

# GUIAS FISICA EXPERIMENTAL III

( INGENIERIA FISICA )



DEPARTAMENTO DE FISICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

**Autores:**

**Arcos Héctor  
Cruz Muñoz Beatriz  
Marín Ramírez William  
Ramírez Ramírez Ramiro  
Zulúaga Hernández Raúl Antonio**

**Profesores Departamento de Física de la Universidad Tecnológica de  
Pereira**

**Tercera edición Revisada**

**ISBN 958-8065-25-9**

**Junio 2005**

# INTRODUCCION

Este libro texto titulado “Física Experimental III”, recoge la experiencia acumulada a través de varios años de trabajo por parte de un grupo de profesores pertenecientes al departamento de física de la Universidad Tecnológica de Pereira en el ejercicio de la cátedra Laboratorio de Física III, la cual hace parte de los programas de Ingeniería y de la Licenciatura en Matemáticas y Física de esta misma universidad.

El libro está constituido por un conjunto de experimentos de laboratorio que cubren tópicos de oscilaciones y ondas, dando la fundamentación teórica necesaria para la contextualización de cada práctica por parte del alumno y las herramientas necesarias para la realización de los experimentos.

El texto está diseñado para ser utilizado en el curso Laboratorio de Física III del programa de Ingeniería Física continuando la línea metodológica establecida en la orientación de los laboratorios I y II que ofrece el departamento de física, línea en la cual se incluyen elementos de metrología como parte esencial del proceso experimental.

Los autores

# Contenido

<b>1</b>	<b>Péndulo físico</b>	<b>6</b>
1.1	Objetivos . . . . .	6
1.2	Preinforme . . . . .	6
1.3	Fundamento Teórico . . . . .	6
1.4	Materiales . . . . .	13
1.5	Precauciones . . . . .	15
1.6	Procedimiento . . . . .	15
1.7	Análisis . . . . .	15
1.8	Preguntas . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Péndulos Acoplados</b>	<b>17</b>
2.1	Objetivos . . . . .	17
2.2	Preinforme . . . . .	17
2.3	Fundamento Teórico . . . . .	17
2.4	Materiales . . . . .	19
2.5	Precauciones . . . . .	20
2.6	Procedimiento . . . . .	20
2.7	Análisis . . . . .	21
2.8	Preguntas . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Superposición de M. A. S.</b>	<b>23</b>
3.1	Objetivos . . . . .	23
3.2	Preinforme . . . . .	23
3.3	Fundamento Teórico . . . . .	24
3.4	Materiales . . . . .	29
3.5	Precauciones . . . . .	29
3.6	Procedimiento . . . . .	31
3.7	Análisis . . . . .	32
3.8	Preguntas . . . . .	33
<b>4</b>	<b>El Circuito RLC Serie</b>	<b>34</b>
4.1	Objetivos . . . . .	34

4.2	Preinforme . . . . .	34
4.3	Fundamento Teórico . . . . .	34
4.4	Materiales . . . . .	39
4.5	Precauciones . . . . .	39
4.6	Procedimiento . . . . .	40
4.7	Análisis . . . . .	40
4.8	Preguntas . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Resonancia en Circuito RLC en Serie AC</b>	<b>42</b>
5.1	Objetivos . . . . .	42
5.2	Preinforme . . . . .	42
5.3	Fundamento Teórico . . . . .	42
5.4	Materiales . . . . .	45
5.5	Precauciones . . . . .	45
5.6	Procedimiento . . . . .	45
5.7	Análisis . . . . .	46
5.8	Preguntas . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Inducción E.M. y el Transformador</b>	<b>47</b>
6.1	Objetivos . . . . .	47
6.2	Preinforme . . . . .	47
6.3	Fundamento Teórico . . . . .	47
6.4	Materiales . . . . .	51
6.5	Precauciones . . . . .	51
6.6	Procedimiento . . . . .	52
6.7	Análisis . . . . .	53
6.8	Preguntas . . . . .	55
<b>7</b>	<b>Oscilaciones de una cuerda tensa</b>	<b>57</b>
7.1	Objetivos . . . . .	57
7.2	Preinforme . . . . .	57
7.3	Fundamento Teórico . . . . .	57
7.4	Materiales . . . . .	60
7.5	Precauciones . . . . .	60
7.6	Procedimiento . . . . .	60
7.7	Análisis . . . . .	61
7.8	Preguntas . . . . .	62
<b>8</b>	<b>Ondas estacionarias en una columna de aire</b>	<b>63</b>
8.1	Objetivos . . . . .	63
8.2	Preinforme . . . . .	63
8.3	Fundamento Teórico . . . . .	63
8.4	Materiales . . . . .	66

