



Código

**EXAMEN EXPERIMENTAL:**

**ANÁLISIS DE UN SISTEMA OSCILATORIO TUBO-RESORTE**

**EN ESTE TEXTO SE UTILIZA EL PUNTO COMO SEPARADOR DECIMAL.**

**EXPRESA SUS RESULTADOS EN UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL**

**LAS HOJAS CON LA LETRA “E” SON LAS QUE PLANTEAN LAS TAREAS EXPERIMENTALES.**

**LAS HOJAS CON LA LETRA “W” SON EN LAS QUE ESCRIBIRÁ SUS TABLAS DE MEDICIONES, SUS CÁLCULOS Y SUS GRÁFICOS.**

- **EN LA HOJA W-2 SE MUESTRA UN ESQUEMA CON TODOS LOS INSTRUMENTOS QUE SE USARÁN EN EL EXPERIMENTO.**
- **EN LA HOJA W-2a SE MUESTRAN FOTOS DE TODOS LOS INSTRUMENTOS QUE SE USARÁN EN EL EXPERIMENTO.**
- **EN LA HOJA W-3 ANOTARÁ LAS MEDICIONES GENERALES QUE SE INDICAN AHÍ.**
- **EN LA HOJA W-4 ANOTARÁ TODOS LOS RESULTADOS FUNDAMENTALES DE SUS CÁLCULOS, SEGÚN SE VAYA INDICANDO.**



### **INTRODUCCIÓN:**

Las oscilaciones de los sólidos (péndulos, resortes, acoplamiento péndulo-resorte) permiten analizar diversas propiedades de los mismos: masa, momentos de inercia, frecuencias propias, modos resonantes y otras.

Las oscilaciones de los resortes se estudian casi siempre modelando resortes sin masa y sin momento de inercia, pero en este experimento, el resorte no es de masa despreciable por lo que aporta inercia a su oscilación, y aporta también momento de inercia al sistema oscilante tubo-resorte que se analizará. Además, se trabajará un resorte cónico compacto que obedece la Ley de Hooke, solo si se le cuelga cierta masa.

En este experimento se medirá, por una parte, la masa equivalente de un resorte que oscila verticalmente. Por otra parte, se medirán los momentos de inercia de un tubo que oscila como péndulo respecto a un eje. Finalmente se medirán el momento de inercia y la constante de amortiguamiento de las oscilaciones del tubo acoplado al resorte.

SI LA HOJA DE CADA TAREA NO LE ES SUFICIENTE PARA REALIZAR TODOS LOS CÁLCULOS INTERMEDIOS, PUEDE USAR TAMBIEN LAS HOJAS MARCADAS COMO “W- ”, AGREGANDO A LA “W- ” LA NUMERACIÓN DE LA TAREA QUE LE CORRESPONDA (SE INDICARÁ EN CADA TAREA).



**TAREA 1- (2.0 puntos)**

El primer objetivo es determinar la constante elástica  $k$  de un resorte cónico descompactado por el peso de una masa acoplada de 200 g, ( $m_{ac} = 200$  g), que usted considerará como parte intrínseca del resorte. (El papel de la masa acoplada es estirar el resorte hasta la zona en que satisface la ley de Hooke).

Realice el montaje de la Fig. 2. Note que la parte superior del resorte debe ser la de menor radio. Determine  $k$  por un método estático (sin oscilaciones) utilizando las pesas disponibles de masa  $m_p$ .

Utilice el valor local de la aceleración gravitatoria  $g = 9.78$  m/s<sup>2</sup>.

Utilice la hoja W-5a. Si añade hojas extras, márkuelas como W-5b, W5c, etc.

Indique el valor de  $k$  en la hoja W-4.

No determine la incertidumbre de  $k$  en esta Tarea.

**TAREA 2- (5.5 puntos)**

El sistema formado por el resorte cónico y la masa acoplada oscila de manera equivalente a una partícula colgada de un resorte ideal (sin masa) de constante elástica  $k$ . La masa de la partícula se denomina *masa equivalente*  $m_{eq}$  del sistema.

El objetivo de esta tarea es determinar dicha *masa equivalente*. Para ello emplee el método de oscilaciones verticales.

A partir de las mediciones que realice determine el valor de la *masa equivalente*  $m_{eq}$  del resorte descompactado y nuevamente el valor de  $k$ . Tenga en cuenta que el periodo  $T$  para el sistema masa-resorte es:  $T = 2\pi \sqrt{m/k}$ , donde  $m = m_{eq} + m_p$ .

Utilice la hoja W-6a. **Si añade hojas extras, márkuelas como W-6b, W-6c, etc.**

Indique los valores de  $k$  y  $m_{eq}$  con sus incertidumbres en la hoja W-4.

