

## **PRÁCTICA Nº 2**

**El método científico: Características y etapas.**

**Estudio del péndulo simple.**

**Tratamiento de datos (dibujo de gráficas, trazado de líneas de tendencia)**

En principio se pueden tardar unas tres sesiones, una por cada estudio. Hay que dejar el laboratorio limpio para la siguiente vez. Montar y desmontar.

## MÉTODO CIENTÍFICO. ESTUDIO DEL PÉNDULO SIMPLE. CÁLCULO DE LA GRAVEDAD UTILIZANDO UN PÉNDULO SIMPLE

### OBJETIVO

El objetivo de la práctica es doble:

- Por una parte, utilizar el método científico en el estudio del péndulo simple, para determinar que variables influyen en su período.
- Usando la fórmula teórica del período de un péndulo simple, se puede la aceleración de la gravedad en el laboratorio, "g"

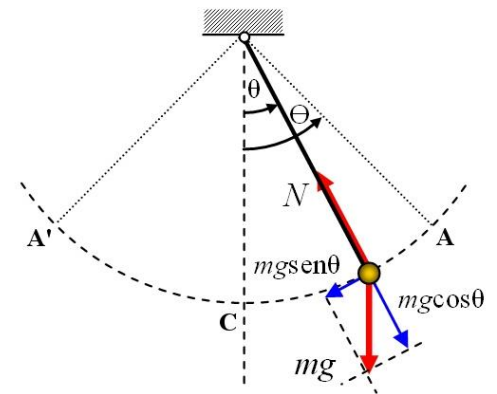
### MATERIAL

- Péndulo: Pie fijo, varilla, pinza sobre nuez, hilo, portapesas, pesas.
- Regla
- Transportador de ángulos
- Cronómetro

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Péndulo:

Se denomina péndulo simple (o péndulo matemático) a un punto material suspendido de **un hilo inextensible y sin peso**, que puede oscilar en torno a una posición de equilibrio. La distancia del punto pesado al punto de suspensión se denomina longitud del péndulo simple. Nótese que un péndulo matemático no tiene existencia real, ya que los puntos materiales y los hilos sin masa son entes abstractos. En la práctica se considera un péndulo simple un cuerpo de reducidas dimensiones suspendido de un hilo inextensible y de masa despreciable comparada con la del cuerpo.



El péndulo simple está formado por una masa "m", suspendida de un punto fijo "O" por medio de un hilo inextensible de masa despreciable y longitud "l", que oscila alrededor de otro punto fijo en la misma vertical que "O".

Se trata de un sistema que transforma la energía potencial (relativa a su altura vertical) en energía cinética (relativa a su velocidad) y viceversa, debido a la acción de la fuerza gravitatoria "mg" que ejerce la Tierra sobre la masa m (más concretamente, a la componente de esta fuerza perpendicular al hilo, también llamada "restauradora" porque se dirige hacia la posición de equilibrio del péndulo; la otra componente, en la dirección del hilo, tiene igual módulo pero con sentido opuesto a la tensión que el hilo produce sobre la masa, por lo que no interviene en el movimiento del péndulo. (En rigor,  $T - mg \cos \theta = ma_n = mv^2/l$ )

El movimiento del péndulo es un caso especial de un movimiento denominado movimiento armónico simple (m.a.s.), como lo es también el movimiento de un muelle elástico desplazado de su posición de equilibrio. Estos dos movimientos son, a su vez, casos particulares de un tipo más general de movimientos denominados **periódicos**.

## Movimientos periódicos:

Un **movimiento periódico** es aquel que repite posiciones iguales en tiempos iguales. Por ejemplo, el movimiento circular uniforme (m.c.u.) con el que gira un tiovivo o una noria es periódico, ya que a intervalos regulares de tiempo repite la posición. Si la noria tarda 30 s en hacer el giro completo, cada barqueta de la noria pasará cada 30 s por el mismo sitio. Igual ocurre con los 2 movimientos comentados anteriormente, el de un muelle elástico y el del péndulo simple.

Los movimientos periódicos vienen determinados por las siguientes magnitudes:

- **Oscilación completa o ciclo:** es el desplazamiento de la esfera desde uno de sus extremos más alejados de la posición de equilibrio hasta su punto simétrico (pasando por la posición de equilibrio) y desde este punto de nuevo hasta la posición inicial, es decir, dos oscilaciones sencillas.
- **Periodo:** es el tiempo empleado por la esfera en realizar un ciclo u oscilación completa. Se mide en s.
- **Frecuencia:** es el número de ciclos realizados en la unidad de tiempo. Se mide en  $s^{-1}$  o Hz o ciclos/s
- **Amplitud:** es el máximo valor de la elongación o distancia hasta el punto de equilibrio, que depende del ángulo  $\theta$  entre la vertical y el hilo.

## Historias del péndulo. Investigación bibliográfica

Galileo fue el primer científico del que tenemos constancia que se preocupó por el tema. [Galileo](#) (1564-1642), se fijó hacia el año 1581, en la catedral de Pisa, en el movimiento de una lámpara...

*"Un día en que asistía, algo distraído sin duda, a una ceremonia religiosa, fijó su mirada en una lámpara de bronce, obra maestra de Benvenuto Cellini, que, suspendida de una larga cuerda, oscilaba con lentitud ante el altar. Quizás, con los ojos fijos en aquel metrónomo improvisado, unió su voz a la de los celebrantes; la lámpara se detuvo poco a poco y, atento Galileo a sus últimos movimientos, observó que marcaba siempre el mismo compás"*

*J. Bertrand: Galileo y sus trabajos*

Galileo fue el primero en observar que el periodo del péndulo simple es independiente de la amplitud de las oscilaciones, siempre que éstas sean suficientemente pequeñas como para que la aproximación  $\sin\theta \approx \theta$  sea aceptable. Esta última propiedad se conoce como *isocronismo de las pequeñas oscilaciones*. Galileo también descubrió que el periodo era también independiente de la masa de la partícula suspendida.

El isocronismo fue lo que más atrajo la atención de Galileo; a pesar de que la [amplitud de las oscilaciones](#) se iba reduciendo, permanecía sensiblemente constante la duración de las mismas. Galileo repitió muchas veces el experimento y acabó por descubrir la relación existente entre dicha duración y la longitud de la cuerda que soportaba al peso oscilante.

El péndulo simple, además de servir para calcular el valor de  $g$  con una considerable precisión, tiene muchas otras aplicaciones. Se utiliza generalmente en la fabricación de relojes para la medición del tiempo. Pero también sirve, puesto que un péndulo oscila en un plano fijo, como prueba efectiva de la rotación de la Tierra, aunque estuviera siempre cubierta de nubes: En 1851 **Jean Leon Foucault** colgó un péndulo de 67 metros de largo de la cúpula de los Inválidos en París (latitud  $\approx 49^\circ$ ). Un recipiente que contenía arena estaba sujeto al extremo libre; el hilo de arena que caía del cubo mientras oscilaba el péndulo señalaba la trayectoria: demostró experimentalmente que el plano de oscilación del péndulo giraba  $11^\circ 15'$  cada hora<sup>1</sup>, y por tanto que la Tierra rotaba.

### **El método científico:**

#### **1. Planteamiento del problema:**

Se trata de delimitar el problema, definiéndolo con claridad e identificando de qué variables puede depender la variable estudiada. Además se hace una revisión de toda la bibliografía existente sobre el tema.

#### **2. Formulación de hipótesis**

Antes de empezar a investigar el problemas debemos hacer conjeturas o suposiciones sobre el resultado del problema, que se deben someter a experimentación para ver si son o no verdaderas.

**Hipótesis en una conjetura verosímil (sin contradicciones evidentes) que se puede contrastar de forma experimental.**

Hipótesis:

**El T dependerá:**

- De la longitud  $L$  del péndulo
- Del ángulo  $\theta$  inicial, de la amplitud inicial (podemos medir la longitud entre la masa del péndulo y la vertical)
- De la masa  $m$  suspendida

¿Cómo dependerá? ¿Aumentará o disminuirá con cada una de las variables?

#### **3. Experimentación para comprobar las hipótesis**

Se mantienen fijas las variables menos las que se van a medir y se varía una (variable independiente) midiendo el valor de la otra (variable dependiente). El que una variable física sea de un tipo u otro dependerá de nuestro experimento.

---

<sup>1</sup> La fuerza de Coriolis es la responsable de la rotación del plano del péndulo de Foucault, la circulación del aire alrededor de los centros de baja o alta presión, la desviación de la trayectoria de proyectiles de largo alcance, la rotación del agua cuando sale por el desagüe de la bañera, etc. Ver simulación en:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cinematica/coriolis1/coriolis1.htm>

#### 4. Establecimiento de leyes y teorías

**Las leyes son hipótesis confirmadas, que se expresan generalmente con lenguaje matemático.**

Cuando disponemos de un conjunto de leyes relativas a un mismo fenómeno, por ejemplo, la caída de los cuerpos, podemos intentar encontrar una explicación satisfactoria. Eso es una **teoría, un conjunto de suposiciones que se consideran ciertas porque nos permiten explicar las leyes** ya conocidas o predecir incluso alguna nueva, que debe ser verificada experimentalmente.