8.5 Precauciones .....	66
8.6 Procedimiento .....	66
8.6.1 Frecuencias de resonancia de un Tubo abierto .....	66
8.6.2 Frecuencias de resonancia de un Tubo cerrado .....	67
8.6.3 Medición de la velocidad del sonido .....	68
8.7 Análisis .....	68
8.8 Preguntas .....	69
<b>9 Difracción de la luz</b> .....	<b>70</b>
9.1 Objetivo .....	70
9.2 Preinforme .....	70
9.3 Materiales .....	70
9.4 Fundamento Teórico .....	71
9.4.1 Difracción de Fraunhofer por una rendija rectangular .....	71
9.4.2 Difracción de Fraunhofer por una rendija doble .....	72
9.4.3 Difracción de Fraunhofer por una abertura circular .....	73
9.4.4 Rejilla de Difracción .....	75
9.5 Procedimiento .....	76
9.5.1 Difracción por una rendija rectangular .....	76
9.5.2 Difracción por rendija doble .....	76
9.5.3 Rejillas de Difracción .....	76
9.5.4 Difracción por una abertura circular .....	77
9.6 Análisis .....	77
<b>10 Índice de Refracción</b> .....	<b>78</b>
10.1 Objetivos .....	78
10.2 Preinforme .....	78
10.3 Fundamento Teórico .....	78
10.3.1 Ley de propagación rectilínea de la luz .....	78
10.3.2 Ley de reflexión de la luz .....	79
10.3.3 Ley de refracción de la luz .....	79

CONTENIDO	4
10.4 Materiales	81
10.5 Procedimiento	81
10.5.1 Medición del índice de refracción.	81
10.6 Análisis.	83
10.7 Preguntas	83
<b>11. Efecto Fotoelectrico</b>	<b>84</b>
11.1 Objetivos	84
11.2 Preinforme	84
11.3 Materiales	83
11.4 Precauciones	84
11.5 Fundamento Teórico	84
11.5.1 El equipo $h=e$ de Pasco	85
11.6 Procedimiento	86
11.6.1 Parte A: Cálculo de $h, V_0$ y $\phi_0$ .	86
11.6.2 Parte B. Dependencia del potencial de frenado $V_0$ con respecto a la intensidad luminosa	87
11.7 Análisis	87
<b>12. Radiacion térmica</b>	<b>88</b>
12.1 Objetivos	88
12.2 Preinforme	88
12.3 Materiales	88
12.4 Fundamento Teórico	89
12.5 Procedimiento	90
12.5.1 Ley de Stefan-Boltzmann a altas temperaturas	90
12.5.2 Ley del cuadrado inverso	91
12.5.3 Introducción a la radiación térmica	92
12.6 Análisis	94
12.6.1 Ley de Stefan-Boltzmann a altas temperaturas	94
12.6.2 Ley del cuadrado inverso	96
12.6.3 Introducción a la radiación térmica	96

# CICLO I: OSCILACIONES



DEPARTAMENTO DE FISICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA



# Laboratorio 1

## Péndulo físico

### 1.1 Objetivos

1. Estudiar el comportamiento del péndulo físico.
2. Determinar la aceleración de la gravedad.

### 1.2 Preinforme

1. Exprese y explique el teorema de ejes paralelos.
2. ¿A qué se denomina radio de giro? Expréselo en términos del momento de inercia para un eje que pase por el centro de masa (C.M.).

### 1.3 Fundamento Teórico

Un péndulo físico es un cuerpo rígido que puede girar libremente alrededor de un eje tal como se muestra en la Figura (1.1). Cuando el cuerpo se separa de la posición de equilibrio y se suelta, presentará un movimiento oscilatorio. Empleando la ecuación de la dinámica rotacional:

$$\vec{\tau}_A = I_A \vec{\alpha} \tag{1.1}$$

se puede hallar la ecuación de movimiento, donde:

- $\tau_A$ : Momento o torque alrededor de A (Análogo rotacional de la fuerza).  
 $I_A$ : Momento de inercia del cuerpo alrededor de A (Análogo de la masa).  
 $\alpha$ : Aceleración angular del cuerpo (Análogo de la aceleración lineal).

