Departamento de Física
FÍSICA I A - 62.01

“Calculo de aceleración gravedad con péndulo y medición de constante elástica de un resorte”

Año 2007
Primer Cuatrimestre
Curso Nº 002

Grupo Nº 02
30 de Marzo de 2007

Padrón	Apellido, Nombre	E-mail
88415	MUFFATTI, Lucia	muffalu@hotmail.com
88056	CIAN, Nicolás	nicolascian@hotmail.com
88494	HOOD, Pablo Cristian	hoodpablo@hotmail.com
88174	GRIMMER, Roger Ivan	roger_grimmer@hotmail.com
88729	ARRAZUBIETA, Juan	juanarrazubieta@hotmail.com
--------	HERNANDEZ, Catalina	catalina.hs@gmail.com
88253	PLASTANI, Ignacio	supernp@hotmail.com

CORRECCIONES				APROBACION
1ra		2da		
Entrega	Devolución	Entrega	Devolución	

Resumen

El objetivo de la práctica es determinar la aceleración de la gravedad a través de un péndulo ideal tomando en cuenta su oscilación, longitud y masa. También calcularemos la constante elástica de un resorte basándonos en los cambios de su longitud según la masa proporcionada (método estático) y su periodo de oscilación (método dinámico). Los resultados obtenidos fueron:

Aceleración de la gravedad según péndulo ideal: (9.6 ± 0.3) m/seg^2
Constante elástica del resorte según método estático: (20 ± 1) N/m
Constante elástica del resorte según método dinámico: (22 ± 3) N/m

Introducción teórica

FUERZA

En el universo, los cuerpos interactúan continuamente provocando una variación en sus velocidades con respecto al movimiento. Esta interacción es descripta por la magnitud vectorial Fuerza, definida como masa x aceleración. Es decir, se denomina **fuerza** a cualquier acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo (velocidad constante, 1ra ley de newton). Cada fuerza coexiste junto con otra, de igual modulo, colineales, pero de sentido opuestos; ambas actúan sobre cuerpos distintos y se conocen como par acción-reacción. En un cuerpo podemos diferenciar dos tipos de fuerzas, las de interacción (mg, Fe) o las de vínculo

Fuerza de Vínculo. Es aquella fuerza originaria de los “vínculos” que ejerce el objeto estudiado con otros. Estos vínculos, le generan una “limitación cinemática” al objeto, que plantea una relación entre las coordenadas disminuyendo las variables en estudio. De esta forma la fuerza vinculo determina, limita, especifica la trayectoria del objeto. No es una fuerza conocida directamente, sino será definida a partir del estudio dinámico del objeto

Fuerza de interacción: es aquella que, como dice su nombre aparece de una interacción, pero a diferencia de la fuerza de vínculo, es conocida y definida por de formulas universales (igualdades y proporciones).

PÉNDULO

Un péndulo es un sistema físico ideal constituido por un hilo flexible, inextensible (de masa despreciable), sostenido por su extremo superior de un punto fijo, con una masa puntual en su extremo inferior que oscila libremente en el vacío. Si el movimiento de la masa se mantiene en un plano, se dice que es un *péndulo plano*; en caso contrario, se dice que es un *péndulo esférico*.

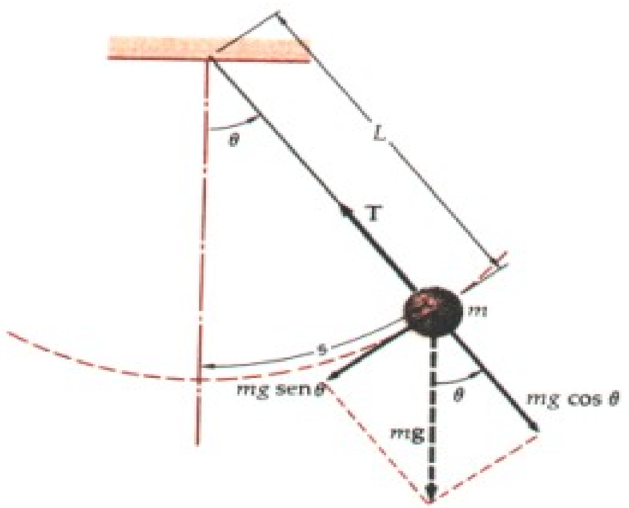
Las fuerzas que actúan sobre la partícula de masa *m* son dos

Una fuerza vertical, el peso *mg*

La acción del hilo, una fuerza en la dirección radial

Descomponemos el peso en la acción simultánea de dos componentes, *mg*·sen*q* en la dirección tangencial y *mg*·cos*q* en la dirección radial.

También existe el péndulo elástico, en el cual el hilo inextensible es reemplazado por un resorte. Esto va a generar una variación en las formula. A continuación están especificadas estas formulas para definir la magnitud de las fuerzas.