**Debe quedar claro que las leyes son inmutables, ya que responden a una comprobación experimental, mientras que las teorías pueden cambiar si se descubren nuevos hechos o leyes que no pueden explicarse con las teorías actuales.**

**Estudio matemático:**

Para pequeñas amplitudes ( $\sin\theta \cong \theta$ ), el movimiento oscilatorio del péndulo es armónico simple, y el periodo de oscilación  $T$  viene dado por la fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Es decir, el tiempo de oscilación no depende ni de la masa “ $m$ ” ni (para amplitudes pequeñas) de la amplitud inicial, por lo que puede calcularse  $g$  a partir de medidas de tiempos (“ $T$ ”) y longitudes (“ $l$ ”):

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$$

El valor de  $g$  disminuye con la profundidad (hacia el interior de la Tierra) y con la altura (hacia el espacio exterior) tomando su valor máximo para un radio igual al terrestre. En la superficie terrestre,  $g$  varía con la latitud (la tierra no es esférica sino que posee una forma más irregular denominada geoide): el valor de  $g$  es menor en el ecuador que en los polos ( $g_e = 9.78049 \text{ m/s}^2$ ;  $g_p = 9.83221 \text{ m/s}^2$ ). También  $g$  varía con la altitud respecto al nivel del mar y con las anomalías de densidad de la corteza terrestre.

La fuerza centrífuga también varía el módulo y la dirección de la aceleración de la gravedad a distintas latitudes (es máxima en el ecuador, donde  $\omega^2 R \cong 0.03 \text{ m/s}^2$ ).

**DIBUJO DE LOS MATERIALES Y MONTAJE DE LA PRÁCTICA**



#### MÉTODO PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

- Fijaremos 2 de las 3 variables de las que sospechamos depende el T.
- Hacemos 3 variaciones de cada una de las variables independientes ( $m$ ,  $\theta$ ,  $L$ ). De la longitud, por motivos que veremos más adelante, podemos hacer más medidas.
- Medimos la longitud  $l$  del péndulo, esto es, desde el extremo fijo O al centro de masa del portapesas. La masa es la suma de las masas colocadas en el portapesas y el ángulo  $\theta$  lo sustituiremos **por la longitud  $L$  horizontal del portapesas a la vertical del péndulo**.
- Se separa el péndulo de su posición de equilibrio y se deja oscilar libremente, procurando que el movimiento se produzca en un plano. Cuando la oscilación sea de amplitud pequeña, se cronometra la duración  $t$  de 20 oscilaciones **completas** (ida y vuelta). A mayor nº de oscilaciones menos error. El periodo experimental  $T$  vendrá dado por:

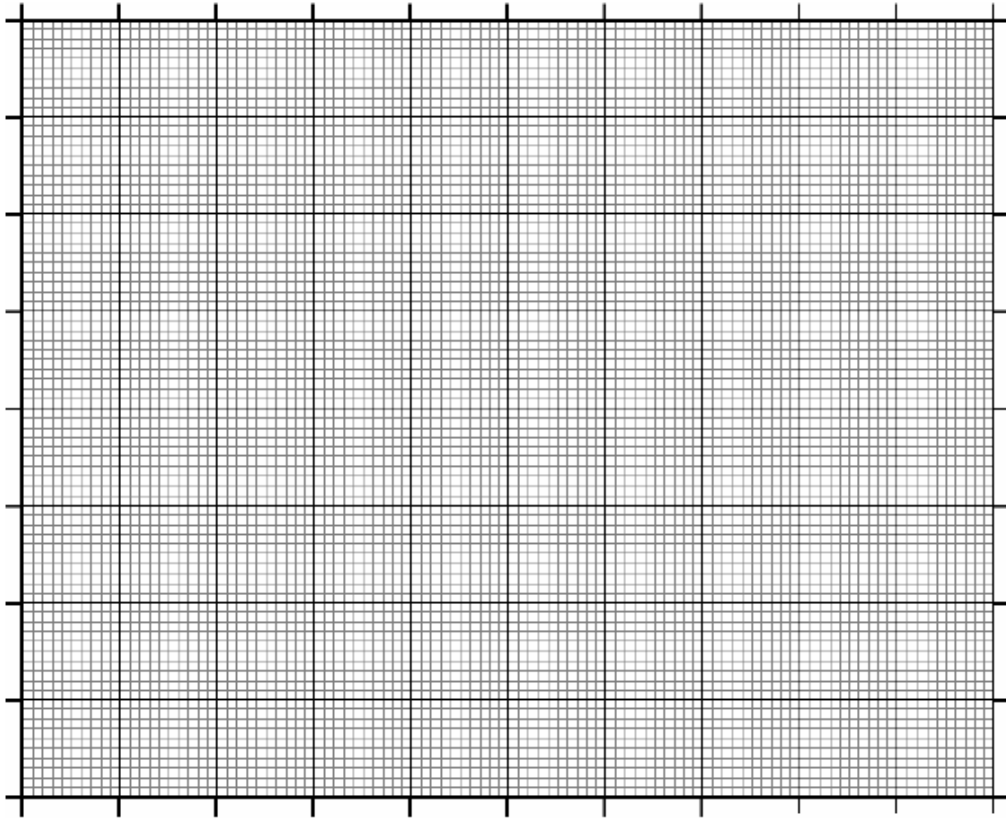
$$T = t/20.$$

- Se realizarán 3 medidas de  $t$  para cada una de las situaciones anteriores, modificando la longitud  $l$  del péndulo y luego realiza la misma operación cambiando la masa y el ángulo. Anota en la tabla adjunta las medidas obtenidas, expresando los valores de  $t$  y de  $L$  que mides.

### DATOS EXPERIMENTALES

Ensayo	Masa	Longitud L	$\Theta$ inicial	Tiempo t (s)	Periodo $T=t/n$ (s)	T (valor medio)
1º						
2º						
3º						
4º						
5º						
6º						
7º						
8º						
9º						
10º						
11º						
12º						
13º						
14º						
15º						
16º						
17º						
18º						
19º						
20º						
21º						
22º						
23º						
24º						
25º						
26º						
27º						

- Comprueba si T depende del ángulo inicial y de la masa como habías sospechado
- Dibuja en el papel milimetrado que se te adjunta una gráfica de  $T^2$  en función de la longitud del péndulo l, en la que se reflejen tus resultados experimentales. Utiliza en la gráfica una escala conveniente y unidades adecuadas en sus ejes.
- Comprueba que tus datos experimentales guardan una relación lineal, ya que teóricamente:  $T^2 = 4\pi^2 L/g$ . Observa si algún punto se desvía de esa tendencia, o si su valor calculado para g difiere considerablemente del resto. Si es así prueba a repetir el experimento para la longitud correspondiente.
- Representa gráficamente, reflejando la escala y las unidades correspondientes, los datos experimentales obtenidos para el cuadrado del período (ordenadas) en función de la longitud del péndulo (abscisas) y calcula la pendiente (p)\*



### Excel:

Si quieres ajustar a una línea recta tus datos por un método de mínimos cuadrados o, simplemente quieres ajustar los datos a una recta y conocer la pendiente y la ordenada en el origen, puedes utilizar el programa Excel, que realiza todos los ajustes de problemas lineales por mínimos cuadrados.

La forma más sencilla es teclear las abscisas, o sea, las X, en una columna y en la columna de la derecha las ordenadas, es decir, las Y. Ahora selecciona ambas columnas y haz clic en el icono de gráfico, o vas al menú insertar y eliges "Gráfico". Ahora, en el asistente de gráfico que has abierto selecciona "Dispersión XY" en "Tipo de gráfico" y a continuación haces clic en "finalizar".

Cuando veas tu gráfico creado como objeto en tu hoja, haz clic con el botón derecho encima de uno de los puntos. Se te abre una ventana de menús. El penúltimo menú es "Agregar línea de tendencia"... A partir de aquí sítete tu mismo... recuerda verificar la casilla para visualizar la ecuación en el gráfico en opciones.

Sí lo que quieres es saber el valor de la pendiente y la ordenada en el origen, puede ser todo mucho más sencillo: Una vez escritos los datos en columnas, suponiendo que son 10 pares de datos y que las X van en la columna A; desde la fila 1 a la 10, y las Y en la B; lo mismo, de la fila 1 a la 10, vete a otra casilla y escribe esto tal cual:  $+pendiente(B1:B10;A1:A10)$ , pulsas Enter y te da el valor de la pendiente. Si escribes:  $+interseccion.eje(B1:B10;A1:A10)$  te da el valor de la ordenada en el origen, teniendo en cuenta los rangos de celdas anteriores.



## PREGUNTAS

1. Como serían entre si los períodos de 2 péndulos cuyas longitudes fuesen una doble de la otra. ¿Qué relación debe haber entre las longitudes para que los períodos sean uno el doble del otro?
2. Cual sería el período de un péndulo situado en el espacio exterior, lejos de cualquier influencia gravitatoria.
3. Si tenemos un péndulo cuyo período es de 1 s y nos lo lleváramos a la luna, donde la gravedad es la quinta parte de la terrestre, cuál sería su período.

Para comprobar los resultados se puede hacer con un péndulo simulado:

<http://exa.unne.edu.ar/fisica/electymagne/TEORIA/dinamica/trabajo/pendulo/pendulo.htm>

[http://www.fisica-quimica-secundaria-bachillerato.es/animaciones-flash-interactivas/mecanica\\_fuerzas\\_gravitacion\\_energia/oscilaciones\\_pendulo\\_simple\\_gravedad\\_p\\_eriado.htm](http://www.fisica-quimica-secundaria-bachillerato.es/animaciones-flash-interactivas/mecanica_fuerzas_gravitacion_energia/oscilaciones_pendulo_simple_gravedad_p_eriado.htm)