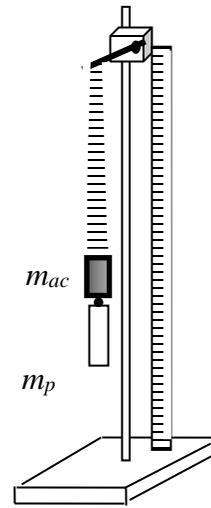


Fig. 2

TAREA 3- (3.0 puntos)

El objetivo de esta tarea es medir el momento de inercia principal  $I_{yy}$  respecto al eje  $y$  que pasa por el centro de masa del tubo (Fig. 3) empleando **métodos oscilatorios**. El tubo puede realizar oscilaciones como péndulo respecto a diferentes ejes. La relación entre el período  $T$  del péndulo y su momento de inercia  $I$  respecto al eje de suspensión es:

$$2\pi/T = \sqrt{mgh/I},$$

donde  $h$  es la distancia del punto de suspensión al centro de masa.

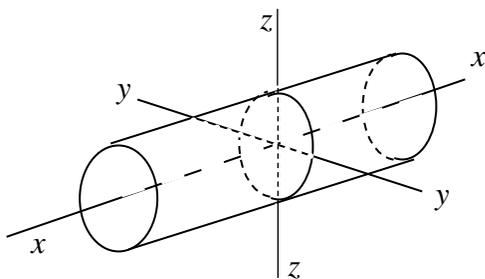


Fig. 3

La Fig. 3 muestra tres ejes principales. Se quiere medir solamente el momento de inercia  $I_{yy}$  respecto al eje  $yy$ .

Usted dispone de varillas y soportes para poder hacer las mediciones que le permitirán calcular el momento de inercia, aprovechando las oscilaciones del tubo como péndulo colgado del eje  $y'y'$ , **paralelo** al eje principal  $yy$  (Fig. 4).

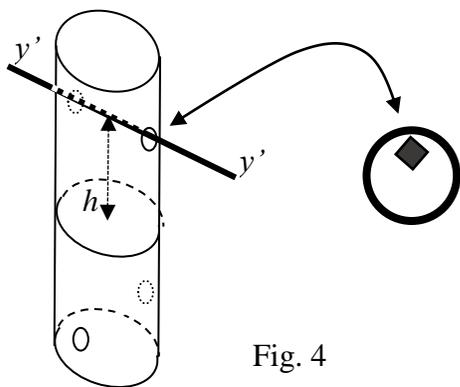


Fig. 4

Después de medir  $I_{yy'}$  calcule el momento principal  $I_{yy}$ . La Fig. 4 muestra como colocar el eje  $y'y'$ .

Utilice la hoja W-7a para realizar sus cálculos. Puede agregar hojas, numerándolas como ya se ha indicado.

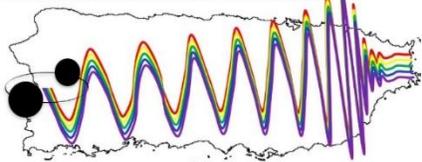
En la hoja W-3 indique el radio externo promedio,  $R_e$ , el radio interno promedio,  $R_i$  y la longitud  $L$  del tubo con el estimado de sus incertidumbres.

El tubo tiene dos agujeros  $y'y'$  cerca un extremo por donde puede insertarse la varilla horizontal de sección cuadrada como eje de suspensión del péndulo. Sea cuidadoso con el montaje del eje-varilla: su horizontalidad, firmeza de los puntos de suspensión, superficies de contacto mínimas con los ejes, etc. La masa del tubo  $m_t$  aparece en una tarjeta ligada al tubo, que usted desprenderá después de anotar su valor con su incertidumbre en la hoja W-3.

Compare su resultado experimental de  $I_{yy}$  con el que se obtiene de la teoría:

$$I_{yy\text{ teor}} = (m_t/4)[R_i^2 + R_e^2 + L^2/3].$$

Indique el valor experimental de  $I_{yy}$  con su incertidumbre, el valor  $I_{yy}$  sin su incertidumbre,  $I_{yy\text{ teor}}$  sin incertidumbre y el error porcentual entre  $I_{yy}$  e  $I_{yy\text{ teor}}$  en la hoja W-4.



TAREA 4- (5.0 puntos)

Monte el tubo acoplado al resorte vertical descompactado (resorte + masa acoplada) como muestra la Fig. 5, de modo que el tubo quede horizontal. Para el acople del resorte con el tubo mire la Fig.2 de la página W-2.

El momento de inercia de rotación del sistema montado en la Fig. 5 está afectado ahora tanto por la masa del tubo como por la del resorte, la cual se puede modelar como una partícula acoplada al tubo; el aporte del resorte al momento de inercia del sistema lo llamaremos *momento de inercia equivalente del resorte*,  $I_{eq}$ .

El objetivo de esta tarea es calcular este momento de inercia equivalente,  $I_{eq}$ , cuando oscila acoplado al tubo, respecto al eje  $y'y'$  horizontal que pasa cerca de un extremo. A partir del valor que usted determine experimentalmente para el momento de inercia del sistema tubo-resorte,  $I_{t-r}$ , debe calcular *el momento de inercia equivalente*  $I_{eq}$  del resorte.