Un período (T), el intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo repetitivo. En física período se utiliza para designar el intervalo de tiempo entre dos puntos equivalentes de una onda u oscilación. Con lo que definimos
$T=t/n$

Un péndulo de hilo, analizado dinámicamente, presenta fuerzas las cuales podemos definir a partir del estudio a continuación detallado.

$\varsigma = 0$ (variación con el eje z)
ρ = constante = L
$\theta(t)$

$$\left.\begin{aligned} X &= \rho.\text{sen }\theta.\cos\varsigma \\ Y &= \rho\cos\theta.\text{sen }\varsigma \\ Z &= \rho\text{ sen }\theta.\text{sen }\varsigma \end{aligned}\right\} \varsigma = 0 \Longrightarrow \begin{aligned} X &= \rho.\text{sen }\theta \\ Y &= \rho.\cos\theta \\ Z &= 0 \end{aligned}$$

$-90° \leq \theta \leq 90°$
$\Sigma F = m.\bar{a}$
$F_z = 0$
$Z(t) = 0$ para todo t

$Fv = -Fvx\,\check{\imath} - Fvy\,\hat{\jmath}$
$Fvx = |Fv| . \text{sen }\theta$
$Fvy = |Fv| . \cos\theta$
$mg = -mg\,\hat{\jmath}$

$\beta + \theta = 180°$
$-90° \leq \beta \leq 90°$

$r(t) = X(t)\,\check{\imath} + Y(t)\,\hat{\jmath}$
$\quad = \rho . \text{sen }\theta\,\check{\imath} + \rho . \cos\theta\,\hat{\jmath}$

$\Sigma Fx = m.ax \Longrightarrow - Fvx = m.\frac{d^2x}{dt^2}$

$\Sigma Fy = m.ay \qquad - |Fv| . \text{sen }\theta = m.\frac{d^{2y}}{dt^2}$

$\Downarrow$

$-Fvy - m.g = m.\frac{d^2y}{dt^2}$

$- |Fv| . \cos\theta - m.g = m.\frac{d^2y}{dt^2}$

$$\begin{cases} \text{sen }\beta = \text{sen }\theta \\ \cos\beta = -\cos\theta \end{cases}$$

$\text{sen }\beta \approx \beta - \frac{\beta^3}{3!}$ $\quad E < 10^{-3}$

$\text{Cos }\beta \approx 1 - \frac{\beta^2}{2!}$ $\quad E < 10^{-2}$

$|\beta| \leq 5° \rightarrow |\beta| \leq 0{,}1$ rad (< al 1%)
$\text{sen }\beta \approx \beta$
$\cos\beta \approx 1$

<u>Reemplazamos</u>
$Y = -L . \cos\beta$
$X = L . \text{sen }\beta$
$\underline{d^2y} = (-L).(-\text{ sen }\beta) . \underline{d\,\beta} \rightarrow \underline{d^2y} = (-L)[(-\text{sen }\beta)\,\underline{d^2\,\beta} + (-\cos\beta).\underline{d\,\beta}.\underline{d\,\beta}]$

dt² dt dt² dt² dt dt

$$\frac{dx}{dt} = L.(\cos\beta).\frac{d\beta}{dt} \rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = L\left[(-\text{sen}\,\beta).\frac{d\beta}{dt}.\frac{d\beta}{dt} + (\cos\beta).\frac{d^2\beta}{dt^2}\right]$$

$$-|Fv|\,\beta = m.L.\left[-\beta\frac{(d\beta)^2}{dt^2} + \frac{d^2\beta}{dt^2}\right]$$

$$\underbrace{|Fv| - m.g = m.L\left[\beta.\frac{d^2\beta}{dt^2} + \frac{(d\beta)^2}{dt^2}\right]}_{\text{Si } \beta \rightarrow 0 \quad |Fv| \approx m.g}$$

$$-m.g.\beta = m.L\frac{d^2\beta}{dt^2} \Longrightarrow \frac{d^2\beta}{dt^2} + g/L.\beta = 0$$

$$d^2\beta/dt^2 + \Omega^2.\beta = 0 \rightarrow \Omega^2 = g/L \qquad T = \underline{2\pi/}\Omega = \underline{2\pi}^2\sqrt{l/g}$$

Despejando $T^2 \underline{= 4\pi^2\, l/g}$

RESORTE:

Cuerpo elástico cual sufre una deformación frente a la aplicación de una fuerza en sus extremos. Es un objeto que puede almacenar energía si lo comprimimos o estiramos respecto de su posición en reposo La fuerza elástica (Fe) es aquella que proviene de comprimir o estirar objetos. Fe α Δx (alargamiento)
Fe $(L - L_0)$ = ke (ke=constante elástica, $(L - L_0)$= alargamiento del resorte)

Para un péndulo de resorte en R Fe= $k(L - L_0)$ j
A su vez la segunda ley de newton plantea $\sum F = |m| \times a$

analizando el pendulo, definimos las formulas $\sum Fx = m\, d^2x/dt^2 = 0$ $\sum Fy = m\, d^2y/dt^2$

