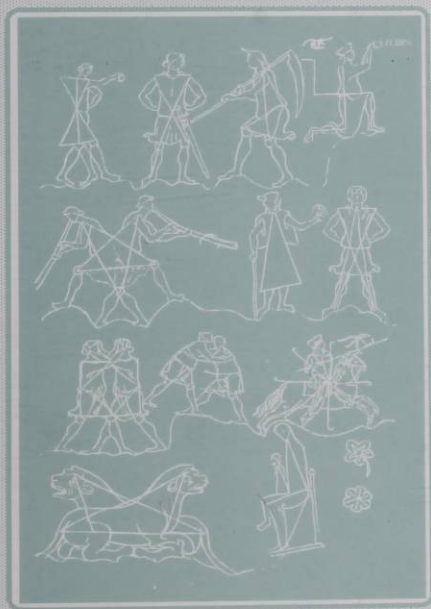


# Prácticas de física

## Laboratorio II

AM  
C37  
7.34



# 217 407  
C.B. 2892729

# Prácticas de física

## Laboratorio II



2892729



División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Ciencias Básicas

# UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

SECRETARIA

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Dra. Norma Rondero López

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Dr. Jorge Armando Morales Aceves

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

Lic. Francisco Javier Ramírez Treviño

1234  
FC 37  
PF 34

ISBN-970-31-0022-8

© UAM-Azcapotzalco

COLECCIÓN

Marisela Juárez Capistrán

Ilustración de portada

Consuelo Quiroz Reyes

Diseño de portada

Modesto Serrano Ramírez

Ilustración

Villad de Houssecaut, tomado

de curso de dibujo, 1983.

Isis: 1, Barcelona, 1984.

Sección de producción  
y distribución editoriales  
Tel. 5318-9222/9223  
Fax. 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco  
Av. San Pablo 180  
Col. Reynosa Lamulipas  
Delegación Azcapotzalco  
C.P. 02200  
México, D.F.

Prácticas de física. Laboratorio II  
1a. edición 2002  
5a. reimpresión 2007  
6a. reimpresión 2008

Impreso en México

PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II  
GUÍA DEL ALUMNO  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS  
ÁREA DE FÍSICA  
SEPTIEMBRE, 1979

Diseño de prácticas:

Octavio Raúl Arzate S.  
Sergio Calixto C.  
Ana E. García H.  
José Luis López B.  
Alberto Martínez V.  
René Molnar de la Parra  
Carlos Germán Pavía M.  
Adán Robles M.  
Salvador Tirado G.  
Miguel Tufiño V.  
Marcela M. Villegas G.

Coordinador de prácticas:  
José Luis López Bonilla

Revisión:  
Francisco Medina Nicolau  
Juan Quintanilla Martínez



## CONTENIDO

PRACTICA No.	PAG.
1a. Oscilaciones I.....	7
1b. Oscilaciones II .....	13
2. Colisiones de una y dos dimensiones.....	19
3a. Cuerpos rodantes I.....	23
3b. Cuerpos rodantes II.....	31
3c. Cuerpos rodantes III.....	41
4. Determinación de la componente horizontal del campo magnético terrestre.....	47
5a. Determinación de la velocidad del sonido I.....	53
5b. Determinación de la velocidad del sonido II.....	61
6a. Ondas estacionarias en una cuerda I.....	67
6b. Ondas estacionarias en una cuerda II.....	81





## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 1a.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Prof. Miguel Tufiño V.  
Prof. Sergio Calixto C.  
Prof. Alberto Martínez V.

### OSCILACIONES I

#### I. OBJETIVO:

Determinar la relación entre período de oscilación y masa suspendida de un resorte, así como la pérdida de energía por período en un sistema oscilatorio.

#### II. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se estudia el comportamiento de sistemas oscilatorios constituidos por resortes; se determinan experimentalmente la relación entre las cantidades que caracterizan dicho movimiento, tales como: período, masa, frecuencia y constante del resorte. También se determina la pérdida fraccional de energía por período de oscilación, así como la constante de amortiguamiento y la disminución de la amplitud en función del tiempo.

#### III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

Para el desarrollo de esta práctica se empleará el material si-

Para el desarrollo de esta práctica se empleará el material siguiente:

- a ) Dos resortes diferentes
- b ) Un marco de pesas, y varilla con escalas
- c ) Dos cronómetros
- d ) Dos soportes universales
- e ) Dos nueces para soporte
- f ) Dos pinzas para soporte
- g ) Una plomada
- h ) Un metro de madera
- i ) Una cubeta
- j ) Una esfera metálica
- k ) Dos prensas
- l ) Un gato mecánico

Estos aparatos ya se describieron en el curso de Laboratorio I de Física. Indicaremos ahora las diferentes experiencias que deberán realizarse en esta práctica. Cada experiencia deberá realizarse para cada resorte.

1. Determinación estática de la constante de un resorte. Suspended verticalmente un resorte fijando su extremo superior y del extremo inferior sujete una masa conocida  $m$  y colóquela en reposo en su posición de equilibrio. Varíe el valor de la masa cada 50g y mida la elongación  $x$  del resorte.

REPORTE: Construya una tabla de datos masa-elongación, y grafique el peso de la masa en función de la elongación del resorte. Empleando el método de mínimos cuadrados, ajuste los puntos experimental

les a una recta y determine así el valor de la constante del resorte.

2. Determinación de la relación entre período de oscilación y masa suspendida de un resorte. Una vez conocida la constante del resorte, para cada masa dé una amplitud al sistema, hágalo oscilar y mida el período de oscilación  $T$ .

Reporte: Construya una tabla de datos masa-período y grafique el cuadrado del período en función de la masa. Empleando el método de mínimos cuadrados ajuste los puntos experimentales a una recta, y determine así el valor de la constante de proporcionalidad entre el cuadrado del período y la masa. Compare el valor de la constante del resorte, dada por  $k = 4\pi^2 m_0^{-1}$ , donde  $m_0$  es la pendiente de la recta ajustada en esta experiencia, con el valor de dicha constante determinada en la experiencia 1.

3. Cálculo de la pérdida fraccional de energía por período de oscilación. De la masa del oscilador sujete ahora una esfera metálica de masa conocida mediante una varilla con escala. La esfera se sumerge en un medio amortiguador ( agua ). Repita ahora la experiencia 2 midiendo el período de oscilación y la amplitud del movimiento.

REPORTE: Construya una tabla de datos para una masa fija de la siguiente forma:

a) Tabla de datos  $A_i$ ,  $A_{i+1}$ , y  $T_i$ , donde:

$A_i$ : amplitud de la  $i$ -ésima oscilación,

$A_{i+1}$ : amplitud de la  $(i+1)$ -ésima oscilación,

$\delta_i$  : la pérdida fraccional de energía por período,  
entre la  $i$ -ésima y la  $(i+1)$ -ésima oscilaciones.

Obtenga el valor medio de  $\delta$  y de la desviación estándar.

b) Construya una tabla de datos amplitud contra tiempo y grafique la  $A$  en función del tiempo, y empleando el método de mínimos cuadrados, ajuste a una recta los puntos experimentales. De termine así la constante de amortiguamiento del oscilador.

#### IV. RECOMENDACIONES

1. Para cada resorte, varíe la masa a partir de 100g.
2. Para construir sus tablas de datos, haga un mínimo de 10 mediciones en cada experiencia.
3. En todas las experiencias, grafique los resultados para ambos resortes en una misma gráfica, para que le sirvan de comparación.
4. En las experiencias 2 y 3 procure que el movimiento sea vertical solamente; si hay movimiento horizontal, procurar que sea mínimo.
5. En la medida del período de oscilación, para que el error en esta sea pequeño, determine el tiempo en que se completan 10 oscilaciones; repita esta operación 5 veces al menos y obtenga así un valor promedio del período.
6. En la experiencia 3 procure que ninguna parte del resorte entre en el agua, y que la esfera metálica siempre se mantenga dentro de ella.
7. Para medir la amplitud del movimiento de cada oscilación, dé

una amplitud inicial constante y mida las amplitudes  $A_1, A_2, \dots, A_n$  una por una. Esto se hace nuevamente para que el error sea mínimo en estas mediciones.

8. Efectúe la experiencia 3 sólo para tres masas diferentes: 200g, 400g y 600g.

#### V. PREGUNTAS

1. Indique usted, por orden de importancia, las principales fuentes de error que influyen en cada experiencia.
2. Indique usted, por orden de importancia, los principales casos de amortiguamiento que influyen en el movimiento oscilatorio de las experiencias 3, describiendo la forma en que influyen.
3. ¿Espera usted que la pérdida fraccional de energía por período de oscilación sea constante para una masa constante durante todo el movimiento? ¿Por qué?

#### VI. BIBLIOGRAFÍA

David Halliday y Robert Resnick.  
"Física", Parte I, Cap. XV  
C.E.C.S.A. (1971)



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 1b.  
GUIA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Prof. Miguel Tufiño V.  
Prof. Sergio Calixto C.  
Prof. Alberto Martínez V.

### OSCILACIONES II

#### I. OBJETIVO

Estudiar el comportamiento de sistemas oscilatorios complejos, formados por resortes y sistemas oscilatorios equivalentes. Aplicaciones al cálculo del momento de inercia de un cuerpo plano, empleado como sistema oscilatorio.

#### II. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se estudia el comportamiento de diversos sistemas oscilatorios, suponiendo conocido el comportamiento de un oscilador armónico simple y las relaciones que existen entre los diversos parámetros que lo caracterizan, tales como: período, frecuencia angular, fase, etc. Por otra parte, conociendo dichas relaciones se determinan otras cantidades del movimiento, tales como el momento de inercia de un cuerpo, empleándolo como un sistema oscilatorio.

#### III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de esta práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Tres resortes (dos iguales y uno diferente)
- b) Un marco de pesas
- c) Dos cronómetros
- d) Dos soportes universales
- e) Dos nueces para soporte
- f) Dos pinzas para soporte
- g) Una plomada
- h) Un metro de madera
- i) Dos prensas
- j) Un riel de aire con accesorios
- k) Un flexómetro

Estos aparatos ya se describieron en el curso de Laboratorio I de Física. Indicaremos ahora las diferentes experiencias que deberán realizarse en esta práctica.

1. Cálculo de la constante de fuerzas equivalentes para un sistema de 2 resortes en serie y 2 resortes en paralelo.

Resortes en serie: Suspense verticalmente dos resortes unidos entre sí. Fije el extremo superior del resorte de arriba, y del extremo inferior del resorte de abajo, sujete una masa conocida  $m$ . Varíe el valor de esta última cada 50g (\*). Para cada masa dé una amplitud al sistema y hágalo oscilar; mida el período de oscilaciones.

Resortes en paralelo: Sujete dos resortes a una masa conocida  $m$  colocada sobre un riel de aire. Mantenga fijos los otros extremos de los resortes. Varíe el valor de la masa arbitrariamente. Para



cada masa haga oscilar el sistema y mida el período de oscilación.

\* A partir de 100g.

REPORTE: Para cada sistema, construya una tabla de datos período ( $T$ )-masa ( $m$ ) y grafique el cuadrado del período  $T^2$  en función de la masa. Empleando el método de mínimos cuadrados ajuste los puntos experimentales a una recta y determine así el valor de la constante del resorte para el sistema equivalente. Compare el valor de dicha constante, con el valor obtenido en términos de las constantes de cada resorte y determine el error relativo.

2. Determinación de la relación entre período de oscilación y masa para oscilaciones de un cuerpo doble. Una dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$  mediante un resorte y colóquelos sobre un riel de aire. Varíe el valor de las masas arbitrariamente. Para cada valor de las masas, haga oscilar el sistema y mida el período de oscilación.

REPORTE: Construya una tabla de datos período ( $T$ )-masas ( $m_1, m_2$ ) y grafique el cuadrado del período  $T^2$  en función de la masa reducida del sistema ( $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ ). Empleando el método de mínimos cuadrados, ajuste los puntos experimentales a una recta y determine el valor de la constante del resorte. Compare el valor de la constante obtenido por este método con el valor que se obtiene al hacer oscilar solamente un cuerpo sobre el riel de aire. Calcule el error relativo entre ambos valores.

