerza de modo que la cuerda esté nivelada, mida la altura de la cuerda por encima de la mesa y ajústela de modo que sea la misma en todas partes a lo largo de la cuerda.
8. Una vez el sensor de movimiento rotatorio y el de fuerza estén conectados, abra el programa “CuerpoRigido.cap” y ajuste la frecuencia de muestreo común a 20Hz. En el programa obtendrá dos registros, uno indica el ángulo y el segundo la medición de la fuerza, que será la fuerza de tensión.

## Desarrollo experimental

### Tips

1. Cuando realice el paso 2 del procedimiento para guiar el movimiento de la varilla con su mano, asegúrese de no ejercer ninguna fuerza sobre la misma y procure no soltarla abruptamente ya que esto puede variar los resultados obtenidos.

### Procedimiento



1. Antes que nada, registre los radios que obtuvo de su medición y la masa que debió pesar con la báscula.

$r_1 =$  \_\_\_\_\_

$r_2 =$  \_\_\_\_\_

$m =$  \_\_\_\_\_

2. Respecto al sistema de la figura 8.1, sostenga la varilla de forma vertical de modo que todo esté en reposo y no se esté realizando ninguna tensión en la cuerda. Una vez tenga el sistema de este modo, presione Start con la varilla en vertical y lentamente guíe el trayecto de esta hasta que el hilo este tensionado.
3. Repita este procedimiento 5 veces y registre en la tabla 8.2 el ángulo y la fuerza obtenida en el programa Capstone. Halle el promedio y la desviación respectivamente.

Toma	Fuerza	Ángulo $\theta$
1		
2		
3		
4		
5		
$\bar{x}$		
$\sigma$		

**TABLA 8.2 FUERZA VS ÁNGULO**

### Análisis

1. Calcule el ángulo  $\theta$ , teniendo en cuenta que le obtenido por el sensor de rotación es diferente. Use Pitágoras para hallar el valor correspondiente.
2. Realice el diagrama de cuerpo libre las fuerzas que actúan en el sistema y exprese en la sumatoria las componentes correspondientes. En este mismo diagrama, indique con flechas la dirección de cada torque, esto le permitirá tener una mayor comprensión de los signos que irán en la sumatoria de torques.
3. Con el valor obtenido en inciso 1, calcule el torque que hace la cuerda ( $\tau_1$ ). Retome el marco teórico y observe las ecuaciones que pueden ser útiles para dicho calculo.
4. Calcule el torque generado por el sistema varilla-masa:

$$\tau_2 = (mgr_2 + M_{varilla} g r_1) \cos\theta$$

5. Una vez obtenido los datos y expresiones previas, realice la sumatoria de torques.
6. ¿Son el torque 1 y torque 2 iguales? Calcule el error y justifique el resultado obtenido.

$$\varepsilon = \left| \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_2} \right| \times 100\%$$

*¿Qué pasaría? ....*

Si la masa se ubica cerca al centro de masa, realice el debido análisis.

## Laboratorio # 9: HISTERESIS EN SISTEMAS MECÁNICOS

### Objetivo

Realizar un análisis detallado de la presencia de un comportamiento de histéresis en un sistema elástico, examinando la relación entre la fuerza aplicada y la longitud del elástico.

### Marco teórico

#### *Histéresis*

La histéresis es un fenómeno común en sistemas elásticos que describen la dependencia del estado del sistema no solo de su entrada actual, sino también de su historia pasada. En el contexto de la elasticidad de materiales y sistemas mecánicos, la histéresis se manifiesta como una diferencia en la respuesta del sistema cuando se somete a cargas y descargas sucesivas. En otras palabras, la deformación del material o el sistema no sigue la misma curva de carga y descarga, dando como resultado una "curva de histéresis". Esta curva representa la pérdida de energía interna en el sistema, que se convierte en calor durante el ciclo de carga y descarga.

En el montaje experimental descrito, la histéresis se observa al enrollar y tensar una banda elástica en el sensor de rotación, generando una respuesta no lineal en la relación entre la longitud de la banda y la fuerza aplicada. La presencia de histéresis puede deberse a la fricción, deformación plástica o a otras características específicas del material y el diseño del sistema.

**Energía en el Sistema Elástico**

La energía en un sistema elástico se relaciona directamente con la capacidad del sistema para almacenar y liberar energía durante su deformación. En el contexto de la mecánica elástica, la energía potencial elástica se almacena en un material cuando se deforma y se libera cuando la deformación se revierte. En el montaje experimental de la figura 9.1, el resorte y la cuerda actúan como elementos elásticos capaces de almacenar energía potencial elástica.

Para calcular la energía en el sistema, se utiliza el área bajo la curva de fuerza contra longitud en el gráfico obtenido durante el experimento. Multiplicando esta área por el radio del sensor de rotación, se obtiene la energía acumulada en el sistema en función de la deformación. Este análisis proporciona información valiosa sobre cómo se distribuye la energía a lo largo de las repeticiones y si hay pérdida de energía durante el ciclo de carga y descarga.

