

1. Introducción

En la Unidad 5 estudiaremos las oscilaciones de un péndulo físico. El objetivo fundamental es iniciar el estudio de *movimientos periódicos*, en particular el Movimiento Armónico Simple (M.A.S.). Buscamos que sean capaces de identificar la *amplitud*, *fase*, *frecuencia angular* y *constante de fase* de un MAS, en particular para el caso de un péndulo físico.

En el caso particular de la Unidad 5A estudiaremos la posible variación del período de un péndulo físico con la amplitud y largo. Para ello utilizaremos en efecto un péndulo físico compuesto por una barra homogénea de longitud $2L = 0,6\text{m}$, y una barra del mismo material pero largo L cruzada a la primera (esta última la denominaremos cruceta). Es decir, tenemos una especie de T sujeta cerca de su extremo por un eje fijo en torno al cual es sistema podrá girar libremente. El sistema es idéntico al usado en la unidad 4B.

Para llevar a cabo este experimento, utilizaremos de nuevo una cámara web para filmar el movimiento del péndulo. Utilizando ImageJ buscamos que ustedes midan el período del péndulo bajo una variedad de condiciones.

A estas alturas del semestre nos parece importante recalcar algunos conceptos básicos sobre la medición de cantidades experimentales:

1. Cuando uno mide una cantidad física una gran cantidad de veces, utilizamos el valor medio (promedio) de todas las medidas como un buen estimador de la cantidad física que realmente queremos medir, de este modo evitamos que nuestras mediciones estén dominadas por errores experimentales. Por otro lado, una buena medida del error aleatorio de nuestra medición está dado por la desviación estandar de las mediciones (σ). Aparentemente la mayor parte de los alumnos ya han internalizado estos conceptos.
2. Antes de realizar cualquier tipo de medida, es importante conocer el/los instrumentos que vamos a utilizar y estimar el error probable de las medidas realizadas. Por ejemplo, si utilizamos una regla graduada, muchas veces la incerteza de una medición de longitud es similar al intervalo entre las marcas más pequeñas (a menudo 1 mm). Al utilizar un reloj analógico con segundero el error de cualquier medición es probablemente del orden de 1s. Al utilizar aparatos más complejos no es tan sencillo estimar a priori el error de cualquier medida, sin embargo esto siempre es posible de hacer durante el proceso de medición. ¿Con qué precisión pueden medir un ángulo con imageJ? ¿Con qué precisión pueden medir una coordenada? Las respuestas a estas preguntas dependen de la forma de realizar las mediciones, incluida la luminosidad de la sala, la meticulosidad de los alumnos, y el montaje experimental. Es muy importante que ustedes entiendan y cuantifiquen la precisión con la cual pueden realizar una medición.

3. Para comparar resultados experimentales con resultados teóricos esperados, podemos simplemente dibujar los datos medidos y calculados en el mismo gráfico. Por otro lado, podemos determinar uno o más parámetros de una curva teórica de modo que se aproxime lo mejor posible a los datos medidos (ajuste de parámetros). En cualquier caso la posible conclusión de si la curva teórica es o no una buena aproximación de las medidas experimentales, dependerá de la comparación entre la diferencia entre teoría y observaciones comparada con la estimación del error de las observaciones. En este caso, el error puede estar dominado por errores aleatorios (σ) o por errores sistemáticos que incluyen elementos tales como aparatos defectuosos o el haber despreciado un fenómeno físico que era relevante para las mediciones (por ejemplo ¿es importante el roce?).

2. Guía Práctica

A. Objetivos

- Caracterizar el movimiento periódico de un péndulo físico, en particular la dependencia del período con la amplitud y con el largo.
- Identificar errores aleatorios y sistemáticos en las mediciones.

B. Materiales

- Prototipo de barra soporte universal.
- Regla de 0.6 m de longitud con rodamiento cerca de un extremo.
- Regla de 0.3 m de longitud (cruceta para formar la T).
- Cámara web y software de visualización.
- Regla y/o transportador.

El montaje experimental es muy sencillo, sólo deberán cambiar la posición de la cruceta para realizar las distintas mediciones. Noten que al variar la posición de la cruceta, varía tanto la posición del centro de masa de la T como su momento de inercia (en este caso en torno al eje de rotación del extremo superior).

C. Experiencias

Experiencia 1: Preliminares. [1 punto]

Al inicio de cada experimento es necesario verificar el funcionamiento correcto de los elementos a usar. Hoy deberán medir repetidas veces el período de un péndulo. El objetivo de esta parte es simplemente probar el equipo y estimar el error con el cual pueden medir dicho período.