3. Cálculo del momento de inercia  $I_{cm}$  de un cuerpo plano usándolo como péndulo físico. Localice el centro de masa de un cuerpo plano y suspéndalo de un punto fijo cualquiera. Varíe la posición del punto fijo en el cuerpo. Para cada radio de giro (distancia

del punto fijo al centro de masa del cuerpo), haga oscilar levemente el cuerpo y mida el período de oscilación.

REPORTE: Construya una tabla de datos período ( $T$ ) -radio de giro ( $r$ ) y determine el valor del momento de inercia  $I_r$  de dicho cuerpo para cada  $r$ . El valor real del momento de inercia  $I_{cm}$  estará en el intervalo dado por el valor medio  $\pm$  la desviación estándar. La relación entre  $I_r$  e  $I_{cm}$  está dada por el teorema de los ejes paralelos.

#### IV. RECOMENDACIONES

1. En la experiencia 1, emplee resortes diferentes para el caso de conexión en serie y resortes iguales para la conexión en paralelo.
2. Para construir sus tablas de datos y para medir el período de oscilación, emplee los criterios indicados en la práctica 1a.
3. En la experiencia 2, para determinar el valor de la constante del resorte cuando un cuerpo oscila sobre el riel de aire, emplee el mismo método de la experiencia 2 en la práctica 1a., aunque ahora se hará oscilar al cuerpo sobre el riel de aire.
4. Efectúe la experiencia 3, sólo para tres cuerpos diferentes y procure que los cuerpos oscilen en un plano.

#### V. PREGUNTAS

1. Deduzca las expresiones para las constantes equivalentes de un sistema de resortes:

a) En serie:  $k_{eq} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$  o  $\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

b) En paralelo:  $k_{eq} = k_1 + k_2$ .

2. Deduzca la ecuación del movimiento para las oscilaciones de dos cuerpos unidos por un resorte.

3. En las oscilaciones de un cuerpo doble, ¿qué ocurre cuando una masa es muy grande respecto a la otra:  $m_1 \gg m_2$  ? ¿a qué se reduce la ecuación del movimiento?.

#### VI. BIBLIOGRAFÍA.

1. David Halliday, Robert Resnick.

"Física" Parte I, Cap. XV

C.E.C.S.A. (1971)



PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 2  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Profa. Marcela M. Villegas G.  
Prof. Eduardo Sáinz M.

COLISIONES EN UNA Y DOS DIMENSIONES

I. OBJETIVO.

Determinar las velocidades iniciales y finales de dos cuerpos que chocan. El alumno deberá analizar cuidadosamente los factores externos que afecten los resultados de sus medidas, ya que en base a éstas debe enunciar un postulado.

II. INTRODUCCIÓN.

Esta guía tiene por finalidad plantear al alumno los objetivos que se persiguen en esta práctica, proporcionándole a la vez un esbozo de los conceptos teóricos y un esquema de la metodología experimental a seguir.

III. CONCEPTOS TEÓRICOS.

Los conceptos básicos necesarios para esta práctica son: la primera y tercera leyes de Newton y la ley de conservación de la energía.

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

Para el desarrollo de esta práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Riel de aire y equipo accesorio
- b) Cronómetros.
- c) Equipo de colisiones en dos dimensiones
- d) Papel blanco
- e) Papel carbón
- f) Balanza

##### A) Colisiones en una sola dimensión

1. Montar el sistema del riel de aire. Según las indicaciones del profesor, seleccionar los puntos de colisión y los puntos entre los cuales se medirán las distancias que recorren los cuerpos antes y después de la colisión. Medir la masa de los cuerpos.

2. Construir una tabla donde se anoten las distancias que recorren los cuerpos antes y después de la colisión, los tiempos que tardan en recorrer dichas distancias; calcular las velocidades iniciales y finales, la energía cinética total inicial y final y el coeficiente de restitución.

3. Cambiar la forma de interacción entre los cuerpos y repetir los pasos 1 y 2 para cada forma de interacción.

4. Dibujar una gráfica donde se muestre el coeficiente de restitución contra el porcentaje de pérdida en la energía cinética total del sistema.

##### B) Colisiones en dos dimensiones

1. Conforme a las instrucciones del profesor, el alumno montará el equipo de colisiones en dos dimensiones.

2. El alumno contruirá un sistema de referencia para localizar la posición de los proyectiles cuando tocan el suelo.
3. Se calculará la velocidad inicial con la que deja la rampa el proyectil midiendo la distancia entre el origen del sistema y la huella dejada por el balón sobre el papel.
4. Colocar en la posición adecuada el cuerpo que servirá de blanco, y dejar que el balón proyectil resbale por la rampa, desde la misma posición en la que fue colocado para el inciso 3. Medir las distancias y los ángulos para los vectores que van desde el centro del sistema de referencia hasta cada una de las huellas dejadas por los balines.
5. De los pasos 3 y 4 calcular los momentos iniciales y finales. Con esto se puede calcular el coeficiente de restitución y las energías cinéticas totales antes y después de la colisión. Presentar los resultados en forma tabular. Medir la masa de los proyectiles y blanco, anotarlos en la tabla anterior.
6. Repetir cinco veces los pasos 4 y 5.
7. Variar las masas del proyectil y del blanco, y repetir los pasos del 3 al 7.
8. Construir una gráfica en la que se muestre el coeficiente de restitución contra el porcentaje en la pérdida de energía cinética. CONSULTE AL PROFESOR SOBRE LA FORMA DE CONSTRUIR LAS TABLAS DE RESULTADOS.

V. BIBLIOGRAFÍA Halliday.

R. Resnick, D. Halliday.

"Física" Parte I, Cap. IX

C.E.C.S.A. (1971)



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 3a.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Profa. Ana E. García H.  
Prof. Salvador Tirado G.  
Prof. José L. López B.

### CUERPOS RODANTES I

#### I. OBJETIVO

Comprender:

- a) El concepto de coeficiente dinámico de fricción por rotación y su determinación para ciertos materiales en contacto.
- b) La conservación de la energía mecánica total que incluye las energías cinéticas de traslación, rotación y potencial gravitacional.
- c) La importancia del momento de inercia en la descripción de la dinámica de un cuerpo rígido.

#### II. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se analiza la dinámica de los movimientos de rotación y traslación de cilindros y esferas que ruedan sin resbalar sobre un plano inclinado.

#### III. DESCRIPCIÓN TEÓRICA

### III. DESCRIPCIÓN TEÓRICA

Consideremos una esfera o cilindro inicialmente en reposo sobre un plano inclinado, de tal forma que su C.M. se localice a una altura  $h$  de la base del plano. Dejemos que el cuerpo ruede sin resbalar. En la figura 1, se indican las cantidades que intervienen en el análisis dinámico del movimiento:

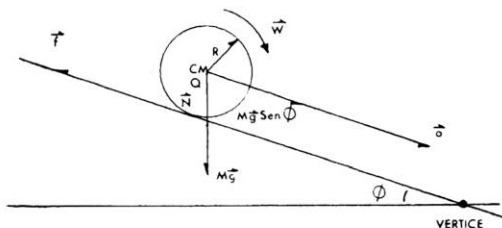


FIGURA 1

En donde:

$\omega$  : Velocidad angular del cuerpo respecto a un eje  $Q$  que pasa por su C.M. paralelo al plano inclinado y perpendicular a la dirección del movimiento.

$I$  : Momento de inercia de la distribución de masa de la esfera o del cilindro respecto al eje  $Q$ .

$R$  : Radio del cilindro o de la esfera.

$v$  : Velocidad del C.M.

$a$  : Aceleración del C.M.

$M\vec{g}$  : Peso del cuerpo.

$\vec{N}$  : Fuerza normal de contacto entre el plano y el cuerpo.

$\vec{f}$  : Fuerza de fricción aplicada en el punto de contacto.

$M\vec{g} \text{ sen } \phi$  : Componente del peso en la dirección del movimiento de translación.

$\mu$  : Coeficiente dinámico de fricción por rotación.

El análisis del movimiento se basa en:

(a) La ecuación de la energía mecánica:

$$Mgh = \frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} Mv^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(b) Las ecuaciones dinámicas:

$$Mg \text{ sen } \phi - f = Ma \quad \dots\dots\dots (2a)$$

$$fR = \frac{Ia}{R} \quad \dots\dots\dots (2b)$$

(c) Las relaciones entre fuerzas:

$$N = Mg \text{ cos } \phi \quad \dots\dots\dots (3a)$$

$$f = \mu N \quad \dots\dots\dots (3b)$$

$$v = \omega R \quad \dots\dots\dots (3c)$$

Obtenemos que

$$v = \sqrt{\frac{2Mgh}{\frac{I}{R^2} + M}} \quad \dots\dots\dots (4a)$$

$$a = \frac{Mg \text{ sen } \phi}{M + \frac{I}{R^2}} \quad \dots\dots\dots (4b)$$

$$f = \frac{I}{R^2} \cdot \frac{Mg \text{ sen } \phi}{M + \frac{I}{R^2}} = Mg \text{ sen } \phi - Ma \quad \dots\dots\dots (4c)$$

$$\mu = \frac{I}{R^2} \frac{\tan \phi}{M + \frac{I}{R^2}} \quad \dots\dots\dots (4d)$$

Ahora, particularicemos las ecuaciones (4) a los casos siguientes:

a) Un cilindro:

$$I = \frac{MR^2}{2}, \quad v = \sqrt{\frac{4}{3} gh} \quad \dots\dots\dots (5a)$$

$$a = \frac{2}{3} g \sin \phi \quad , \quad f = \frac{Mg}{3} \sin \phi \quad \dots\dots\dots (5b)$$

$$\mu = \frac{1}{3} \tan \phi \quad \dots\dots\dots (5c)$$

b) Una esfera:

$$I = \frac{2}{5} MR^2 \quad , \quad v = \sqrt{\frac{10}{7} gh} \quad \dots\dots\dots (6a)$$

$$a = \frac{5}{7} g \sin \phi \quad , \quad f = \frac{2Mg}{7} \sin \phi \quad \dots\dots\dots (6b)$$

$$\mu = \frac{2}{7} \tan \phi \quad \dots\dots\dots (6c)$$

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de esta práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Un flexómetro
- b) Una balanza
- c) Un vernier
- d) Tres cronómetros
- e) Un Plano inclinado
- f) Juegos de cilindros y esferas de madera y metal

El desarrollo experimental se realiza siguiendo los pasos siguientes:

- (a) Con la balanza, determinar la masa  $M$  de las esferas y de los cilindros que se vayan a utilizar.
- (b) El radio  $R$  de los cuerpos no es uniforme. Por lo tanto, se medirá varias veces el diámetro del cilindro y de la esfera con el vernier, y se tomará un promedio.
- (c) Encontrar los valores límites de  $\phi$  que permiten la rotación sin deslizamiento del cuerpo rodante.

- (d) Fijar un ángulo  $\phi$  dentro del intervalo encontrado en (c).
- (e) Medir  $\phi$  con cuidado. En esta medida pueden originarse errores experimentales serios.
- (f) Dejar rodar la esfera o cilindro a partir del reposo desde un punto que llamaremos el origen  $O$ . Medir la altura inicial  $h$  del C.M., respecto a la base del plano. Tomar medidas de distancia vs tiempo cada 5 cm usando los tres cronómetros simultáneamente, ver figura 2.

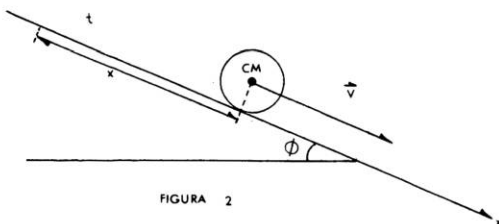


FIGURA 2

De esta manera se obtendrá la tabla de valores:

x (cm)	t (s)
$x_1$	$t_1$
$x_2$	$t_2$
$\vdots$	$\vdots$
$x_n$	$t_n$

Graficar  $x$  vs  $t$ . Esta gráfica sugiere una relación cuadrática entre estas dos variables: la curva es del tipo parabólico. Por lo tanto, se propone:

$$x = a_1 t^2 + a_0 \dots \dots \dots (7)$$

como ley cinemática para el movimiento del cilindro (o esfera).

