

PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA

JOSE A. LI GAMBI

Facultad de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales  
Colegio Nacional de Monserrat  
Universidad Nacional de Córdoba

AGUSTIN J. FRASCINO

Grupo de Enseñanza de la Ciencia  
y la Tecnología  
Universidad Nacional de Córdoba

*Summary*

*This report describes a low cost teaching equipment designed for the experimental verification of the Conservation of Energy by High School students.*

*It includes a brief outline of the theory of the experiment, description of experimental procedures, an analysis of results and drawings and instructions so as to allow the reproduction fo the apparatus.*

1.- *Introducción*

El presente trabajo está destinado a poner al alcance del docente y alumnos de nivel medio y terciario un equipo rediseñado para convertirlo en material de bajo costo, con el que se puede verificar el *Principio de Conservación de la Energía*<sup>(1)</sup>. El modelo, pese a sus simplificaciones, sigue brindando calidad en los resultados experimentales, lo que se verá en el punto 5.

Dentro de los Principios de la Mecánica se eligió la Conservación de la Energía debido a su importancia conceptual y a la posibilidad de aplicarlo a diversos problemas que vinculan significativamente con la realidad.

2.- *Guía de Taller*

Para realizar la experiencia propuesta será necesario construir el dispositivo que se

describe a continuación representado en posición de trabajo de la Fig. 2.1.

Las piezas que lo componen con sus medidas aproximadas son:

- a) El parante; de 45 cm de alto, 6 cm de largo y 2 cm de ancho, Fig. 2.2.
- b) El travesaño; de 2 cm de alto, 30 cm de largo y 6 cm de ancho, Fig. 2.3.
- c) El refuerzo diagonal; de 1 cm de alto, 20 cm de largo y 2,5 cm de ancho, Fig. 2.4.
- d) El tope; de 1 cm de alto, 15 cm de largo y 2,5 cm de ancho, Fig. 2.5.

Estas piezas son de madera y se ensamblan con cola vinílica y clavos de tamaño adecuado. Debe controlarse con escuadra que el parante y el travesaño forman ángulo recto. El tope va fijado al parante a unos 6 cm de su extremo inferior, como se indica en la Fig. 2.2.

El lanzamiento de la masa se realiza desde el extremo de un alambre de acero de 0,5 mm de diámetro, suspendido de un clavo de 5 cm, que sirve como eje de rotación. Un apoyo adecuado se consigue envolviendo 8 ó 10 espiras de alambre sobre el clavo, Fig. 2.6, fijándolo luego en la parte superior del parante. el clavo se introduce unos 2 cm en la madera.

El extremo inferior del alambre forma un gancho de unos 5 mm, en ángulo ligeramente inferior a 90° a 5 mm por debajo del tope como se ilustra en la Fig. 2.7.

Para controlar la altura de los lanzamientos se utiliza como columna una varilla de madera de 50 cm de alto, 1,5 cm de largo y 1,5

(1) Este equipo, fue preparado para ser utilizado por los participantes del taller 'Reflexiones Metodológicas Sobre Enseñanza - Aprendizaje de la Mecánica - Conservación de la Energía' desarrollado durante la Quinta Reunión Nacional de Educación en la Física y Cuarta Reunión Latinoamericana de Educación en Física (Mar del Plata, Setiembre de 1987) y participaron en el análisis crítico del modelo y sus guías: Mitnik, Iparraguirre, Quagliata, Chamorro, Matsuda, Peme de Araneaga de Longui, Valeiras de Echavarría, Tissera y Arena (Docentes de la Universidad Nacional de Córdoba) y los autores de este trabajo.

cm de ancho, con dos clavos paralelos fijados a una de sus caras a la altura elegida.

La masa es una esfera metálica de 2,5 cm a 3 cm de diámetro, que se ilustra en la Fig. 2.8 provista de un ojal de unos 0,3 cm de diámetro. El ojal debe presentar el menor

relieve posible sobre la superficie de la esfera.

Se necesitará para completar el equipo: 2 m de hilo de algodón, 1 cinta centimetrada de sastre, una hoja de carbónico, hojas de papel liso tamaño oficio, cinta adhesiva y tiza.