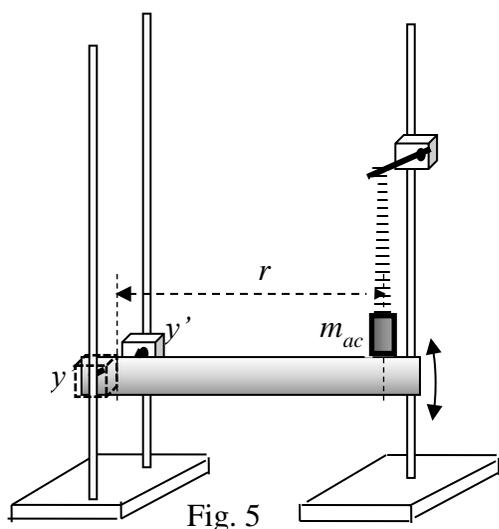


Fig. 5

Mida el período de oscilaciones varias veces y calcule el momento de inercia del sistema,  $I_{t-r}$ , respecto al eje  $y'y'$ .

Para calcular este valor  $I_{t-r}$  tenga en cuenta que el período de oscilaciones obedece la relación:

$$2\pi/T = \sqrt{kr^2/I_{t-r}},$$

donde  $r$  es aproximadamente la distancia entre el eje de oscilación y el punto de acoplamiento del resorte.

A partir de esta  $I_{t-r}$  calcule la  $I_{eq}$  del resorte, teniendo en cuenta el carácter aditivo del momento de inercia:  $I_{t-r} = I_{yy'} + I_{eq}$ .

Por otra parte, calcule el valor  $I' = m_{eq} r^2$ . Esta  $I'$  será el valor teórico del momento de inercia del resorte asumiendo que se comporta como una partícula colocada en el punto de acoplamiento del resorte.

Dentro del margen de los errores experimentales que usted deberá calcular: ¿se puede concluir que  $I' = I_{eq}$  para su resorte descompactado, o son parámetros independientes en los modelos teóricos de las oscilaciones cuerpo-resorte y de las oscilaciones de una barra pendular horizontal? Escriba sus respuestas en la hoja W-9a.

Utilice la hoja W-9a para sus mediciones y cálculos (y las que añada, bien numeradas).

Indique el valor de  $I_{eq}$  y el de  $I'$ , con sus incertidumbres (así como su conclusión sobre si pueden considerarse iguales o no) en la hoja W-4.

**ATENCIÓN:** El radio de los agujeros por donde pasa el eje  $y'y'$  es tan pequeño comparado con el largo del tubo que, en primera aproximación, puede considerar que el momento de inercia  $I_{y'y'}$  es prácticamente el mismo cuando el eje  $y'y'$  sostenga al tubo por uno u otro punto del borde de los agujeros, como en las Figuras 4 y 5. La diferencia entre uno y otro valor es del orden del 1%.



**TAREA 5- (3.5 puntos)**

El quinto y último objetivo es calcular el factor de amortiguamiento exponencial de las oscilaciones del sistema tubo-resorte, con un montaje como el de la Fig. 6. (Coloque el “indicador” I en el extremo del tubo usando un pedazo de cinta adhesiva).

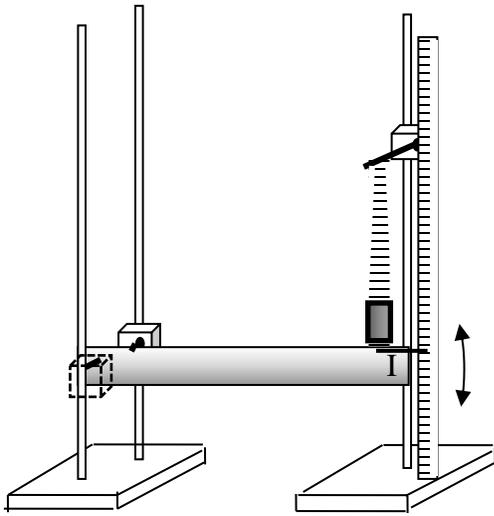


Fig. 6

Con este montaje, haga mediciones de la amplitud de oscilaciones del extremo libre de la barra desde 8.0 cm de amplitud hasta 4.0 cm de amplitud, anotando qué tiempo demora en reducir su amplitud, de 8 cm a 7 cm, de 8 a 6, de 8 a 5, de 8 a 4. Repita varias veces las mediciones de tiempo con los mismos intervalos.

Haga una tabla de amplitudes  $A$  y tiempos  $t$ , y determine gráficamente el valor de  $\lambda$ , asumiendo que la amplitud decrece aproximadamente por una ley del tipo  $A = A_0 e^{-\lambda t}$ .

No se pide la incertidumbre de  $\lambda$ .

Incluya la tabla de valores y su gráfico experimental en la hoja W-10a.

Indique el valor de  $\lambda$  en la hoja W-4.