Efectuando el cambio de variable  $z = t^2$  se obtiene la recta

$$x = a_1 z + a_0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

Realizar un ajuste de (8) por mínimos cuadrados para determinar  $a_1$  y  $a_0$ . Graficar (7).

#### V. PREDICCIONES EXPERIMENTALES

El alumno efectuará un análisis de la información contenida en (7) realizando los siguientes cálculos:

a) Determinar la aceleración experimental del C.M.

$$a = \frac{d^2 x}{d t^2} = 2 a_1 \quad \dots\dots\dots(9)$$

Comparar (9) con los valores teóricos (5b) y (6b), según sea un cilindro o una esfera.

b) Valor experimental de la fuerza de fricción:

$$f = M(g \operatorname{sen} \phi - a) = M(g \operatorname{sen} \phi - 2 a_1) \quad \dots\dots\dots(10)$$

comparar con (5b) y (6b), según sea un cilindro o una esfera.

c) Momento de inercia experimental:

$$I = \frac{f R^2}{a} = \frac{M(g \operatorname{sen} \phi - 2 a_1) R^2}{2 a_1} \quad \dots\dots\dots(11)$$

y comparar este resultado con los valores teóricos (5a) y (6a), según sea el caso.

d) Coeficiente dinámico de fricción por rotación (madera sobre madera, madera sobre vidrio, madera sobre acrílico, acero sobre ma-dera, etc.).

$$\mu = \frac{g \operatorname{sen} \phi - 2 a_1}{g \cos \phi} \quad \dots\dots\dots(12)$$

comparar con (5c) y (6c).

e) De acuerdo con (7), la velocidad del cuerpo está dada por:

$$v = \frac{dx}{dt} = 2 a_1 t$$

Si  $T$  es el tiempo que el cuerpo emplea en recorrer el plano inclinado, entonces la velocidad final es:

$$v_f = 2 a_1 T \quad \dots\dots\dots (13)$$

y a  $T$  lo determinamos con (7);

$$T = \sqrt{\frac{L - a_0}{a_1}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

con  $L$  = longitud total del plano inclinado. Por lo tanto,

$$v_f = 2 \sqrt{a_1 (L - a_0)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

Comparar el valor experimental (15) con los valores teóricos (5a) y (6a), según corresponda. Esto permite una verificación de la conservación de la energía.

#### VI. CUESTIONARIO

1. Obtenga las expresiones (4), (5) y (6) para  $v$ ,  $a$ ,  $f$  y  $\mu$ .
2. Señale las fuentes de error experimental.
3. Indique el porcentaje de error entre sus valores teóricos y experimentales.
4. Compare los valores experimentales de  $\mu$  con valores para otros materiales.

#### VII. BIBLIOGRAFÍA

1. H.E. White, Física Moderna, Editorial Montaner y Simon, S.A.
2. R. Resnick, D. Halliday, Física, Vol. I, C.E.C.S.A. (1971)





## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 3b.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autor de este trabajo:  
Prof. René Molnar de la P.

### CUERPOS RODANTES II

#### I. OBJETIVO.

1. Entender la importancia del momento de inercia en la rotación de los cuerpos materiales.
2. Entender el concepto de momento de una fuerza (torca) y sus aplicaciones.
3. Mejorar el modelo teórico que describe el experimento.

#### II. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se estudiará y comprobará el efecto del momento de una fuerza sobre un cuerpo rodante y la importancia del momento de inercia (también llamada inercia rotacional) en el movimiento de un cuerpo (máquina de Atwood). Se propone encontrar una expresión teórica para el tiempo de caída de un cuerpo en la máquina de Atwood, se compare con el resultado experimental, y de esta comparación, refinar el modelo teórico para obtener una mejor aproximación al valor experimental del tiempo de caída.

### III. CONCEPTOS TEÓRICOS

La máquina de Atwood es un mecanismo con el cual se puede controlar la aceleración con la que un cuerpo cae de una altura  $h$  determinada de antemano.

El problema lo atacaremos siguiendo una serie de aproximaciones, que nos permitan ir refinando el modelo teórico.

Primera aproximación: A partir de la segunda ley de Newton, determinar una expresión para el tiempo que tarda en caer la masa  $m_1$  (o en subir la masa  $m_2$ , pues  $m_1 > m_2$ ).

Segunda aproximación: Emplearemos el principio de conservación de la energía y tomaremos en cuenta la rotación de la polea.

Tercera aproximación: Consideraremos el momento producido por la fuerza de fricción.

Primera aproximación: aplicando la segunda ley de Newton:

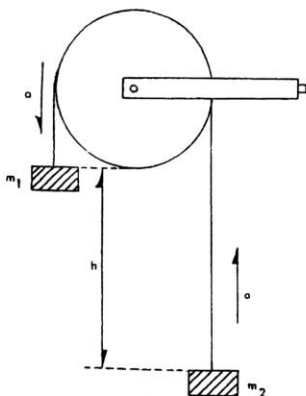


FIGURA 1

Considerando el sistema que se muestra en la figura 1, dejemos caer la masa  $m_1$  desde una altura  $h$  y calculemos con qué aceleración cae  $m_1$  (o sube  $m_2$ ). De los diagramas de cuerpos libre para cada masa (figura 2) y de la segunda ley de Newton se tiene:

$$m_1 g - T = m_1 a \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T - m_2 g = m_2 a \quad \dots\dots\dots(2)$$

En donde se tomó la convención de que los vectores en la direc-

ción del movimiento son positivos. Eliminando a  $T$  de las ecuaciones (1) y (2), se obtiene para la aceleración:

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g \quad \dots \dots \dots (3)$$

Si el cuerpo parte del reposo ( $v_0 = 0$ ), la masa  $m_1$  (o la  $m_2$ ) recorrerán la distancia  $h$  en un tiempo  $t$ . Por lo que de la ecuación cinemática,  $h = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ , es inmediato concluir que:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

Sustituyendo (3) en (4), se obtiene que el tiempo para la primera aproximación es:

$$t = \sqrt{\frac{2h(m_1 + m_2)}{(m_1 - m_2)g}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

Segunda aproximación:

Consideremos la rotación de la polea y determinemos una expresión para el tiempo de caída de la masa  $m_1$ . Sean  $m_1$  y  $m_2$  las masas de los cuerpos suspendidos ( $m_1 > m_2$ ) y  $M$  la masa de la polea. Si se suelta  $m_1$ , ésta caerá y moverá a  $m_2$  - levantándola una altura  $h$  - haciendo que la polea de masa  $M$  gire. Esto producirá cambios en la energía potencial de  $m_1$ , que a su vez producen los siguientes cambios en la energía del sistema:

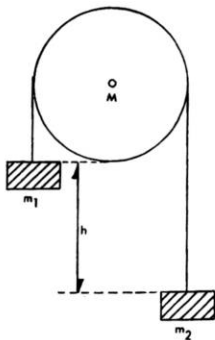


FIGURA 3

tes cambios en la energía del sistema:

$$\begin{aligned} \text{E.P. (de } m_1) &= \text{E.C. (de } m_1 \text{ y } m_2) \\ &+ \text{E.P. (de } m_2) + \text{E.Rot. (polea)} \\ &\dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

la que expresada en términos de los parámetros y variables del sistema, toma la forma:

2892729

$$m_1 g h = \frac{1}{2} m_1 v^2 + \frac{1}{2} m_2 v^2 + m_2 g h + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Tomando en cuenta que para una polea el momento de inercia es  $I = \frac{1}{2} M R^2$ , que  $\omega^2 = \frac{v^2}{R^2}$ , sustituyendo y despejando a  $v^2$ , tendremos que:

$$v^2 = \frac{2(m_1 - m_2) g h}{m_1 + m_2 + \frac{M}{2}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

De la relación cinemática  $v^2 = v_0^2 + 2 a h$  y de la condición inicial de reposo ( $v_0 = 0$ ), podemos despejar la aceleración y obtener lo siguiente:

$$a = \frac{(m_1 - m_2) g}{m_1 + m_2 + \frac{M}{2}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

la que al ser sustituida en la ecuación  $h = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ , nos conduce a la expresión para el tiempo de caída:

$$t = \sqrt{\frac{2h(m_1 + m_2 + \frac{M}{2})}{(m_1 - m_2) g}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Tercera aproximación:

Como última aproximación, consideremos el momento producido por la fuerza de fricción (momento retardador sobre la polea).

Para analizar la aproximación, consideremos el problema en varias partes. Primero: para impulsar a la polea se requiere una fuerza constante, la que es proporcionada por una masa  $m_0$  vía un hilo de longitud  $h$  enrollado en la polea. Para facilitar el cálculo y el experimento, tómesese la misma altura a la que se ha estado dejando caer la masa  $m_1$ . La masa  $m_0$  tarda en recorrer la distancia  $h$  (figura 4) un tiempo  $t_0$ , el cual determinaremos experimentalmente. Suponiendo que la fuerza de fricción es pequeña comparada con  $m_0 g$ ; y que  $\alpha_0$  es la aceleración angular de la polea una vez que se ha desenrollado todo el hilo, entonces:

$$m_0 g - F = m_0 a = m_0 R \alpha_0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

además que

$$I \alpha_0 = \tau = FR \quad \dots\dots\dots (12)$$

tomando en cuenta que el momento de inercia para la polea está dado por la expresión:  $I = \frac{1}{2} MR^2$ , la ecuación (12) se transforma en:

$$FR = \frac{1}{2} MR^2 \alpha_0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

o sea que

$$F = \frac{1}{2} MR \alpha_0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

Substituyendo (14) en (11) y despejando se tiene:

$$\alpha_0 = \frac{m_0 g}{(m_0 + \frac{1}{2} M) R} \quad \dots\dots\dots (15)$$

Ésta es la aceleración al final de la cuerda; y la velocidad angular final  $\omega$  estará dada por la ecuación cinemática  $\omega = \omega_0 + \alpha t_0$  con  $\omega_0 = 0$ , ya que se parte del reposo. Resolviendo para  $\omega$ , tendremos que:

$$\omega = \frac{m_0 g t_0}{(m_0 + \frac{1}{2} M) R} \quad \dots\dots\dots (16)$$

para la velocidad de la polea al desenrollarse todo el hilo. Si hay presente fuerza de fricción, la polea se detendrá después de un tiempo  $t_1$ , ya que, sobre la polea actúa un momento  $\tau_f = I \alpha_1$ , donde  $\alpha_1$  es la aceleración producida por el momento retardador  $\tau_f$ .

