

## Laboratorio: Péndulo Interrumpido

### Objetivos generales

- Realizar mediciones en el laboratorio con distintos instrumentos, que permitan encontrar de manera directa e indirecta el valor de ciertas magnitudes, con sus correspondientes errores.
- Aprender teoría de errores, asociados a las mediciones en Física. Utilizar herramientas estadísticas. Familiarizarse con el método de cuadrados mínimos.
- Comparar los resultados experimentales con aquellos predichos teóricamente y esbozar posibles causas y mejoras a futuro en la realización del laboratorio correspondiente.

### Objetivos particulares

- Determinar las dimensiones fundamentales de los materiales que van a utilizarse en este experimento, utilizando al menos dos instrumentos de distinta apreciación. Realizar el cálculo de las propiedades de los materiales mediante relaciones matemáticas, como el volumen y la densidad.
- Efectuar un experimento repetidas veces para realizar un análisis estadístico, que incluya la elaboración de histograma y curva de Gauss, discutiendo si se cumplen los postulados propuestos en dicho marco teórico.
- Medir dos magnitudes que se vinculen mediante una ley o relación física, con una dependencia lineal o linealizable entre ellas.

### Fundamento teórico

En este experimento se utilizarán nociones de dinámica del cuerpo puntual, vistas previamente en la materia.

En la figura 1 se esquematiza el diagrama de fuerzas de un cuerpo de masa  $m$  que se encuentra suspendido por una cuerda inextensible de masa despreciable, que le permite realizar un movimiento pendular. Si no se tiene en cuenta la interacción con el aire y a partir de la segunda Ley de Newton, se obtiene:

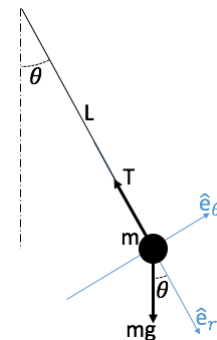


Figura 1. Esquema péndulo.

$$\Sigma F_{\hat{e}_r} \rightarrow mg \cos(\theta) - T = ma_r = m(-r\dot{\theta}^2) \quad (1)$$

$$\Sigma F_{\hat{e}_\theta} \rightarrow -mg \sin(\theta) = ma_\theta = m(r\ddot{\theta}) \quad (2)$$

donde si se considera el caso en que  $\theta$  es pequeño, es decir:

$$\theta < 10^\circ \rightarrow \sin(\theta) \approx \theta \quad (3)$$

de las ecuaciones (2) y (3), notando en la figura 1 que  $r = L$ , se tiene la ecuación diferencial de un oscilador armónico simple respecto del ángulo  $\theta$ :

$$\ddot{\theta} + \omega^2 \theta = 0 \rightarrow \omega = \sqrt{g/L} \quad (4)$$

donde  $\omega$  es conocida como la frecuencia angular y es proporcional a la frecuencia ( $f$ ) e inversamente proporcional al período ( $T$ ):

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{L/g} \quad (5)$$

Un péndulo interrumpido trabaja como dos péndulos consecutivos con cuerda de diferente longitud, como se ve en la figura 2.

Geoméricamente, y según la ecuación (5), se tiene que:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L_0/g} \quad (6)$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{L_1/g} \quad (7)$$

Si se elevan ambas ecuaciones al cuadrado, y rescribiendo, se llega a la igualdad:

$$T_1^2 = \frac{T_0^2}{L_0} L_1 \quad (8)$$

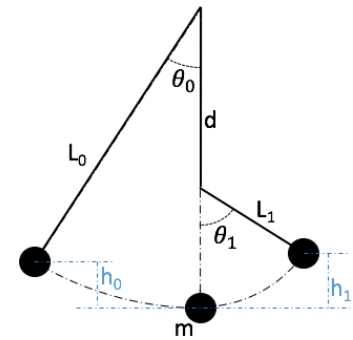


Figura 2. Esquema péndulo interrumpido.

Cabe destacar que el período total del sistema es la suma de sus medio períodos:

$$T_T = \frac{1}{2}T_0 + \frac{1}{2}T_1 \quad (9)$$

### Materiales y montaje experimental

Cuerda o hilo inextensible	Masa péndulo
Pie de interrupción de péndulo con barras	Calibre
Fotointerruptor Pasco®	Tornillo micrométrico
Adquisidora de datos GLX	Cinta métrica
Cronómetro	Balanzas

Se espera que en el laboratorio sea montado el experimento tal como lo muestra la figura 3. El péndulo deberá ser interrumpido a una altura variable  $d$ , justo cuando pase por el centro de la oscilación. Esto permitirá obtener diferentes períodos de oscilación para los péndulos en función de la longitud  $L_1$ , según la ecuación (8).

Gracias al cronómetro se podrá medir el período total del sistema para realizar cálculos estadísticos. Además, mediante la colocación del foto interruptor en la posición inferior de la trayectoria, el sistema de adquisición de datos dará información acerca del medio período correspondiente a cada movimiento pendular, entre otras magnitudes.