**Lista de valores en la hoja W-3 (1.0 punto)**



**Prueba  
Experimental**  
(en castellano)

**W-1**

## **AVISO**

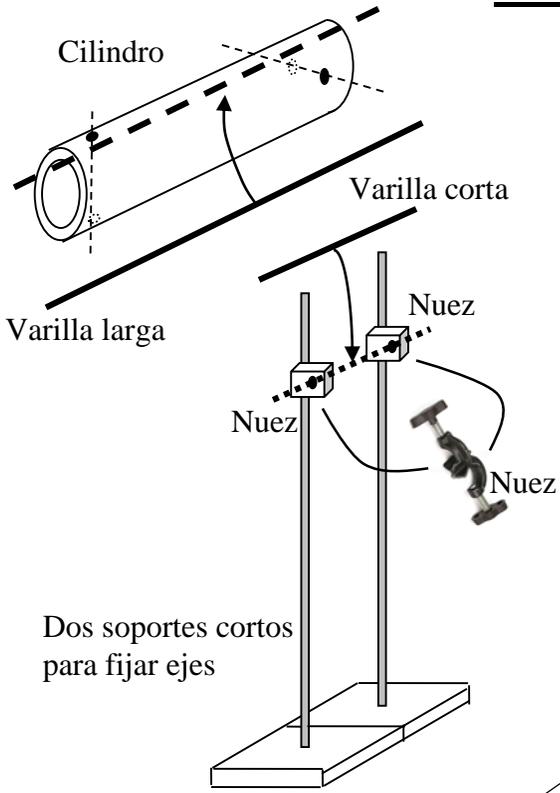
**HAGA PRIMERO TODAS SUS MEDICIONES, GRÁFICOS Y CÁLCULOS DE LAS CANTIDADES QUE SE PIDEN, Y SOLAMENTE AL FINAL PASE A LOS CÁLCULOS DE ERRORES (O INCERTIDUMBRES) QUE SE SOLICITAN.**

**EL MANEJO DE ERRORES ES IMPORTANTE Y CONSTITUYE UNA PARTE DE LA EVALUACIÓN, PERO PRIORIZAREMOS LA HABILIDAD EXPERIMENTAL PARA OBTENER DATOS CORRECTOS, LA CONSTRUCCIÓN CORRECTA DE GRÁFICOS Y EL MANEJO MATEMÁTICO DE ESOS DATOS PARA CALCULAR CANTIDADES FÍSICAS.**

**AL FINAL HAY HOJAS EXTRAS PARA CÁLCULOS, DE SER NECESARIO. SI EN UNA TAREA, DIGAMOS LA TAREA 4, USA HOJAS DE CÁLCULOS EXTRAS, NUMÉRELAS EN LA ESQUINA SUPERIOR DERECHA: W-4b, W-4c, ETC. , Y COLÓQUELAS A CONTINUACIÓN DE LA W-4a.**



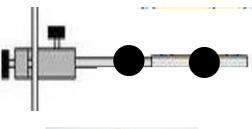
**MATERIALES:**



Cronómetro 

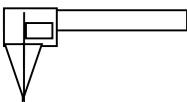
Nivel de burbujar 

Masa de 200 g 

Sostén S de regla y resorte 

Clip de presión para fijar la regla al sostén S 

Soporte largo para colgar el resorte

Vernier 

Resorte cónico que cuelga del sostén S 

Portapesas y pesas 

Pedazo de tape 

Alambre Indicador 

Regla 

Fig. 1

Enganche Metálico 

Cómo usar el Enganche Metálico para acoplar el tubo y el resorte

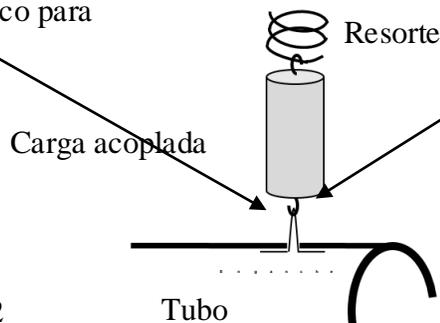
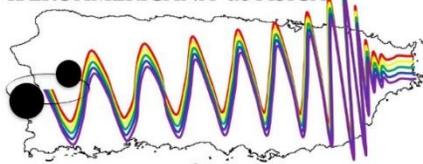


Fig. 2

**XXIII** Olimpiada  
IBEROAMERICANA de FÍSICA



**Puerto Rico 2018**

**Prueba  
Experimental**

(en castellano)

**W-2a**



Cilindro



Resorte cónico



Dos soportes cortos  
para fijar ejes



Soporte largo para  
colgar el resorte



Varilla larga



Varilla corta



Nueces



Masa de 200 g



Sostén S de  
regla y resorte



Nivel  
de  
burbujas



Cinta  
adhesiva



Portamasas  
y masas



Vernier



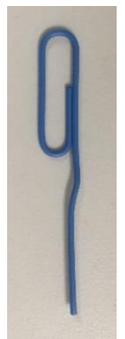
Cronómetro



Enganche  
Metálico



Clip de presión  
para fijar la regla  
al sostén S



Alambre  
Indicador



RESULTADOS A REPORTAR

(HOJA DE COTEJO FINAL)