Segunda parte: Para calcular  $\alpha_1$ , consideremos que  $\omega_{01}$  es la velocidad angular inicial y en el momento en que la polea se detenga, la velocidad angular final será cero; luego entonces:

$$\omega_1 = \omega_{01} - \alpha_1 t_1 \quad \dots\dots\dots (17)$$

de donde

$$\alpha_1 = \frac{\omega_{01}}{t_1} = \frac{m_0 g t_0}{(m_0 + \frac{1}{2} M) R t_1} \quad \dots\dots\dots (18)$$

Siendo  $\zeta_f = I\alpha_f$ , el momento que detiene a la polea, entonces:

$$\zeta_f = \frac{m_0 g t_0}{(m_0 + \frac{1}{2}M) R t_1} I \quad \dots\dots\dots (19)$$

donde  $t_1$  es el tiempo que tarda en detenerse la polea, el cual habrá de determinarse experimentalmente. Ahora bien, el trabajo que se realiza para frenar un cuerpo girando, está dado por  $\zeta_f \theta$ , por lo que del principio de conservación de la energía obtendremos:

$$m_1 g h = m_2 g h + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 + \zeta_f \theta \quad \dots\dots\dots (20)$$

donde  $\theta$  es el ángulo que ha girado la polea al caer  $m_1$  un altura  $h$ . Despejando de (20) a la velocidad  $v$ , recordando que el momento de inercia es  $I = \frac{1}{2} M R^2$  y que  $\omega = \frac{v}{R}$ ; tendremos que:

$$v^2 = \frac{2[(m_1 - m_2)gh - \zeta_f \theta]}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2}M} \quad \dots\dots\dots (21)$$

y la aceleración de la masa  $m_1$ , que cae, satisfará la expresión:

$$v^2 = 2 a h \quad \dots\dots\dots (22)$$

con  $v_0 = 0$ , de donde:

$$a = \frac{(m_1 - m_2)gh - \zeta_f \theta}{h(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}M)} \quad \dots\dots\dots (23)$$

El tiempo que tarda en recorrer la altura  $h$ , provendrá de la ecuación,  $h = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ , con  $v_0 = 0$ , esto es:

$$t = \sqrt{\frac{2h^2(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}M)}{(m_1 - m_2)gh - \zeta_f \theta}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

Tomando en cuenta que  $\theta = h/R$ , que el momento de inercia de la polea es,  $I = \frac{1}{2} M R^2$ , la ecuación (19) se transforma en:

$$\zeta_f = I \frac{m_0 g t_0}{(m_0 + \frac{1}{2}M) R t_1} = \frac{M m_0 t_0 g R^2}{2(m_0 + \frac{1}{2}M) R t_1} \quad \dots\dots\dots (25)$$

por lo que el producto  $\tau_f \theta$  estará expresado por:

$$\tau_f \theta = \frac{M m_o t_o g h}{2 (m_o + \frac{1}{2} M) t_1} \dots \dots \dots (26)$$

y la ecuación (24) tendrá la forma final:

$$t = \sqrt{\frac{2h(m_1 + m_2 + \frac{1}{2} M)}{(m_1 - m_2 - \frac{M m_o t_o}{2 t_1 (m_o + \frac{1}{2} M)}) g}} \dots \dots \dots (27)$$

#### IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Conviene usar dos tipos de poleas en este experimento, una de pasta (o plástico) y una polea metálica grande con base para unirse a la mesa. Si es posible pese ambas poleas (sin base), pero puede tomar como valor aproximado de  $M$ , los siguientes valores: polea de pasta 9.45 g, polea de metal 120.5 g.

Considere una altura  $h$  de un metro o más (medido de la mitad de la pesa a la parte más baja de la polea) y procure que la pesa casi choque con el piso pues el golpe que ésta emita al pegar con un cartón o cuaderno que pondrá entre piso y pesa le indicará cuando tomar tiempos. Al dejar caer  $m$  procure que esta masa quede del lado de afuera de la polea de tal manera que cuando  $m_1$  golpee al marco de la polea este sonido servirá para detener al cronómetro.

Use pesas de los siguientes valores: para la polea de pasta o sea la polea pequeña:

$$m_o = 20 \text{ g}, \quad m_1 = 60 \text{ g}, \quad m_2 = 50 \text{ g}$$

se le sugiere que para la polea grande, además, de estos valores pruebe con:

$$m_1 = 110 \text{ g} \quad \text{y} \quad m_2 = 100 \text{ g}$$

(usted usará un juego de poleas que no son de precisión, así que hay que rectificar los pesos de las masas que se usen).

Para el desarrollo de esta práctica, se empleará el siguiente material:

- a) Dos poleas (de pasta (polea chica), de metal (polea grande));
- b) Cronómetros;
- c) Flexómetro;
- d) Hilo;
- e) Tripié con varilla y accesorios para sostener a la polea;
- f) Tornillo o prensa (unir el tripié a la mesa con el tornillo);
- g) Balanza.

Una vez puesta la polea a una altura  $h$  conveniente (que usted elige arbitrariamente) y medida la longitud del hilo que sostendrá a  $m_1$  y  $m_2$ , pese con cuidado ambas masas y colóquelas como lo muestra la figura 1.

Deje que  $m_1$  llegue casi hasta el piso y ponga un cuaderno o un cartón de tal forma que al caer  $m_1$  pegue con éste.

Deje caer  $m_1$  unas seis veces y tome el tiempo que tarda en recorrer  $h$ , saque un promedio y compare con la primera y segunda aproximación (ecuaciones (5) y (10)).

Para la tercera aproximación (ecuación (27)) hay que encontrar  $t_0$  y  $t_1$  experimentalmente.

Para  $t_0$ : corte un hilo de longitud  $h$  y amarre a  $m_0$  en un extremo y enrolle el otro extremo sobre la polea hasta que  $m_0$  llegue a la polea, con reloj en mano tome el tiempo en que  $m_0$  recorre  $h$ , esto es fácil de hacer pues se empieza a tomar el tiempo en el instante que la masa  $m_0$  se suelta y se detiene el cronómetro cuando



do  $m_0$  golpea el cartón que se ha puesto en el piso, realice seis medidas de  $t_0$ .

Aprovechando la determinación de  $t_0$  se puede determinar  $t_1$ , pues el cronómetro se arranca en el instante en que  $m_0$  toca el piso (es decir, en el instante en que se detiene el cronómetro que está midiendo  $t_0$ ) y se detiene en el instante en que la polea se para (es conveniente que este experimento lo realicen 5 ó 6 personas, pues de esta forma, se tendrán más mediciones) con estos tiempos, calcule el tiempo de caída de  $m_1$  por medio de la ecuación (27) y compare con el tiempo experimental.

#### V. CUESTIONARIO.

1. Encuentre el porcentaje de error experimental del tiempo (considere este tiempo como exacto) con relación a los tiempos que se proponen en las ecuaciones (5), (10) y (27).
2. ¿A qué cree usted que se deba el error entre el valor experimental y el que da la tercera aproximación?
3. ¿Es muy grande el error en el cálculo de (ecuaciones (5), (10) y (27)) si se efectúa una mala determinación de  $t_0$ ? ¿Y si se miden mal las masas?
4. ¿De qué forma podríamos determinar el momento producido por la fricción?

#### V. BIBLIOGRAFÍA.

R. Resnick, D. Halliday  
"Física", Vol. I  
C.E.C.S.A.

F. Bueche.

"Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería", Vol. I  
McGraw Hill

U. Ingard, W.L. Kraushaar

Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas  
Editorial Reverté (1972)



FIGURA 2

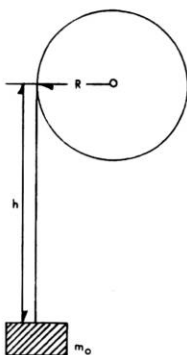


FIGURA 4

## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 3c.  
GUÍA DEL ALUMNO

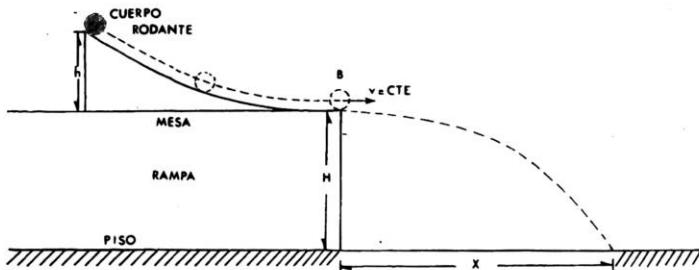
Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Prof. René Molnar de la P.  
Prof. Adán Robles M.

### CUERPOS RODANTES III

#### I. OBJETIVO.

Cálculo teórico y experimental de la distancia horizontal que recorre un cuerpo rodante lanzado desde una rampa. (Tiro parabólico y rotación de una esfera).

#### II. DESARROLLO TEÓRICO.



De acuerdo a la figura 1 y de la ley de conservación de la energía, sabemos que para cualquier cuerpo se cumple que:

$$E_A = E_B \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad \dots\dots\dots (1')$$

pero,  $\omega = \frac{v}{r}$  ( $r$  = radio del cuerpo rodante), por tanto,

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \frac{v^2}{r^2} = \left(m + \frac{I}{r^2}\right) \frac{v^2}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

de donde se deduce que

$$v^2 = \frac{2mgh}{m + \frac{I}{r^2}} \quad \dots\dots\dots (2')$$

Ahora la velocidad horizontal con que sale el cuerpo rodante permanece constante. Por lo tanto se cumple que  $v = \frac{x}{t}$ , y la altura  $H$  de la masa está dada por  $H = \frac{1}{2} g t^2$ . El tiempo que tarda en recorrer el cuerpo la distancia  $x$  es el mismo que tardaría en recorrer la altura  $H$ ; por lo tanto, combinando éstas dos últimas expresiones obtenemos

$$v^2 = \frac{x^2}{t^2}, \text{ y, } t^2 = \frac{2H}{g} \Rightarrow v^2 = \frac{g x^2}{2H} \quad \dots\dots\dots (3)$$

igualando (3) con (2') tenemos:

$$\frac{g x^2}{2H} = \frac{2mgh}{m + \frac{I}{r^2}}; \quad x^2 = \frac{4mHh}{g\left(m + \frac{I}{r^2}\right)} = \frac{4mHh}{\left(m + \frac{I}{r^2}\right)}$$

de donde

$$x = \pm \sqrt{\frac{4mHh}{m + \frac{I}{r^2}}}$$

Como el cuerpo rodante que vamos a utilizar es una esfera, entonces,  $I = \frac{2}{5} m r^2$ . Substituyendo este valor en la relación anterior y tomando la raíz positiva obtenemos:

$$x = \sqrt{\frac{20}{7} Hh} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Si usted trata de predecir con la fórmula (4) la distancia a la cual va a caer el cuerpo rodante sobre el piso tal y como se encuentra bosquejado en la figura 1, encontrará que  $x_{\text{experimental}}$

<  $\chi$  teórica. Para comprobar la veracidad de la afirmación anterior, efectúe algunas experiencias con la rampa y cuerpo rodante elegidos.

Si  $\chi_{\text{exp}} < \chi_{\text{teo}}$  esto nos indica que en alguna forma hay una pérdida de energía  $E_x$  en el sistema de la figura 1. Por lo tanto;  $mgh \neq \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$ . Para que se satisfaga la igualdad debemos adicionar esa pérdida de energía  $E_x$  al segundo miembro de la expresión anterior para que el principio de conservación de la energía se cumpla, es decir:

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 + E_x \quad \dots\dots\dots (5)$$

A continuación encontraremos  $E_x$  a partir del cálculo de las constantes experimentales y, como consecuencia, la corrección a la fórmula (4).

Hagamos el experimento bosquejado en la figura 1 una vez tomando una  $h_0$  arbitraria, de aquí obtenemos que el cuerpo rodante cae a una distancia  $\chi$  en el suelo que llamaremos  $\chi_e$  ( $\chi$  experimental).

Esto origina que:

$$v_{\chi_e} = \frac{\chi_e}{t} \quad \text{de donde} \quad v_{\chi_e}^2 = \frac{\chi_e^2}{t^2}$$

y como  $H = \frac{1}{2} g t^2$  tendremos como resultado:

$$v_{\chi_e}^2 = \frac{\chi_e^2 g}{2H} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Su stituyendo (6) en (5) y  $h$  por  $h_0$  obtenemos

$$mgh_0 = \frac{1}{2} m \frac{\chi_e^2 g}{2H} + \frac{1}{2} \left( \frac{2}{5} \right) m r^2 \frac{\chi_e^2 g}{2H} \frac{1}{r^2} + E_x$$

de donde

$$h_0 = \frac{\chi_e^2}{4H} + \frac{\chi_e^2}{10H} + \frac{E_x}{mg} = \frac{7\chi_e^2}{20H} + \frac{E_x}{mg}$$

y finalmente

$$E_x = \left( h_0 - \frac{7}{20} \frac{\chi_e^2}{H} \right) mg \quad \dots\dots\dots (7)$$

Una vez conocida  $E_x$  volvemos a la ecuación (5) y despejamos a  $v_x$  para una  $h$  arbitraria, obteniendo:

$$mgh = \frac{1}{2} m v_x^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5}\right) m r^2 \frac{v_x^2}{r^2} + E_x$$

de donde  $v_x^2 = \frac{10}{7m} (mgh - E_x)$  pero  $v_x^2 = \frac{\chi_{T.C.}^2}{l^2} = \frac{\chi_{T.C.}^2 g}{2H}$

donde hemos denotado por  $\chi_{T.C.}$  a la distancia teórica corregida en los párrafos anteriores. Igualando las dos expresiones anteriores

y despejando  $\chi_{T.C.}$  obtenemos:

$$\chi_{T.C.} = \sqrt{\frac{20}{7} \left( h - h_0 + \frac{7}{20} \frac{\chi_e^2}{H} \right) H} \dots\dots\dots (8)$$

Si hacemos  $\alpha = h_0 - \frac{7}{20} \frac{\chi_e^2}{H}$  entonces  $\chi_{T.C.} = \sqrt{\frac{20}{7} (h - \alpha) H}$ .