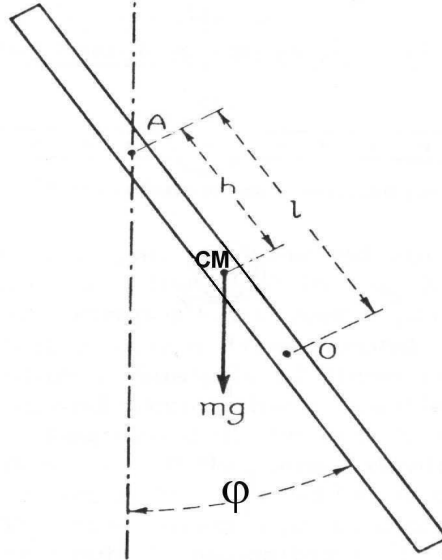


Figura 1.1: Diagrama de fuerzas péndulo físico.

El peso del cuerpo  $M\vec{g}$ , aplicado al centro de masa, produce un momento respecto a un eje de rotación que pasa por el punto A, dado por:

$$\vec{\tau}_A = \vec{h} \times M\vec{g} \quad (1.2)$$

Donde:

$M$ : Masa total del cuerpo rígido.

$h$ : Distancia entre el punto de suspensión A y el centro de masa.

Utilizando la definición de producto vectorial y tomando como positivo el movimiento de rotación en sentido contrario al de las manecillas del reloj, se obtiene:

$$\tau_a = -Mgh \text{ Sen}\varphi$$

Siendo  $\varphi$  el ángulo entre los vectores  $\vec{h}$  y  $M\vec{g}$ .

De la definición de aceleración angular tenemos:

$$\alpha = \ddot{\varphi} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

Entonces de (1.1) y (1.2):

$$\alpha = \ddot{\varphi} = -\frac{Mgh \operatorname{Sen}\varphi}{I_A}.$$

Para pequeñas oscilaciones se asume válida la aproximación:

$$\operatorname{Sen}\varphi \cong \varphi,$$

con lo cual:

$$\ddot{\varphi} + \frac{Mgh}{I_A}\varphi = 0 \quad (1.3)$$

definiendo:

$$\omega^2 \equiv \frac{Mgh}{I_A}$$

se obtiene:

$$\ddot{\varphi} + \omega^2\varphi = 0. \quad (1.4)$$

La cual tiene la misma estructura de la ecuación del oscilador armónico, donde  $\omega$  es la frecuencia angular de oscilación.

Como:

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

el período de oscilación será:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_A}{Mgh}}. \quad (1.5)$$

Utilizando el teorema de ejes paralelos:

$$I_A = I_0 + Mh^2,$$

donde  $I_0$  es el momento de inercia respecto a un eje que pasa por el centro de masa (C.M).

Por definición  $I_0 = MK_0^2$ , con lo cual:

$$I_A = MK_0^2 + Mh^2$$

siendo  $K_0$  el radio de giro.

Volviendo a (1.5) se tiene en definitiva la siguiente expresión para el período de oscilación del péndulo físico:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K_0^2 + h^2}{gh}}. \quad (1.6)$$

Esta ecuación expresa el período en términos de la geometría del cuerpo. Ésta muestra que T es independiente de la masa, dependiendo únicamente de la distribución de masa medida por  $K_0$  y de la localización al eje de suspensión (especificado por h). Ya que  $K_0$  para cualquier cuerpo rígido es una constante, el período T de cualquier péndulo físico es función sólo de h.

### 1.3.1 Péndulo equivalente

Recordando la ecuación del péndulo simple:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (1.7)$$

al compararla con la ecuación (1.6) se observa que el período de un péndulo físico suspendido de un eje a una distancia h del centro de gravedad es igual al período de un péndulo simple, de longitud dada por:

$$L = \frac{K_0^2 + h^2}{h} = h + \frac{K_0^2}{h}. \quad (1.8)$$

El péndulo simple cuyo período es el mismo que el dado por un péndulo físico, es llamado **péndulo simple equivalente**.

### 1.3.2 Propiedad de reversibilidad

Es conveniente especificar la localización del eje de suspensión que pasa por el punto A, en términos de la distancia desde el extremo superior de la barra, en lugar de su distancia h medida desde el centro de masa.

