



## Objetivos

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

## Esquema del laboratorio y materiales

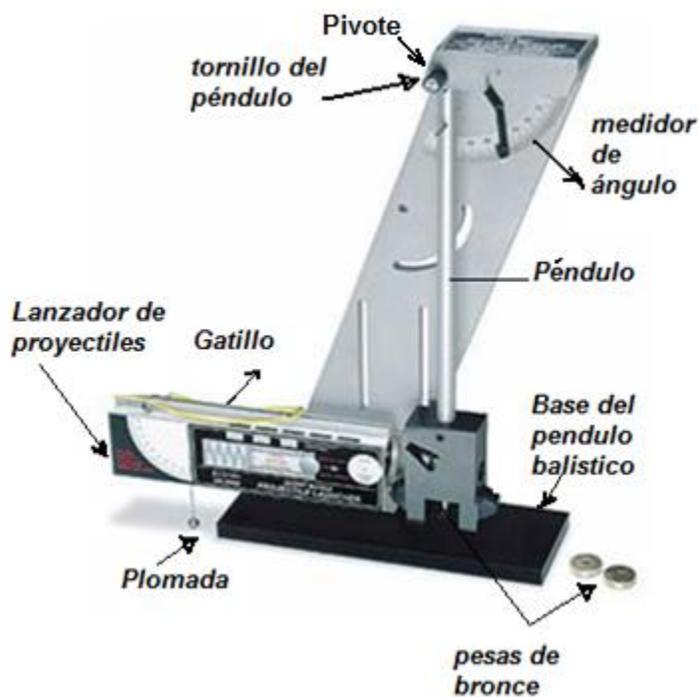


Figura 1. Péndulo balístico.

## Materiales

EQUIPO REQUERIDO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Base metálica del Péndulo Balístico.	1	Asegurar la base metálica con la abrazadera en C.
Lanzador de proyectiles	1	No debe mirarse directamente al cañón para saber si está cargado. Tampoco debe introducirse el dedo. El estudiante que lo maneje deberá usar las gafas de protección disponibles, con el fin de disminuir el riesgo de accidentes
Cargador del lanzador de proyectiles.	1	
Abrazadera en forma de C.	1	Sujete la base del péndulo a la mesa, con una <b>abrazadera en C</b> . Asegúrese que la <b>abrazadera</b> no interfiera con el movimiento del péndulo



<b>Metro</b>	1	
<b>Balanza</b>	1	
<b>Bola de Acero.</b>	1	
<b>Bola plástica.</b>	1	
<b>Gafas de seguridad</b>	1	Usar las <b>gafas de seguridad</b> disponibles, con el fin de disminuir el riesgo de accidentes
<b>Cronómetro</b>	1	
<b>Cuerda</b>	1 metro	