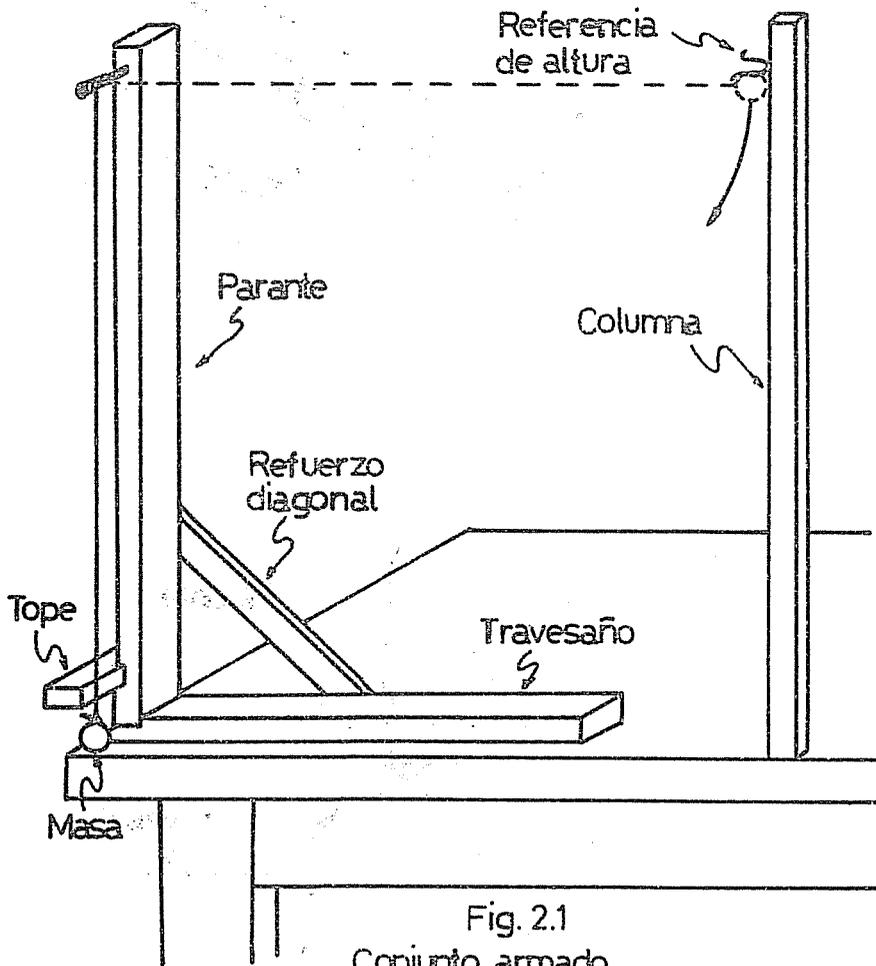


Fig. 2.1  
Conjunto armado

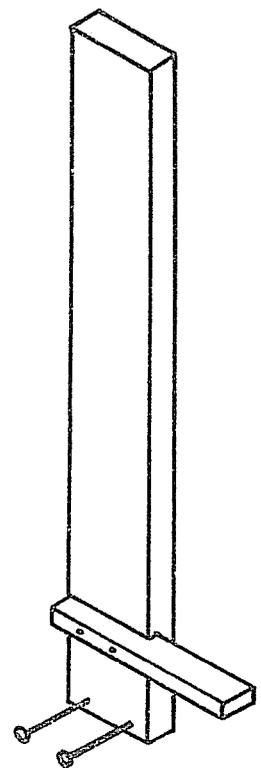


Fig. 2.2  
Parante con tope

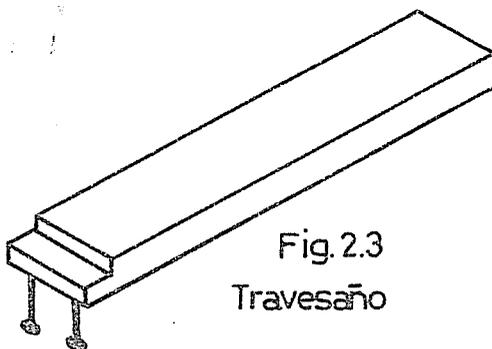
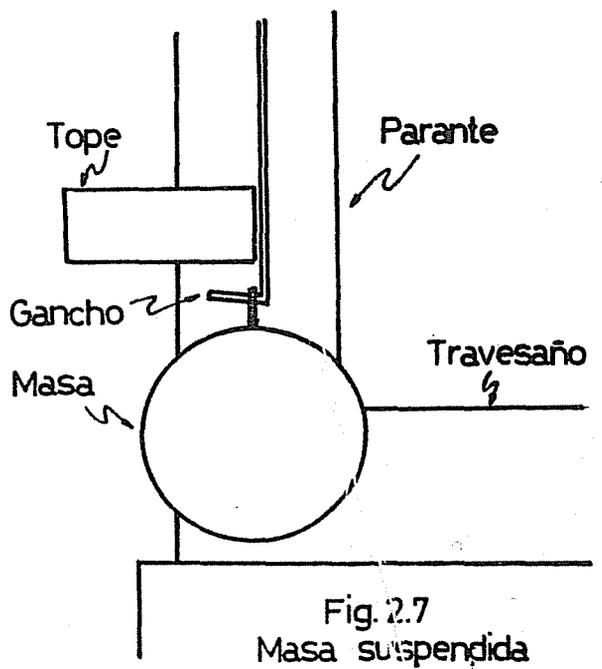
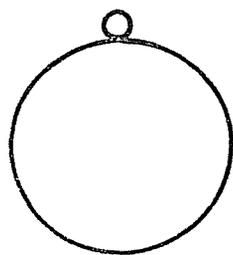
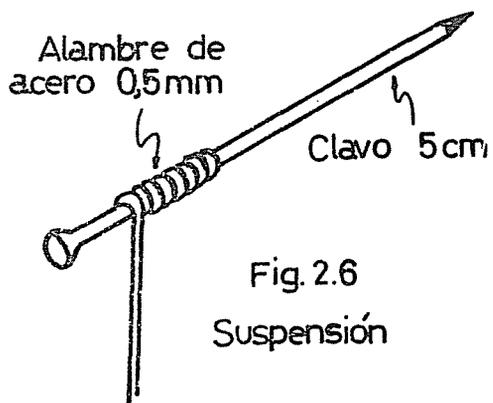
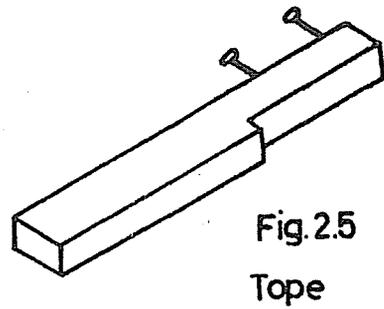
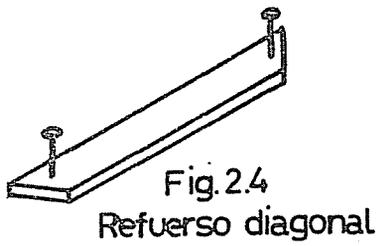


Fig. 2.3  
Travesaño



### 3.- Una propuesta para la verificación del principio de conservación de la energía

#### 3.1 Introducción

En este trabajo de laboratorio trataremos de verificar el Principio de Conservación de la Energía Mecánica haciendo uso del equipo descrito en el punto anterior.

La masa metálica sujeta al alambre se

lleva hasta la posición de partida 1 que puede reproducirse mediante una varilla de madera Fig. 3.1.

La trayectoria pendular de la masa es interrumpida al llegar a la vertical 2 y la esfera metálica se suelta.

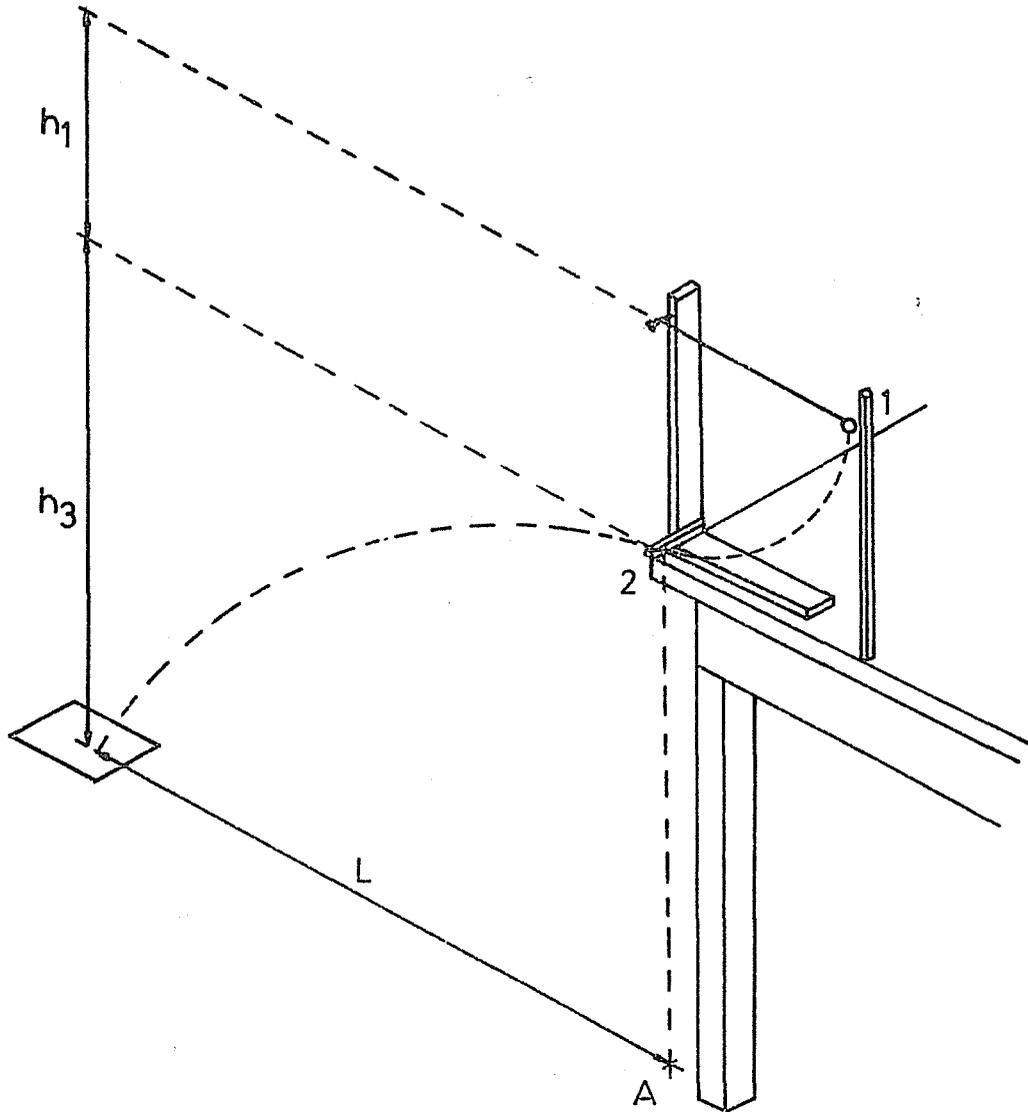


Fig. 3.1

A fin de verificar *el Principio de Conservación de la Energía* entre los puntos 1 y 2 lo aplicaremos al cálculo del alcance horizontal  $L$  de la masa (distancia entre la vertical y el punto de impacto donde finalizará la trayecto-

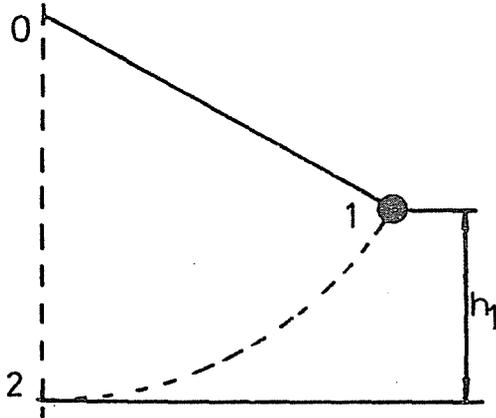
ria). Si el valor medio es razonablemente próximo al cálculo (es decir si podemos justificar las discrepancias) habremos verificado, en forma indirecta, dicho principio.

Para efectuar el cálculo del alcance  $L$

tendremos en cuenta que la masa inicia su movimiento a una altura  $h_1$ , Fig. 3.2 posición en la cual toda la energía es potencial

$$E_c = 0$$

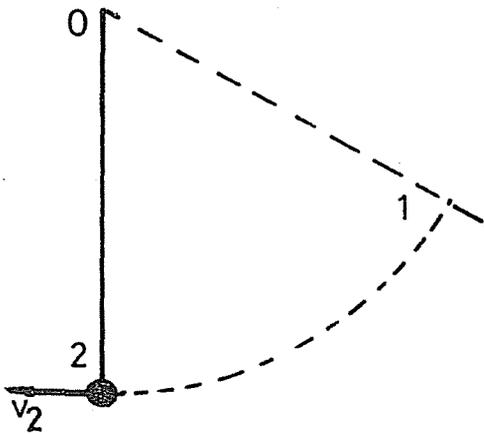
$$E_p = mgh_1$$



$$E_p = mgh_1 \quad [1]$$

Fig. 3.2

En el punto más bajo de la trayectoria de la masa 2, que coincide con la posición vertical, toda la energía se ha transformado en energía cinética. Fig. 3.3.



$$h_2 = 0$$

$$E_c = 1/2mv_2^2$$

$$E_p = 0$$

$$E_c = 1/2mv_2^2 \quad [2]$$

Fig. 3.3

Al llegar a 2 la masa se desprende y sale despedida con una velocidad horizontal  $v_2$ , iniciando un movimiento de "tipo horizontal".

(¿Cuánto vale la aceleración si se considera nulo el rozamiento? y ¿si no se considera nulo el rozamiento? ¿Qué trayectoria describe la masa?) Fig. 3.4.

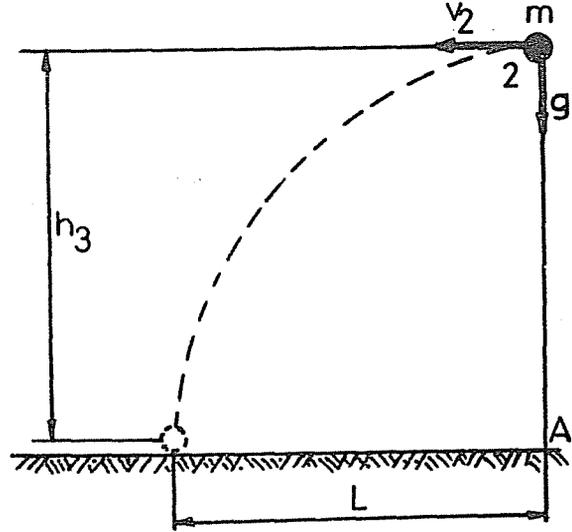


Fig. 3.4

Las ecuaciones que describen las funciones posición en las direcciones  $x$  e  $y$  después que la masa se desprende son:

$$L = v_2 t \quad [3]$$

$$h_3 = 1/2gt^2 \quad [4]$$

por lo tanto

$$L = v_2 \sqrt{\frac{2h_3}{g}} \quad [5]$$

Para calcular  $v_2$  se hace uso del *Principio de Conservación de la Energía*. En este caso toda la energía potencial que la masa  $m$  tenía en el punto 1 se transformó en energía cinética en el punto 2.

$$mgh_1 = 1/2mv_2^2 \quad [6]$$

Por lo tanto despejando  $v_2$ :

$$v_2 = \sqrt{2gh_1} \quad [7]$$

reemplazando en [5]

$$L = 2 \sqrt{h_1 h_3} \quad [8]$$

En este trabajo de laboratorio mediremos  $h_1$ ,  $h_3$  y  $L$ . Si para este caso particular se puede verificar que se cumple la ecuación [8], teniendo en cuenta sus intervalos de incerteza, comprobaremos el principio de conservación de la energía.

La teoría de propagación de las incertezas nos proporciona la expresión:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{\Delta h_3}{h_3} \right) \quad [9]$$

la cual puede ser aceptada, en primera aproximación, para evaluar la incerteza asociada a la medición de  $L$ .

### 3.2.- Procedimiento

- a - Arme el péndulo como se indica en la Fig 3.1.
- b - Marque el punto A sobre el piso, utilizando la plomada.
- c - Mida  $h_1$  y  $h_3$  (Fig. 3.1 - 3.2 - 3.4).
- d - Estime la incerteza asociada al valor de  $L$ , ecuación [9] e indique cuál magnitud debe medir con mayor cuidado.
- e - Prediga el valor del alcance horizontal  $L$ ; ecuación [8].
- f - Coloque el papel sobre el piso, fijelo con cinta adhesiva y efectúe una marca a la distancia  $L$  calculada previamente.
- g - Superponga una hoja de papel carbónico sobre la hoja de papel blanco.
- h - Coloque la esfera en el soporte y llévela hasta la posición 1.
- i - Deje en libertad la esfera.
- j - Observe el punto de impacto. Mida la distancia  $L$ .
- k - Reitere 10 ó más veces la experiencia.
- l - Calcule el intervalo de incerteza asociado a este conjunto de observaciones.
- m - Analice críticamente la experiencia.

### 4.- Recomendaciones

4.1 El equipo debe estar fijo a la mesa de trabajo, dicha fijación puede hacerse con una prensita a tornillo o simplemente con cinta adhesiva.

4.2 Para marcar el punto A (ver Fig. 3.1) puede construirse una plomada con la misma masa metálica del péndulo y un hilo.

4.3 Para medir  $h_1$  y  $h_3$  debe tomarse como referencia el centro de la masa esférica, o bien uno de sus bordes (superior o inferior) tal como lo muestran las figuras 3.2 y 3.4.

4.4 En el lugar donde se producirá el impacto de la masa metálica conviene, antes de fijar la hoja de papel, poner una superficie que brinde amortiguamiento al impacto a fin de que no se deforme la esfera como por ejemplo una plancha de goma o simplemente varias hojas de diario.

4.5 La hoja de papel debe estar bien fijada al piso, de tal manera que no se produzcan desplazamientos por el impacto.

4.6 El desplazamiento horizontal  $L$  (ver Fig. 3.1) se mide con la cinta desde el pie de la vertical que pasa por el punto de suspensión (punto A), hasta el centro del impacto registrado. En la práctica, los planos en que pendula la masa difieren entre sí pequeños ángulos, lo que producirá una dispersión lateral de los disparos. Este detalle no invalida los registros, siempre que las mediciones se efectúen de punto a punto es decir, desde el pie de la vertical hasta el punto de impacto.

4.7 La varilla de madera mediante la cual se reproduce el lanzamiento debe colocarse siempre en el mismo lugar, para lo cual conviene hacer una marca sobre la mesa de trabajo.

4.8 Antes de efectuar el disparo, el alambre debe quedar levemente tensionado, sólo lo suficiente para que se mantenga recto (ver Fig. 2.1 y 3.1).

4.9 Cada vez que se efectúa un lanzamiento, se levanta el carbónico y se anota justo a cada marca el número de orden correspondiente.

Los registros anulados se marcan con una cruz.

4.10 Antes de iniciar el registro, es conveniente realizar algunos lanzamientos de prueba, para conocer las dificultades operativas.

4.11 Puede repetirse la experiencia lanzando la esfera metálica desde distintos valores de  $h_1$ , y si se trabaja con grupos, cada uno debería trabajar con valores de  $h_1$  y  $h_3$  diferentes a fin de verificar la validez general del principio.

5.- Resultados obtenidos en una experiencia

En esta sección se reproducen los resultados obtenidos en una experiencia: se midió  $h_1 = 42$  cm con  $\Delta h_1 = 0,5$  cm y  $h_2 = 94,5$  cm con  $\Delta h_2 = 0,5$  cm; de lo que se obtiene, aplicando [8], que el valor calculado de L es 126 cm con un  $\Delta L$  (ecuación [9]) de 1,1 cm, o sea:

$$L = 126 \text{ cm} \pm 1,1 \text{ cm}$$

Los impactos registrados se reproducen en la Fig. 5.1 siendo las mediciones:

$L_1 = 127$ cm	$L_7 = 125,5$ cm
$L_2 = 123$ cm	$L_8 = 126$ cm
$L_3 = 126$ cm	$L_9 = 124,5$ cm
$L_4 = 127$ cm	$L_{10} = 125,5$ cm
$L_5 = 124$ cm	$L_{11} = 125,5$ cm