Si las distancias  $s_1$ ,  $s_2$  y D (Fig. 1.2) son medidas desde el extremo superior, la distancia  $h_1$  debe ser considerada negativa ya que está medida desde el C.M. Así, si D es la distancia fija desde extremo superior de la barra al C.M.,

$$s_1 = D - h_1$$

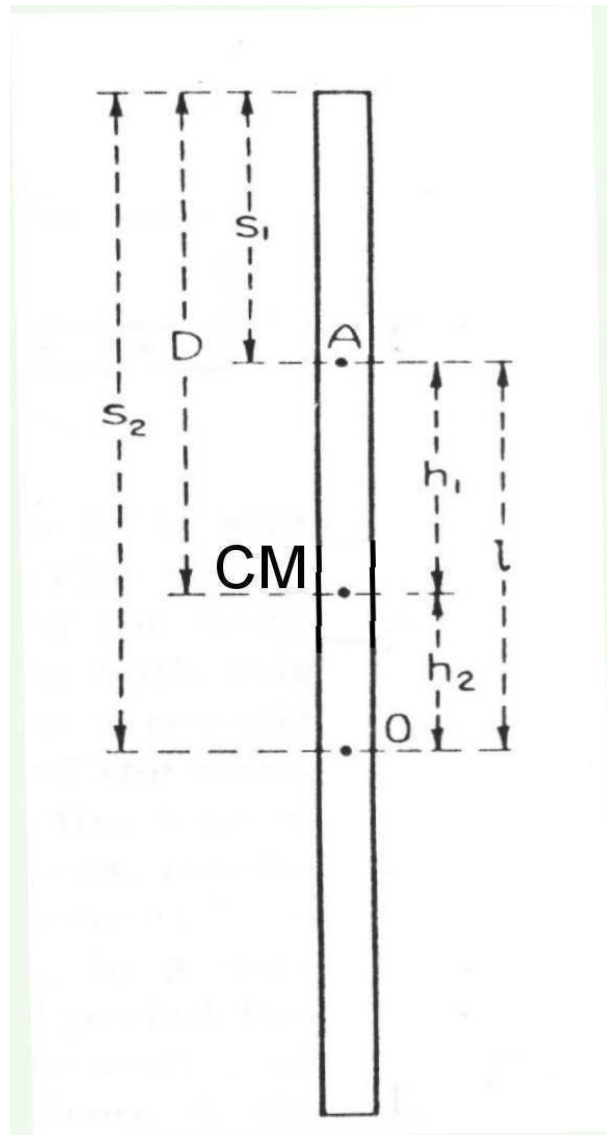


Figura 1.2: Distancias a medir.

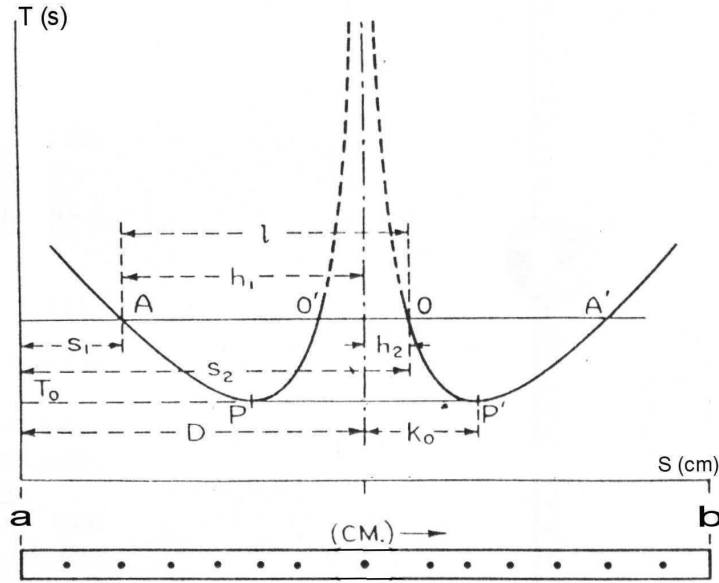


Figura 1.3: Período en función de la distancia al centro de masa.

$$s_2 = D + h_2$$

y en general:

$$s_i = D + h_i,$$

donde  $i = 1, 2$ . Sustituyendo esta relación en la ecuación (1.6) se obtiene:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K_0^2 + (s_i - D_i)^2}{g(s_i - D_i)}}. \quad (1.9)$$

La relación entre  $T$  y  $s_i$  expresada por la ecuación (1.9) puede mostrarse mejor gráficamente.