**TAREA 1-**

$$k = \underline{\quad 9.2 \text{ N/m} \quad}$$

**TAREA 2-**

$$k = \underline{\quad 9.2 \text{ N/m} \quad}$$

$$\delta k = \underline{\quad \pm 0.3 \text{ N/m} \quad}$$

$$m_{eq} = \underline{\quad 0.23 \text{ kg} \quad}$$

$$\delta m_{eq} = \underline{\quad \pm 0.02 \text{ kg} \quad}$$

**TAREA 3**

$$I_{x'x'} = \underline{\quad 0.001166 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$I_{xx} = \underline{\quad 0.00058 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$I_{xx,teor} = \underline{\quad 0.0057 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$Dif(\%)_{exp-teor} \text{ entre } I_{xx} \text{ e } I_{xx,teor} = \underline{\quad 1.7\% \quad}$$

$$I_{y'y'} = \underline{\quad 0.0197 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$\delta_{y'y'} = \underline{\quad 0.0003 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$I_{yy} = \underline{\quad 0.0072 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$I_{yy,teor} = \underline{\quad 0.0066 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$Dif(\%)_{exp-teor} \text{ entre } I_{yy} \text{ e } I_{yy,teor} = \underline{\quad 9\% \quad}$$

**TAREA 4-**

$$I_{t-r} = \underline{\quad 0.0534 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$I_{eq} = \underline{\quad 0.034 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$\delta I_{eq} = \underline{\quad 0.004 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$I' = \underline{\quad 0.0373 \text{ kg m}^2 \quad}$$

$$\delta I' = \underline{\quad 0.0005 \text{ kg m}^2 \quad}$$

**TAREA 5-**

$$\lambda = \underline{\quad 0.020 \text{ s}^{-1} \quad}$$

De acuerdo con sus resultados, ¿puede considerar  $I_{eq} = I'$ ?

SON IGUALES: SUS INCERTIDUMBRES SE SOLAPAN



**Prueba  
Experimental**  
(en castellano)

**W-4**

**HOJA DE DATOS; INCLUYA LA INCERTIDUMBRE DE CADA UNO.**

Masa  $m_r$  del resorte:  $0.101 \pm 0.001$  kg

Masa  $m_t$  del tubo:  $0.304 \pm 0.001$  kg

Longitud  $L$  del tubo:  $0.500 \pm 0.001$  m

Diámetro externo  $D_e$  del tubo: (0.088 y 0.090):  $0.089 \pm 0.001$  m

Diámetro interno  $D_i$  del tubo: (0.086 y 0.087):  $0.086 \pm 0.001$  m

Radio externo  $R_e$  del tubo:  $0.0445 \pm 0.0005$  m

Radio interno  $R_i$  del tubo:  $0.0435 \pm 0.0005$  m

Diámetro  $d$  de los orificios laterales:  $0.007 \pm 0.001$  m

Distancia  $s$  del borde del tubo al borde más cercano de un orificio lateral:  $0.048 \pm 0.001$  m

Distancia  $l$  del borde del tubo al centro del orificio lateral más próximo:  $0.050 \pm 0.001$  m

Distancia  $r$  del eje  $y'y'$  al eje  $z'z'$  (Fig. 4):  $0.407 \pm 0.001$  m

Distancia  $h$  del eje  $y'y'$  al centro del tubo:  $0.200 \pm 0.001$  m

(Si alguna de estas distancias requiere de varias mediciones, estime su error aleatorio)

EN LAS TABLAS DE MEDICIONES QUE SE INCLUYEN EN CADA TAREA NO TIENE QUE LLENAR TODAS LAS FILAS Y COLUMNAS QUE APARECEN: USE SOLAMENTE LAS QUE ESTIME NECESARIAS.