Por último, si tomamos  $h_i$  alturas diferentes obtendremos  $\chi_{e_i}$  (con  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) para el cuerpo rodante que estemos utilizando;

esto implica tener  $\alpha_i$  constantes, por tanto tomando

$$\bar{\alpha} = \left( \frac{1}{n} \right) (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n)$$

obtenemos:

$$\chi_{T.C.} = \sqrt{\frac{20}{7} (h - \bar{\alpha}) H} \dots\dots\dots (9)$$

Nota: La  $\bar{\alpha}$  depende de los materiales del cuerpo rodante y de la rampa. Es decir, hay que calcular una  $\bar{\alpha}$  para cada par de materiales distintos que se usen para llevar a cabo el experimento.

### III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el desarrollo de la presente práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Una Rampa (de material flexible de 1.5 m de longitud)
- b) Un cuerpo rodante (esfera de cualquier material)
- c) Un flexómetro
- d) Hojas blancas y papel carbón
- e) Una prensa y plomada con cuerda.

El desarrollo experimental de la práctica es el siguiente:

Colocar la rampa sobre la mesa del laboratorio, fijando a la mesa el extremo de la rampa por donde saldrá el cuerpo rodante.

En seguida, con la plomada, determinar la señal sobre el piso a partir de la cual se medirá la distancia a la que caerá el cuerpo rodante. De la marca de la plomada ponga papel blanco (4 hojas o más) y después ponga encima el papel carbón, el cual marcará el golpe del cuerpo rodante sobre las hojas. La distancia entre las dos marcas será  $x_{exp}$ .

A continuación se procederá a calcular la  $\bar{\alpha}$  de la ecuación (9) para la rampa y el cuerpo rodante utilizados. Una vez fijada la  $\bar{\alpha}$  debemos tomar  $h > \bar{\alpha}$  para no obtener raíces imaginarias en la ecuación (9).

Finalmente, comprobar algunas distancias predichas por la ecuación (9) con las distancias experimentales medidas.

#### IV. CUESTIONARIO

1. ¿En qué forma interviene la fuerza de fricción en la ecuación (1)?
2. Deduzca la ecuación (4).
3. Deduzca la ecuación (8).
4. ¿Qué sucede si  $h = h_0$  en la ecuación (8)? ¿Es de esperarse ese resultado?
5. Si una esfera se desliza sin fricción sobre la rampa, y otra esfera rueda teniendo las mismas características de disposición de acuerdo a la figura 1. ¿Cuál de las dos cae más lejos y por qué?

6. ¿Qué unidades tiene  $\bar{\alpha}$  ?

7. ¿Que sucede cuando  $h = \bar{\alpha}$  en la ecuación (9)? (Compruebelo experimentalmente).

8. Si a la ecuación (9) mediante algún cambio de variables la transformamos a la forma  $\gamma = a_1 \lambda + a_0$ . ¿Cuál sería el valor de  $a_1$ , y cuál el de  $a_0$  ?

#### V. BIBLIOGRAFÍA

R. Resnick, D. Halliday

"Física", Vol. I

C.E.C.S.A. (1971)

F. Bueche

"Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería", Vol. I  
McGraw Hill

U. Ingard, W.L. Kraushaar

"Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas"  
Editorial Reverté



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 4  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Prof. Carlos Germán Pavía M.  
Prof. René Molnar de la P.

### DETERMINACIÓN DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

#### I. OBJETIVO

Que el alumno determine la propiedad característica de cada imán llamada magnetización  $\vec{M}$ . Una vez determinada  $\vec{M}$ , que mida  $\vec{H}$  o  $\vec{B}$  en un campo magnético arbitrario ( $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$  con  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Wb/Am).

#### II. CONCEPTOS TEÓRICOS

Al suspender un imán por su centro de masa, oscilará al ponerlo en un campo magnético. El período de oscilación estará dado por la expresión

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}} \dots\dots\dots (1)$$

en donde

$I$  : es el momento de inercia respecto al eje de oscilación en  $\text{kg m}^2$ .

$H$  : Intensidad del campo magnético en Am.

$M$  : Magnetización del imán en  $\text{Kg m}^3/\text{C s} = \text{J m/A}$ .

$T$  : Período en segundos.

Si por medios experimentales determinamos el período de oscilación  $T$  y usamos un cuerpo de geometría y distribución de masa conocidas (una varilla) podemos calcular  $I$ . Además,

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{\mu_0 ni}{\mu_0} = ni$$

porque  $B = \mu_0 ni$  para un solenoide de  $n$  vueltas por unidad de longitud ( $\text{m}$ ) llevando una corriente  $i$  ( $\text{A}$ ), suponiendo que  $\vec{B}$  es constante y paralelo al eje del solenoide. Bajo estas condiciones la ecuación (1) se transforma en:

$$T = 2\pi \frac{I}{Mni} \dots\dots\dots (2)$$

con

$$M = \left(\frac{4\pi^2 I}{n}\right) \frac{1}{T^2 i} \dots\dots\dots (3)$$

así expresado, basta contar  $n$  y medir  $i$  para que la ecuación (3) nos dé el valor experimental de  $M$ .

Conocida  $M$ , ponemos a oscilar el imán en el campo magnético terrestre y medimos el período  $T$ . De esta manera podemos calcular

$H$  a través de (1), esto es:

$$H = \frac{4\pi^2 I}{MT^2} \dots\dots\dots (4)$$

Es claro que se podría medir  $H$  para un campo magnético arbitrario si se pone a oscilar en él una varilla magnetizada a la cual previamente se le ha encontrado  $M$ .

### III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el desarrollo de esta práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Fuente de poder
- b) Barra magnética
- c) Hilo
- d) Bobina de 0.5 m de largo
- e) Cables de conexión
- f) Cronómetros
- g) Balanza
- h) Flexómetro
- i) Soporte no-ferromagnético
- j) Brújula



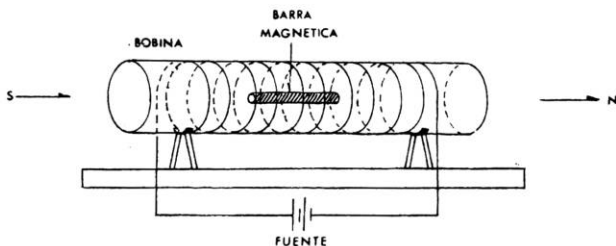
Con la balanza determine la masa  $m$  de la barra, mida su longitud (y diámetro si es necesario) y calcule  $I$ . Suspenda la barra por su centro de masa, equilibrándola lo mejor posible. Ponga la barra en el interior de la bobina (existen perforaciones en el punto medio de ésta) fijándola en el exterior con cinta adhesiva y procurando que la barra está orientada el norte geográfico al igual que la bobina. Conecte la fuente para saber si la polaridad es correcta: si la barra magnética se pega fuertemente a algunas de las paredes de la bobina cambie la polaridad de ésta invirtiendo los cables.

RECOMENDACIÓN: Emplee voltajes pequeños, pues la bobina tiene una resistencia de menos de  $1 \Omega$  y la corriente aumenta rápidamente.

Desconecte la fuente y oriente lo mejor posible la barra ya dentro de la bobina y la bobina misma al norte geográfico.

Ponga la fuente en otra mesa para que el campo magnético de los transformadores de ésta no modifiquen el campo magnético.

La expresión (1) para el período de oscilación es válida para oscilaciones pequeñas, así que procure que se cumpla esta condición.



Conecte la fuente y ajuste la corriente a 1 A (si es necesario aumentar la amplitud de oscilación, acerque un flexómetro a la bobina y la barra aumentará la amplitud) y mida el período de oscilación con el cronómetro (tome el tiempo de 10 oscilaciones y divida este tiempo por 10). Efectúa varias veces este proceso y saque un promedio del tiempo de una oscilación.

Repita estas operaciones con  $i = 2, 3, 4, 5, 6$  y 7 A. Midiendo el período para cada corriente como ya se indicó. Tenga cuidado en no tocar la bobina cuando la fuente está conectada, pues puede sufrir una descarga eléctrica si falla el aislante del cable.

Una vez medidos  $T$ ,  $i$ ,  $n$  y calculado  $I$ , ajuste la ecuación (1) por mínimos cuadrados y también calcule  $M$ , promedio de  $(\overline{M})$ , y compare con el valor ajustado. Después de estos cálculos se ha obtenido la magnetización del imán.

Ahora saque el imán de la bobina y cuélguelo del soporte de aluminio poniéndolo a oscilar ya orientado al Norte; mida el período de oscilación y, finalmente, utilice la ecuación (4) para calcular  $H$ .

#### IV. CUESTIONARIO

1. Deduzca la ecuación (1).
2. ¿Qué relación guarda  $M$  con el momento dipolar magnético  $\vec{\mu}$  ?.
3. ¿Porqué hay que orientar el imán al Norte antes de meterlo a la bobina?
4. ¿Es correcta la hipótesis de que  $\vec{B}$  dentro de un solenoide es constante y aproximadamente paralelo a su eje (en su interior)?
5. ¿Qué sucede si se conecta la fuente con la polaridad de la bobina invertida?
6. ¿Qué tipo de errores se cometen en el experimento y no se pueden corregir fácilmente?

#### V. BIBLIOGRAFÍA

D. Halliday, R. Resnick

"Física", Vol. II

C.E.C.S.A.

Daish & Dender

"Física Experimental"

UTEHA.



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 5a.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autor de este trabajo:  
Prof. Octavio Raúl Arzate S.

### DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO I

#### I. OBJETIVO

Analizando los fenómenos de resonancia e interferencia en columnas de gas se determinará la velocidad del sonido en el aire, se obtendrá la velocidad del sonido en el gas combustible del laboratorio y los varios modos propios de vibración de una columna de gas de longitud fija.

#### II. INTRODUCCIÓN

En esta práctica se analizará y estudiará experimentalmente los fenómenos de interferencia y resonancia en columnas de gas.

#### III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El experimento se llevará a cabo en tres partes:

Primera parte:

Para el desarrollo de esta parte de la práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Un flexómetro
- b) Un tubo de vidrio de 1.5 m de largo y 5 cm de diámetro
- c) Una manguera de goma de 1.5 m
- d) Un recipiente con salida en el fondo para manguera (puede ser un tubo más grueso que el del inciso (b))
- e) Tapones horadados
- f) Un diapasón (de 500 a 1500 Hz)

Arreglo experimental para esta primera parte: El equipo se monta como lo ilustra la figura 1, esto es:

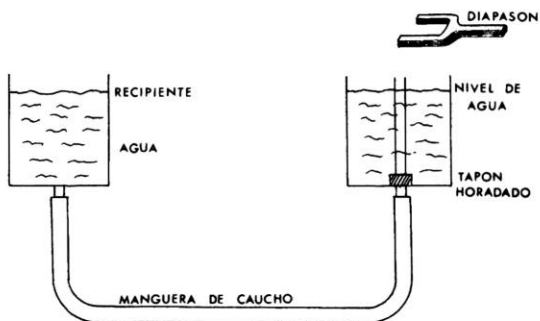


FIGURA 1

Para mayor comodidad, se recomienda fijar el tubo a la mesa por medio de unas pinzas.

Método de operación: para esta parte realizaremos los siguientes



pasos para medir la velocidad del sonido en el aire.

Con ayuda del recipiente, se eleva y desciende el nivel del agua en el tubo procurando que se recorra toda su longitud. Se pone el diapasón a vibrar en la boca del tubo y se varía lentamente el nivel del agua hasta detectar un aumento en la intensidad del sonido, procediéndose a marcar dicho nivel. Luego se continúa subiendo o bajando el nivel hasta detectar el siguiente nivel en el que la intensidad aumente de nuevo y así sucesivamente, hasta que se marcan todos los niveles en los que se detectaron estos aumentos de intensidad del sonido. Estos niveles indican la longitud de una columna de aire que resuena con el sonido emitido por el diapasón. Las distancias entre los niveles consecutivos marcados corresponden a media longitud de onda de la onda estacionaria en la columna de aire. Conociendo la frecuencia  $\nu$  del diapasón y la longitud de onda  $\lambda$  se determina la velocidad  $v$  de la onda sonora mediante la relación

$$v = \lambda \nu$$

#### IV. CUESTIONARIO

1. ¿Puede trabajar esta parte de la práctica usando el diapasón de 128 Hz?
2. ¿Cómo se nota mejor el punto de resonancia: cuando el nivel de agua va subiendo o cuando el nivel está bajando?
3. ¿Mejorarían sus resultados si en lugar de usar el oído usará un micrófono?