Recomendamos comenzar con la T en su configuración más extendida (distancia del centro de masa al eje de rotación.)

Para medir el período del péndulo, ustedes grabarán videos con al menos una oscilación completa del péndulo. Para cada configuración experimental la idea es grabar uno o más videos y medir el período cuantas veces sea necesario, llegando idealmente a un error menor a un 10% en la determinación del período.

Las mediciones serán muy rápidas, ya que simplemente deberán examinar visualmente los videos cuadro a cuadro para encontrar el número de cuadros que corresponde al período. Recuerden que el período corresponde al intervalo de tiempo entre dos fases idénticas del movimiento. La cámara graba 30 cuadros por segundo. En un video ustedes pueden medir el período más de una vez, pero fijándose de que cada medida sea independiente de las demás. Por ejemplo, si filmamos un video durante una fase completa del movimiento ($\Delta t = P$ o $\Delta\theta = 2\pi$) pueden medir los intervalos de tiempo entre fase $0 - \pi/2$; $\pi/2 - \pi$; $\pi - 3\pi/2$, y $3\pi/2 - 2\pi$. De ese modo obtienen cuatro medidas independientes de $P/4$ de donde pueden obtener un buen valor de P.

Un posible error de medición es el no considerar el roce presente en el eje de la T, debido a esto les recomendamos no grabar videos de más de dos o tres períodos de duración.

Para culminar esta primera experiencia, elijan un ángulo inicial relativamente pequeño (puede ser del orden de $\pi/3$ o $\pi/6$ rad) y suelten la T desde el reposo grabando su movimiento dos o tres veces. **Indique cuantas veces midió el período, el valor medio medido y su desviación estandard.** No olvide indicar las unidades de todas las cantidades. ¿Cómo se compara el error que ustedes obtienen con el intervalo entre cuadros que graba la cámara?

Experiencia 2: Período en Función de la Amplitud. [2 puntos]

Esta experiencia debiera ser muy rápida. En el material teórico se determina el período de un péndulo físico bajo la aproximación de pequeñas oscilaciones. En esta experiencia evaluarán si el período varía significativamente para amplitudes mayores.

Utilizando la T con su longitud máxima, se les pide repetir las medidas del período para un rango de amplitudes. Elija una serie de 4-6 amplitudes tales como 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 rad. Procure poder establecer con precisión el ángulo inicial de modo que el experimento sea reproducible. Para cada amplitud mida el período tal como lo hizo en la experiencia anterior. No es necesario repetir las medidas ya realizadas. Complete la tabla del informe incluyendo la constante de fase que describe el movimiento.

Grafique los valores del período medidos con su error aleatorio en función de la amplitud con el comando errorbar en Matlab. Recuerde dibujar sólo los puntos medidos. En el mismo gráfico dibuje el período esperado para un péndulo físico bajo la aproximación de pequeñas oscilaciones. Para ello debe conocer la aceleración gravitacional local, la posición del centro de masa y el momento de inercia del péndulo (I/M , no es necesario conocer la masa). Ustedes ya conocen tanto la posición del centro de masa como el momento de inercia de la T, en caso de haberlo olvidado, use el teorema de los ejes paralelos para simplificar su cálculo. Al llegar al laboratorio los alumnos ya debieran tener esta información preparada.

Imprimir y Adjuntar al informe una copia impresa del gráfico bien rotulado con unidades en ambos ejes, fecha y grupo.

**¿Es consistente el período medido con la aproximación de pequeñas oscilaciones?
¿Hasta qué ángulo parece ser válida la aproximación de pequeñas oscilaciones?**

Experiencia 3: Período en Función del largo. [2 puntos]

Montar la cruceta de la T en cada una de las cuatro posiciones posibles de modo de variar la posición de su centro de masa. Recuerden que también cambia el momento de inercia con cada configuración. Elija un ángulo pequeño de la serie medida en la experiencia anterior.

Partiendo siempre desde el mismo ángulo inicial con el péndulo en reposo, grabar 3 videos con 2-3 oscilaciones cada uno y medir el período. Graficar en Matlab el período medido en función del largo efectivo del péndulo físico (posición de su centro de masa) junto a su error con el comando errorbar. Adjunte en el mismo gráfico la curva teórica esperada para el péndulo físico.

Imprimir y Adjuntar al informe una copia impresa del gráfico bien rotulado con unidades en ambos ejes, fecha y grupo.

Conclusiones [1 punto]