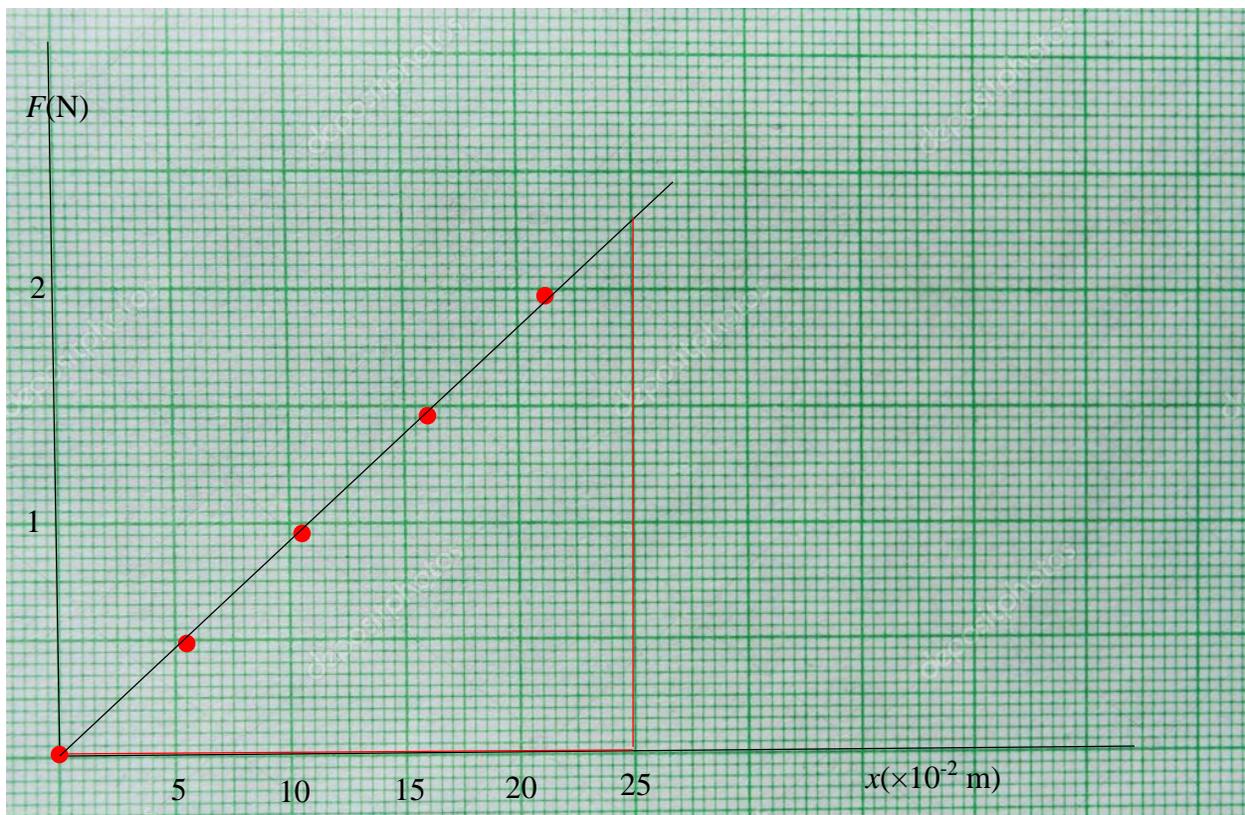
**Puerto Rico 2018**

**TAREA 1-**

**Medida de  $k$  (método estático):**

$m(\text{g})$	$x(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm})$	$mg(\text{N})$			
0	41.6	0	0			
50	46.7	5.1	0.484			
100	52.1	10.5	0.979			
150	57.5	15.9	1.457			
200	62.9	21.2	1.957			

**GRÁFICO: (1)**



$k = \Delta F / \Delta x = 2.3 / (25 \times 10^{-2}) = 9.2 \text{ N/m}$

..... **$k : (0.5)$**

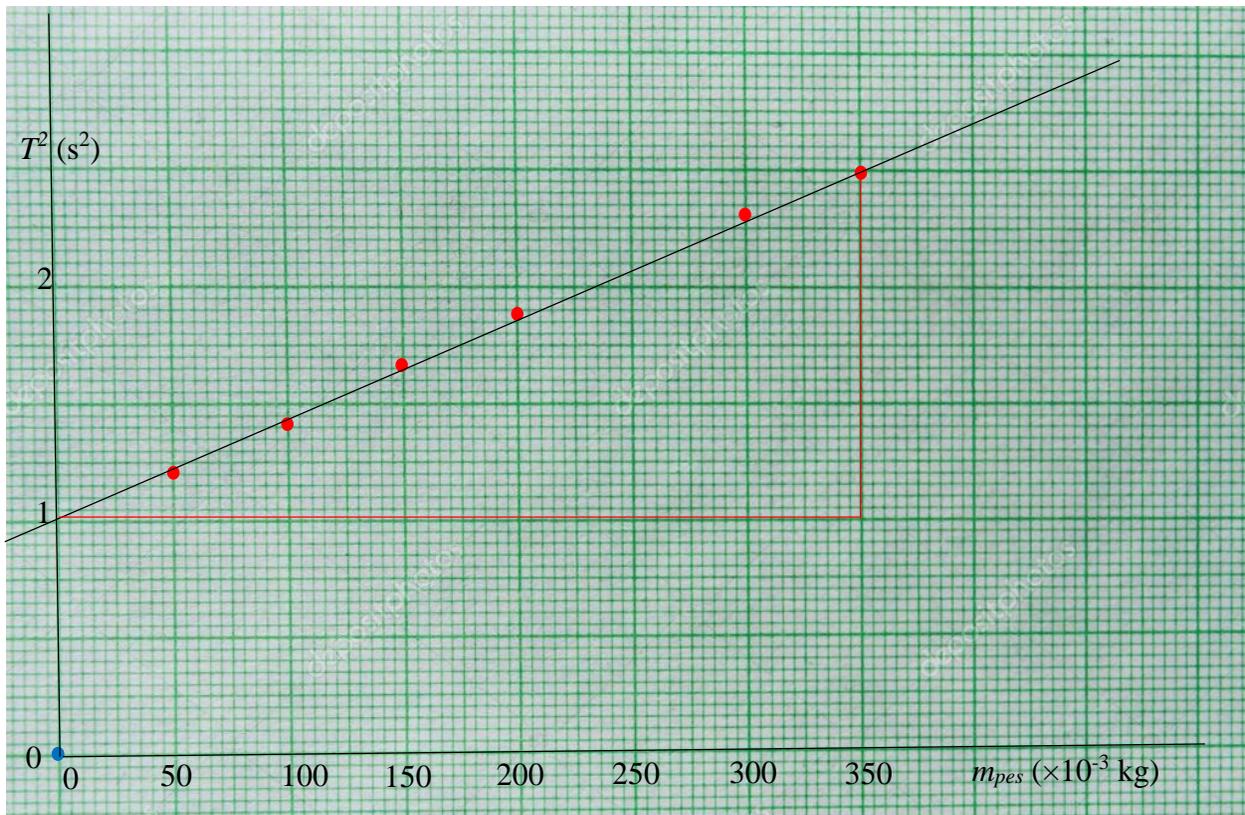


Puerto Rico 2018

TAREA 2-

Medida de  $m_{eq}$  y  $k$  (método dinámico): (Tiempo  $t$  de 10 oscilaciones)