Cuando  $T$  es trazada como una función de  $s$ , un par de curvas idénticas  $APQ$  y  $A'P'Q'$  son obtenidos como se ilustra en la Figura (1.3). La porción punteada de la curva representa la extrapolación sobre una parte del cuerpo donde es difícil obtener experimentalmente datos con este péndulo en particular. El análisis de estas curvas revelan varias propiedades interesantes y observables del péndulo físico. Empezando en el extremo superior **a** cuando el eje es desplazado desde **a** hacia **b**, el período disminuye, encontrándose un valor mínimo en  $P$ , después del cual se incrementa cuando  $s$  se aproxima al C.M. Las dos curvas son asintóticas a una línea perpendicular que pasa por el C.M. indicando que cerca de ahí el período tiene

un valor significativamente grande. Cuando el eje de suspensión es desplazado todavía más desde  $\mathbf{a}$  (al otro lado del C.M.), el período  $T$  nuevamente disminuye hacia el mismo valor mínimo en un segundo punto  $P'$ , después del cual nuevamente se incrementa.

Una línea horizontal  $AA'$  correspondiente a valores escogidos del período, interseca la gráfica en cuatro puntos indicando que hay cuatro posiciones del eje, dos en cada lado del C.M, para los cuales el período es el mismo. Estas posiciones son simétricamente localizadas con respecto al C.M. Hay por lo tanto dos valores numéricos de  $h$  para los cuales el período es el mismo, representados por  $h_1$  y  $h_2$  (Figura 1.2 y 1.3).

*Así, para cualquier eje de suspensión escogido  $A$ , hay un punto conjugado  $O$  al lado opuesto del C.M. tal que el período alrededor de un eje paralelo que pasa por  $A$  y  $O$  es igual.*

El punto  $O$  es llamado **CENTRO DE OSCILACIONES** al eje particular de suspensión que pasa por el punto  $A$ . Consecutivamente si el centro de oscilación para cualquier péndulo físico es localizado, el péndulo puede ser invertido y soportado de  $O$  sin alterar su período. Esta llamada **reversibilidad** es una de las propiedades únicas del péndulo físico y ha sido la base de un método muy preciso para medir  $g$  (**Péndulo Reversible de Kàter**).

Puede mostrarse que la distancia entre  $A$  y  $O$  es igual a  $l$ , la longitud del péndulo simple equivalente.

Alrededor de  $A$ :

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \left( \frac{K_0^2 + h_1^2}{h_1} \right)$$

y alrededor de  $O$ :

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \left( \frac{K_0^2 + h_2^2}{h_2} \right).$$

Igualando estas expresiones:

$$K_0^2 = h_1 h_2,$$

por lo tanto:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} (h_1 + h_2) \tag{1.10}$$

ó

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h_1 + h_2}{g}} \tag{1.11}$$

Comparando con la expresión para el péndulo simple:

$$l = h_1 + h_2 \quad (1.12)$$

la cual es la longitud del péndulo simple equivalente  $\overline{AO}$  (Figura 1.2).

A' y O' son un segundo par de puntos conjugados simétricamente localizados con respecto a A y O respectivamente, por lo tanto tienen un mismo valor numérico de  $h_1$  y  $h_2$ . Más consideraciones de la Figura (1.3) revela el hecho que el período de vibración para un cuerpo dado no puede ser menor que un cierto valor mínimo  $T_0$  para el cual los cuatro puntos de igual período se reducen a dos,  $P$  y  $P'$ , en tanto que  $h_1$ , llega a ser numéricamente igual a  $h_2$ . El valor mínimo de  $h_0$  correspondiente al mínimo período  $T_0$ , puede ser deducido por solución de las ecuaciones (1.10) y (1.11), las cuales producen

$$K_0^2 = h_1 h_2$$

y colocando

$$h_0 = h_1 = h_2,$$

se obtiene

$$K_0 = h_0.$$

Reemplazando esto en la ecuación (1.8) nos da como resultado:

$$l_0 = 2K_0$$

Así, el péndulo simple más corto para el cual el péndulo físico puede ser hecho equivalente tiene una longitud  $l_0$  igual al doble del radio de giro del cuerpo alrededor de un eje paralelo que pasa a través de C.M.. Esto es indicado en la figura (1.3) por la línea  $PP'$ . Inspeccionando la figura (1.3), esta muestra además que de los dos valores de  $h$  diferentes del mínimo, uno es mayor que  $K_0$  y el otro menor.