$\sum Fz = m\, d^2z/dt^2 = 0$ el hecho de que no haya desplazamiento en el eje x y z es una condición de vinculo, que limitó el movimiento solo al eje y
Solo tengo proyección de fuerzas en el eje y
$\sum Fy = Fe - mg = m\, ay$
suplantando $k(L - L_0) = m\, g$ (cuando el resorte se encuentra reposo)
despejando $k = m\, g/(L - L_0)$ Formula del k para el método estático 1

$k(L - L_0) = m\, d^2l/dt^2$ $\quad k\, u = m\, d^2u/dt^2$ $\quad \omega^2 = m/k$ 2

$u = (L - L_0)$ $\quad u = A\cos(\omega)$ $\quad$ Tomo una generalidad de $(L - L_0) = u$
$du/dt = dl/dt$ $\quad du/dt = -A\,\omega\,\text{sen}\,\omega$
$d^2u/dt^2 = d^2l/dt^2$ $\quad d^2u/dt^2 = A\,\omega^2\cos\omega$

de 1 y 2 obtengo $(L - L_0)/g = k/m$ 3

T (período de una oscilación) = tiempo/nro de oscilaciones t/n
particularmente para un movimiento circular $T = 2\pi / \omega$
observando 3 $T^2 = 4\pi^2 m/k$

$\Delta T = \Delta t/n$

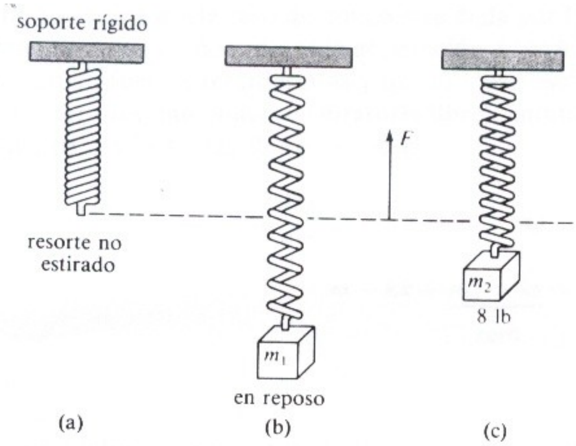


Figura 5.1

Materiales e Instrumentos

En el trabajo de laboratorio se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

1. Calibre (apreciación ± 1/20mm)
2. Regla Milimetrada (apreciación ± 1mm)
3. Cronometro manual (apreciación ± 0.01seg)
4. Balanza Electrónica (apreciación ± 0.5g, pesada mínima 5g)
5. Cinta Métrica (apreciación ± 1mm)
6. Transportador
7. Esfera
8. Hilo
9. Soporte
10. Resorte
11. Juego de masas

Desarrollo

Péndulo Ideal
Como anticipamos anteriormente, la experiencia consistía en determinar la gravedad, desde del estudio del período de un péndulo de hilo. Para ello medimos los períodos de una esfera (de dimensiones conocidas) en el péndulo a 5 longitudes distintas. El periodo se define como T=t/n que a su ves se puede definir como $T=2\pi\sqrt{l/g}$ Esta ultima formula, se considera debido a una amplitud constante (= a la longitud, a lo largo de cada oscilación) y un ángulo de oscilación pequeño (tal que sen $\alpha \approx \alpha$)

Antes de armar nuestro péndulo, definimos las dimensiones de la esfera. Con la balanza electrónica obtuvimos m= (157 ± 0,5) g; luego su diámetro lo definimos con calibre = (3,74 ± 0,02) cm y luego con la regla milimetrada = (4 ± 0,1) cm
Luego, definimos las longitudes del hilo que íbamos a usar en nuestro análisis. Cuales fueron medidas con la cinta métrica y señaladas coloreando el punto del hilo con un marcador. Al marcar las longitudes, tuvimos en cuenta el radio de la esfera (cuyo se involucra en nuestra experiencia porque en el análisis dinámico se considera la esfera como un cuerpo puntual). Las longitudes fueron: 100cm, 80cm, 60cm, 40cm y 20cm

Finalmente, armamos el sistema colgando el hilo desde un soporte (considerado cuerpo de referencia) donde también se ubicaba el transportador, con cual determinar el ángulo de oscilación del hilo.
En el primer caso, atamos el extremo marcado a 100cm en el soporte, y suspendimos la esfera de metal en el otro extremo del hilo.
Trasladamos la esfera de manera tal que formase un ángulo de 10º con el eje del soporte. Soltamos la esfera desde esa posición en cuanto el cronometro comenzó. El cronómetro fue detenido cuando la esfera, a los 100 cm hizo 10 oscilaciones. Consideramos 0,2 seg el error por reacción mano-ojo que en realidad es el Δt

El mismo procedimiento se siguió para las demás oscilaciones. La tabla a continuación describe todos los valores obtenidos.