$m$ (g)	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_{avg}$ (s)	$T$ (s)	$T^2$ (s <sup>2</sup> )
50	10.97	11.00	10.94	10.97	1.097	1.203
100	11.97	12.03	11.97	11.99	1.999	1.438
150	12.93	12.94	12.96	12.94	1.294	1.674
200	13.72	13.69	13.62	13.68	1.368	1.871
300	15.28	15.21	15.28	15.26	1.526	2.327
350	15.81	15.81	15.84	15.82	1.582	2.503



$$2\pi/T = [k/m]^{1/2} = [k/(m_{pes} + m_{eq})]^{1/2}$$

$$T^2 = (4\pi^2/k) m_{pes} + (4\pi^2/k) m_{eq}$$

$$\text{Pendiente} = (2.5 - 1.0) / (0.350 - 0) = 4.286 = 4\pi^2/k ; k = 9.21 \text{ N/m}$$

$$\text{Intercepto} = 1.00 = (4\pi^2/k) m_{eq} ; m_{eq} = 0.233 \text{ kg}$$

Por propagación de errores (de las escalas gráficas):

$$\delta k = k [\delta m_{pes}/\Delta m_{pes} + \delta T^2/\Delta T^2] = 9.2(2/350 + 0.05/2.5) \approx 0.3 \text{ N/m}$$

$$\delta m_{eq} = m_{eq} [\delta k/k + \delta T^2/\text{interc}] = 0.233(0.3/9.2 + 0.05/1.0) \approx 0.02 \text{ kg}$$



**TAREA 3-**

Medida de  $I_{yy}$ : (Medidas de  $t$  en 10 oscilaciones)

$t$ (s)	$T$ (s)					
11.31	1.131					
11.35	1.135					
11.34	1.134					
11.32	1.132					
11.36	1.136					
			$T_{avg}$ (s)	$\delta T_{avg}$ (s)		
			1.134	$\pm 0.003$		

$$I_{y'y'} = mghT^2/(4\pi^2) = 0.304 \times 9.786 \times 0.203 \times 1.134^2 / (4\pi^2) = 0.0197 \text{ kg m}^2 \quad (h = 0.200 + 0.003 \text{ m})$$

$$I_{yy} = I_{y'y'} - mh^2 = 0.0197 - 0.304 \times 0.203^2 = 0.0072 \text{ kg m}^2 \approx 0.007 \text{ kg m}^2$$

$$I_{yy \text{ teor}} = 1/4 m(R_e^2 + R_i^2 + L^2/2) = 0.25 \times 0.304(0.044^2 + 0.043^2 + 0.500^2/3)$$

$$I_{yy \text{ teor}} = 0.0066 \text{ kg m}^2 \approx 0.007 \text{ kg m}^2$$

$$\delta I_{y'y'} = I_{y'y'} (\delta m/m + \delta g/g + \delta h/h + 2\delta T/T) =$$

$$= 0.0194(0.001/0.304 + 0 + 0.001/0.203 + 2 \times 0.003/1.134) = 0.0003 \text{ kg m}^2$$

$$Dif(\%) = (6/66) \times 100 = 9\%$$



TAREA 4-

Medida de  $I_{eq}$ : (Medidas de  $t$  en 10 oscilaciones)

$t$ (s)	$T$ (s)				$\delta T_{avg}$ (s)		
12.10	1.210						
11.88	1.188						
12.00	1.200						
11.91	1.191						
11.97	1.197						
				$T_{avg}$ (s)	$\delta T_{avg}$ (s)		
				1.197	$\pm 0.013$		

$$I_{t-r} = kr^2 T^2 / (4\pi^2) = 9.2 \times 0.400^2 \times 0.200 \times 1.197^2 / (4\pi^2) = 0.0534 \text{ kg m}^2$$