De lo anterior es evidente que si se encuentran dos puntos asimétricos A y O tales que el período de vibración sea idéntico, la longitud del péndulo simple equivalente es la distancia entre los dos puntos y la necesidad de localizar el centro de gravedad C.M. es eliminada. Así, haciendo uso de la propiedad reversible del péndulo físico, se obtiene una simplificación similar a la del péndulo simple, la determinación experimental se reduce a una medida de longitud y una medida de período.

## 1.4 Materiales

- Equipo de péndulo físico: Soportes, varilla y cronómetro.
- Nivel de burbuja.
- Cinta métrica graduada en mm.





Figura 1.4: Fotografía del equipo utilizado.

## 1.5 Precauciones

- Familiarizarse con el equipo.
- Cerciórese que el péndulo puede oscilar normalmente y que el cronómetro esté funcionando.
- Tenga en cuenta la aproximación  $\text{Sen } \varphi \approx \varphi$  para su trabajo.
- Recuerde nivelar el equipo arriba y abajo.

## 1.6 Procedimiento

El péndulo físico utilizado para esta práctica está constituido por una varilla metálica en forma cilíndrica delgada que posee una serie de marcas dispuestas cada cinco centímetros aproximadamente entre sus centros, con un sistema de suspensión adecuado para que la varilla pueda oscilar libremente alrededor de un eje horizontal (eje de suspensión), con rodamientos para minimizar la fricción (ver Fig. 1.4)

1. Determine el centro de masa (CM), de la varilla y elija un extremo de la misma.
2. Mida la longitud  $h$  desde el centro de masa (CM) al eje de suspensión
3. Suspenda el péndulo de la primera marca más cercana al extremo elegido de la varilla y asegúrese que oscila libremente en un plano vertical.
4. Mida 10 veces el periodo con un cronometro UTP utilizando la misma amplitud de oscilaciones. Determinar el periodo promedio para la altura  $h$  seleccionada.
5. Repita el procedimiento para cada una de las marcas hasta llegar al CM
6. Invierta la varilla y realice 10 mediciones
7. Retire el péndulo del soporte y con una cinta métrica mida las distancias faltantes de acuerdo a la figura 1.2, para cada uno de los puntos de suspensión desde uno de los extremos de la varilla. Anote estos datos con sus correspondientes periodos. (a medida que se acerque al CM, tome un número menor de oscilaciones)
8. Mida la masa de la varilla

## 1.7 Análisis

1. Con los datos tomados construya una gráfica en papel milimetrado del período  $T$  (valor medio de cada grupo de periodos  $T$  tomados en el numeral 3 del paso 1.6) en función de la distancia al centro de masa (CM),  $h$ . Tome el origen de coordenadas como el centro de masa. Trace la curva correspondiente. Utilice las escalas adecuadas.
2. A partir del gráfico obtenido: ¿ Se presenta algún tipo de simetría con relación a alguna línea?.
3. ¿Cuál es el período del péndulo cuando  $h = 0$ ? Explique su significado.
4. Obtenga de su gráfico el período mínimo con el cual este péndulo puede vibrar.
5. De la masa del péndulo y su radio de giro  $K_0$  determinado de la gráfica, encuentre  $I_0$  el momento de inercia rotacional alrededor del C.M.
6. Trace una recta paralela al eje horizontal de su gráfico para un período mayor al mínimo  $T_0$ . Halle las parejas de cortes  $(h_1, h_2)$  y  $(h'_1, h'_2)$ . Del correspondiente período  $T$  determinado por esta recta y la longitud  $L$  correspondiente al péndulo simple equivalente dado por  $L = h_1 + h_2$  y también por  $L = h'_1 + h'_2$ , calcule el valor de la gravedad, por medio de la ecuación (1.7). Compárelo con su valor aceptado para Pereira y calcule el error porcentual.
7. A partir de la escala con la cual trazó su gráfico, determine un valor aproximado para la incertidumbre de su medida para la gravedad