## Marco teórico y Cuestionario

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

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

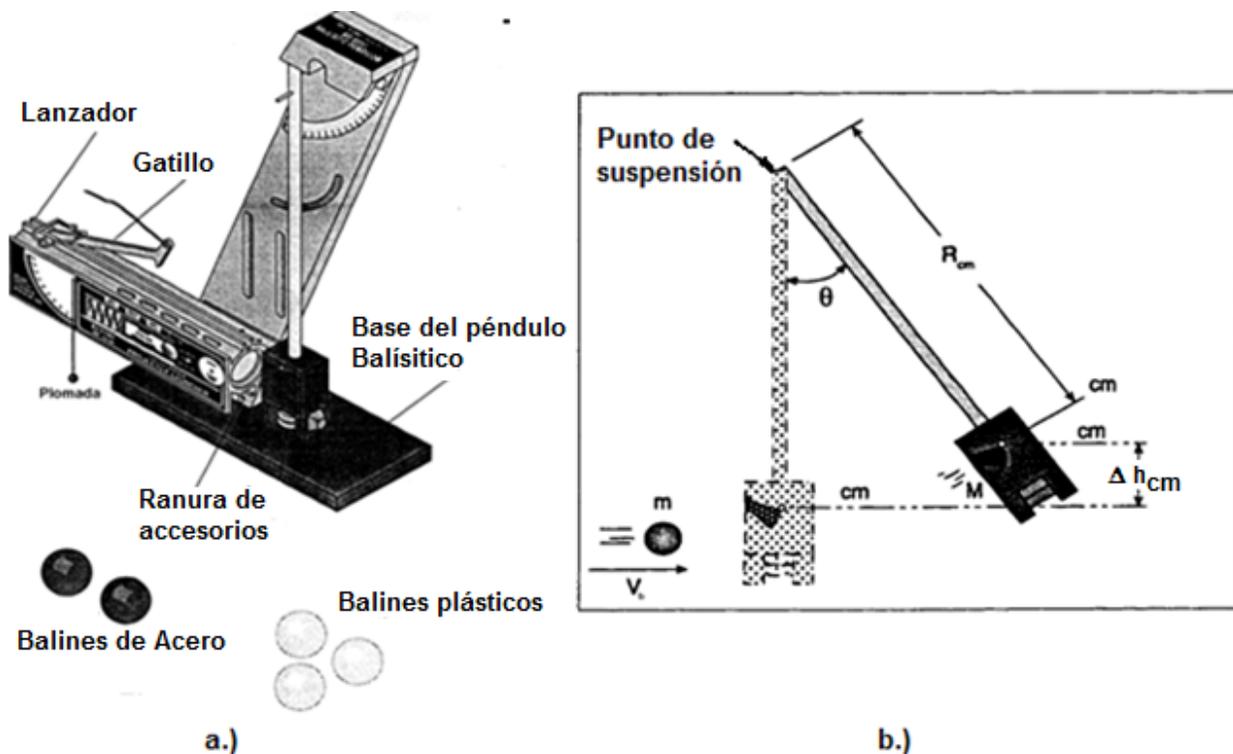


Figura 2. Montaje del Péndulo balístico.



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

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

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

**EL PRIMER MÉTODO (método aproximado)**, el cual asume que el péndulo y la bola actúan juntos como una masa puntual localizada en su centro de masas combinado. Este método no toma en consideración la inercia rotacional.

La velocidad inicial de la bola cuando sale del lanzador de proyectiles se determina disparando la bola dentro del péndulo y observando el ángulo máximo que alcanza el péndulo (**ver figura 2**) La velocidad aproximada de la bola se encuentra utilizando la siguiente ecuación (1):

$$v_b = \frac{M}{m} \sqrt{2 g R_{CM} (1 - \cos \theta)} \quad (1)$$

Donde:

- $M$ = Es la masa combinada del péndulo y la bola (acero o plástico).
- $m$ = Es la masa de la bola (acero o plástico)
- $g$ = Es la aceleración de la gravedad.
- $R_{CM}$ = Es la distancia del pivote al centro de masa del sistema (proyectil + péndulo)
- $\theta$ = Es el ángulo alcanzado por el péndulo.

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

Para determinar la velocidad de inicial de la bola se utiliza la ecuación (2):

$$v_b = \frac{1}{m R_b} \sqrt{2 I M g R_{CM} (1 - \cos \theta)} \quad (2)$$

Donde:

- $M$ = Es la masa combinada del péndulo y la bola (acero o plástico).
- $m$ = Es la masa de la bola (acero o plástico)
- $g$ = Es la aceleración de la gravedad.
- $I$ = Es el momento de inercia del péndulo y la bola en el captador. (**Se calcula utilizando la ecuación 3**)
- $R_b$ = Es la distancia entre el punto del pivote y el centro de la bola (acero o plástico)
- $R_{CM}$ = Es la distancia del pivote al centro de masas del sistema (bola + péndulo)
- $\theta$ = Es el ángulo alcanzado por el péndulo.