estos valores medios con  $\Delta L_i = 0,5$  cm

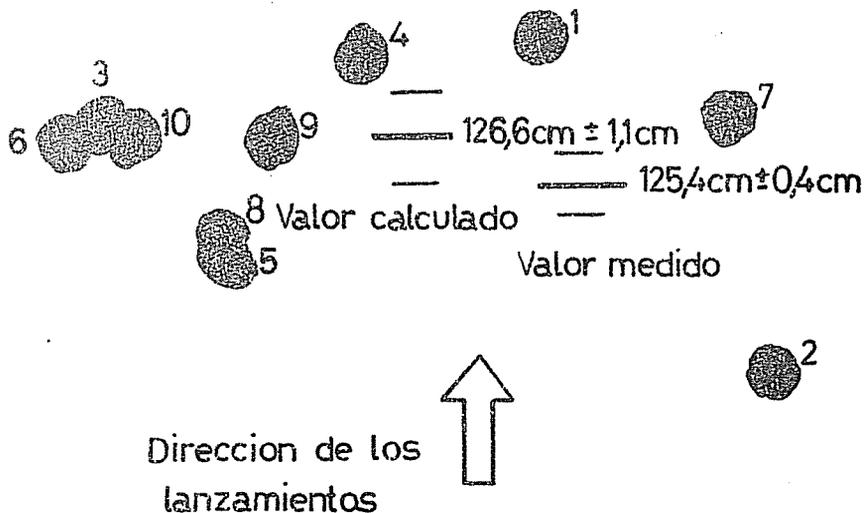


Fig. 5.1

De lo que resulta  $\bar{L} = 125,4$  cm;  $\sigma = 1,2$  cm y  $E = 0,4$  cm, o sea,  $L = 125,4 \text{ cm} \pm 0,4 \text{ cm}$ .

Cuando se comparan ambos resultados dentro de sus intervalos de incerteza se ve que ambos son compatibles. Esto significa que los errores sistemáticos debido al roce y otras causas mencionadas están dentro del orden de los errores de medición.

Nótese que el "valor medido" se acota con E, en tanto que el "valor calculado" se acota con la estimación de la lectura. Se procede de esta manera ya que en el caso de el "valor calculado" el error porcentual estimado es conocido y a los fines de esta experiencia, despreciable:

$$\frac{\Delta h_1}{h_1} \cdot 100 = 1\%$$

$$\frac{\Delta h_2}{h_2} \cdot 100 = 0,5\%$$

(Por otra parte, a fin de evaluar  $E_L$  a partir de la medición reiterada de  $h_1$  y  $h_2$  se debería emplear la expresión correspondiente al error medio cuadrático de una medición indirecta, que escapa al nivel de un curso medio).

Por el contrario, en el "valor medido" de L intervienen pérdidas de energía, sobre todo en el desenganche de la masa metálica que no son fácilmente evaluables, ni se tiene la certeza que sean repetitivas. Ello conduce a reiterar la experiencia y calcular E siguiendo el criterio señalado en la literatura sobre errores, el número de mediciones se eligió de manera tal que E fuera del orden de  $\Delta L$ .

Lo expresado se funda en el énfasis que se da al principio de conservación de la energía, evitando que el estudiante se entretenga en los cálculos asociados. Lo importante es verificar indirectamente que la energía mecánica se ha conservado.

## 6.- Bibliografía

6.1 Frascino, Agustín J. y Maiztegui, Alberto P. *El Taller de Física - Cómo Construir Buen Equipo de Bajo Costo* (Kopias y Kopias - Córdoba - 1986).

6.2 Maiztegui, Alberto P. y Gleiser, Reinaldo J. *Introducción a las Mediciones de Laboratorio* (Guayqui - Córdoba - 1976):

6.3 Mitnik, Félix; Li Gambi José A.; Peme de Aranega, Carmen; Iparraguirre, Lorenzo; de

Longhi, Ana Lía; Valeiras de Echavarría, Nora; Frascino, Agustín J. *Reflexiones Metodológicas - Enseñanza Aprendizaje de la Mecánica - Conservación de la Energía* (I.S.I.T., Universidad Nacional de Córdoba - 1987).

6.4 Unidad Docente de Física - Facultad de Ciencias Químicas - Universidad Nacional de Córdoba. *Trabajos de Laboratorio* (Unidad Docente de Física - 1986).

---

## ¿MOVILES PERPETUOS EN BUENOS AIRES?

En algunas casas de óptica pueden verse unas estructuras de alambre cromado que, en cuidadoso equilibrio sobre apoyos tipo cuchilla, oscilan horas y días enteros sin aparente ayuda exterior.

¿Estrán los apoyos tan perfectamente diseñados al extremo de anular por completo las pérdidas por rozamiento? ¿O habrán encontrado finalmente el secreto del movimiento continuo?

Ninguna de las dos cosas. Estos dispositivos ocultan en su base un electroimán que genera un campo magnético oscilante responsable del supuesto movimiento continuo.

El misterio pudo resolverse gracias a la información brindada por el personal de una óptica del barrio de Caballito, en Buenos Aires; uno de cuyos empleados, al preguntársele si se trataba de un movimiento continuo, contestó: "Sí, hasta que se le acabe la pila".

Claudio Horacio Sánchez