<u>TABLA 1</u>

Longitud (ΔL = 0.1 cm)	Tiempo 10 osc. (Δt = 0.2 seg)
100 cm	20.0 seg
80 cm	17.8 seg
60 cm	15.9 seg
40 cm	12.9 seg
20 cm	9.3 seg

Ahora con los datos obtenidos definiremos g.
Analíticamente, $T=2\pi\sqrt{l/g}$; despejando $g= 4\pi^2 l/ T^2$ y donde T=t/10

π lo definimos de manera tal que su error sea despreciable y nos permita que E%(g) ≤ 2% , (Ver apéndice 1) para ello utilizamos el mejor π que nos sea posible, esto quiere decir que usamos todos los decimales que nos de la calculadora y así despreciamos el E(π)

entonces usamos $g = (4.(3.141)^2 . L) / T^2$ y hacemos una tablita

TABLA 2

L	L	T	G
100 cm	1.0 m	2 seg	9.87 m/seg^2
80 cm	0.8 m	1.8 seg	9.75 m/seg^2
60 cm	0.6 m	1.6 seg	9.25 m/seg^2
40 cm	0.4 m	1.3 seg	9.34 m/seg^2
20 cm	0.2 m	1.0 seg	7.90 m/seg^2

*redondeamos la gravedad para quedarnos con 2 valores decimales

Para determinar el error de g, vamos a su formula, $g= 4\pi^2 l / T^2$ y propagamos el error (Ver apéndice 1) para así obtener:

$$Erg= Er4+Er\pi^2 +Erl +ErT^2$$

$$\Delta g/g=\Delta l/l+2\Delta T/T$$

Como hemos obtenido valores y errores de periodo relativamente distintos para longitud, para cada gravedad calculada tendremos un error diferente (Ver apéndice 2)
Como 4 es un numero entero, su error es 0, y como utilizamos un mismo π para todas las cuentas; el E(π) siempre es el mismo y es despreciable.

TABLA 3

G	E(L)	E(T)	E(g)	Δg
9.87	0.001	0.01	0.02	0.1
9.75	0.001	0.01	0.02	0.1
9.25	0.002	0.01	0.02	0.1
9.34	0.003	0.02	0.03	0.2
7.90	0.005	0.02	0.04	0.3

*truncamos E(g) para quedarnos con 1 cifra significativa
*truncamos Δg para tener la primera cifra significativa

y usando $\Delta g = E(g) . g$ llenamos la ultima columna

TABLA 4

G	E%(g)
9.87	2 %
9.75	2 %
9.25	2 %
9.34	3 %

También se puede determinar desde la misma formula, g armando un grafico del periodo de oscilación^2 en función de la longitud. Donde el valor de g es función de la pendiente (Var apéndice 5), y su error será $\Delta g = g\,\Delta pendiente/pendiente$

Pendulo Elástico

Método estático

Como primera consigna teníamos que determinar k a partir del estiramiento en función a masas de distintas magnitudes. Donde $K\,\Delta l = m\,g$
El péndulo lo armamos colgando desde el soporte (cuerpo de referencia) un resorte.
Primero colocamos un peso de 10 g y con una cinta métrica, medimos la longitud del resorte con esta carga. De la misma forma repetimos la medición agregando cada vez más masa.
En la tabla 2 aparece la longitud en función de l a masa utilizada

TABLA 5

Masa	Longitud (Ax = 0.1 cm)
10 g	25.2 cm
30 g	26.6 cm
60 g	27.9 cm
110 g	30.0cm
160 g	32.0 cm
700 g	55.5 cm

Para definir k, dijimos que la formula es:

$$k(L_1 - L_0) = m_1\,g$$

donde podemos utilizar una variación como longitud inicial, y donde el valor de la gravedad que utilizamos fue el que obtuvimos en el péndulo de hilo anteriormente explicado

despejando, $$K = \frac{m_2\,g}{(L_2 - L_1)}$$

El error de k la partir de la propagación de errores:

$$Ek = E(m_2) + E(g) + (\Delta L_2 + \Delta L_1)/\,(L_2 - L_1)$$

<u>Método dinámico</u>
Luego definimos a k, a partir del período de oscilación del resorte frente a cargas de diferentes masas. Es el método dinámico donde $T^2=4\pi^2\ m/k$

Para ello, colocamos una masa, marcamos la posición de la masa en reposo respecto al eje del soporte, y luego estiramos el resorte 5 cm. Al comenzar a andar nuestro cronometro soltamos la masa, la cual comenzó a moverse de arriba abajo "periódicamente". De esta forma definimos el tiempo de 10 oscilaciones de las masas. Como lo explicamos anteriormente el error del tiempo es de 0,2 seg
A partir de la experiencia obtuvimos la siguiente tabla.