**Cálculo del momento de inercia.** Para determinar el momento de inercia  $I$  del péndulo con la bola en el captador se utiliza la ecuación (3)

$$I = \frac{MgR_{CM}T^2}{4\pi^2} \quad (3)$$

Donde:

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

$g$  = Es la aceleración de la gravedad.

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

$T$  = Es el periodo del péndulo + bola.

## Preguntas de control

1. ¿Qué es un choque inelástico?
2. ¿Por qué no se pueden igualar la energía cinética del péndulo antes y después de la colisión?
3. Explique el principio de conservación del momentum lineal.

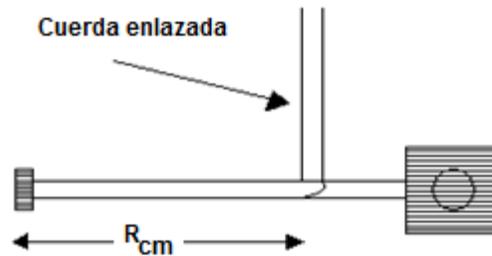
## Procedimiento

### MONTAJE Y PROCEDIMIENTO 1:

1. Sujete la base del péndulo a la mesa, con una abrazadera en C. Asegúrese que la abrazadera no interfiera con el movimiento del péndulo.
2. Ubique el péndulo a  $90^\circ$ , luego cargue el Lanzador de proyectiles. Permita al péndulo colgar libremente, y mueva el indicador del ángulo para ponerlo en cero grados.
3. Quite el péndulo, destornillando y quitando el eje del pivote. Encuentre la masa del péndulo y bola juntos. Realice este procedimiento con la bola de plástico y regístrelo en la tabla 1 como  $M_p$  y con la bola de acero y regístrelo en la tabla 1 como  $M_a$ .
4. Halle la masa de la bola de plástico y regístrela en la tabla de datos 1 como  $m_p$  y de la bola de acero y regístrela en la tabla de datos 1 como  $m_a$ .
5. Encuentre el centro de masa del péndulo con la bola dentro. Para ello utilice la cuerda haga un lazo con la cuerda, y cuelgue el péndulo del lazo hasta que se equilibre horizontalmente. Marque este punto sobre el péndulo. Este es el centro de masa. (Ver figura 3). Usted puede encontrar el centro de masas equilibrando el péndulo en el borde de una regla u objeto similar (Para ello, sitúe el péndulo sobre la mesa, perpendicularmente al borde. Vaya acercando el péndulo al borde hasta que se mantenga en equilibrio. Marque con una línea la posición de equilibrio y mida la distancia desde el eje de giro del péndulo). Anote los datos en la tabla 1.



Mida la distancia del punto al pivote, y anótelos como  $R_{cm a}$  con la bola de acero y como  $R_{cm p}$  para la bola de plástico. Anote los datos en la tabla 1.



**Fig. 3. Montaje para encontrar el centro de masa.**

7. Re ensamble el péndulo, y asegúrese que quede bien hecho. Asegúrese de que el indicador del ángulo, esté a la derecha del péndulo.

8. Dispare el lanzador. Tome y registre el ángulo alcanzado.

9. Cargue el lanzador, luego coloque el indicador del ángulo para orientar  $2^\circ$  o  $3^\circ$  menos del alcanzado en el paso 8. Esto eliminará la fricción causada por el indicador en el arrastre del péndulo, así el péndulo moverá sólo el indicador para los últimos grados. Luego dispare el lanzador, y anote el ángulo alcanzado por el péndulo. Repita este procedimiento tres veces para la bola de acero y para la bola de plástico y anote los datos en las tablas 2 y 3 respectivamente.

10. Calcule la velocidad aproximada de la bola usando la ecuación (1). Tanto para la bola de acero como para la bola de plástico. Anote los datos en las tablas 2 y 3 respectivamente.

11. Voltee el péndulo de tal manera que la bola no sea atrapada por el péndulo. Cargue el lanzador y dispárelo. Mida y registre este ángulo en la tabla de datos 1.

## **MONTAJE Y PROCEDIMIENTO II:**

1. Mida la distancia entre el punto del pivote y el centro de la bola. Anote esto como  $R_b$  en la tabla de datos 1.

2. Quite el lanzador de proyectiles para que el péndulo pueda girar libremente. Con la bola en el péndulo, dele un desplazamiento inicial de  $5^\circ$  o menos. Haciendo uso del cronómetro tome el tiempo por lo menos de cinco oscilaciones. Realice éste procedimiento para la bola de acero y registre éste dato como  $T_a$  y como  $T_p$  para la bola de plástico. Anotar los resultados en la tabla de datos 1.

3. Calcule el valor de  $I$  utilizando la ecuación (3). Realice éste procedimiento para la bola de plástico y regístrelo como  $I_p$  y para la bola de acero y regístrelo como  $I_a$ . Anotar los resultados obtenidos en la tabla de datos 1.

4. Calcule la velocidad exacta para la bola de acero y para la bola de plástico con la ecuación (2) Anote los datos en las tablas 2 y 3 respectivamente.



Análisis de datos

**TABLA 1. Datos para el montaje y procedimiento 1.**

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDADES	VALORES
Masa péndulo + bola de plástico	$M_p$	gramos (g)	
Masa péndulo + bola de acero.	$M_a$	gramos (g)	
Masa bola de plástico	$m_p$	gramos (g)	
Masa bola de acero	$m_a$	gramos (g)	
Distancia del pivote al centro de masa del sistema péndulo+bola plástica	$R_{CMp}$	Centímetros (cm)	
Distancia del pivote al centro de masas del sistema péndulo+bola acero	$R_{CMa}$	Centímetros (cm)	
Distancia entre el punto del pivote y el centro de la bola (acero o plástico)	$R_b$	Centímetros (cm)	
periodo del péndulo + bola de plástico	$T_p$	Segundos (s)	
periodo del péndulo + bola de acero	$T_a$	Segundos (s)	
momento de inercia del péndulo con la bola de plástico en el capturador	$I_p$	$(g \cdot cm^2)$	
momento de inercia del péndulo con la bola de acero en el capturador	$I_a$	$(g \cdot cm^2)$	

**TABLA 2. Cálculos para la bola de acero.**

BOLA DE ACERO				
ÁNGULO	GRADOS	$\theta_{PROMEDIO}$	$V_b(\frac{cm}{s})$ Método aproximado	$V_b(\frac{cm}{s})$ Método exacto
$\theta_1$				
$\theta_2$				
$\theta_3$				
% Error relativo				

**TABLA 2. Cálculos para la bola de plástico**

BOLA DE PLÁSTICO				
ÁNGULO	GRADOS	$\theta_{PROMEDIO}$	$V_b(\frac{cm}{s})$ Método aproximado	$V_b(\frac{cm}{s})$ Método exacto
$\theta_1$				
$\theta_2$				
$\theta_3$				
% Error relativo				



### Preguntas de control

- 1 ¿Hay otra manera de medir la velocidad del cañón, para que usted pueda verificar sus resultados?
- 2 ¿Se simplificarían los cálculos si se conservara la energía cinética en la colisión entre la pelota y péndulo?
- 3 ¿Qué porcentaje de energía cinética se ha perdido en la colisión entre la pelota y el péndulo?
- 4 ¿Hay más energía o menos energía transferida al péndulo cuando el péndulo es girado de tal manera que la bola golpee la parte de atrás de éste?
- 5 ¿Hay una diferencia significativa entre los valores calculados por los dos métodos?
- 6 ¿Qué factores aumentarían la diferencia entre estos dos resultados?
- 7 ¿Cómo construiría un péndulo balístico para que la ecuación aproximada diera los resultados más exactos?

### Conclusiones y observaciones

***En este espacio el estudiante debe anotar las conclusiones de lo observado en la práctica, de manera sencilla y coherente.***