Segunda parte:

Para el desarrollo de esta parte de la práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Un interferómetro acústico
- b) Un micrófono.
- c) Una bocina.
- d) Un generador de ondas
- e) Un osciloscopio
- f) Un flexómetro
- g) Cables de conexión

Arreglo experimental para esta segunda parte: El equipo se monta como lo muestra la figura 2, esto es:

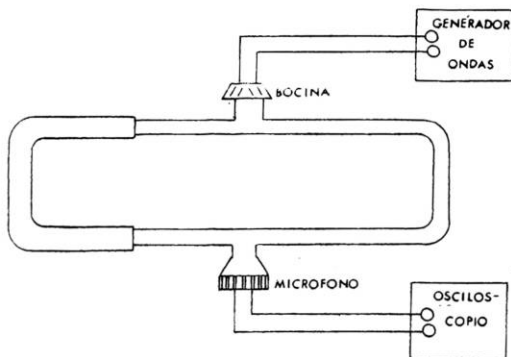


FIGURA 2

A grandes rasgos, el funcionamiento del interferómetro es el siguiente:

La bocina emite un tren de ondas periódico, el cual es dividido en dos, haciendo que cada uno de los trenes recorran caminos con diferentes longitudes y arriben a un punto común en donde está localizado el detector (micrófono u oído) produciéndose la interferencia de estos dos trenes de ondas.

Esta interferencia será constructiva cuando las dos ondas lleguen en fase y se notará por un aumento en la intensidad del sonido en el detector.

Si variamos la longitud de uno de los caminos recorridos, podemos encontrar puntos, sucesivos en el interferómetro para los cuales se tienen intensidades máximas. La distancia entre estos puntos sucesivos da la longitud de onda que combinada con la frecuencia de la fuente nos va a permitir determinar la velocidad del sonido en el aire.

RECOMENDACIONES: Trabaje con la potencia de la fuente y amplificación del osciloscopio máximas, en un intervalo de frecuencias de 100 a 1400 Hz.

## V. CUESTIONARIO

1. ¿Porqué se recomienda este intervalo de frecuencias?
2. ¿Qué pulsos trabajan mejor: los senoidales o los cuadrados y porqué?
3. ¿Con el oído puede detectar los puntos en los que existe interferencia constructiva?
4. ¿La distancia entre puntos de intensidad máxima para una frecuencia dada es la longitud de onda?
5. Si interviene aquí el fenómeno de resonancia entre la fuente sonora y las columnas de aire que estan dentro de las ramas del

interferómetro acústico, diga en qué forma afectan los resultados de la superposición.

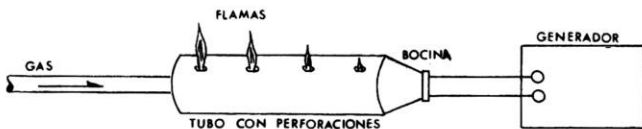
6. ¿Cómo varía la amplitud de la onda resultado de la superposición con la frecuencia del generador?

Tercera parte:

Para el desarrollo de esta tercera parte de la práctica, se empleará el material siguiente:

- Tubo con perforaciones y bocina en un extremo con conexión para el gas en el otro
- Una manguera de goma
- Un generador de ondas
- Un flexómetro

Arreglo experimental para esta tercera parte:



Esta parte de la práctica nos ayudará a determinar la velocidad del sonido en el gas combustible usado en el laboratorio haciendo uso de la resonancia de las ondas estacionarias en una columna de gas y una fuente de sonido. Estas ondas estacionarias tendrán zonas de máxima presión, las cuales serán muy marcadas cuando la

onda estacionaria en la columna de gas esté en resonancia con la frecuencia de la fuente que excita la cavidad.

Para hacer visibles las zonas antes mencionadas, prendemos el gas que sale por los orificios del tubo, lo cual nos permite hacer visible el patrón de presión. La distancia entre zonas consecutivas está relacionada con la longitud de la onda estacionaria, la cual al ser combinada con la frecuencia de la fuente nos permite encontrar la velocidad del sonido en el gas.

Al igual que en la parte II, existe un intervalo de frecuencias que nos permiten apreciar con más claridad las zonas anteriores.

#### VI. CUESTIONARIO

1. ¿Cómo explica la relación entre el tamaño de las flamas y el movimiento de las moléculas?
2. ¿Cuál es el intervalo de frecuencias del generador en el que usted percibe el fenómeno de resonancia en la columna de gas?
3. ¿Cuántos modos normales de vibración de la columna de gas puede detectar?
4. ¿Qué error relativo considera que introduce en sus mediciones el espaciamiento de los agujeros por donde sale el gas?

#### VII. BIBLIOGRAFÍA

R. Resnick, D. Halliday  
"Física", Vol. I y II, Cap. XX  
C.E.C.S.A.



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 5b.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autores de este trabajo:  
Prof. René Molnar de la P.  
Prof. Adán Robles M.

### DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO II

(Modificación al experimento del tubo de kunt)

#### I. OBJETIVO

Determinar la velocidad del sonido en un gas (aire) y comparar estos resultados con los valores existentes.

#### II. INTRODUCCIÓN

Esta práctica es una ampliación de la práctica 4. Aceptaremos el hecho de que una onda sonora se mueve con una velocidad  $v = \lambda \nu$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda (en metros) y  $\nu$  es la frecuencia (en ciclos por segundo).

#### III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

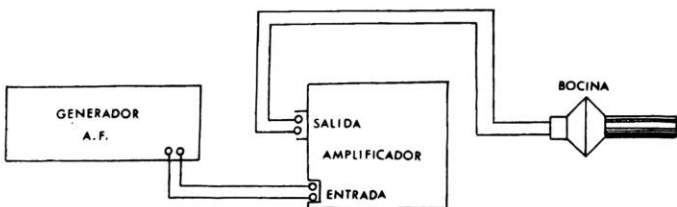
Para el desarrollo de esta práctica, se empleará el siguiente material:

- Un tubo de vidrio largo (1.5 m o más).
- Dos soportes universales.
- Dos nueces.

- d) Dos abrazaderas (de asbesto);
- e) Un flexómetro.
- f) Una bocina con cono de cartón
- g) Un generador de audio frecuencia (con conexiones);
- h) Un amplificador de A.F. (de 5w o más)
- i) Aserrín

El desarrollo experimental es el siguiente:

Fije el tubo de vidrio a los soportes universales, colocando el tubo en posición horizontal. Conecte el generador al amplificador en la forma siguiente:



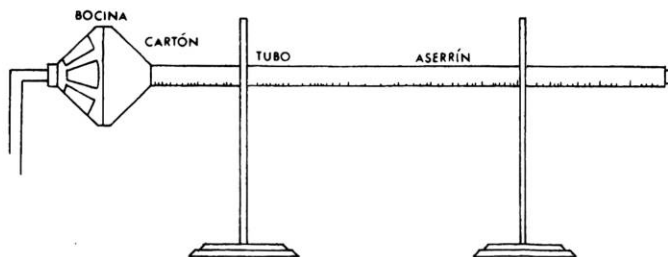
No conecte el amplificador a la línea de alimentación (120 VAC), si el generador y la bocina no han sido conectados.

Para probar su equipo, conecte el generador y el amplificador y seleccione la frecuencia más baja en el generador y aumentela gradualmente; si no da respuesta, eleve la salida del amplificador hasta obtener respuesta en la bocina.

El medio que permitirá que el sonido se "vea" será el aserrín y hay que introducirlo a todo lo largo del tubo de vidrio: para esto, le sugerimos que con un cono de papel deposite un poco de



aserrín sobre la cinta del flexómetro (un poco más de la longitud del tubo) y con mucho cuidado introduzca la cinta dentro del tubo y una vez logrado esto, voltee la cinta y recupérela con cuidado (de otra manera arrastrará el aserrín al exterior). Es importante que se distribuya al aserrín lo mejor posible en el interior del tubo (si es necesario repita la operación cuantas veces sea necesario hasta lograr una buena distribución del aserrín en el tubo). Conecte la bocina al tubo como lo muestra la figura, procurando no modificar la distribución de aserrín. La figura siguiente muestra el dispositivo.



Ahora golpee suavemente el tubo para que el aserrín se distribuya en él.

Conecte sus aparatos, empezando con las frecuencias más bajas (dé una salida grande al amplificador, puesto que trataremos de "mover" al aserrín por medio del sonido).

Lentamente suba la frecuencia del generador y observe el aserrín hasta que se empieza a mover, en ese punto trate de localizar la máxima excitación, determinando en el tubo los puntos en los que hay gran actividad y los puntos en donde no hay movimiento, estos últimos serán los nodos, en tanto que los primeros corresponderán a los antinodos.

Busque el punto en el que empieza solamente a moverse el aserrín en los extremos del nodo, tome esta distancia y marque el punto medio sobre el tubo, localice otro nodo a lo largo del tubo y haga lo mismo, ahora mida la distancia que hay entre las dos marcas, esta será  $\lambda/2$  y la frecuencia se puede leer en el generador directamente; así se tienen experimentalmente los dos datos para obtener  $v$ .

Realice tantas medidas de  $\lambda/2$  como pueda (hay limitación en la longitud del tubo) pero en general logrará de 5 a 6 mediciones de  $\lambda/2$  y  $v$ ; calcule para cada medición la velocidad y finalmente determine el promedio de las velocidades obtenidas. Un buen valor de la velocidad del sonido en aire a  $T = 300K$  (20C) es  $v = 347$  m/s. Si en las altas frecuencias las ondas no se distinguen bien, aumente la salida del generador o del amplificador (o ambos) hasta que sea visible el fenómeno esperado.

IV. BIBLIOGRAFÍA

Tipler,

"Física", Vol. I y II

Editorial Reverté

R. Resnick, D. Halliday

"Física", Vol. I

C.E.C.S.A.



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 6a.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autor de este trabajo:  
Prof. Salvador Tirado G.

### ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA I

#### I. OBJETIVO.

Analizar el problema de una cuerda vibrante, determinando los parámetros y variables del problema. Una vez determinados los parámetros y variables más importantes, establecer una relación funcional experimental entre dichas variables y parámetros y finalmente obtener y establecer los conceptos de nodo, antinodo, etc.

#### II. INTRODUCCIÓN.

Las ondas mecánicas requieren de un medio material para propagarse, por lo que es necesario determinar las propiedades del medio material que intervienen en la transmisión de dichas ondas.

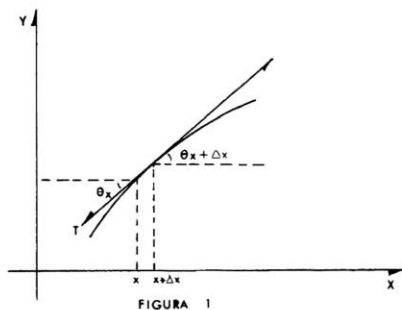
#### III. CONCEPTOS TEÓRICOS

En tanto que las ondas materiales requieren de un medio para propagarse, entonces las partículas del medio adquieren un estado de movimiento y si dichas partículas se mueven en la dirección de propagación de la onda, se tiene una onda longitudinal; si el mo-

vimiento es perpendicular a la dirección de propagación, se tiene una onda transversal.

Para establecer las ecuaciones del movimiento, consideremos una cuerda de masa por unidad de longitud  $\mu$ , sujeta a una tensión  $T$ , como se muestra en la figura 1.

Al darle a la cuerda, originalmente en equilibrio, un desplazamiento vertical, la perturbación que se origina se propaga a lo largo de la misma con una velocidad  $\vec{v}$ .