<u>TABLA 8</u>

Masa	Tiempo 10 osc. ($\Delta x = 0{,}2$)
200 g	6.2 seg
500 g	9.3 seg
100 g	4.1 seg

Como dijimos, $T^2 = \frac{4\pi^2}{K}\ m$

Despejando, $K = \frac{4\pi^2}{T}\ m$

Para definir el error de k, y ya tomamos en cuenta la consideración antes hecha que elegimos el π con una cantidad de decimales para poder despreciar su error y que E4 es 0 nos queda que:

$$Ek = E(m) + 2E(T)$$

Discusión de resultados y conclusiones

Conclusiones del desarrollo del trabajo

idea para reducir errores:

Como se puede observar, en la experiencia utilizamos como medidas de longitud para el péndulo 100 cm, 80cm, 60cm, 40cm y 20cm con $\Delta L = 0,1$ para todas,
Si hubiéramos usado por ejemplo, 80 90 100 110 120 los números darían perfecto, pues el ΔL es el mismo y el E(L) se reduce considerablemente.
Cabe mencionar también que si en lugar de usar 10 oscilaciones, usáramos 15 o 20 tendríamos resultados mucho mas precisos.
Con respecto al ángulo de 10 ° tomado en cuenta en las oscilaciones, si a este lo hubiéramos reducido a 5º el trabajo estaría perfecto.
Otra particularidad que notamos claramente en esta trabajo es la conveniencia de realizar los cálculos utilizando valores mayores que 100 cm. Esto se explica en el valor de E%(g) obtenido utilizando 100 cm como longitud del péndulo, que es del 2%. Por el otro lado, si utilizamos péndulos mas largos, el E(L) disminuye y por tanto también lo hace el E(g) (Ver apéndice 7)

problemas al desarrollo de la practica:

se tiende a confundir mucho "t" tiempo con "T" periodo, habría que usar otras variables para distinguirlos

El valor de g por método gráfico, en sentido físico es $g=(9,6 \pm 0,3)\ m/s^2$

Resultados y conclusiones

Tenemos los siguientes valores para la gravedad:

TABLA 11

Longitud	Gravedad
(1.0 ± 0.001) m	$(9.9 \pm 0.1)\ m/seg^2$
(0.8 ± 0.001) m	$(9.8 \pm 0.1)\ m/seg^2$
(0.6 ± 0.001) m	$(9.3 \pm 0.1)\ m/seg^2$
(0.4 ± 0.001) m	$(9.3 \pm 0.2)\ m/seg^2$
(0.2 ± 0.001) m	$(7.9 \pm 0.3)\ m/seg^2$

GRÁFICO 1

Gráfico de $T^2 = f(L)$

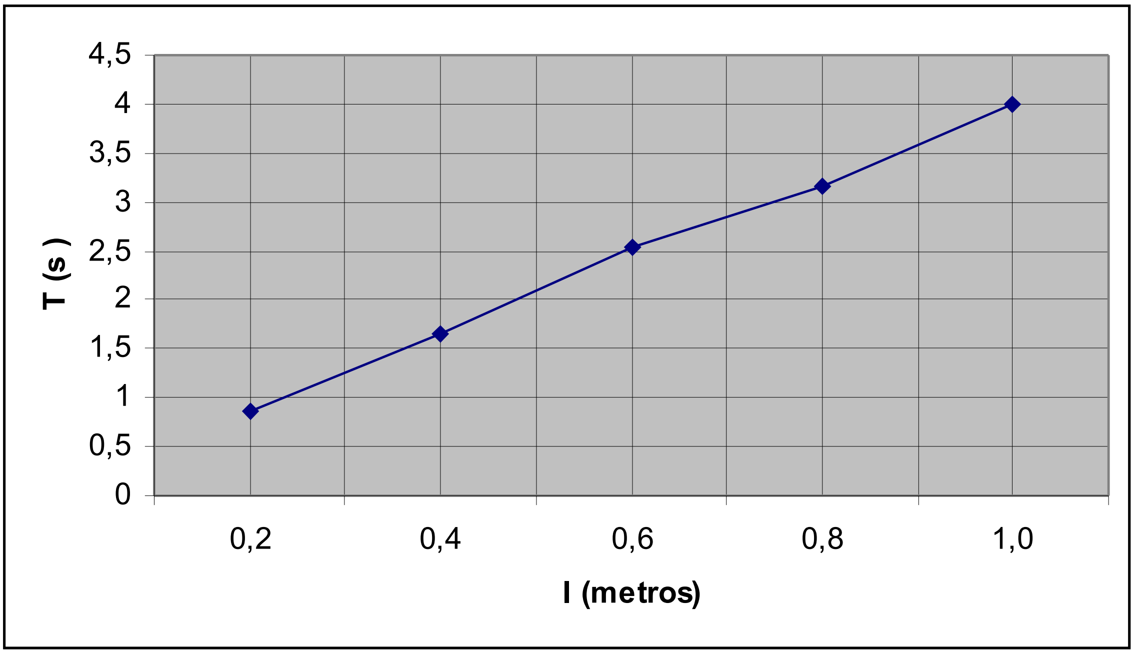
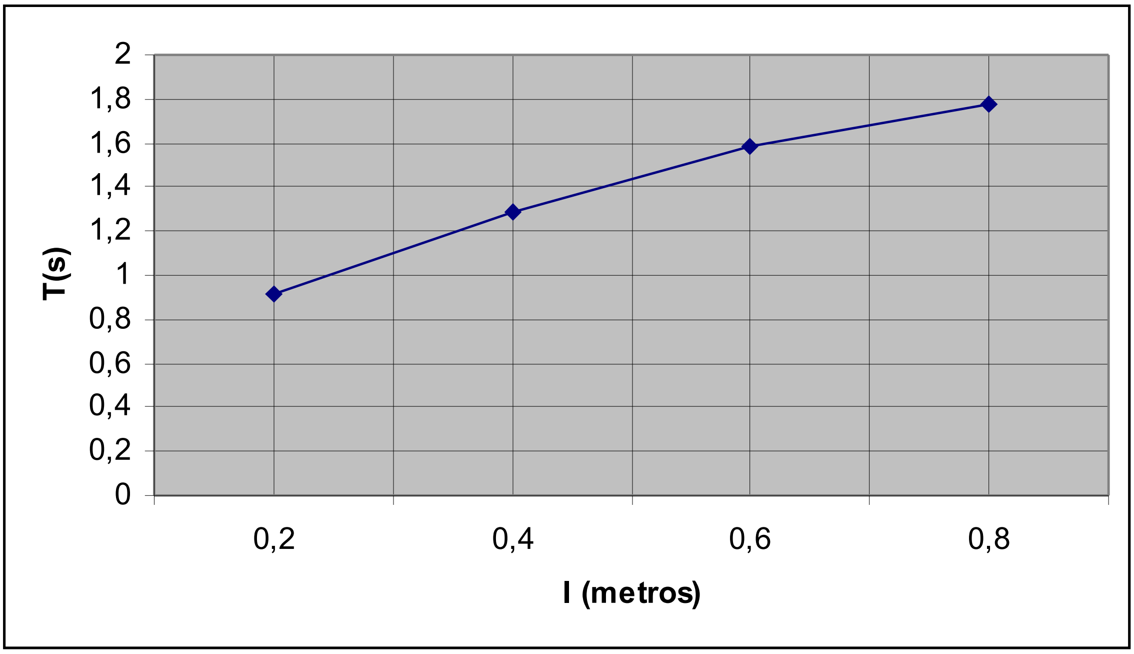