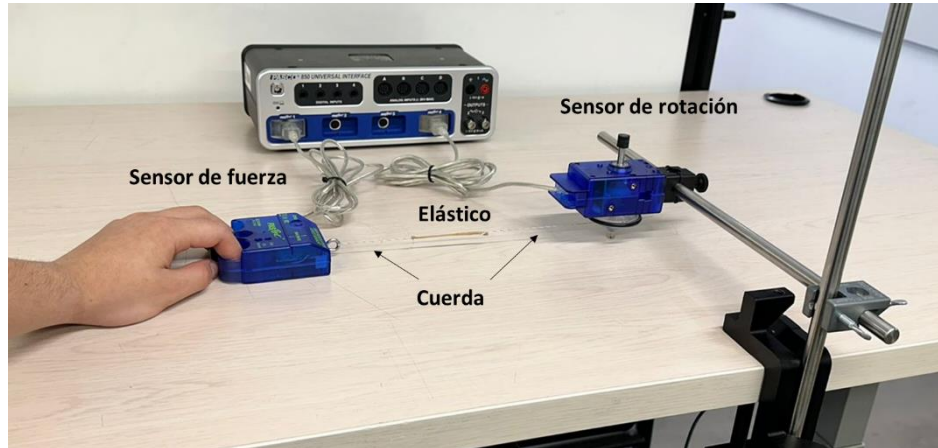
La relación entre la histéresis y la energía en el sistema es crucial para entender el comportamiento del material y su capacidad para absorber y liberar energía de manera eficiente. Un análisis detallado de estos fenómenos contribuye a mejorar el diseño de sistemas elásticos y a comprender mejor su respuesta a cargas dinámicas.

**Metodología**

Sensor de movimiento rotatorio	PS-2120
Sensor de fuerza	PS-2189
Varilla 45cm	ME-8736
Varilla 90 cm	
Abrazadera para varilla	ME-9507

Abrazadera para mesa	ME-9472
Cuerda	SE-8050
Metro	SE-8827

**TABLA 9.1 LISTA DE ELEMENTOS**



**FIGURA 9.1 MONTAJE DEL EXPERIMENTO**



**FIGURA 9.2 AJUSTE DE LA CUERDA AL SENSOR DE ROTACIÓN**

1. Utilizando la abrazadera de la mesa y la varilla de 90 cm de forma horizontal (sobre la mesa), ajuste una abrazaderas de varilla y coloque de forma horizontal una varilla de 45cm como se muestra en la figura 9.1.
2. Ajuste el sensor de movimiento rotatorio a la varilla inferior de 45cm, como se muestra en la figura 9.1 y 9.2.
3. Conecte el sensor de movimiento rotatorio al puerto P1.
4. Guiándose nuevamente con las Figura, ubique el sensor de fuerza sobre la mesa.
5. Conecte el sensor de fuerza al puerto P2 y ponga en cero el sensor.

6. Haciendo uso de la cuerda, corte dos trozos, ate un extremo del resorte al sensor de fuerza y el otro extremo de la banda elástica. Realice el mismo procedimiento anterior atando un extremo de cuerda al sensor de movimiento rotatorio y el otro extremo a la banda elástica. Véase la Figura 9.1 y 9.2 para que tenga mayor claridad.
7. Una vez el sensor de movimiento rotatorio y el de fuerza estén conectados, abra el programa “Histeresis.cap” y ajuste la frecuencia de muestreo común a 20Hz. En el programa obtendrá dos registros, uno indica la compresión y el segundo la medición de la fuerza, que será la fuerza de tensión.

### Desarrollo experimental

#### Tips

1. Cuando este enrollando la cuerda sobre el sensor de rotación, asegúrese de tener una velocidad constante, procure no soltarla abruptamente ya que esto puede variar los resultados obtenido y tendrá que repetir el procedimiento.

#### Procedimiento

1. Respecto al sistema, cerciórese que no se esté realizando ningún tipo de tensión sobre la banda de caucho. Una vez tenga el sistema de este modo, presione Start, lentamente enrolle la cuerda en el sensor de rotación hasta se llegue un valor de fuerza de 2,4N en el programa de capstone.
2. Repita este procedimiento 10 veces.
3. El área bajo la curva en la gráfica de Fuerza vs  $\Delta S$  es el trabajo hecho sobre la banda de caucho en cada proceso de carga y descarga. Registre el área bajo la curva obtenida en cada iteración en la tabla 9.2.

Toma	Área
1	

2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

**TABLA 9.2 REGISTRO DE DATOS**

### **Análisis**

1. Grafique las áreas obtenidas en función del número de iteración. ¿Qué se puede decir del comportamiento del trabajo como función del número de iteraciones?
2. Una vez obtenido los datos y las respectivas gráficas, realice un análisis del comportamiento de la energía ¿Se pierde energía a través del número de iteración? ¿Qué interpreta de los datos obtenidos?

*¿Qué pasaría...*

...Si realizamos 10 repeticiones más?

... Que sucede al comparar la iteración número uno con la iteración número 20? ¿Qué observa?

## **Bibliografía**

Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (1998). Física universitaria

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2021). Física para la ciencia y la tecnología, Vol. 1A: Mecánica. Reverte.

PASCO scientific. (s. f.). PASCO Scientific. <https://www.pasco.com/resources/lab-experiments>