Para determinar la ecuación de movimiento ( ecuación de onda ), consideremos un elemento diferencial  $\Delta x$  de la cuerda y apliquémosle la segunda ley de Newton. Dicho elemento tiene una masa  $\mu \Delta x$  y la fuerza neta que hace que la masa  $\mu \Delta x$  se desplace verticalmente es:

$$\Delta T = T \text{ sen } \theta_{x+\Delta x} - T \text{ sen } \theta_x$$

La masa  $\mu \Delta x$  tiene una aceleración vertical dada por  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ , así que conforme a la segunda ley,

$$\Delta T = \mu \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \dots\dots\dots(1)$$

Puesto que estamos considerando desplazamientos verticales pequeños,  $\text{sen } \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ , y de acuerdo a la interpretación geométrica de la derivada, se tiene

$$\tan \theta_{x+\Delta x} \approx \text{sen } \theta_{x+\Delta x} \approx \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x+\Delta x}$$

y

$$\tan \theta_x \approx \text{sen } \theta_x \approx \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_x$$

Ahora bien, por definición:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} - \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_x}{\Delta x} \equiv \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

de donde

$$\Delta T \approx T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Delta x$$

y sustituyendo en (1) obtendremos:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \dots \dots \dots (2)$$

Que es la ecuación de onda que describe la propagación de la perturbación a lo largo de la cuerda con una masa por unidad de longitud  $\mu$  y una tensión  $T$ . La función  $y$  que satisface esta ecuación es, en general, una función del tipo:

$$y = y(x \pm vt) \quad \text{en donde} \quad v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \dots \dots \dots (3)$$

con  $v$  la velocidad de propagación de la onda, lo cual puede comprobarse por diferenciación directa.

Casos particulares de  $y = y(x \pm vt)$  son:

$$y = A_1 \text{sen}(kx \pm \omega t)$$

y

$$y = A_1 \text{cos}(kx \pm \omega t)$$

con

$$k = \text{número de onda} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = \text{frecuencia angular} = kv = 2\pi/\tau = 2\pi\nu$$

siendo  $\tau = 1/\nu$  el periodo del movimiento.

Si desde un extremo de la cuerda generamos una onda viajera hacia la derecha, ésta se reflejará en el otro extremo de la cuerda que se encuentra fijo, dando origen a otro tren de onda viajando hacia la izquierda, defasada  $180^\circ$  con respecto a la primera, pero similar a ella si no consideramos deformación alguna. Por el principio de superposición, la onda resultante es una onda estacionaria: la suma de ambas.

Supongamos que dichas ondas son:

$$y_1 = A_1 \text{ sen}(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A_1 \text{ sen}(kx + \omega t)$$

y superponiéndolas,

$$y_1 + y_2 = A_1 \text{ sen}(kx - \omega t) + A_1 \text{ sen}(kx + \omega t) \dots\dots\dots(4)$$

pero como  $\text{sen}(\theta_1 \pm \theta_2) = \text{sen} \theta_1 \cos \theta_2 \pm \cos \theta_1 \text{ sen} \theta_2$ , por lo que (4) se transforma en

$$y = 2A_1 \text{ sen} kx \cos \omega t = A \cos \omega t \dots\dots\dots(5)$$

con  $A = 2A_1 \text{ sen} kx$  la amplitud de la onda resultante; dicha onda esta dada por el producto de dos funciones de una sola variable, es decir:

$$y(x, t) = f_1(x) f_2(t)$$

En los extremos de la cuerda la amplitud será cero, esto es:

$$f_1(x=0) = f_1(x=L) = 0, \text{ que constituyen las condiciones a la frontera.}$$

Para que  $A = 2A_1 \text{ sen} kx$  sea mínimo (cero) se requiere que:

$$kx = n\pi \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$



esto es:

$$\chi = n\pi/k = \frac{n\lambda}{2}$$

o bien,  $\chi_1 = \frac{\lambda}{2}$ ,  $\chi_2 = \lambda$ ,  $\chi_3 = \frac{3\lambda}{2}$ , .....

Las  $\chi_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  son llamados NODOS de la onda.

Los ANTINODOS se encuentran en  $A_{max}$ , esto es, en

$$\chi = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$$

es decir en general,

$$\chi = \frac{(2n-1)\lambda}{4}, \text{ con } n = 1, 2, 3, \dots$$

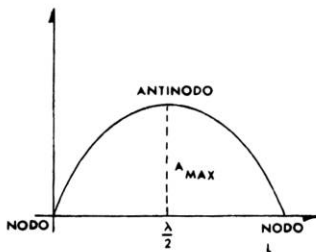


FIGURA 2a

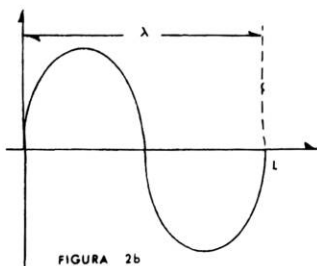


FIGURA 2b

En las figuras 2.a y 2.b, se muestran dos nodos vibracionales pa ra la cuerda.

#### RESONANCIA.

Como se puede apreciar de la figura 2.a, ambos extremos son nodos separados  $\frac{\lambda}{2}$  con  $\lambda =$  longitud de onda; en principio el número de nodos puede ser infinito.

De acuerdo a que la amplitud  $A$  es cero, el número de nodos relacionado con la longitud  $L$  de la cuerda será:

$$n \frac{\lambda}{2} = L \quad \text{de donde} \quad \lambda = \frac{2L}{n}, \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots$$

El período  $\tau$  es el tiempo requerido para que la perturbación se desplace una longitud de onda  $\lambda$ , entonces:

$$\lambda = v \tau = \frac{v}{\nu} = \frac{2L}{n}$$

y por (3) tenemos que

$$\nu = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{con } n = 1, 2, 3, \dots; \quad \dots \dots \dots (6)$$

que son las frecuencias naturales de vibración de la cuerda.

#### POLARIZACION.

Si la perturbación de la onda se propaga a lo largo del eje  $x$ , y siendo una onda transversal, el desplazamiento desde el eje  $x$  será:

$$\vec{r} = r_y \hat{j} + r_z \hat{k},$$

el cual puede cambiar de

punto a punto, dependiendo del impulso inicial en el extremo libre (aquí se considera que sólo está fijo un extremo de la cuerda). Puede suceder que  $r_y = 0$ , en cuyo caso, todos los desplazamientos caerán en el plano  $xz$ , en tales condiciones se dice que el movimiento ondulatorio es linealmente polarizado; cuando  $r_z = 0$ , el movimiento caerá en el plano  $xy$ , y la onda está linealmente polarizada. Una onda transversal es el resultado de dos ondas linealmente polarizadas.

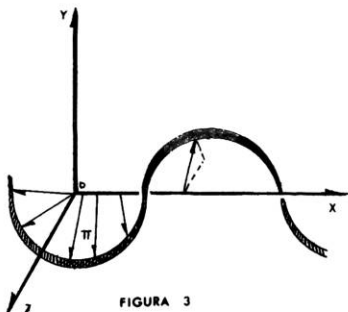


FIGURA 3

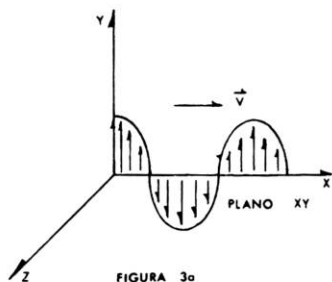


FIGURA 3a

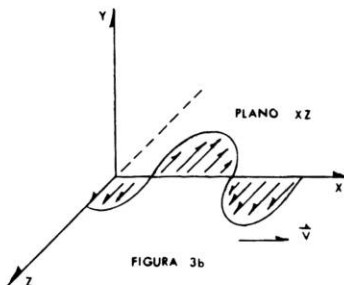


FIGURA 3b

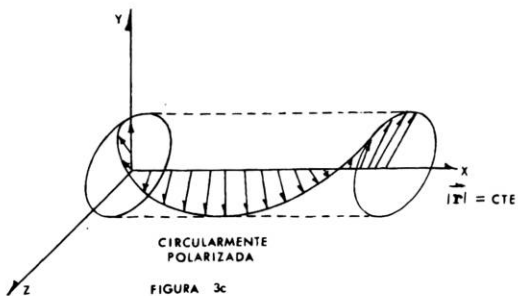


FIGURA 3c

ENERGÍA PROPAGADA EN EL MOVIMIENTO ONDULATORIO.

Para analizar la energía transmitida por la cuerda vibrante, consideremos un tramo de la misma en una posición  $x$  y a un tiempo  $t$ , tal y como se indica en el esquema siguiente:

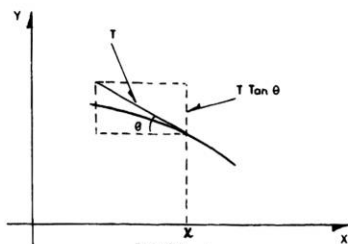


FIGURA 4

De acuerdo a la figura,

$$T_Y = T \tan \theta$$

$$= -T \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{la pendiente es negativa}).$$

Ahora bien, la velocidad transversal de la partícula en  $x$  es

$$\frac{\partial y}{\partial t} = v.$$

Por definición, la potencia (rapidez con que se realiza trabajo) producida por  $T_Y$  en la posición  $x$  sobre las partículas de la cuerda al desplazarlas verticalmente es:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \vec{T}_Y \cdot \vec{v} = T_Y v = -T \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial t} \dots \dots \dots (7)$$

y supongamos que la onda es de tipo sinusoidal, esto es,

$$y = A \text{ sen}(kx - \omega t)$$

entonces:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = kA \cos(kx - \omega t) \quad \text{para } t = \text{cte.} \dots \dots \dots (8)$$

y por otra parte,

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} = -\omega A \cos(kx - \omega t) \quad \text{con } x = \text{cte.} \dots \dots \dots (9)$$

Sustituyendo (8) y (9) en la ecuación (7), tenemos:

$$P = A^2 k \omega T \cos^2(kx - \omega t) \dots \dots \dots (10)$$

De la expresión (10) podemos notar que la rapidez de flujo de la energía no es constante, pues oscila con la frecuencia  $\omega$ . La energía aparece como energía potencial y energía cinética, así como calorífica.

Puesto que el movimiento es periódico, la potencia promedio liberada en un período  $T$  es:

$$\overline{P} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \dot{P} dt = \frac{1}{2} A^2 k \omega T = 2\pi^2 A^2 \nu^2 \frac{T}{v} \dots\dots\dots(11)$$

donde  $\omega = 2\pi\nu$ , y el promedio del  $\cos$  es:

$$P_{\text{prom}}(\cos^2(kx - \omega t)) = \frac{1}{2}$$

Además, como  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , la ecuación (11) se transforma en:

$$\overline{P} = 2\pi^2 A^2 \nu^3 \mu v \dots\dots\dots(12)$$

La expresión (12) da la energía para una onda viajera a la derecha; para una onda que se desplaza hacia la izquierda se obtendrá la expresión (12) pero con signo negativo. Para la onda estacionaria de la cuerda, la velocidad de ésta es la suma de la que viaja a la derecha  $\vec{v}$  más la que se mueve a la izquierda  $-\vec{v}$ , por lo que:  $\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{v} = 0$ . Consecuentemente no hay transporte neto de energía. Recuérdese que el vibrador está proporcionando la energía cinética y potencial de las partículas, la cual es disipada.

#### IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el desarrollo de esta práctica, se empleará el material siguiente:

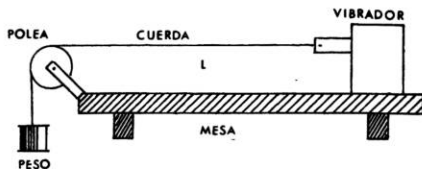
- a) Juego de cuerdas (5)
- b) Juego de dinamómetros o pesas (de 0 a 2000 g)
- c) Bobina de Thompson

- d) Estroboscopio:
- e) Flexómetro
- f) Vernier
- g) Variac

A). De acuerdo al resultado de la ecuación (3), los parámetros que determinan la velocidad  $\bar{v}$  de propagación de la perturbación, son la tensión  $T$  y la densidad lineal de masa  $\mu$  de la cuerda. El experimento por consiguiente, consiste en montar la cuerda con ambos extremos "fijos" en uno de los cuales se instala el "vibrador" con frecuencia  $\nu$  fija, dando la frecuencia de vibración de la cuerda en todos los casos, la cual se determina con el estroboscopio, siendo del orden de 58.5 c/s, (esto depende de los estroboscopios, ya que no están ajustados) así que debemos checar los valores, antes de tomar medidas para saber el corrimiento de la frecuencia en el tablero de mando.