Gráfico de $T = f(L)$



Los resultados obtenidos con los diferentes instrumentos y métodos, fueron los siguientes:

Aceleración de la gravedad con **Péndulo Ideal**

$a = (9.9 \pm 0.1)$ m/seg^2

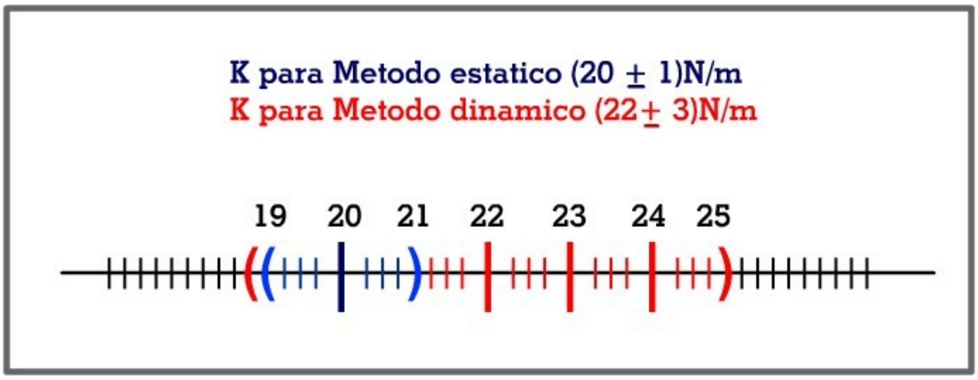
Constante elástica según Método Estático

k = (20 ± 1) N/m

Constante elástica según Método Dinámico

k = (22 ± 3) N/m

Recta representativa. En la recta vemos una intersección de valores por lo tanto se pueden comparar



Apéndice 1
Apéndice del error de π

Valores promedio representativos tomados expresados en magnitudes fisicas.
$L=(0,600 \pm 0,001)m$
$T=(1,51 \pm 0,01)s$
$T^2=(2,43 \pm 0,01)s^2$

$g=4\pi^2 {}^*l/T^2$
$\Delta g=\Delta(4\pi^2 {}^*l/T^2)$

$E(g) = E(4) + 2.E(\pi) + E(L) + 2.E(T)$ E(4) = 0, pues 4 es un numero

$\Delta l= \Delta l/l = 0,001m/0,600m = 0,002$
$2.E(T)=2*0,001 = 0,02$
$E(L) + 2.E(T)= 0,022$
$10\ E(\pi) \leq E(L) + 2.E(T)$
$10\ E(\pi) \leq 0,022$

Si $\pi=3,14$ entonces $10\ E(\pi) \leq 0,022$
Valor de $\pi=3,14$

Debido al numero de oscilaciones tomado no podemos lograr que el error relativo de g sea menor que 2%.