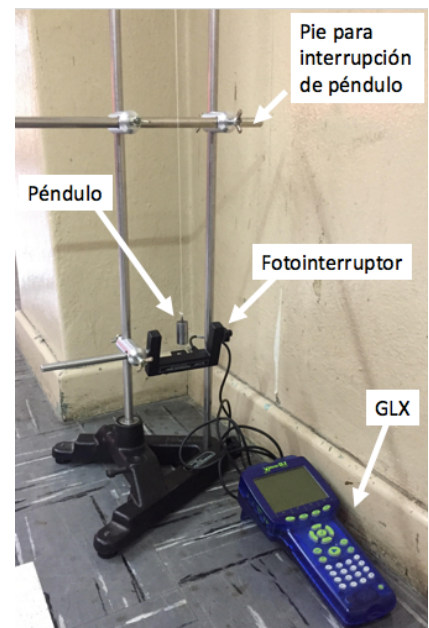


Figura 3. Foto esquemática del péndulo interrumpido.

### Procedimiento experimental

#### Mediciones directas

En relación a las dimensiones del péndulo:

- Se medirá ancho y alto de la masa, en caso de tener un péndulo cilíndrico, o el diámetro, en caso de trabajar con un péndulo esférico, con por lo menos dos instrumentos apropiados: calibre, tornillo micrométrico y/o cinta métrica (se podrá utilizar regla milimetrada).
- Se utilizarán las balanzas disponibles para determinar su masa.

### Mediciones indirectas

A partir de las mediciones registradas anteriormente, y utilizando la teoría de propagación de errores, se determinará el volumen y la densidad de la masa del péndulo.

Para una dada distancia de interrupción  $d$ , y con un cronómetro, se deberá registrar el tiempo que tarda el péndulo en hacer 10 ciclos completos seguidos. El tiempo  $t$  obtenido será equivalente a 10 veces el período total  $T_T$  ( $t = 10T_T$ ).

### Teoría estadística

Para la misma distancia de interrupción  $d$ , y con un cronómetro, se registrará el tiempo que tarda el péndulo en hacer un ciclo completo (un período  $T_T$ ). Este procedimiento se repetirá al menos 50 veces.

### Método de cuadrados mínimos

Utilizando un fotointerruptor se deberá obtener el semi-período del péndulo de menor longitud ( $T_1$ ). Según la ecuación (8) hay una relación entre la longitud  $L_1$  y el período  $T_1$ . Para poder comprobar esa relación, se deberán medir, por lo menos, 6 longitudes diferentes para las que se registrarán sus respectivos semi-períodos. Mediante la utilización del método de cuadrados mínimos, se determinará un valor experimental para el período del péndulo de longitud  $L_0$ .

### Resultados

Se espera que sean indicados en esta sección los resultados obtenidos de las mediciones directas e indirectas, expresándolos de forma correcta (valor medio, su incertidumbre asociada, cifras significativas y sus unidades). Los cálculos realizados para la obtención de los errores por propagación, deberán figurar en un Anexo, al final del informe.

De las mediciones realizadas para desarrollar la teoría estadística, se espera que se muestre el valor promedio obtenido para el período completo, el desvío estándar, el histograma correspondiente y la curva de Gauss *sobre* el mismo. La tabla con los valores experimentales debe incluirse en el Anexo.

En cuanto al método de cuadrados mínimos, deberá ser incluido un gráfico en el que se muestren los datos experimentales y la recta de aproximación obtenida, con los valores de ordenada al origen y pendiente claramente indicados, con sus respectivos errores. Se deberá indicar claramente el valor experimental obtenido para el período  $T_0$ , con su error correspondiente. Los datos obtenidos en el laboratorio deberán formar parte del anexo, así como también todos los cálculos auxiliares que se consideren relevantes.

### Conclusiones

En esta sección se incluirá un resumen de lo realizado en el laboratorio y los resultados principales obtenidos. Se deberá mencionar si lo obtenido experimentalmente se corresponde con lo esperado, así como también mejoras que se puedan proponer a futuro.

### **Anexo**

Toda la información complementaria deberá ser incluida en esta sección, a fin de poder reproducir los resultados informados.

### **Informe**

El informe tendrá la estructura en secciones antes detalladas y servirá como material de lectura para quienes quieran reproducir el experimento. Por esta razón, su lectura debe ser fluida y su redacción debe ser realizada pensando en un lector que desconoce el experimento.

Se entregará 1 (un) informe por grupo, donde se incluyan todas las secciones mencionadas anteriormente. La primera entrega, en la fecha preestablecida, se hará por mail. Se les reenviará con las correcciones y deberán entregar en forma impresa la segunda versión, en la fecha indicada. El informe deberá estar aprobado para cursar la materia.