Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Física
Laboratorio de Física 2

Práctica # 5: Midiendo la aceleración de la gravedad **g** con un péndulo físico

Oscar Andrés Flores Gaitán
flo22491@uvg.edu.gt

Guatemala, 26 de febrero de 2025

Objetivos

- ✓ Medir la constante de la aceleración gravitatoria **g** con un péndulo físico en un intervalo de confianza de 95 %.
- ✓ Aportar mediciones para refinar el dato de la aceleración gravitatoria **g** medida en la Universidad del Valle de Guatemala.
- ✓ Comparar el coeficiente de amortiguamiento de un péndulo cuando se cambia su momento de inercia.

1. Introducción

En esta práctica se emplea un péndulo físico como herramienta para analizar el movimiento oscilatorio amortiguado con el propósito de medir el valor de la constante de la aceleración gravitatoria **g**. Este experimento permitirá a los estudiantes comprender los principios del movimiento oscilatorio y, al mismo tiempo, **contribuir con datos experimentales que ayuden a mejorar la precisión del valor de g medido en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala.**

En el curso de Física Experimental, uno de los objetivos anuales es determinar el valor de **g** utilizando diferentes métodos experimentales. En 2022, Javier Mejía y Erick Álvarez midieron un valor de $(9.811 \pm 0.006)m/s^2$, utilizando un péndulo simple y el Software Tracker. Luego, en 2024 se midió el valor más preciso de **g** medido en la Universidad. Oscar Flores (autor) diseñó y utilizó un péndulo físico fabricado con una plancha de MDF y un *Rotary Motion Sensor* Pasco. Con un total de 102 mediciones en un lapso de 2 horas, el experimento logró mejorar el valor previamente establecido por Álvarez y Mejía. Con un intervalo de confianza del 95 %, el valor obtenido fue:

$$g = (9.801 \pm 0.003) m/s^2$$

2. Planteamiento de las ecuaciones

2.1. Sistema

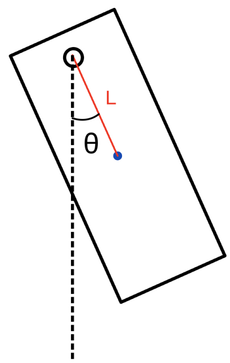

Figura 1: Diagrama del sistema (elaboración propia)

2.2. Cálculo de g

Considerando el sistema de un cuerpo rígido que rota respecto a un eje fijo, se puede plantear la segunda ley de Newton rotacional:

$$\sum_i \tau_i = I\ddot{\theta} \tag{1}$$

Donde

- τ : momento de torsión/torque
- I : momento de inercia
- $\ddot{\theta}$: aceleración angular (notación de derivada respecto al tiempo)

Luego, se consideran las fuerzas externas que generan un torque sobre el sistema respecto al pivote:

1. El péndulo pierde energía debido a las fuerzas de rozamiento, lo que provoca una disminución en la amplitud. Entonces, se incorporan al modelo diferentes fuerzas disipativas. Por ello, se presenta un torque realizado por la fuerza de fricción de la forma:
$$\tau_f = -b\dot{\theta} \tag{2}$$

2. Al comenzar a desplazarse el péndulo, el peso ocasiona un torque de restitución:

$$\tau_{mg} = -mgLsin(\theta) \tag{3}$$

Entonces, se obtiene:

$$-mgLsin(\theta) - b\dot{\theta} = I\ddot{\theta} \tag{4}$$

Donde:

- L : distancia del pivote al centro de gravedad
- θ : posición del centro de gravedad
- b : constante de amortiguamiento/arrastre
- $\dot{\theta}$: velocidad angular

En este caso, no se presenta un movimiento armónico simple, ya que el torque es proporcional a $sin(\theta)$. No obstante, si el movimiento se realiza para un θ pequeño (cercano a 0°), se puede realizar la aproximación:

$$sin(\theta) \approx \theta \tag{5}$$

Reordenando la ecuación y utilizando la aproximación de la Ecuación 5, se obtiene la ecuación diferencial:

$$I\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + mgL\theta = 0 \tag{6}$$

Aplicando las condiciones iniciales $\theta(0) = \theta_0$, $\dot{\theta}(0) = 0$, de la ecuación diferencial 6 se obtiene la solución:

$$\Theta(t) = \theta_0 e^{\frac{-b}{2I}t} cos(\omega' t + \phi) \tag{7}$$

Donde

- θ_0 : posición inicial del centro de gravedad
- ω' : frecuencia angular amortiguada
- ϕ : fase inicial
- t : tiempo

Considerando la frecuencia angular para el movimiento amortiguado:

$$\omega' = \sqrt{\frac{mgL}{I} - \left(\frac{b}{2I}\right)^2} \tag{8}$$

Donde

- g : aceleración gravitatoria

Sea

$$B = \frac{-b}{2I} \tag{9}$$

Despejando para b:

$$b = -2IB \tag{10}$$

Sustituyendo 10 en 8 y despejando para g:

$$g = \frac{I(\omega'^2 + B^2)}{mL} \tag{11}$$

2.3. Momento de inercia

Considerando el momento de inercia de una placa rectangular y el teorema de ejes paralelos (Young y Freedman, 2018):

$$I = \frac{1}{12}m(a^2 + c^2) + mL^2 \tag{12}$$

Donde:

- a : ancho de la placa
- c : largo de la placa
- L : distancia perpendicular entre los ejes paralelos

Luego, es importante considerar el momento de inercia del *Rotary Motion Sensor* Pasco:

$$I = \frac{1}{12}m(a^2 + c^2) + mL^2 + I_{RMS} \tag{13}$$

Donde

- I_{RMS} : momento de inercia del *Rotary Motion Sensor* ($I_{RMS} = 3.827 \times 10^{-6} kg \cdot m^2$)

3. Materiales

- Péndulo Físico de MDF
- *Rotary Motion Sensor* Pasco CI-6538
- Soporte universal
- Nuez Pasco de doble barra ME-9873
- Varilla metálica

- Interfaz Pasco
- Software Capstone Pasco

4. Metodología

4.1. Parte 1: Midiendo g con un péndulo físico

4.1.1. Montaje del sistema

1. Colocar la varilla metálica con la nuez encima del soporte universal.
2. Colocar el *Rotary Motion Sensor* en la varilla.
3. Asegurar el Péndulo físico en el *Rotary Motion Sensor* utilizando el tornillo.
4. Conectar el *Rotary Motion Sensor* a la interfaz Pasco.
5. Seguir las instrucciones del manual para la correcta instalación y utilización del *Rotary Motion Sensor* Pasco CI-6538

Figura 2: Montaje del sistema

4.1.2. Registro y análisis de datos

1. Grabar con el sensor y soltar el péndulo físico con un ángulo menor a $\pi/12$ (15°).
2. Colocar la regresión sinusoidal amortiguada en Pasco Capstone.
3. Determinar las constantes de amortiguamiento (b) y la velocidad angular amortiguada (ω').
4. Determinar la aceleración gravitatoria (g) utilizando la Ecuación 11.

5. Cada integrante del grupo debe realizar 5 mediciones.
6. Tabular los valores de **g** obtenidos.
7. Realizar análisis estadístico de los datos en Excel.
8. Obtener el intervalo de confianza al 95 % de la media.

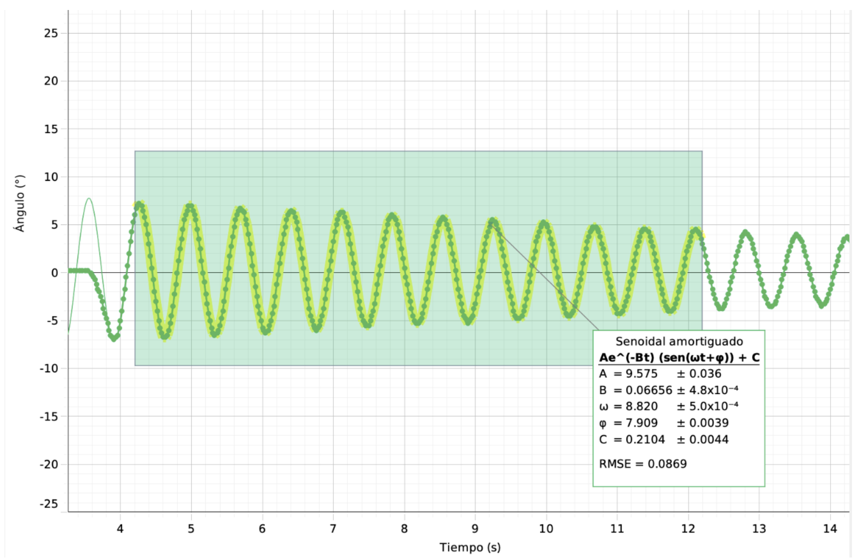

Figura 3: Regresión sinusoidal amortiguada obtenida de Pasco Capstone

4.2. Parte 2: Comparando el coeficiente de amortiguamiento de un péndulo con agujeros

- Realizar el mismo montaje de la Parte 1.
- Soltar el péndulo físico con un ángulo menor a 15°.
- Determinar las constantes de amortiguamiento (b) de los péndulos con agujeros.
- Comparar la constante de amortiguamiento de los tres (3) péndulos.

5. Preguntas para el estudiante

1. ¿Cómo afecta el momento de inercia al cálculo de la aceleración gravitatoria?
2. ¿Qué cambios propondrías en el diseño del péndulo para mejorar los resultados?
3. ¿Por qué es importante realizar muchas mediciones en este experimento?

4. ¿Por qué se debe de tomar en cuenta el momento de inercia del *Rotary Motion Sensor*?

5. ¿Cómo cambia el coeficiente de amortiguamiento del péndulo según la posición del agujero?

6. En su informe no debe de faltar...

- Gráfica de posición angular (ángulo) vs. tiempo.
- Tabla con los valores de la constante de amortiguamiento (b), velocidad angular amortiguada (ω') y **g** con sus respectivas incertidumbres.
- Tabla de los valores de **g** obtenidos y su media en un intervalo de confianza del 95 %.

Anexos

La información completa incluyendo los planos del péndulo, datos de las 102 mediciones en Capstone y Excel, el póster y el informe del experimento se encuentran disponibles escaneando el código QR:

Bibliografía

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2018). *Física universitaria con Física moderna* (14a edición). Pearson Educación de México.