Pi	Δ pi	E(pi)	E%(pi)
3	1	0.3	33 %
3.1	0.1	0.03	3 %
3.14	0.01	0.003	0.3 %
3.141	0.001	0.0003	0.03 %

Apéndice 2

Tablas de Errores

para la **longitud**

L [cm]	ΔL [cm]	E(L)	E%(L)
100	0.1	0.001	0.1 %
80	0.1	0.0013	0.13 %
60	0.1	0.0017	0.17 %
40	0.1	0.0025	0.25 %
20	0.1	0.005	0.5 %

para el **tiempo**

t [seg]	Δt [seg]	E(t)	E%(t)
19.98	0.2	0.01	1 %
17.84	0.2	0.012	1.2 %
15.87	0.2	0.013	1.3 %
12.88	0.2	0.016	1.6 %
9.27	0.2	0.022	2.2 %

para el **periodo**

T = t / 10 (tiempo sobre numero de oscilaciones)

E(T) = E(t / 10)

E(T) = E(t) + E(10) E(10) = 0, pues 10 es un numero

E(T) = At / t

luego ΔT = E(T) . T

t [seg]	T = t / 10 [seg]	ΔT	E(T)	E%(T)
19.98	2	0.02	0.01	1 %
17.84	1.8	0.02	0.012	1.2 %
15.87	1.6	0.02	0.013	1.3 %
12.88	1.3	0.02	0.016	1.6 %
9.27	1	0.02	0.022	2.2 %

Apéndice 3

Cálculo de la constante elástica del resorte según el método estático:

$$k(L_2 - L_1) = m_2\, g \quad \rightarrow \quad k = \frac{m_2\, g}{(L_2 - L_1)}$$

$$\varepsilon\, k = \varepsilon\, \frac{m_2\, g}{(L_2 - L_1)}$$

Tomo: $L_1 = 25{,}2\ cm = 0{,}252\ m$; $m_2 = 100g = 0{,}1\ Kg$; $g = 9{,}6\ m/s^2$;$\Delta g = 0{,}3$
$L_2 = 30\ cm = 0{,}3\ m$

$$k = \frac{0{,}1\ Kg\ .\ 9{,}6\ m/s^2}{(0{,}3\ m - 0{,}252\ m)} \quad \rightarrow \quad k = 20\ N/m$$

$$\varepsilon\, k = \frac{\Delta k}{k} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta k}{k} = \varepsilon\, \frac{m_2\, g}{(L_2 - L_1)}$$

$$\rightarrow \quad \frac{\Delta k}{k} = \varepsilon\, (m_2\, g) + \varepsilon\, (L_2 - L_1)$$

$$\rightarrow \quad \frac{\Delta k}{k} = \varepsilon\, (m_2) + \varepsilon\, (g) + \varepsilon\, (L_2) + \varepsilon\, (L_1)$$

$$\varepsilon\, (m_2) = \frac{\Delta\, m_2}{m_2} = \frac{0{,}0005\ Kg}{0{,}1\ Kg} = 0{,}005$$

$$\varepsilon\, (g) = \frac{\Delta\, g}{g} = \frac{0{,}3\ m/s^2}{9{,}6\ m/s^2} = 0{,}03125$$

$$\varepsilon\, (L_2) = \frac{\Delta\, L_2}{L_2} = \frac{0{,}0001\ m}{0{,}3\ m} = 0{,}000333333$$

$$\varepsilon\, (L_1) = \frac{\Delta\, L_1}{L_1} = \frac{0{,}0001\ m}{0{,}252\ m} = 0{,}000396825$$

$$\rightarrow \quad \frac{\Delta k}{20} = 0{,}005 + 0{,}03125 + 0{,}000333333 + 0{,}000396825$$

$$\Delta k = 0{,}036980158\ .\ 20 \quad \rightarrow \quad \Delta k = 0{,}73960316 \quad \rightarrow \quad \Delta k \approx 1$$

$$k = (20 \pm 1)\ N/m$$

Apéndice 4

Cálculo de la constante elástica del resorte según el método dinámico:

$T^2 = \frac{4\pi^2 m}{k} \longrightarrow k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$ T = t/n

$\varepsilon\, k = \varepsilon \frac{4\pi^2 m}{T^2}$

Tomo: m = 100 g = 0,1 Kg ; t = 4,19 seg ; n = 10 ; $\bar{T}$ = 0,419 seg

$\Delta T = \Delta t/n \longrightarrow \Delta T = 0{,}02$ seg

$\longrightarrow k = \frac{4\pi^2}{(0{,}419\ \text{seg})^2}\, 0{,}1\ \text{Kg} \longrightarrow k = 22{,}4642147 \longrightarrow k \approx 22$ N/m