Se recomienda utilizar los dinamómetros, pues con éstos, se logra variar la tensión de la cuerda de manera continua, logrando mayor número de puntos experimentales para una cuerda dada. Se han usado alambres de 0.25 mm; 0.90 mm y 1.40 mm de diámetro. Aunque sería conveniente usar cuerdas de guitarra.

El arreglo experimental es el siguiente:



a). Tomando fija la tensión  $T$  y variando la cuerda, diferentes  $\mu_i$ , se obtendrán pares de  $(T, \mu_i)$  como datos experimentales y aprovechando la relación  $\lambda = \frac{v}{v}$ , podemos obtener las  $v_i$  después de haber medido las  $\lambda_i$ ; pero lo que deseamos es encontrar la dependencia funcional de  $\bar{v}$  respecto de  $\mu$  que es la variable, por lo que supondremos la relación:

$$v = R(T)\mu^n$$

Podemos determinar  $R(T)$ , así como  $n$ , usando mínimos cuadrados y graficando en papel log-log. Los errores los construimos de la manera siguiente:

$$e_i^2 = (R(T)\mu_i^n - v_i)^2$$

de donde

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}$$

con  $n$  = número de mediciones.

Al minimizar  $\sigma$  respecto a  $R(T)$  y a  $n$ , tenemos dos ecuaciones simultáneas para  $n$  y  $R(T)$ , o sea

$$\frac{\partial \sigma}{\partial R} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial \sigma}{\partial n} = 0$$

Con los valores de  $n$  y  $R$  obtenidos, gráfiquese en papel log-log.

## V. CUESTIONARIO

1. Interprete los parámetros de la curva.
2. Establezca la dependencia funcional de  $\bar{v}$  con  $(v = R(T)\mu^n)$ .
3. ¿De qué manera depende  $R(T)$  de la tensión  $T$  que se mantuvo fija?

a2). Dejando la misma cuerda, cámbiese la tensión ( $T_2$ ), y siguiendo pasos similares a (a1), suponga ahora la relación:

$$v = R(\mu)T^n$$

#### VI. CUESTIONARIO.

1. Ajuste la curva y evalúe  $R(\mu)$  y  $n$ .
2. ¿Cómo depende  $R(\mu)$  de  $\mu$  (masa lineal)?
3. Grafique en papel log-log e interprete sus parámetros.
4. De los resultados obtenidos en (a1) y (a2), ¿Qué forma funcional tiene la velocidad  $v = v(T, \mu)$ ? Establezca dicha forma funcional.

B). Si se pone a oscilar a la cuerda en forma circular, tendremos que después del "filtro" la cuerda vibra en una sola dirección; y orientando el filtro de manera adecuada podemos lograr diferentes planos de polarización (polarización lineal); logrando con estos pasos entender el concepto de polarización desde un punto de vista mecánico. Se introduce la polarización cualitativamente, aunque se pueden dar los ángulos de cada plano, respecto al eje de referencia.

C). Usando el hecho de que una onda estacionaria es la suma de dos ondas viajeras, midiendo la amplitud, la función  $\psi$  (dada por el estroboscopio), la densidad de masa de la cuerda, encuéntrase la energía de la onda estacionaria y, para cada una de las ondas viajeras que la componen, calcúlese la energía promedio para un período  $\tau$ .



## VII. CUESTIONARIO

1. ¿Dónde se espera que sea mayor la velocidad de propagación de la perturbación, en una cuerda gruesa o en una delgada? ¿Por qué?

Explique sus razones.

2. ¿Son  $y = y_m \text{sen}(kx \pm \omega t)$  y  $y = y_m \text{cos}(kx \pm \omega t)$  soluciones a la ecuación de onda? Compruébelo.

3. En un sistema masa-resorte, se tiene una frecuencia de vibración; para una cuerda vibrando se tienen varias frecuencias dadas por  $v = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$  con  $n = 1, 2, 3, \dots$ . ¿Cuál es la razón?

## VIII. BIBLIOGRAFIA.

R. Resnick, D. Halliday  
"Física", Vol. I  
C.E.C.S.A.



## PRÁCTICAS DE FÍSICA. LABORATORIO II

PRÁCTICA No. 6b.  
GUÍA DEL ALUMNO

Área de Física.  
Autor de este trabajo:  
Prof. René Molnar de la P.

### ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA II

#### I. OBJETIVO

Se propone determinar las condiciones experimentales para que se establezca una onda estacionaria en una cuerda homogénea y encontrar los parámetros del fenómeno.

#### II. CONCEPTOS TEÓRICOS

Los elementos teóricos necesarios para la realización de éste experimento se encuentran en la Guía del alumno correspondiente a la práctica No. 6a. del Laboratorio II de Física.

#### III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

En el desarrollo de esta práctica, se empleará el material siguiente:

- a) Una lámina templada
- b) Hilo de cáñamo
- c) Polea metálica que pueda ser fijada a la mesa
- d) Bobina de Thompson

- e) Un flexómetro
- f) Marco de pesas
- g) Balanzas
- h) Plastilina
- i) Variac
- j) Una prensa
- k) Una base de madera
- l) Conexiones

Tratará (según las indicaciones del profesor) de predecir el peso  $F$  que habrá de poner en el extremo de la cuerda para que en ella se formen 1,2,3,4,5,6,... semilongitudes de onda dando de antemano  $\lambda$ , la cual está en relación con la longitud total de la cuerda que es constante.

La frecuencia  $\nu$  de la onda será la de la energía eléctrica, es decir, de aproximadamente 60 Hz, aunque habrá que medirla con un estroboscopio. La oscilación de la lámina estará dada por una bobina de Thompson, que se conectará a un variac (tenga cuidado, ya que trabaja con C.A. de 0 a 150 V).

Como cuerda utilice un hilo de cáñamo de 2.0 m de largo pesándolo cuidadosamente con el fin de obtener  $\mu$ , esto es, la densidad de masa ( $\mu = \frac{m}{l}$ ). Tenga cuidado con las unidades que emplee. Fije el vibrador (lámina de acero templado) a la mesa por medio de una prensa (cuide que la laminilla coincida con el núcleo de la bobina), tome la distancia de la cuerda (puede ser 1.5 m) del final de la lámina a la orilla de la mesa y ponga una polea metálica en el extremo y una pesa de aproximadamente 20 g colgando de dicho extremo.

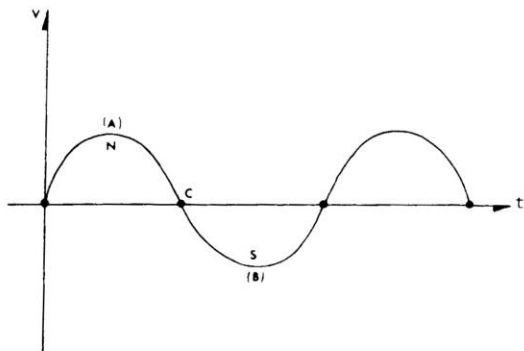
Acerque la bobina a la lámina en una dirección a ángulo recto y a una distancia de 0.5 cm y con el variac en 35 o 40. La lámina vibrará con una amplitud dependiente del voltaje del variac, pero si éste es muy alto, la lámina golpeará a la bobina de Thompson y el fenómeno no se apreciará.

Recuerde: el ajuste entre bobina y lámina es crítico, pues queremos tener (con la mejor aproximación posible) un modo entre la lámina y el hilo, si es necesario ajuste la bobina cuantas veces se requiera, pues sólo cambia la amplitud y no la frecuencia.

Para lograr una mejor observación, coloque papel blanco entre el hilo y la mesa.

Tome en cuenta este detalle:

El campo magnético en la bobina varía en el tiempo, alternándose el polo norte y sur cada medio ciclo de la C.A., es decir,

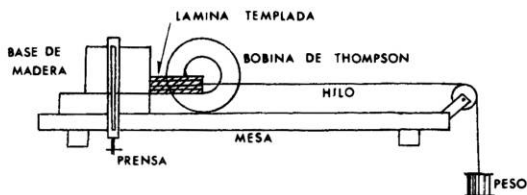


puesto que la lámina es de un material ferromagnético y no un imán, entonces, en el semiciclo positivo ( **A** ) es atraída al núcleo y en el otro medio ciclo negativo ( **B** ) también es atraída, pero en el punto en que no hay campo ( **C** ) la lámina se mueve en sentido opuesto al de la atracción por efecto de la fuerza elástica. Por lo tanto, la lámina oscila a una frecuencia  $\nu_R = 2\nu =$  frecuencia real. Recuerde esto al realizar sus cálculos.

Como sugerencia coloque  $F = 0.1$  Kg en la cuerda y si ésta tiene 1.5 m de largo, obtendrá dos ondas de aproximadamente  $\lambda = 0.75$  m. Mida  $\lambda$  y, si es necesario, aumente un poco el peso con plastilina hasta que obtenga  $\lambda = 0.75$  m. Así pues, tiene experimentalmente  $\lambda$ ,  $F$ ,  $\mu$  y se puede calcular  $\nu_R$  por medio de las relaciones:

$$\nu_R = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \dots\dots\dots (1)$$

El arreglo experimental se detalla en la siguiente figura:



Con este arreglo experimental, se seguirán los siguientes pasos:

- 1) Encontrar los pesos  $F$  para los cuales hay 1,2,3,4,5 y 6 semilongitudes de onda de longitud dada. Esto es posible de la si -

guiente manera: Si  $L$  es la longitud de la cuerda, entonces  $L$  es un múltiplo entero de  $\frac{\lambda}{2}$ , es decir,

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{con} \quad n = 1, 2, \dots; \quad \dots\dots\dots(2)$$

o en otras palabras: si  $n = 1$ ,  $\lambda = 2L$   
 $n = 2$ ,  $\lambda = L$   
 $n = 3$ ,  $\lambda = \frac{L}{2}$ , etc.

y de aquí podemos calcular

$$F = \mu (\lambda \nu_R)^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

2) A partir de las medidas de  $F$ ,  $\mu$ ,  $\lambda$  y  $\nu_R$  encuentre experimentalmente la ecuación (3) por ajuste de los datos de la práctica, usando técnicas estadísticas. El profesor le indicará el camino a seguir.

#### IV. CUESTIONARIO

1. Si toma  $\nu = 60$  Hz, ¿Qué pasa con  $\lambda$  y  $F$ ?
2. Si cambia la longitud de la cuerda, ¿cambia  $\mu$ , la densidad lineal de masa?
3. Si experimentalmente obtiene media longitud de onda, acerque su dedo a la parte media de la onda (antinodo). Explique lo que sucede cuando aleja lentamente su dedo de la cuerda, ¿Porqué no sucede cuando hay formadas una o más ondas?
4. ¿Porqué razón está cuantizada la formación de ondas estacionarias en una cuerda?
5. ¿Qué espera que suceda si cambia  $\mu$ ?

V. BIBLIOGRAFÍA

R. Resnick, D. Halliday

"Física", Vol. I

C.E.C.S.A.

R. Lang

"Física Experimental", Vol. I

Editorial LABOR, S.A.

Daish, Fender

"Física Experimental"

UTEHA



Prácticas de Física. Laboratorio II  
Se terminó de imprimir en el mes de octubre del año 2008 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. La edición estuvo a cargo de la Sección de Producción y Distribución Editoriales. Se imprimieron 100 ejemplares más sobrantes para reposición.



UAM  
QC37  
P7.34

2892729

Prácticas de física : lab



ISBN: 970-31-0022-8



978-97031-00224

PRACTICAS DE FISICA LABORATORIO II

VARIOS

• SECCION DE IMPRESION

16843

R. 40



\$ 17.00

40-ANTOLOGIAS CBI • 01-CBI

UNIVERSIDAD  
AUTONOMA  
METROPOLITANA  
Casa abierta al tiempo

División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Extensión Universitaria  
Sección de Producción y Distribución Editoriales