Pero:  $I_{t-r} = I_{y'y'} + I_{eq}$

$$I_{eq} = I_{t-r} - I_{y'y'} = 0.0534 - 0.0197 = 0.0337 \text{ kg m}^2 = 0.034 \text{ kg m}^2 \quad (I_{y'y'} = 0.0197 - 0.0004)$$

$$\delta I_{t-r} = I_{t-r} (\delta k/k + 2\delta r/r + 2\delta T/T) =$$

$$\delta I_{t-r} = 0.0534 (0.3/9.2 + 2 \times 0.003/0.400 + 2 \times 0.013/1.197) \approx 0.004 \text{ kg m}^2$$

$$\delta I_{eq} = \delta I_{t-r} + \delta I_{y'y'} = 0.004 + 0.0003 \approx 0.004 \text{ kg m}^2$$

$$I'_{eq} = m_{eq} r^2 = 0.233 \times 0.400^2 = 0.0373 \text{ kg m}^2 = 0.0373 \text{ kg m}^2$$

$$\delta I'_{eq} = I'_{eq} (\delta m_{eq}/m_{eq} + 2\delta r/r) = 0.037 (0.002/0.233 + 2 \times 0.001/0.400) = 0.0005 \text{ kg m}^2$$

$$I'_{eq} = 0.0373 \pm 0.0005 \text{ kg m}^2$$

$$0.030 < I_{eq} < 0.038 \quad \text{y} \quad 0.0368 < I'_{eq} < 0.0378$$

Los dos valores coinciden dentro de sus márgenes de incertidumbres.



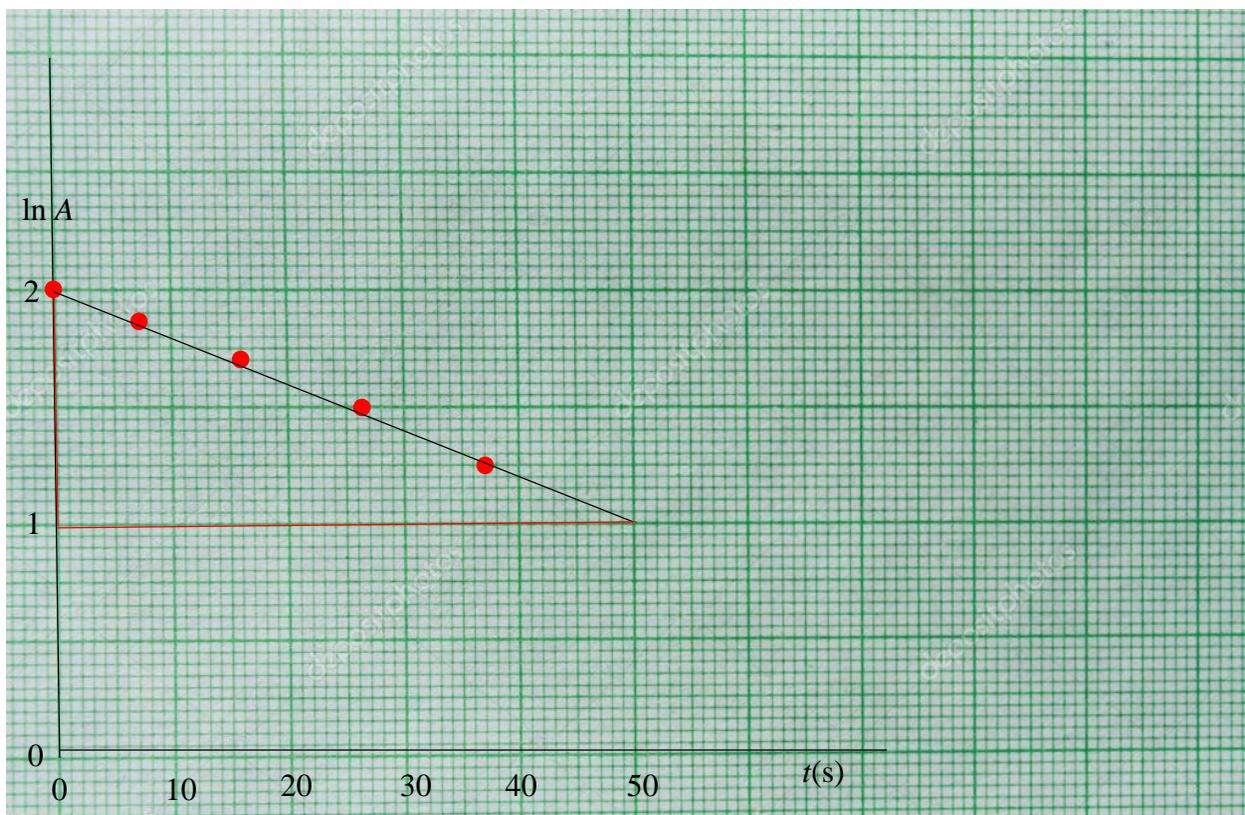
**TAREA 5-**

**Medida de  $\lambda$ .**

Posición de equilibrio en la regla:  $x_o =$  30.5 cm

$x(\text{cm})$	$t_1(\text{s})$	$t_2(\text{s})$	$t_3(\text{s})$	$t_{\text{avg}}(\text{s})$	$A(\text{cm})$	$\ln A$
38	0	0	0	0	7.5	2.01
37	8.28	6.19	7.35	7.2	6.5	1.87
36	17.47	14.35	15.78	15.8	5.5	1.70
35	26.51	26.66	25.36	26.2	4.5	1.50
34	37.50	36.75	36.41	36.9	3.5	1.25

$\lambda =$  0.020 s<sup>-1</sup>



$\lambda = (2 - 1) / (50 - 0) = 1/50 = 0.020 \text{ s}^{-1}$

$A = 7.5(\text{cm}) e^{-0.020t}$