$\varepsilon\, k = \varepsilon \frac{4\pi^2 m}{T^2} = \frac{\Delta k}{k}$

$\longrightarrow \frac{\Delta k}{k} = \varepsilon\,(4\pi^2 m) + \varepsilon\,(T^2)$

$\longrightarrow \frac{\Delta k}{k} = \varepsilon\,(4) + \varepsilon\,(\pi^2) + \varepsilon\,(m) + \varepsilon\,(T^2)$

$\longrightarrow \frac{\Delta k}{k} = \cancel{\varepsilon\,(4)} + \cancel{2\varepsilon\,(\pi)} + \varepsilon\,(m) + 2\varepsilon\,(T)$

$\longrightarrow \frac{\Delta k}{k} = \varepsilon\,(m) + 2\varepsilon\,(T)$

$\varepsilon\,(m) = \frac{\Delta m}{m} = \frac{0{,}0005\ \text{Kg}}{0{,}1\ \text{Kg}} = 0{,}005$

$\varepsilon\,(T) = \frac{\Delta T}{T} = \frac{0{,}02\ \text{seg}}{0{,}419\ \text{seg}} = 0{,}047732696 \longrightarrow 2\varepsilon\,(T) = 0{,}095465393$

$\frac{\Delta k}{22} = 0{,}005 + 0{,}095465393 \longrightarrow \Delta k = 0{,}100465393 \cdot 22$

$\longrightarrow \Delta k = 2{,}210238663 \longrightarrow \Delta k \approx 3$

$k = (22 \pm 3)$ N/m

Apéndice 5

Calculo de G por método grafico.

Pte=pendiente.

pte=pmax+pmin/2
$pmax=1{,}70s^2/0{,}401\ m = 4{,}24\ s^2/m$
$pmin=1{,}60s^2/0{,}401\ m = 4{,}00\ s^2/m$

$pte= 4{,}24+4{,}00/2=4{,}12\ s^2/m$

$pte=4\pi^{2\ *}l/g$
$4{,}12=4\pi^{2*}\ l/g$

Δpte= pmax-pmin/2
$\Delta pte= 4{,}24-4{,}00/2=0{,}12\ s^2/m$

Δg/g=Δpte/pte
$\Delta g=g^{*}(\Delta pte/pte)$

$g=4*(3{,}14^2)/4{,}12\ s^2$
$\Delta g=n/s^2 9{,}57*(0{,}12/4{,}12)=0{,}28\ n/s^2$

$g=(9{,}6+0{,}3)\ n/s^2$

Tabla

L	Δl	t	Δt	T(t/n)	ΔT	g	Δg	T2(Cuadrado)	Δt2(Cuadrado)
1,000 m	0,001 m	20	0,2	2,00	0,02	9,85	0,28	4	0,02
0,800 m	0,001 m	17,8	0,2	1,78	0,02	9,95	0,28	3,17	0,02
0,600 m	0,001 m	15,9	0,2	1,59	0,02	9,35	0,28	2,53	0,02
0,400 m	0,001 m	12,9	0,2	1,29	0,03	9,50	0,28	1,66	0,04
0,200 m	0,001 m	9,2	0,2	0,92	0,02	9,27	0,28	0,85	0,04

Apéndice 7

Determinar el n para lograr el error de g<2%

Nuestro error de g dio = 3%. Entonces para lograr disminuirlo a un error menorde 2%, $\varepsilon(g)=0,02$

Según la formula de g y su error:

$\varepsilon(g) = \varepsilon(L) + 2\varepsilon(T)$ Despreciando $\varepsilon(pi)$

$\frac{\varepsilon(g) - \varepsilon(L)}{2} = \frac{\Delta t}{T}$ $T = \frac{t}{n}$

$\frac{0,02 - 0,002.[s]}{2} = \frac{\Delta t}{n}$ 0,047732696 $\rightarrow$ $2\varepsilon(T) = 0,095465393$

$n > \frac{0,2}{0,01} = 14,72$

T = 1,51 (por promedio)

n nos dio un número no entero, por lo tanto lo redondeamos a n=15. Entonces el error de g será menor al 2% para todo n mayor a 15 oscilaciones.

Bibliografía

Baird. *Experimentación, una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*. México. Prentice Hall Iberoamericana.1991

Alonso, M y Finn, E. *Física vol.1*. México. Addison-Wesley Iberoamericana.1986.

Castiglioni-Perazzo-Rela. *Física 1*. Buenos Aires. Ed. Troquel.1981.

Sears. Zemansky. Young. *Física Univesitaria.* Estados Unidos. Addison-Wesley Iberoamericana.1988.

Sergio, Rossi. *Medición, incertidumbre y cifras significativas*. http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcifrsig.pdf. 2007. 21 de marzo.

Apunte para el laboratorio. Física 62.01 *"Introducción teórica."*

http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/fisica/electymagne/TEORIA/dinamica/trabajo/pendulo/pendulo.htm

http://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9ndulo

http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerzas