



GUÍA DE LABORATORIO DE OSCILACIONES Y ONDAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y
GEOLOGÍA

MANUAL DEL ESTUDIANTE
NOMBRE:



PRÓLOGO

Oscilaciones y Ondas

Los sistemas de la naturaleza tienden a acomodarse de tal forma que sus componentes se agrupan cumpliendo el requisito de que todo el sistema obtenga el estado de mínima energía posible, y su tendencia es a permanecer en ellos. Cuando se les suministra energía extra, estos sistemas oscilarán alrededor de los estados de mínima energía, también llamados energía basal, puntos de equilibrio, etc.; como ejemplo de estos comportamientos citamos los arreglos electrónicos en los diversos átomos: cuando un electrón adquiere suficiente energía puede promoverse a un nivel energético mayor, en donde permanecerá por un tiempo determinado, ya que su tendencia es regresar a su estado de mínima energía, si la energía no es suficiente para ser promovido de nivel, esta energía solo lo hará oscilar. Cada átomo que compone la materia que conocemos, emite y absorbe luz visible.

La fascinación de los seres humanos por los fenómenos que involucran la luz nace con la misma civilización como se puede constatar con la historia, pero es hasta finales del siglo XIX cuando no se pudieron explicar diversos fenómenos con la física existente “Física clásica”, como la propagación de la luz, la naturaleza de la luz, entre otros, se da inicio a la física conocida como “Física Moderna”: cuántica, relativista, teoría de campos cuánticos.

Hoy en día las teorías cuánticas como la dualidad onda partícula de la materia y la radiación, los estados cuantizados de la materia, las ondas electromagnéticas, la propagación de las ondas, la reflexión y la refracción, los fenómenos de interferencia y difracción de las ondas, entre otros, se usan en la tecnología que cotidianamente se emplea, esto es, en antenas repetidoras, frecuencias de radio, televisión y microondas en las comunicaciones, dispositivos inalámbricos que captan y transmiten señales eléctricas que son convertidas en sonido y sonido que es convertido en señales eléctricas, diversos instrumentos para examinar la materia como: imágenes de rayos X , ecografías, usadas en diagnósticos médicos, difracción de rayos x , espectroscopia Raman, espectroscopia Infrarrojo, usadas para determinar la composición y estructura de la materia, entre otros.

Es así como se hace necesario, en el plan de estudio de cualquier estudiante de Ciencias Básicas y de Ingenierías, el estudio práctico de algunas de las leyes físicas involucradas en los fenómenos oscilatorios y ondulatorios para la apropiación de dichos conocimientos

JUSTIFICACIÓN

Los laboratorios del departamento de física y geología, en especial los pertenecientes al programa de física de la Universidad de Pamplona, prestan un servicio institucional y académico no lucrativo, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades e intereses de estudio, experimentación e investigación de los estudiantes y docentes.

En el curso de laboratorio de ondas, el estudiante aplicará de forma experimental los conceptos aprendidos de forma teórica y con ello afianzarlos firmemente en su conocimiento profesional. La actividad experimental basada en un marco teórico bien estructurado, ha demostrado ser el método más eficiente para entender los conceptos correspondientes a los fenómenos naturales particularmente en el área de las ciencias básicas y las ingenierías.

El estudiante debe con anticipación estudiar las guías de laboratorio, para tener el conocimiento previo de la práctica a la cuál debe dar solución en las horas estipuladas por el reglamento estudiantil para las materias prácticas, por lo que significa que él estudiante debe ser integrante activo en él, esto es, actuar en el desarrollo del trabajo experimental, intervenir en la discusión técnica e intelectual, aportar su comprensión, su preparación y su conocimiento de cada tema. Nunca es suficiente haber leído minutos antes de la clase la guía de la experiencia, se debe "estudiar" el contenido de estas guías, puesto que lo que necesita es "aprender" el tema para lograr dar una aplicación adecuada al trabajo, y por consiguiente una comprensión satisfactoria del tema.

Para realizar las prácticas propuestas en la guía de laboratorio, el estudiante deberá utilizar herramientas didácticas que lo acerque de alguna manera a la forma de hacer ciencia. Por ejemplo, se puede preguntar antes de realizar la guía de laboratorio sobre lo que espera que suceda según lo estudiado en el marco teórico y el procedimiento descrito en la misma guía, y establecer en los estudiantes que la física no es solo resolver ejercicios planteados en la literatura sino que de montajes de ya establecidos en el laboratorio o por medio de observaciones como lo fue y es en la física, y que la parte matemática (ecuaciones) solo es un lenguaje por el cual la física como ciencia da resultados a las observaciones realizadas.

Resulta de mucha importancia apoyarse en la bibliografía recomendada para cada

experiencia, de esta forma él estudiante estará preparando de un modo serio y comprometido una materia que por su naturaleza no puede ser descuidada.

La física se puede hacer agradable si sabemos aprovechar los experimentos en el aula. La parte experimental de la física puede aprovecharse para:

- a) Proporcionar experiencias de aplicación de los conceptos de física.
- b) Desarrollar habilidades en hacer mediciones, registrar datos, organizarlos y analizarlos bajo las leyes de la física.
- c) Ofrecer experiencias que permitan simular y resolver problemas elementales observados de manera directa, manejando la parte de la programación y las hojas de cálculo se pueden convertir en una herramienta de apoyo muy valiosa para lograr los objetivos señalados. Y ojo con que se dice apoyar, no se dice sustituir.

PRÁCTICAS PROGRAMADAS

Cada práctica de laboratorio consta de dos partes interrelacionadas, estas son:

a) Preparación teórica para la actividad de laboratorio. El estudiante debe tener un mínimo de conocimientos acerca de la práctica de laboratorio que desarrollará. Para esto el estudiante debe tener la guía del experimento previamente a la práctica de laboratorio. El estudiante dispondrá de tres horas de clase para preparar la guía de laboratorio que debe realizar la siguiente semana.

b) Evaluación al final de la preparación del laboratorio. Al final de la clase de preparación le será realizada al estudiante una evaluación sobre el tema preparado con el objeto de garantizar un mejor funcionamiento del laboratorio en todas sus facetas.

c) Proceso de experimentación. El estudiante la clase siguiente a la preparación del laboratorio, realizará la práctica del laboratorio correspondiente tomará nota de los resultados de su experimentación.

d) Presentación y de un informe de laboratorio. Una vez concluida la sección de la práctica laboratorio, los estudiantes elaborarán un informe de laboratorio con los datos experimentales obtenidos, donde corroborarán la ley o leyes cuyo objetivo tuvo la práctica. Esta comprobación será realizada basados en la teoría de errores.



ÍNDICE DE PRACTICAS DE LABORATORIO

El laboratorio de oscilaciones y ondas consta de 10 prácticas, enunciadas a continuación:

- 1. GUÍA 1:** OSCILACIONES DEL PÉNDULO SIMPLE.
- 2. GUÍA 2:** OSCILACIONES DEL SISTEMA MASA-RESORTE.
- 3. GUÍA 3:** SUPERPOSICIÓN DE DOS MOVIMIENTOS ARMÓNICOS SIMPLES (MAS).
- 4. GUÍA 4:** OSCILACIONES ELÉCTRICAS CIRCUITO RLC.
- 5. GUÍA 5:** ONDAS SONORAS Y ANÁLISIS DE FOURIER.
- 6. GUÍA 6:** REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ.
- 7. GUÍA 7:** LENTES Y FORMACIÓN DE LA IMAGEN.
- 8. GUÍA 8:** FENÓMENOS ONDULATORIOS (CUBETA DE ONDAS).
- 9. GUÍA 9:** ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA.
- 10. GUÍA 10:** DIFRACCIÓN POR UNA ABERTURA RECTANGULAR.

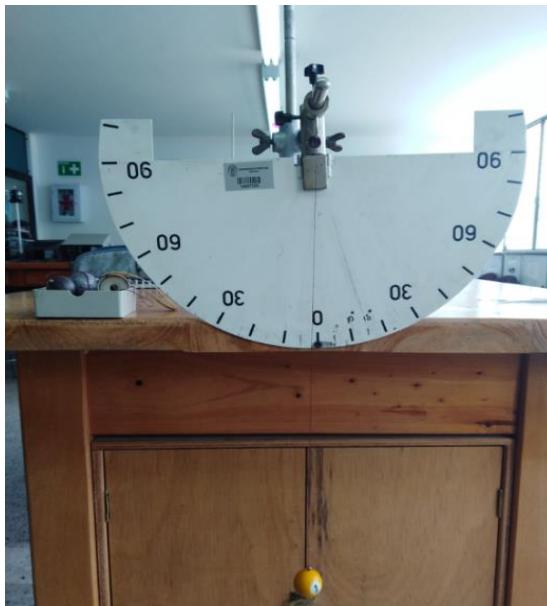


Objetivos

- 1.** Comprender el origen físico de la ecuación diferencial del oscilador armónico simple.
- 2.** Estudiar las oscilaciones del péndulo y determinar las simplificaciones que deben hacerse para que dichas oscilaciones puedan ser descritas como un movimiento armónico simple (MAS).
- 3.** Determinar la dependencia del periodo de oscilación del péndulo simple con los parámetros físicos del sistema.
- 4.** Determinar el valor de la gravedad en el laboratorio, utilizando las mediciones del periodo de oscilación de un péndulo simple.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Cuerda de nylon	1	
Masas esféricas	3	
Cinta métrica	1	
Cronómetro	1	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico

PÉNDULO SIMPLE

Un péndulo simple consiste de una masa puntual m (casi siempre esférica para minimizar las pérdidas de amplitud causadas por la fricción con el aire) suspendida por el extremo inferior de una cuerda de longitud fija. Cuando la masa se retira de su posición de equilibrio y se deja bajo la acción del campo gravitacional terrestre, ella oscilará alrededor de su punto de equilibrio, punto que corresponde con la posición de energía potencial mínima, Figura 1.

Para construir el modelo simplificado del sistema, se supone que las únicas fuerzas que actúan sobre el cuerpo de masa m son el peso y la tensión en la cuerda, es decir, se ignora la fricción y la reacción de posibles ondas de presión emitidas al aire circundante. También, a medida que el péndulo oscila la fuerza ejercida por la masa en el extremo inferior cambia, por tanto, en el modelo ideal se realiza la suposición de que todos los puntos de la cuerda se “enteran” simultáneamente del cambio, aunque se sabe que cualquier perturbación requiere un tiempo finito para propagarse de un punto a otro. Entonces, al comparar datos experimentales con predicciones teóricas, es necesario tener presente que este modelo es simplificado y por tanto limitado.

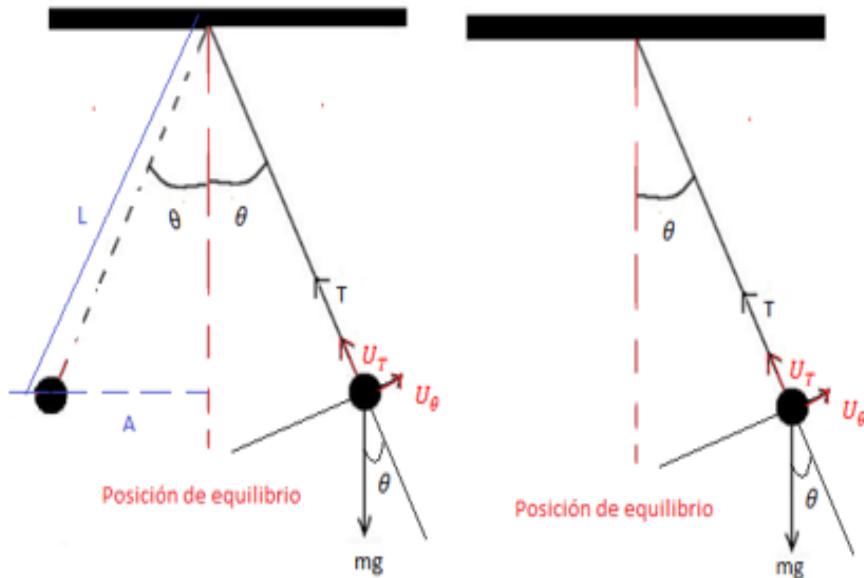


Figura 1. Representación de las variables involucradas en el movimiento del péndulo simple

ECUACIÓN DEL MOVIMIENTO

Aplicamos la segunda ley de Newton a la masa oscilante

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m\vec{g} + \vec{T} \quad (1.1)$$

Utilizando coordenadas polares (r, θ) para descomponer las fuerzas en los ejes instantáneos u_t y u_θ , obtenemos

$$F_r = ma_r \quad (1.2)$$

$$m \left(\frac{d^2 l}{dt^2} \right) = T - mg \cos \theta = 0 \quad (1.3)$$

$$F_\theta = ma_\theta \quad (1.4)$$

$$ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -mg \sin \theta \quad (1.5)$$

Estas ecuaciones aparentemente simples son en realidad ecuaciones diferenciales no lineales, pues contienen las funciones $\sin \theta$ y $\cos \theta$, que no son lineales en función de la variable θ .

Sin embargo, se puede hacer una restricción evaluando dichas ecuaciones para ángulos pequeños, expandiendo en serie de Taylor la función $\sin \theta$, con $\theta \ll$, se desprecian potencias iguales o superiores a 3, de forma que:

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} - \frac{\theta^5}{5!} + \frac{\theta^7}{7!} - \dots \approx \theta \quad (1.6)$$

De donde la ecuación en el eje \hat{u}_θ toma la forma

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{l} \theta \quad (1.7)$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \omega_0^2 \theta = 0, \quad \omega_0^2 = \frac{g}{l}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.8)$$

La anterior ecuación es conocida como ecuación diferencial de las pequeñas oscilaciones, la cual desde el punto de vista matemático corresponde a una ecuación diferencial ordinaria lineal de segundo orden, porque no incluye derivadas parciales, y lineal pues solamente tiene términos lineales de la variable θ , homogénea porque no contiene un término que dependa del tiempo y que sea independiente de la variable θ , de segundo orden en el tiempo, t, pues el máximo orden de la derivada de la función es dos.

La linealidad y homogeneidad de la ecuación de movimiento para el péndulo simple, garantizada por la suposición de pequeñas oscilaciones, implica que la superposición lineal de dos soluciones será también solución, principio conocido en física como principio de superposición. La solución de la ecuación de las pequeñas oscilaciones se hace entonces con una metodología estándar para ecuaciones diferenciales lineales homogéneas con coeficientes constantes, que puede ser consultado en un texto de ecuaciones diferenciales ordinarias, y tiene la forma:

$$\theta(t) = A \sin(\omega_0 t + \phi), \quad (1.9)$$

Conocida como la ecuación de un movimiento armónico simple (M.A.S.). Es importante resaltar aquí, que por ser la ecuación de orden dos, la solución tendrá dos constantes arbitrarias: A y ϕ , que serán determinadas una vez sean fijadas las condiciones iniciales del problema: $\theta(0)$, que corresponde al ángulo en el tiempo inicial de observación del fenómeno y $\frac{d\theta(0)}{dt}$, que corresponde a la velocidad angular inicial.

CARACTERÍSTICAS DE UN MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

Se dice que un punto sigue un movimiento oscilatorio armónico simple (M.A.S.), cuando tiene un movimiento periódico de vaivén, en el que un cuerpo oscila de un lado a otro de su posición de equilibrio con la misma amplitud y en intervalos iguales de tiempo. Su posición en función del tiempo es una sinusoida:

Donde:

x: es la elongación, es decir, la posición en cualquier instante respecto de la posición de equilibrio,

A: es la amplitud del movimiento, es decir, el desplazamiento máximo de la partícula en relación al punto de equilibrio,

ω_0 : es la frecuencia angular y se expresa en radianes/segundo.

t: es el tiempo en segundos, que representa la variable independiente.

ϕ : recibe el nombre de fase inicial e indica el desplazamiento angular en relación al punto de equilibrio en el instante $t = 0$, o la posición angular inicial de la partícula.

Características de un MAS:

1. Como los valores máximo y mínimo de la función seno son +1 y -1, el movimiento se realiza en una región del eje x comprendida entre -A y +A.
2. Dado que la función seno es periódica y se repite cada 2π , el movimiento se repite cuando transcurre un tiempo T (Periodo), tal que $T = \frac{2\pi}{\omega}$.
3. La función velocidad se obtiene a través de su definición $v = \frac{dx}{dt}$, substituyendo la expresión del desplazamiento se tiene que $v = \omega A \cos(\omega t + \phi)$, de donde se concluye, que la velocidad está desfasada en $\frac{\pi}{2}$, en relación al desplazamiento.
4. La aceleración es la variación de la velocidad respecto al tiempo y se obtiene derivando la ecuación de la velocidad, de donde se obtiene $a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi)$, se concluye que la aceleración está desfasada en π radianes, en relación a la posición.

Podemos utilizar la proyección del movimiento de una partícula en movimiento circular uniforme, sobre el eje de las x, para obtener las siguientes representaciones graficas del MAS.

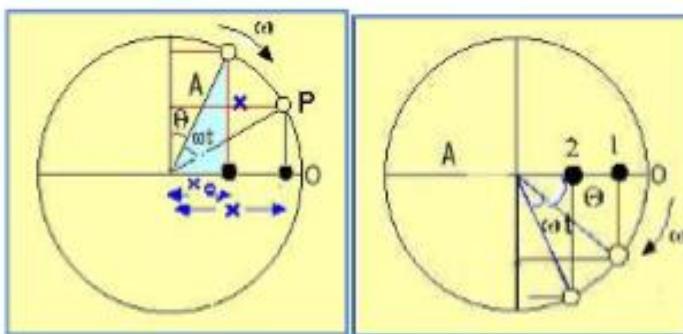


Figura 2. Partícula en movimiento circular uniforme

Si se empieza a contar el tiempo cuando la partícula pasa por el punto de equilibrio y se dirige a la derecha, la expresión será: $x = A \sin(\omega t)$, Figura 2 (izquierda). Si se empieza a contar el tiempo cuando la partícula está ligeramente a la derecha del punto de equilibrio, la expresión será: $x = A \sin(\omega t + \phi)$, de donde observamos que para $t = 0 \rightarrow x_0 = A \sin(\phi)$. Si se empieza a contar el tiempo cuando la partícula pasa por la posición de elongación máxima (positiva) e inicia su retorno hacia el punto de equilibrio, la expresión será: $x = A \cos(\omega t)$, y vemos que para $t = 0 \rightarrow x_0 = A$. Si se empieza a contar el tiempo cuando la partícula ya está regresando al punto de equilibrio, por ejemplo en la posición marcada como 1, Figura 2 (derecha), la expresión será $x = A \cos(\omega t + \phi)$, y vemos que para $t = 0 \rightarrow x_0 = A \cos(\phi)$. La expresión de la posición también dependerá del eje sobre el que se está considerando la oscilación.

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Hasta qué ángulo se considera apropiada la aproximación de pequeñas oscilaciones?
2. ¿Cómo se obtiene la solución de la ecuación diferencial del oscilador armónico simple?
3. ¿Qué sucede con el periodo de oscilación del péndulo simple cuando es considerado el segundo orden de aproximación en la serie de Taylor?

Procedimiento

Primera parte:

Dependencia de la frecuencia angular de los parámetros físicos del sistema.

1. Para una longitud de la cuerda (**entre 80 cm y 70 cm**) y una masa oscilante (**esfera de billar**), saque el péndulo del equilibrio un ángulo " θ_0 " que satisfaga la condición de linealidad del péndulo simple (**entre 0° y 5°**) y regístrelo en la tabla 1; proceda a dejar caer libremente el péndulo; registre además la masa " m_1 " y la longitud de la cuerda " L_1 " en la tabla 1.
2. Tome la medición del tiempo que tarda el péndulo en realizar 5 oscilaciones completas.
3. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces para el mismo ángulo inicial, registre en la tabla 1.

Medición $L_1 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 1.

4. Repita los pasos 1 al 3 para dos masas diferentes (esfera gris “ m_2 ” y esfera negra “ m_3 ”), con la misma longitud de la cuerda, registre en la tabla 2 y 3.

Medición $L_1 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_2 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 2.

Medición $L_1 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_3 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 3.

5. Repita los pasos 1 al 3 para la masa del paso 1 y dos longitudes adicionales de la cuerda (L_2 entre 50 cm y 60 cm, L_3 entre 30 cm y 40 cm), registre en la tabla 4 y 5.

Medición $L_2 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 4.

Medición $L_3 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 5.

Segunda parte: Restricciones para considerar el movimiento del péndulo simple un MAS

Para la masa y longitud utilizada en el paso 1 de la primera parte:

1. Saque la masa de su posición de equilibrio en un ángulo de 60 grados θ_1 .
2. Tome la medición del tiempo que tarda el péndulo en realizar 5 oscilaciones completas.
3. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces, registre estas mediciones en la tabla 6.
4. Saque la masa de su posición de equilibrio en un ángulo de $\theta_2 = 5$ grados.
5. Tome la medición del tiempo que tarda el péndulo en realizar 40 oscilaciones completas.
6. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces, registre estos datos en la tabla 7.

Medición $L_1 [m] =$ $\theta_1 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 6.

Medición $L_1 [m] =$ $\theta_2 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 40 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 7.

Análisis de datos

1. Con los datos de la tabla 1, determine el periodo de oscilación del péndulo para cada dato usando la fórmula: $T = \frac{\text{tiempo}}{\# \text{ de oscilaciones}}$, registre sus resultados en la tabla 1 y proceda a sacar el promedio de los periodos.

2. Calcule el periodo calculado a partir de la ecuación $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, calcule el porcentaje de error entre los dos valores obtenidos.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (1.10)$$

3. Repita el análisis anterior para los datos de la tabla 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

4. Con los valores promedio del periodo calculado para cada caso (tablas 1 a la 5), obtenga las expresiones matemáticas de los MAS usando la ecuación (1.8).

5. Realice una gráfica del cuadrado del periodo vs. longitud de la cuerda, para ello tome los periodos promedio y las longitudes de la tabla 1, tabla 4 y tabla 5.

6. Utilizando regresión lineal determine el valor de la aceleración de la gravedad (g) en el laboratorio utilice la fórmula del periodo calculado.

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. ¿Qué concluye sobre la dependencia del periodo de oscilación del péndulo con la masa del cuerpo oscilante y la longitud de la cuerda?
2. A partir de los datos obtenidos en la segunda parte, analice que aproximación se está violando o qué condición física deja de cumplirse según el modelo de pequeñas oscilaciones.
3. Enuncie las fuentes de error presentes en el montaje del péndulo simple del laboratorio y como desde una perspectiva física e ingenieril las disminuiría o eliminaría totalmente.

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).
- Gettys, Killer, Skove, Física para ciencias e ingeniería, tomo I y II. Editorial McGraw-Hill.
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.
- Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.
- Guerrero, Alicia., Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).
- Crawford, Jr., Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).
- Hecht, E. and Zajac, A., Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).
- Giancoli, Douglas c. física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.



No
2

LABORATORIO DE OSCILACIONES Y ONDAS OSCILACIONES DEL SISTEMA MASA-RESORTE

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

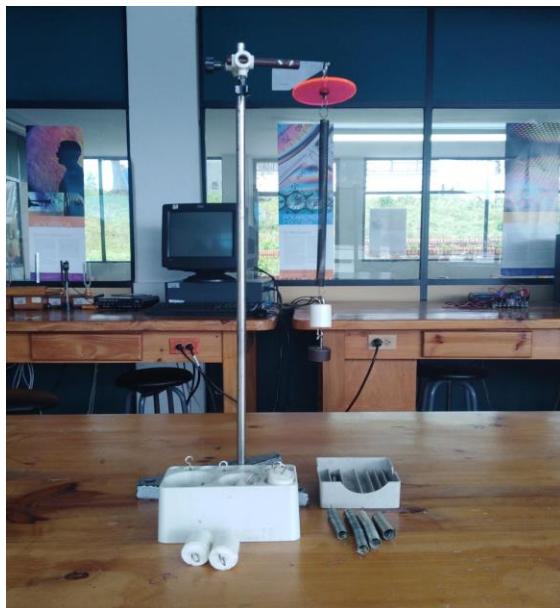
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

- 1.** Estudiar la dinámica del movimiento armónico simple (MAS).
- 2.** Determinar la dependencia del periodo de oscilación del sistema masa-resorte con los parámetros físicos del sistema.
- 3.** Estudiar las condiciones bajo las cuales el movimiento del sistema masa resorte puede modelarse como un MAS.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Resortes con diferentes constantes elásticas	4	
Conjunto de masas cilíndricas	1	
Sistema para determinar constantes elásticas	1	
Cronometro	1	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico

SISTEMA MASA-RESORTE

En esta práctica se analizan las oscilaciones del sistema masa resorte. Este sistema consiste de un resorte considerado en su régimen elástico, esto es, el régimen donde las deformaciones producidas en un cuerpo son tales que después de retirada la tensión que las produjo permiten que el cuerpo recupere su forma inicial, donde la tensión es producida por el peso de una masa suspendida en uno de sus extremos.

La teoría de deformaciones de los cuerpos es estudiada por la mecánica de los medios continuos, donde se establecen tres regímenes para un cuerpo deformado, el régimen de elasticidad lineal donde las deformaciones son proporcionales a las tensiones aplicadas, el régimen de deformación elástica no lineal, el régimen de plasticidad donde el cuerpo ya no recupera su forma inicial y finalmente el régimen de fractura donde el cuerpo no soporta la tensión aplicada (ver Figura 1).

El sistema masa-resorte es un modelo muy apropiado para la observación de la elasticidad lineal de los cuerpos. El resorte está caracterizado por una constante elástica conocida como constante de restitución del resorte, k , o módulo de Hooke, en honor al físico que describió la fuerza restauradora del resorte en la forma $F = -kx$. Una fuerza restauradora proporcional y en dirección opuesta al desplazamiento genera oscilaciones, las cuales serán armónicas simples si la masa del resorte se puede despreciar en relación a la masa m que produce la tensión, y si el resorte no es deformado fuera de su régimen de elasticidad lineal.

Bajo estas consideraciones podemos determinar el comportamiento de las oscilaciones aplicando la segunda ley de Newton al movimiento de la masa m . Tomando la dirección y como la dirección de las deformaciones tenemos

$$F = ma = m \frac{d^2y}{dt^2} = -ky \quad (2.1)$$

De donde se deduce la ecuación diferencial:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{k}{m}y = \omega^2y \quad (2.2)$$

Ecuación diferencial que corresponde con la ecuación de un MAS.

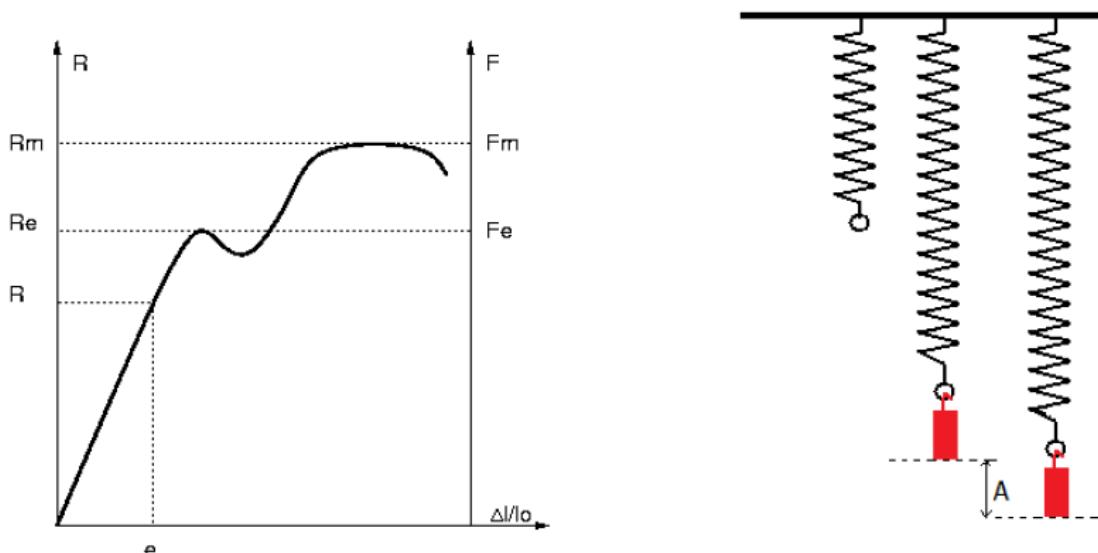


Figura 1. Curva de Tensión - deformación para un acero de baja fluencia (izquierda). Sistema oscilante masa-resorte (derecha).

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué consideraciones son necesarias para considerar el sistema masa-resorte como un sistema que realiza oscilaciones armónicas simples?
2. ¿Por qué una fuerza directamente proporcional y en dirección opuesta al desplazamiento produce un MAS?
3. Construya las curvas de energía cinética y energía potencial como función del desplazamiento para la masa oscilante.
4. Enuncie la ley de Hooke y las características de un cuerpo elástico

Procedimiento

Primera parte: Dependencia de la frecuencia angular de los parámetros físicos del sistema.

Seleccione una masa y un resorte, suspenda la masa en un extremo del resorte y registre la deformación producida " Δx ", utilice esta información y la ley de Hooke para determinar la constante de elasticidad del resorte; repita este procedimiento

para otros dos resortes. (**Nota:** seleccione los mejores resortes de acuerdo a la teoría)

1. Realice el montaje del sistema masa-resorte para generar las oscilaciones, **Figura 1.** Seleccionando una masa " m_1 " (no tan pequeña) y un resorte de constante " K_1 " registre estos datos en la tabla 1.
2. Mida la longitud desde el extremo superior del resorte hasta el extremo final de la masa que colgó, este valor es llamado la posición de equilibrio del sistema masa-resorte.
3. Determine el 5% de la longitud calculada anteriormente, este valor lo denominamos amplitud de oscilación.
4. Estire la masa de la posición de equilibrio hasta el valor de la amplitud de oscilación; con el uso del cronómetro mida el tiempo de 5 oscilaciones, registre el valor obtenido en la tabla 1.
5. Repita el experimento 5 veces y registre los datos en la tabla 1.

Medición $m_1 [Kg] =$ $K_1 [N/m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 1.

6. Realice nuevamente los pasos del 1 al 5, dejando el mismo resorte pero escoja ahora dos masas oscilantes diferentes " m_2 " y " m_3 ", registre los datos obtenidos en las tablas 2 y 3 respectivamente; se sugiere que las masas que escoja aumenten en valor progresivamente.

Medición $m_2 [Kg] =$ $k_1 [N/m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 2.

Medición $m_3 [Kg] =$ $K_1 [N/m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 3.

7. Utilizando la masa m_3 , realice el mismo experimento descrito en los pasos del 1 al 5, pero ahora seleccione dos resortes diferentes " K_2 " y " K_3 " a los cuales ya les calculo la constante de elasticidad. Registre sus resultados en la tabla 4 y 5.

Medición $m_3 [Kg] =$ $K_2 [N/m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 4.

Medición $m_3 [Kg] =$ $K_3 [N/m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 5.

Segunda parte: Restricciones para considerar el movimiento del sistema masa-resorte un M.A.S

Para la masa y longitud utilizada en el paso 1 de la primera parte:

1. Seleccione el sistema masa-resorte que utilice en la tabla 3, es decir el de masa m_3 y constante K_1 .
2. Ahora saque la masa anteriormente seleccionada de su posición de equilibrio una distancia igual al 30% de la longitud del resorte en equilibrio, registre el tiempo de 5 oscilaciones.
3. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces, registre estas mediciones en la tabla 6.
4. Saque la masa de su posición de equilibrio una distancia igual al 5% de la longitud de equilibrio, tome la medición del tiempo que tarda el sistema masa-resorte en realizar 40 oscilaciones completas.
5. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces, registre estos datos en la tabla 7.

Medición $m [Kg] =$ $K [N/m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 6.

Medición $m [Kg] =$ $K [N/m] =$	Tiempo de 40 oscilaciones [s]	Periodo [s]	Periodo Calculado	% Error
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio				

Tabla 7.

Análisis de datos

1. Con los datos de la tabla 1, determine el periodo de oscilación del péndulo para cada dato usando la fórmula: $T = \frac{\text{tiempo}}{\# \text{ de oscilaciones}}$ registre sus resultados en la tabla 1 y proceda a sacar el promedio de los periodos.
2. Calcule el periodo calculado a partir de la ecuación $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, calcule el porcentaje de error entre los dos valores obtenidos.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (2.3)$$

3. Repita el análisis anterior para los datos de la tabla 2, 3, 4, 5, 6 y 7.
4. Realice una gráfica del cuadrado del periodo vs masa oscilante, para ello tome los periodos promedio y las masas de la tabla 1, tabla 2 y tabla 3.
5. Realice una gráfica del cuadrado del periodo vs el inverso de las constantes del resorte " T^2 vs k^{-1} ", para ello tome los periodos promedio y las constantes de elasticidad de la tabla 3, tabla 4 y tabla 5.

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. ¿Qué concluye sobre la dependencia del periodo de oscilación del sistema con la masa del cuerpo oscilante y la constante elástica del resorte?
2. A partir de los datos obtenidos en la segunda parte, analice que aproximación se está violando o que condición física deja de cumplirse según el modelo de pequeñas oscilaciones.
3. Enuncie las fuentes de error presentes en el montaje del péndulo simple del laboratorio y como desde una perspectiva física e ingenieril las disminuiría o eliminaría totalmente.
4. De las gráficas obtenidas en el inciso 4 y 5 del análisis de datos, encuentre la ecuación de regresión lineal y describa su interpretación física de la pendiente obtenida para ambos casos.

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., **Física, vol. I y II**, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).
- Gettys, Killer, Skove, **Física para ciencias e ingeniería, tomo I y II**. Editorial McGraw-Hill.
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. **Física Universitaria, vol. I** 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. **Física, vol. I** 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.
- Serway, Raymond. A., **Física, Tomo 1**, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.
- Guerrero, Alicia., **Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase**, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).
- Crawford, Jr., **Ondas, Berkeley Physics Course**. Editorial Reverte, (1977).
- Hecht, E. and Zajac, A., **Óptica**. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).
- Giancoli, Douglas c. **física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición**. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.



LABORATORIO DE OSCILACIONES Y ONDAS SUPERPOSICIÓN DE DOS MOVIMIENTOS ARMÓNICOS SIMPLES (MAS)

Objetivos

1. Analizar la superposición de dos movimientos armónicos simples en direcciones paralelas y perpendiculares.
2. Analizar las pulsaciones producidas por la superposición de dos MAS con la misma dirección y amplitud y frecuencias cercanas.
3. Generar las figuras de Lissajous a través de la superposición de dos MAS en direcciones perpendiculares con diferentes desfases y relaciones de frecuencia.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Generador de señales con frecuencia y amplitud variable	2	
Osciloscopio	1	
Hojas de papel milimetrado tamaño carta	6	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico

En esta práctica los MAS corresponden a señales sinusoidales eléctricas. Una de las señales tiene frecuencia fija de aproximadamente 1000 [Hz] y es desfasada a través de un cambio en la señal obtenida por el segundo generador de señales que permite variar su frecuencia, así como su amplitud en un amplio rango.

Estas señales entran por el canal 1 (CH1) y 2 (CH2) de un osciloscopio, instrumento que permite visualizar cada señal por separado, las dos señales simultáneamente, la superposición de las señales en la misma dirección y la superposición de las señales en direcciones perpendiculares.

SUPERPOSICIÓN DE M.A.S EN LA MISMA DIRECCIÓN

Cuando dos MAS actúan en la misma dirección y con la misma frecuencia, se desarrolla una superposición que tiene la misma frecuencia de sus componentes pero cuya amplitud está determinada por el desfase de los dos movimientos. La amplitud resultante es obtenida de forma fácil, utilizando el concepto de fasor.

Un MAS puede ser representado como un vector rotante (fasor). En la Figura 1 están representados los fasores correspondientes a dos MAS de diferente frecuencia angular, diferente amplitud y con la misma fase inicial:

$$x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t), \quad (3.1)$$

$$x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t), \quad (3.2)$$

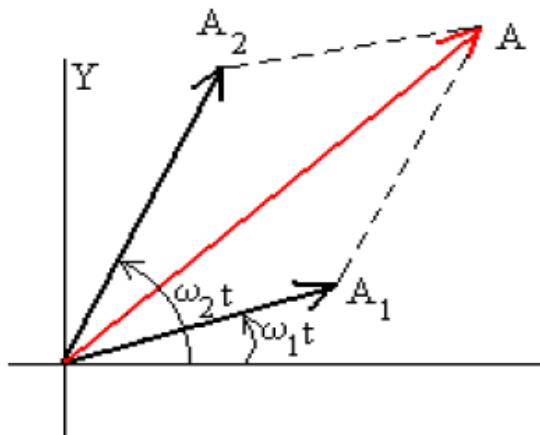


Figura 1. Representación con fasores de dos M.A.S y su superposición.

Por lo que de acuerdo con la interpretación geométrica de un MAS, el primer MAS es la proyección sobre el eje X de un vector de longitud A_1 que gira con velocidad angular ω_1 , en cuanto el segundo MAS es la proyección sobre el eje X de un vector de longitud A_2 que gira con velocidad angular ω_2 . El MAS resultante es la proyección sobre el eje X del vector suma vectorial de los dos fasores.

El módulo del vector resultante tiene una amplitud que varía con el tiempo en la forma:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t} \quad (3.3)$$

Su valor máximo es $|A_1 + A_2|$ y su valor mínimo es $|A_1 - A_2|$. Se dice entonces que la amplitud es modulada y el movimiento resultante no corresponde a un MAS.

Cuando las amplitudes A_1 y A_2 son iguales, podemos simplificar el movimiento resultante, como:

$$X = X_1 + X_2 = A_1 \sin(\omega_1 t) + A_1 \sin(\omega_2 t) \quad (3.4)$$

$$X = 2A_1 \cos \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t \cdot \sin \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t \quad (3.5)$$

La ultima ecuación nos dice que se trata de un movimiento oscilatorio (no es un MAS porque la amplitud no es constante) de frecuencia angular $(\omega_1 + \omega_2)/2$ y de amplitud

$$A(t) = 2A_1 \cos \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t. \quad (3.6)$$

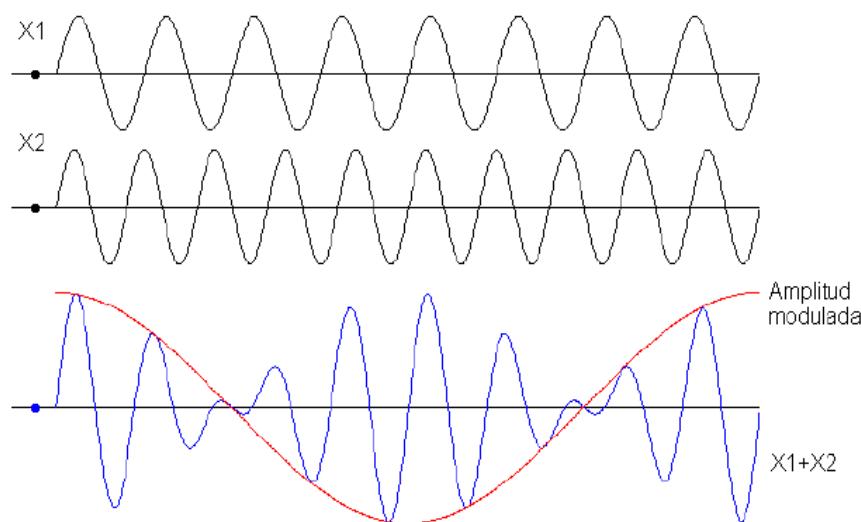


Figura 2. Superposición de dos M.A.S en direcciones paralelas.

En la Figura 2, tenemos un ejemplo para el cual la primera gráfica representa X_1 , la segunda gráfica representa X_2 y la tercera gráfica (en color azul) $X_1 + X_2$. En color rojo se representa la frecuencia de la oscilación de amplitud. Este fenómeno es conocido como pulsaciones.

SUPERPOSICIÓN DE ONDAS EN DIRECCIONES PERPENDICULARES

Las figuras de Lissajous fueron descubiertas por el físico francés Jules Antoine Lissajous. El usó sonidos de diferentes frecuencias (agudos y graves) para hacer vibrar un espejo. Un rayo de luz reflejado en el espejo dibujaba figuras, cuya forma dependía de la frecuencia de los sonidos. El experimento de Lissajous es similar al aparato que se utiliza en la actualidad para proyectar espectáculos de luz láser.

En matemáticas, las curvas de Lissajous, también conocidas como figuras de Lissajous o curvas de Bowdicht, son las gráficas del sistema de ecuaciones paramétricas que describen el movimiento armónico complejo:

$$x = a \sin(\omega_1 t + \delta), \quad (3.7)$$

$$y = b \sin(\omega_2 t) \quad (3.8)$$

Esta familia de curvas fue investigada por Nathaniel Bowditch en 1815 y después, con mayores detalles, por Jules Antoine Lissajous. La apariencia de la figura es muy sensible a las relaciones a/b y ω_1/ω_2 ; así como al valor del desfase δ . Para un valor de $\omega_1/\omega_2 = 1$, la figura es una elipse, con los casos especiales del círculo ($a = b, \delta = \frac{\pi}{2}$ radianes) y de rectas ($\delta = 0$) incluidos. Otros valores de estas relaciones producen curvas más complicadas, las cuales sólo son cerradas si ω_1/ω_2 es un número racional.

Estas curvas pueden ser generadas en tres dimensiones, adicionando otro movimiento armónico simple en la dirección z. Las figuras generadas son conocidas como nudos de Lissajous, cuya proyección en el plano genera las figuras de Lissajous.

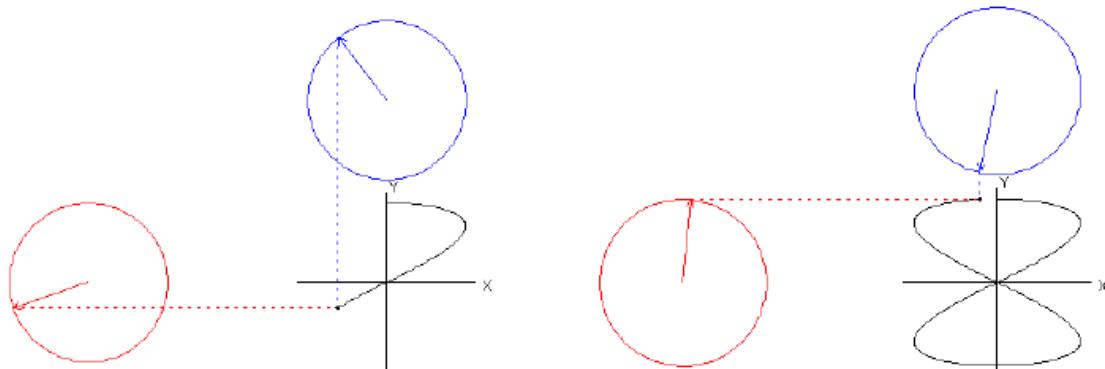


Figura 3. Frecuencia angular en x es 2 veces la frecuencia en y, desfase entre las oscilaciones es de 90°

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué es un osciloscopio y consulte los comandos principales de un osciloscopio analógico?
2. ¿Qué es voltaje pico-pico, periodo y frecuencia de una señal?
3. ¿Qué es un armonógrafo y para que se utiliza?
4. Realice la tabla de las figuras de Lissajous.
5. ¿Para qué se utilizan las figuras de Lissajous?, ¿En qué logos se han utilizado las figuras de Lissajous?
6. ¿Qué es modulación y tipos de modulación?

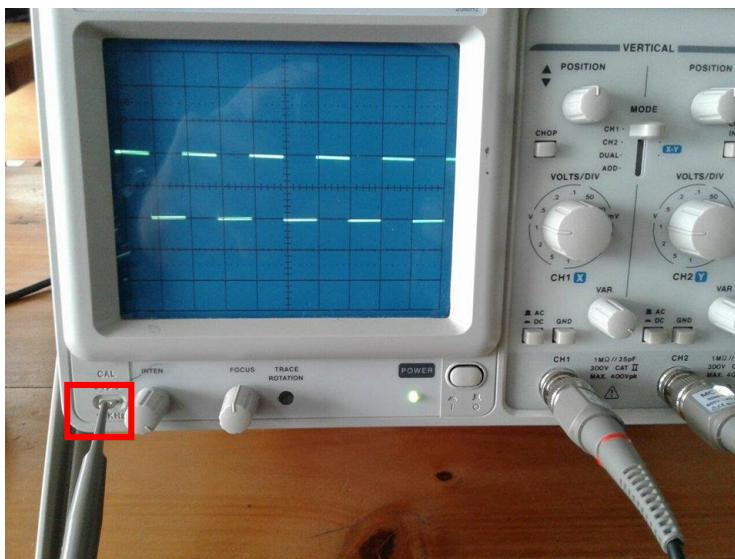
Procedimiento

Primera parte: Calibración del osciloscopio

El siguiente procedimiento se realiza con el objetivo de comprobar si las puntas del osciloscopio están en óptimas condiciones y a una escala adecuada, así como el osciloscopio.

1. Encienda el osciloscopio.
2. Se procederá a calibrar la punta del canal 1 (CH 1), para lo cual conecte está en el orificio metálico en el extremo izquierdo inferior del osciloscopio el cual tiene como nombre **CAL 2Vp-p** (señal interna y de prueba del osciloscopio), esto se debe realizar deslizando hacia abajo la punta del osciloscopio, observándose así el gancho de conexión, la conexión debe quedar tal y como se observa en el **montaje 1**.
3. Observara en la pantalla del osciloscopio que aparece una señal de onda cuadrada, de no ser este el caso debe escoger una escala mejor tanto en el eje horizontal como vertical.
4. **Escala vertical:** en el eje vertical se muestra la amplitud de la señal interna de calibración o cualquier otra en unidades de voltios; la escala de este eje se puede modificar con la perilla **VOLTS/DIV CH1** para el canal 1; según la posición de la perilla nos indicara el valor de la escala vertical. (ver montaje 2)

5. Proceda a calcular la amplitud de la señal de calibración de amplitud **2Vp-p**, de la siguiente forma: cuente cuantos cuadros existen desde la parte superior de la señal hasta la parte inferior y multiplíquelo por la escala seleccionada, su resultado debe ser igual a 2 Voltios; registre este resultado en la sección de procedimientos del informe de laboratorio. (Amplitud p-p= #cuadros*escala de voltaje).



Montaje 1: conexión punta osciloscopio canal 1 (ch1) a la señal de calibración y visualización de esta señal.

6. Si la señal no está correctamente centrada o ubicada dificultando el cálculo de la amplitud, puede desplazarla usando la perilla de **VERTICAL POSITION** del canal 1 (CH1), hasta una posición en la que la parte superior e inferior de la señal coincida con una de las divisiones verticales como se observa en el montaje 1.
7. **Escala horizontal:** en el eje horizontal se muestra la evolución temporal de la señal interna de calibración o cualquier otra en unidades de segundos; la escala de este eje se puede modificar con la perilla **TIME/DIV** la cual funciona tanto para el canal 1 como el canal 2; según la posición de la perilla nos indicara el valor de la escala horizontal. (ver montaje 2)
8. Proceda a calcular el periodo de la señal de calibración de frecuencia **1KHz**, de la siguiente forma: cuente cuantos cuadros horizontales existen desde donde comienza la señal hasta donde vuelve y se repite y multiplíquelo por la escala temporal seleccionada (Periodo = #cuadros horizontales*escala de tiempo); registre este resultado en la sección de procedimientos del informe de laboratorio.

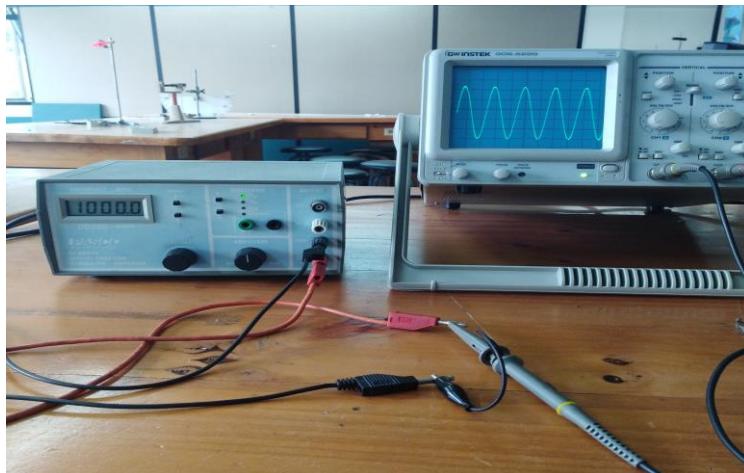


Montaje 2: tablero de comandos del osciloscopio analógico.

9. Si la señal no está correctamente centrada o ubicada dificultando el cálculo del periodo, puede desplazarla usando la perilla de **HORIZONTAL POSITION**, hasta una posición en la que donde comienza la onda coincida con uno de los cuadros o una posición que usted considere pertinente observe el montaje 1.
10. Calcule la frecuencia de la onda cuadrada usando la fórmula: $frecuencia = 1/periodo$, su resultado debe ser igual a 1KHz, que es la frecuencia de esta señal.
11. Repita el procedimiento anterior para el canal 2 (CH2) del osciloscopio.

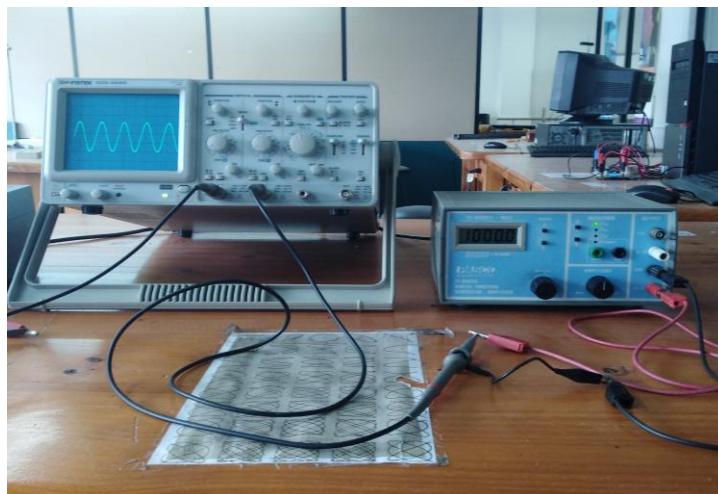
Segunda parte: Figuras de Lissajous para el caso $\omega_1/\omega_2 = 1$

1. Conecte la punta del osciloscopio del canal 1 (ch1) al generador de señales del lado izquierdo del osciloscopio. Encienda el generador de señales con el botón que se encuentra detrás de esté. En el generador de señales escoja una onda sinusoidal, con la perilla **ADJUST** escoja una frecuencia de 1000.1 Hz y con la perilla **AMPLITUDE** ubíquela en nivel medio, como se muestra en el montaje 3.



Montaje 3: conexión punta osciloscopio canal 1 (ch1) al generador de señales

2. Ubique el botón **MODE** en el canal 1 “**CH1**”, para observar la señal sinusoidal producida por el generador de señales.
3. Encienda el generador de señales con el botón que se encuentra detrás de esté. Proceda a conectar la punta del osciloscopio del canal 2 (ch2) al generador de señales del lado derecho del osciloscopio. En este generador de señales escoja una onda sinusoidal, con la perilla **ADJUST** escoja una frecuencia de 1000 Hz y con la perilla **AMPLITUDE** ubíquela en nivel medio, como se muestra en el montaje 4.



Montaje 4: conexión punta osciloscopio canal 2 (ch2) al generador de señales

4. Ubique el botón **MODE** en el canal 2 “**CH2**”, para observar la señal sinusoidal producida por el segundo generador de señales.

- Oprima el botón **x-y**, el cual se encuentra debajo de la perilla **HORIZONTAL POSITION**, observara como se generan las figuras de Lissajous de forma dinámica (en movimiento), esto cuando la relación de frecuencias $\omega_1: \omega_2$ es 1:1. Ver el montaje 5.



Montaje 5: Botón x-y para la formación de las figuras de Lissajous.

Tercera parte: Figuras de Lissajous para el caso $\omega_1/\omega_2 = 1: 2, 1: 3, 2: 3$.

- Gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo hasta que obtenga una frecuencia de 2000.1 Hz. Observara como se generan las figuras de Lissajous en movimiento, para una relación de frecuencias $\omega_1: \omega_2$ igual a 1:2.
- Repita el procedimiento anterior pero ahora escoja una frecuencia de 3000.1 Hz, para obtener la relación de frecuencias $\omega_1: \omega_2$ igual a 1:3.
- Gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo hasta que obtenga una frecuencia de 3000.1 Hz, además gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado derecho hasta que obtenga una frecuencia de 2000 Hz, con esto lograra observar las figuras de Lissajous en movimiento, para una relación de frecuencias $\omega_1: \omega_2$ igual a 2:3.

Cuarta parte: Modulaciones y pulsaciones.

- Oprima el botón **x-y**, el cual se encuentra debajo de la perilla **HORIZONTAL POSITION**, para cancelar la suma de las señales de forma vertical, es decir ya no se obtendrán las figuras de Lissajous.
- Ubique el botón **MODE** en la opción suma “**ADD**”, para observar la suma de las señales en la misma dirección es decir un pulso.

3. Gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo hasta que obtenga una frecuencia de 1200 Hz, además gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado derecho hasta que obtenga una frecuencia de 1000 Hz, con esto obtendrá su pulso.
4. Si el pulso obtenido se desplaza demasiado rápido en la pantalla del osciloscopio, gire la perilla **HOLDOFF**, lentamente hasta que logren detenerlo.
5. En el caso de que no se logre una buena visualización del pulso, se pueden modificar las escalas de voltaje de los canales 1 y 2 (ambos canales deben quedar en la misma escala), o la perilla de la escala del tiempo, se recomienda una escala de **1ms/DIV**.
6. Realice el cálculo de la amplitud modulada del pulso (ver **figura 2**), de acuerdo a las escalas de voltaje utilizadas en el canal 1 y registre este valor en la tabla 1.
7. Realice el cálculo del periodo y la frecuencia de la señal modulada del pulso (ver **figura 2**), de acuerdo a la escala de tiempo utilizada (ver parte 1) y registre este valor en la tabla 1.

Señal modulada Del Pulso	Amplitud pico-pico [V]	Periodo [s]	Frecuencia [Hz]

Tabla 1.

Análisis de datos

1. Para cada una de las gráficas obtenidas en la tercera parte (caso 1:2, 1:3, 2:3), determine el eje con mayor frecuencia, recuerde que el canal 1 corresponde al eje x y el canal 2 al eje y.
2. Realice la gráfica de la cuarta parte (modulaciones y pulsaciones) e indique sobre ella la amplitud, el periodo y la frecuencia.
3. Complete la siguiente tabla, basándose en los resultados de la segunda y tercera parte (**Figuras de Lissajous**), indicando si ambas señales utilizadas para obtener las figuras de Lissajous poseen la misma o diferente característica (frecuencia, amplitud, desfase).

Figuras de Lissajous. Casos ω_1/ω_2	Amplitud	Frecuencia	Desfase
1:1			
1:2			
1:3			
2:3			

Tabla 2.

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. ¿De acuerdo a la primera parte “calibración”, si cambia la escala de voltaje y frecuencia con las perillas del osciloscopio, cambiaría la amplitud y frecuencia de la señal, justifique su respuesta?
2. Imagine el siguiente escenario, que posea un osciloscopio analógico nuevo (sin fallas), que las conexiones del osciloscopio y de sus puntas con los generadores de señales estén perfectas, y suceda que al momento de visualizar las señales no se logre observar nada en la pantalla del osciloscopio, ¿Por qué cree que suceda esto?
3. ¿Cuáles considera que son los errores en la primera parte “calibración del osciloscopio”, sea específico en su respuesta?
4. En la segunda parte del procedimiento, ¿qué sucedería si se duplicara la frecuencia en ambas señales o si se triplicara, justifique su respuesta?
5. ¿Basado en la tercera parte del procedimiento considera qué se podrían formar figuras de Lissajous, si se utilizan otras relaciones de frecuencias incluso si son frecuencias irracionales?
6. ¿Qué sucedería si invierte la conexión de las puntas del osciloscopio, es decir si conecta la punta del canal 1 con el generador de señales del lado derecho y la punta del canal 2 con el otro generador, analice esta situación cuando se obtuvieron las figuras de Lissajous?
7. Según lo aprendido en la cuarta parte del procedimiento, ¿Por qué se calcula la amplitud y la frecuencia de la señal modulada y no la que se observa en el osciloscopio?, ¿se podría obtener un pulso con otros valores de frecuencia para cada señal?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., **Física**, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).
- Gettys, Killer, Skove, **Física para ciencias e ingeniería**, tomo I y II. Editorial McGraw-Hill.
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. **Física Universitaria**, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. **Física**, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.
- Serway, Raymond. A., **Física**, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.
- Guerrero, Alicia., **Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase**, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).
- Crawford, Jr., **Ondas, Berkeley Physics Course**. Editorial Reverte, (1977).
- Hecht, E. and Zajac, A., **Óptica**. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).
- Giancoli, Douglas c. **física para ciencias e ingeniería**. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.

**Objetivos**

- 1.** Establecer una analogía entre los elementos de un oscilador forzado amortiguado mecánico y un oscilador forzado amortiguado eléctrico.
- 2.** Estudiar y analizar el efecto de una fuerza externa oscilante con frecuencia ω_f en un sistema oscilante con amortiguamiento.
- 3.** Visualizar experimentalmente el fenómeno de resonancia.

Esquema del laboratorio y Materiales**Esquema 1. Montaje de laboratorio**

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Circuito RLC pasco	1	
Interface Science Workshop 750	1	
Cables de conexión de salida de la interface.	2	
Cables de conexión canal A, B y C del Interface.	3	
Computador con software Datastudio	1	
Papel milimetrado tamaño carta	2	Traerlas el estudiante

Marco teórico

CIRCUITO RLC

El análisis de cualquier sistema mecánico clásico debe partir de las ecuaciones de Newton, en cuanto el análisis de cualquier sistema electromagnético clásico debe partir de las ecuaciones de Maxwell y de la ecuación de la fuerza de Lorentz para partículas cargadas no relativistas [1]. Sin embargo, cuando los campos eléctrico y magnético no varían rápidamente en el tiempo y el espacio, es posible estudiar la corriente, la carga y los campos en un circuito, a través de elementos del circuito como resistencia (R), capacitancia (C) e inductancia (L), elementos en los cuales están concentrados macroscópicamente los efectos de disipación de energía en calor, almacenamiento de carga y voltaje inducido que se opone a la variación de la corriente en el tiempo, respectivamente.

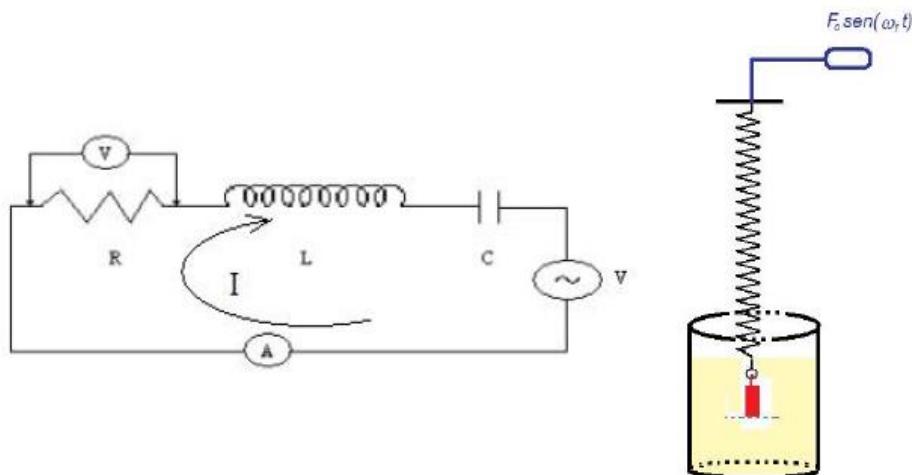


Figura 1. Circuito RLC en serie con una fuente de voltaje y su equivalente mecánico.

La Figura 1, ilustra la conexión en serie de dichos elementos de circuito con una fuente de voltaje, así como su equivalente mecánico donde el fluido produce las perdidas en el sistema masa-resorte a través de una fuerza amortiguadora que actúa en dirección opuesta a la velocidad.

La fuente de voltaje en serie con los elementos de circuito R, L y C, genera un campo capaz de realizar un trabajo sobre las partículas portadoras de carga, si asumimos que el voltaje es armónico y el sentido positivo de la corriente como en la Figura 1, aparecen cargas q y q̄ en las placas del capacitor C tales que

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (4.1)$$

Estas cargas producen una fuerza electromotriz

$$V_c = \frac{q}{C} \quad (4.2)$$

En la inductancia se genera otra fuerza electromotriz

$$V_L = -L \frac{dI}{dt} \quad (4.3)$$

OSCILACIONES LIBRES

Consideremos primero el caso en que no hay fuerza electromotriz V_E externa en el circuito. En este caso la corriente se inicia cargando el capacitor o variando el flujo magnético a través de la inductancia o intercalando y después desconectando una fuente externa [3]. En este caso podemos escribir la ecuación del circuito (ver leyes de Kirchhoff) en la forma:

$$IR = -\frac{q}{C} - L \frac{dI}{dt} \quad (4.4)$$

Donde el signo menos en la fuerza electromotriz del capacitor se debe a la tendencia del condensador de descargarse a través del circuito y por tanto establecer una corriente en sentido contrario al inicialmente establecido en el circuito.

Derivando la ecuación anterior respecto del tiempo y reorganizando términos, obtenemos la ecuación diferencial ordinaria de orden dos homogénea:

$$L \frac{d^2I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} - \frac{I}{C} = 0 \quad (4.5)$$

La anterior ecuación es idéntica a la ecuación de las oscilaciones amortiguadas de una partícula

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (4.6)$$

De donde se establecen las siguientes correspondencias:

Oscilador Eléctrico	Oscilador Mecánico
L , inductancia	M , masa
R , resistencia	λ , amortiguamiento
$1/C$, inverso de la capacitancia	K , constante elástica

La ecuación diferencial descrita tiene diferentes soluciones dependiendo del valor de la discriminante de la ecuación [2], tenemos así el caso sobre-amortiguado, de amortiguamiento crítico y sub-amortiguado. De los tres casos solamente en uno se establece una corriente oscilatoria cuya amplitud decrece con el tiempo, este caso corresponde a la condición $R^2 < \frac{4L}{C}$, y la solución toma la forma

$$I = I_0 e^{-\gamma t} \sin(\omega t + \alpha), \quad (4.7)$$

Donde

$$\gamma = \frac{R}{2L}, \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (4.8)$$

La ecuación para la frecuencia indica que el amortiguamiento tiene el efecto de disminuir la frecuencia característica o natural del circuito LC dada por

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (4.9)$$

O su equivalente en el caso mecánico del oscilador no amortiguado

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.10)$$

OSCILACIONES FORZADAS

Las oscilaciones forzadas se obtienen en el caso eléctrico adicionando una fuerza electromotriz alterna al circuito de la forma

$$V_0 \sin \omega_f t, \quad (4.11)$$

O en el caso mecánico, impulsando la masa a través de una fuerza externa de la forma

$$F_0 \sin \omega_f t. \quad (4.12)$$

En este caso la ley de Kirchhoff nos permite obtener la ecuación diferencial

$$IR + \frac{Q}{C} + L \frac{dI}{dt} = V_0 \sin \omega_f t, \quad (4.13)$$

Para las oscilaciones forzadas de una partícula se obtendría una ecuación similar con la diferencia que el término no homogéneo no tendría como factor a la frecuencia.

La intuición física nos dice que en este caso la corriente no oscilará ni con la frecuencia natural, ni con la frecuencia natural amortiguada, la corriente es forzada a oscilar con la frecuencia del voltaje externo, luego una solución de la forma

$$I = I_0 \sin(\omega_f t - \alpha), \quad (4.14)$$

donde la amplitud de la corriente se obtiene como

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (\omega_f L^{-1}/\omega_f C)^2}} \quad (4.15)$$

y la diferencia de fase α entre el voltaje y la corriente viene dada por

$$\tan \alpha = \frac{\omega_f L^{-1}/\omega_f C}{R} \quad (4.16)$$

Se define la reactancia del circuito como $X = \omega_f L - \frac{1}{\omega_f C}$, en cuanto la impedancia se expresa como $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$. Es útil definir también la reactancia capacitiva $X_C = \frac{1}{\omega_f C}$ y La reactancia inductiva $X_L = \omega_f L$.

RESONANCIA

Cuando la reactancia inductiva se hace igual a la reactancia capacitativa, la diferencia de fase entre el voltaje aplicado y la corriente se hace cero, en este caso se obtiene la resonancia de energía. Se puede entonces concluir que la resonancia de energía se obtiene cuando la frecuencia de la fuerza externa coincide con la frecuencia natural del sistema $\omega_f = \sqrt{\frac{1}{LC}}$, ver Figura 2.

En el circuito del experimento contamos con dos capacitancias C ($100 \mu F$ y $330 \mu F$), dos inductancias L (una conocida de $8.2 mH$), tres resistencias R (10Ω , 33Ω y 100Ω), y un generador de señal de frecuencia variable. Observe que X_C y X_L varían de acuerdo a la frecuencia del voltaje de alimentación del circuito.

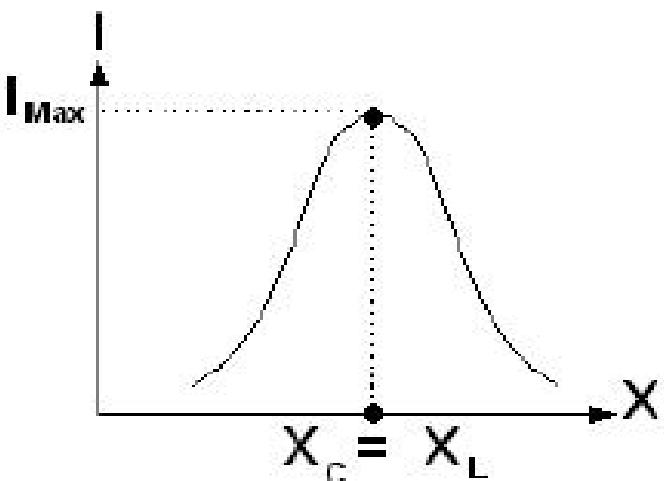


Figura 2. Frecuencia de resonancia

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué es resistencia, reactancia e impedancia?
2. ¿Qué es corriente alterna y continua y como es su comportamiento grafico?
3. ¿Cuál es la relación matemática entre los parámetros físicos de un oscilador amortiguado para los casos de amortiguamiento crítico, sobre-amortiguado y sub-amortiguado?
4. Describa otros fenómenos físicos donde sea aplicable el concepto de resonancia.
5. ¿Para una fuente de voltaje alterno, cuál es la diferencia entre voltaje pico-pico, voltaje rmc y voltaje promedio?
6. ¿Qué es un material ferromagnético, paramagnético, diamagnético y de ejemplos de materiales con estas características?

Procedimiento

Primera parte: Verificación conexiones equipo de laboratorio, para la medición de las oscilaciones eléctricas de un circuito RLC

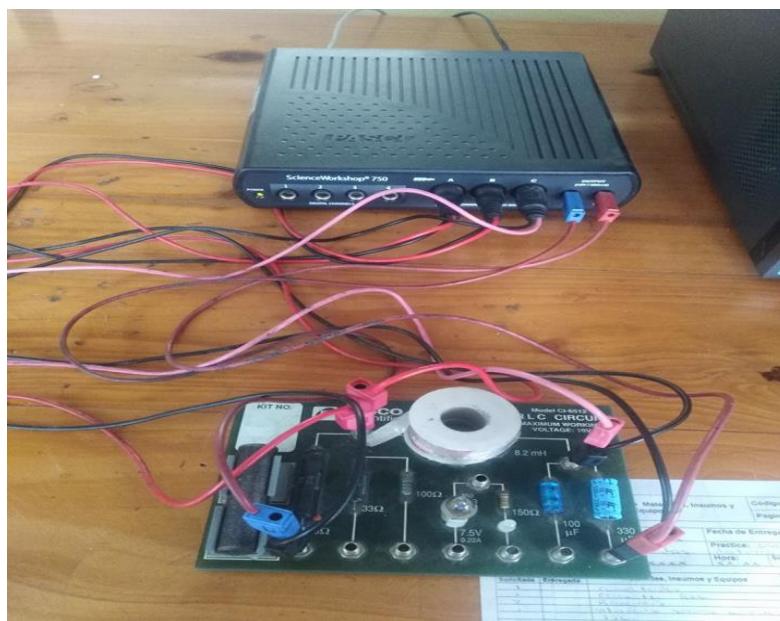
En esta sección el estudiante encontrara al ingresar al laboratorio ya todas las conexiones del equipo utilizado para la toma de datos, lo que debe realizar es solo **verificar** si las conexiones son correctas, no debe desconectar nada en el montaje.

1. Conectar la interface **Science Workshop 750** al computador y a la fuente de alimentación.
2. Conecte la señal de salida de la interface **Science Workshop 750**, con la entrada del **circuito RLC Model CI-6512**, conectando el polo negativo a la resistencia del circuito de valor 10Ω y el polo positivo al condensador de valor $330 \mu F$ (**ver montaje 1**).
3. Conectar los tres cables de los canales (A, B, C) de la interface para medición de voltaje de la siguiente forma (**ver montaje 1**):

Canal A: voltaje a través de la resistencia eléctrica (10Ω).

Canal B: voltaje a través de la inductancia ($8,2 \text{ mH}$).

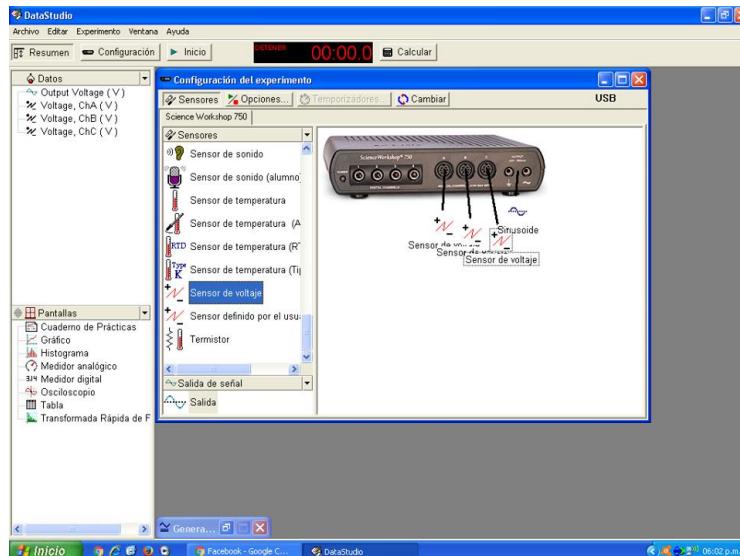
Canal C: voltaje a través del condensador ($330 \mu F$).



Montaje 1. Conexiones interface Science Workshop 750, con el circuito RLC Model CI-6512

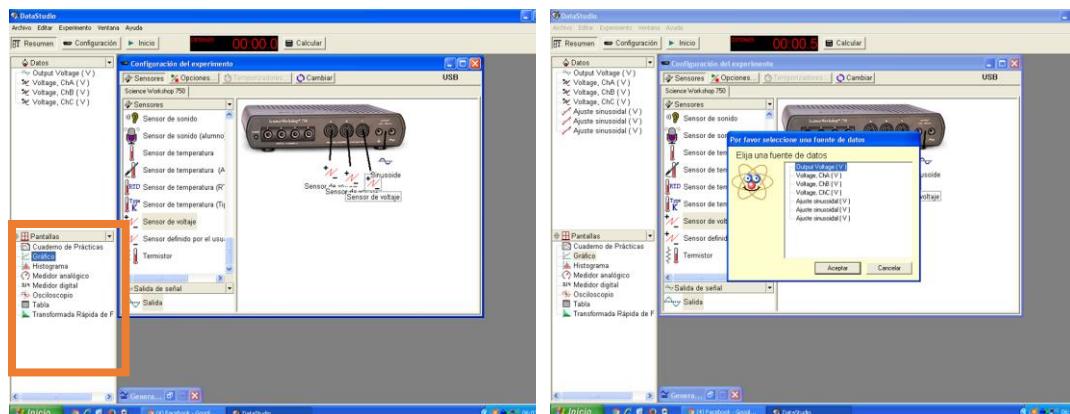
Segunda parte: Manejo del software DataStudio para la medición de las oscilaciones eléctricas del circuito RLC.

1. Encienda el computador y la interface **Science Workshop 750** con el botón detrás de ella; (este paso se realiza en el caso de que los encuentre apagados).
2. Inicie el software DataStudio el cual se encuentra en el escritorio.
3. Seleccione la opción “crear experimento”, aparecerá en la pantalla un cuadro con el nombre **configuración del experimento**, en la opción **Salida de Señal** dando doble clic en el ícono de señal seno, se despliega un cuadro con el nombre **generador de señal**.
4. En esta pantalla escoja una señal **Sinusoide**, Amplitud **5V**, y digite una frecuencia de **6,75 Hz**, de clic en el signo + con el nombre **Mediciones y frecuencia de muestreo**, y en la opción **Frecuencia de muestreo** seleccione con el + **4000HZ**; minimice esta ventana.
5. En la ventana configuración del experimento, en la sección **Sensores**, busque el **sensor de voltaje** y ábralo con doble clic, el sensor de voltaje se asignará en el **canal A**, repita este paso otras dos veces para asignar el sensor de voltaje al **canal B** y **canal C**. Ver montaje 2.



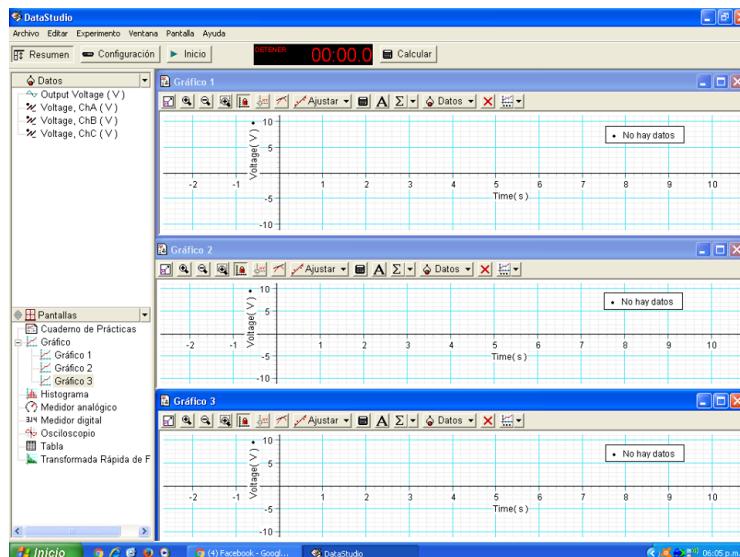
Montaje 2. Selección de sensores de voltaje software DataStudio

6. En la opción **pantallas** (ver montaje 3) ubicada en la parte inferior izquierda, escoja con doble clic el comando **Gráfico**, se desplegará una nueva ventana llamada “por favor seleccione una fuente de datos”, escoja con doble clic **“Voltage, ChA[V]”**, aparecerá una nueva pantalla con el nombre **gráfico 1**, con el mouse desplace esta pantalla de tal forma que ocupe una tercera parte de la pantalla principal. Ver montaje 4.



Montaje 3. Selección de gráficos para visualizar los datos

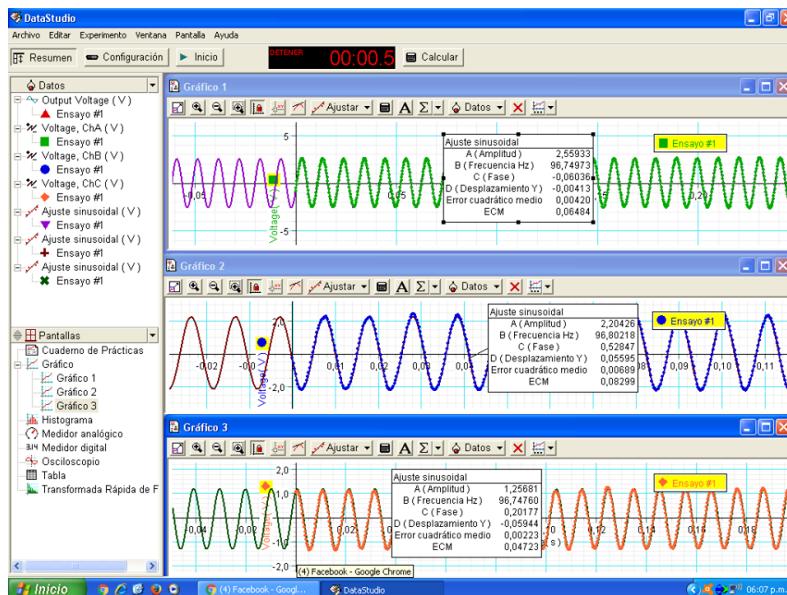
- Repita el paso anterior seleccionando “Voltage, ChB [V]” y “Voltage, ChC [V]”, colocando cada gráfico uno debajo del otro como se observa en el montaje 4.



Montaje 4. Distribución de los gráficos para la toma de datos

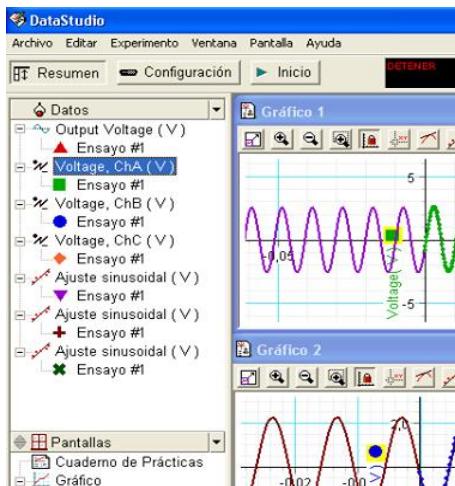
- En la parte superior de clic en el botón **inicio**, y dejé correr el tiempo de muestreo por dos segundos aproximadamente y deténgalo, observará que en cada gráfico aparecerá una onda sinusoidal. En el **gráfico 1** se muestra el comportamiento del voltaje en función del tiempo experimentado en la **resistencia**, en el **gráfico 2** se muestra el comportamiento del voltaje en función del tiempo experimentado en el **inductor**, en el **gráfico 3** se muestra el comportamiento del voltaje en función del tiempo experimentado en el **capacitor**.

- 9.** Si no se logra visualizar la señal seno en los gráficos, ubique el mouse sobre un número de la escala de un eje y observara que el puntero toma la forma de un resorte, de clic sostenido y desplácelo, observara como aumenta o disminuye la escala y se lograra ver mejor la señal, repita este paso hasta que visualice adecuadamente la señal.



Montaje 5. Señales de voltaje en función del tiempo en el resistor, inductor y capacitor

- 10.** En cada gráfico de clic en el botón **ajustar**, y escoja la opción **ajuste sinusoidal**, se desplegará un cuadro sobre el gráfico donde se muestra los datos de amplitud, frecuencia, fase, desplazamiento, error cuadrático medio. ver montaje 5.
- 11.** Registre el valor de la amplitud del resistor (gráfico 1), amplitud del inductor (gráfico 2), y amplitud del capacitor (gráfico 3), en la tabla 1.
- 12.** De clic en **Output Voltage (V)** en la sección de datos en la parte superior izquierda (ver montaje 6), oprima la tecla borrar en el teclado, aparecerá un cuadro de diálogos que dice: ¿Desea que DataStudio suprima todos los datos de este sensor?, dele aceptar, observara que se borran los datos.
- 13.** Repita el paso anterior para: “**Voltage ChA(V)**”, “**Voltage ChB(V)**” y “**Voltage ChC(V)**”.



Montaje 6. Selección de los sensores para borrar los datos

14. De doble clic en **Output Voltage (V)**, aparece el cuadro **generador de señal** digite ahora una frecuencia de 16,75 Hz y minimice la ventana. Repita los pasos 8,11,12, y 13.
15. Repita el paso anterior ingresando las frecuencias que aparecen en la tabla 1, hasta que la complete.

Frecuencia [Hz]	Frecuencia angular ω [rad s ⁻¹]	Amplitud de V en la resistencia [v]	Amplitud de V en el inductor [v]	Amplitud de V en el capacitor [v]
6,75				
16,75				
26,75				
36,75				
46,75				
56,75				
66,75				
76,75				
86,75				
96,75				
106,75				
116,75				
126,75				
136,75				
146,75				
156,75				
166,75				
176,75				
186,75				

Tabla 1. Datos oscilaciones eléctricas circuito RLC

Tercera parte: Manejo del software DataStudio para la medición de las oscilaciones eléctricas del circuito RLC con una barra dentro del inductor.

1. Inserte la barra dentro del inductor (bobina), como aparece en el montaje 7.
2. Realice los pasos 14 y 15 de la segunda parte de procedimiento, y registre los datos obtenidos en la tabla 2, hasta que la complete.

Frecuencia [Hz]	Frecuencia angular ω [rad s ⁻¹]	Amplitud de V en la resistencia [v]	Amplitud de V en el inductor [v]	Amplitud de V en el capacitor [v]
6,75				
16,75				
26,75				
36,75				
46,75				
56,75				
66,75				
76,75				
86,75				
96,75				
106,75				
116,75				
126,75				
136,75				
146,75				
156,75				
166,75				
176,75				
186,75				

Tabla 2. Datos oscilaciones eléctricas circuito RLC con la barra dentro del inductor



Montaje 7. Circuito RLC con la barra en el inductor

Análisis de datos

- Para el valor de L (**8.2mH**) y C (**330μF**), calcule el valor teórico de la frecuencia de resonancia del circuito RLC (Tabla 1) usando las siguientes formulas.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (4.17)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (4.18)$$

- Realice el cálculo de la frecuencia angular para las frecuencias temporales de la tabla 1 y tabla 2, con las cuales hizo las mediciones, haciendo uso de la **ecuación 4.18**.
- Cuando se introduce la barra cilíndrica en el inductor, la inductancia cambia y por ende la frecuencia de resonancia del sistema tambien. Encuentre el valor de la nueva frecuencia de resonancia y en cuanto varia; para ello tome el valor de la amplitud del voltaje en el inductor de la **tabla 1** (el que se encuentra resaltado) para la frecuencia de resonancia, y búsquelo en la **tabla 2**, cuando encuentre este valor de amplitud del voltaje del inductor o uno cercano corresponderá a la nueva frecuencia cuando se introdujo la barra en el circuito RLC. Registre ambos resultados en la **tabla 3** y el respectivo desfase, así como si aumento o disminuyo la frecuencia.

Frecuencia de Resonancia Tabla 1. (V)	Amplitud del Inductor Tabla 1. (Hz)	Frecuencia de Resonancia con la barra Tabla 2. (V)	Desfase = $f_{\text{tabla 1}} - f_{\text{tabla 2}}$	Incremento o disminución de la frecuencia

Tabla 3. Análisis del cambio de frecuencia de resonancia cuando se introduce la barra en el circuito RLC.

- Con la frecuencia de resonancia que encontró en el paso anterior del circuito RLC con la barra, compare los nuevos valores de amplitud de voltaje obtenidos para la resistencia y el capacitor, calcule además los respectivos desfases y regístrelos en la **tabla 4**.

Amplitud de la Resistencia Tabla 1. (V)	Amplitud del capacitor Tabla 1. (V)	Amplitud de la Resistencia Tabla 2. (V)	Amplitud del capacitor Tabla 2. (V)	Desfase resistencia = $V_{tabla\ 1} - V_{tabla\ 2}$	Desfase capacitor = $V_{tabla\ 1} - V_{tabla\ 2}$

Tabla 4. Análisis del cambio de amplitud de voltaje en la resistencia y el capacitor.

5. Con el valor de la frecuencia de resonancia con la barra (tabla 3), y el valor de la capacitancia, calcule el nuevo valor de la inductancia en el circuito cuando es introducida la barra cilíndrica utilice la **ecuación 4.17**.
6. Realice la gráfica de amplitud de voltaje en el resistor versus frecuencia “ **$V_{resistor}$ vs f** ”, utilizando los datos de la tabla 1.
7. Ahora con los datos de la tabla 2 realice la gráfica de amplitud de voltaje en el resistor versus frecuencia “ **$V_{resistor}$ vs f** ” sobre la gráfica anterior. (es decir las dos graficas en una)

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. De acuerdo a la tabla 3, se evidencia un cambio en la frecuencia de resonancia ¿por qué considera que sucede dicho cambio?
2. ¿Qué concluye del comportamiento del voltaje y el capacitor de acuerdo a la tabla 4?
3. Segundo el valor de la inductancia cuando se introduce la barra de material desconocido dentro del circuito RLC ¿Qué propiedad magnética se le atribuye a la barra?
4. Segundo la gráfica realizada, justifique: ¿por qué se desplaza la gráfica de los datos de la tabla 2?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- **Alonso, M. y Finn, E. J., Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).**
- **Gettys, Killer, Skove, Física para ciencias e ingeniería, tomo I y II. Editorial McGraw-Hill.**
- **Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- **Guerrero, Alicia., Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).**
- **Crawford, Jr., Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).**
- **Hecht, E. and Zajac, A., Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).**
- **Giancoli, Douglas c. física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**



Objetivos

1. Identificar los mecanismos de generación, propagación y detección de las ondas sonoras.
2. Diferenciar una onda sonora con tono puro, un sonido musical, un ruido blanco y la onda producida por el lenguaje articulado.
3. Familiarizarse con el análisis de las señales en el dominio temporal y en el dominio de Fourier.

Esquema del laboratorio y Materiales



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Diapasones	5	
Barra con goma para excitar el diapasón	1	
Flauta	1	
Interface Science Workshop 750 (PASCO)	1	
Sensor de sonido (PASCO)	1	
PC con software DataStudio (PASCO)	1	
Hojas de papel milimetrado tamaño carta	4	Traerlo el estudiante

Marco teórico

ONDAS SONORAS

Las ondas acústicas o sonoras son ondas longitudinales que se propagan en un medio material, donde las partículas oscilan en la misma dirección de propagación de la perturbación propagarse.

El rango de frecuencias audible para el ser humano se encuentra comprendido entre 20 Hz y 20000 Hz, por encima de este rango las ondas son conocidas como de ultrasonido, y por debajo de este rango como infrasonido.

En esta práctica se estudia principalmente la propagación del sonido en el aire, donde su velocidad es aproximadamente de 340 m/s, variando a depender de las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, el grado de contaminación, entre otros factores.

La amplitud de la onda sonora es otro factor determinante para su percepción por el ser humano. Dado el amplio rango de variación de los valores de amplitud se define por practicidad una escala logarítmica para la cual la unidad de intensidad es dada en Decibeles. Los umbrales de audición y de dolor del oído humano para el rango de frecuencias definido como audible son dados en esta unidad de intensidad.

GENERACIÓN Y DETECCIÓN

Las ondas acústicas que percibimos como sonido son generadas por las cuerdas vocales, las cuerdas vibrantes de instrumentos musicales las cuales son amplificadas por una caja de resonancia; también pueden ser producidas por las membranas como las de los parlantes o por las explosiones, entre otras. En cualquier caso, todas las fuentes descritas producen variaciones de presión que se propagan al aire circundante.

El mecanismo de detección de dichas ondas es generalmente mediante resonancia de una membrana en el rango de frecuencias audibles. Por esto la señal detectada por un micrófono (sensor de sonido) puede ser enviada a un osciloscopio donde se puede observar la forma temporal de la señal.

En esta práctica se utilizaran: el diapasón, definido como un instrumento capaz de producir tonos puros, o de una sola frecuencia, la voz humana que es de naturaleza compleja y con múltiples componentes de frecuencia, la señal de un radio mal sintonizado que describiremos como ruido blanco, y el sonido producido por un instrumento musical, que serán los generadores de señales a detectar por un micrófono a través de una interfaz la cual enviará dicha señal a un analizador tanto temporal como en el dominio de Fourier.

Cada señal descrita genera cambios en la presión de diferentes características tanto en el dominio temporal como en el dominio de Fourier, como será analizado en el transcurso de la práctica.

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Consultar acerca de las curvas de umbral de audición y umbral de dolor para el oído humano.
2. ¿Cuál es diferencia entre la transformada de Fourier y la transformada rápida de Fourier?
3. Investigar las transformadas de Fourier de las funciones seno, coseno y la función delta de Dirac.
4. ¿Qué es un diapasón y sus características?
5. ¿Qué es una caja de resonancia y su relación con el diapasón?
6. ¿Cuál es la clasificación de las ondas según el medio de propagación?
7. Enuncie algunas aplicaciones de la transformada de Fourier.

Procedimiento

Primera parte: Verificación conexiones equipo de laboratorio, para la medición de ondas sonoras y análisis de Fourier

En esta sección el estudiante encontrara al ingresar al laboratorio ya todas las conexiones del equipo utilizado para la toma de datos, lo que debe realizar es solo **verificar** si las conexiones son correctas, no debe desconectar nada en el montaje.

1. Conectar la interface **Science Workshop 750** al computador y a la fuente de alimentación.
2. Conectar el cable del canal A al **sensor de sonido**. (ver montaje 1).



Montaje 1. Conexiones interface Science Workshop 750, con el sensor de sonido.

Segunda parte: Manejo del software DataStudio para la medición de la señal temporal y la transformada de Fourier de una onda sonora.

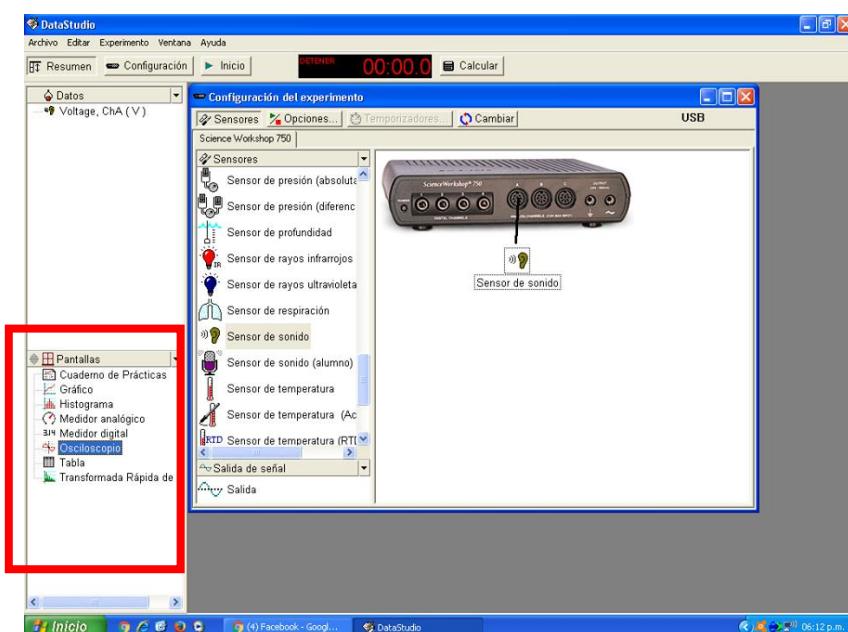
1. Encienda el computador y la interface **Science Workshop 750** con el botón detrás de ella; (este paso se realiza en el caso de que los encuentre apagados).
2. Inicie el software DataStudio el cual se encuentra en el escritorio.

3. Seleccione la opción “crear experimento”, aparecerá en la pantalla un cuadro con el nombre **configuración del experimento**, en la opción **Sensores**, busque el **sensor de sonido** (el que tiene un oído) y ábralo dando doble clic sobre él, el sensor de sonido se asignara en el **canal A**. Ver montaje 2.



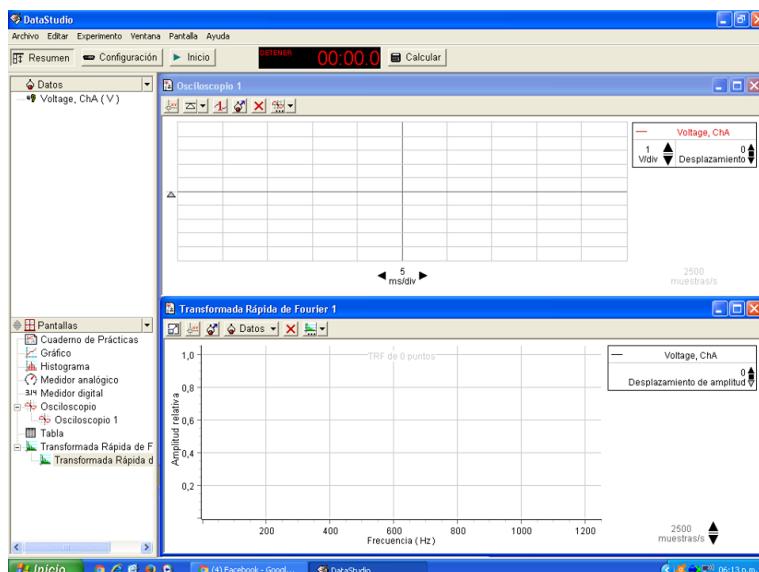
Montaje 2. Selección del sensor de sonido en el software DataStudio

4. En la opción **pantallas** (ver montaje 3) ubicada en la parte inferior izquierda, escoja con doble clic el comando **osciloscopio**, aparecerá una nueva pantalla con el nombre **osciloscopio 1**, la gráfica que se genere en esta pantalla será la **señal temporal** de la onda sonora, con el mouse desplace esta pantalla de tal forma que ocupe una segunda parte de la pantalla principal. Ver montaje 4.



Montaje 3. Selección de gráficos para visualizar los datos

5. De nuevo en la opción **pantallas** (ver montaje 3), escoja con doble clic el comando **transformada rápida de Fourier**, aparecerá una nueva pantalla con el nombre **transformada rápida de Fourier 1**, con el mouse desplace esta pantalla de tal forma que ocupe una segunda parte de la pantalla principal debajo del grafico de la señal temporal. Ver montaje 4.

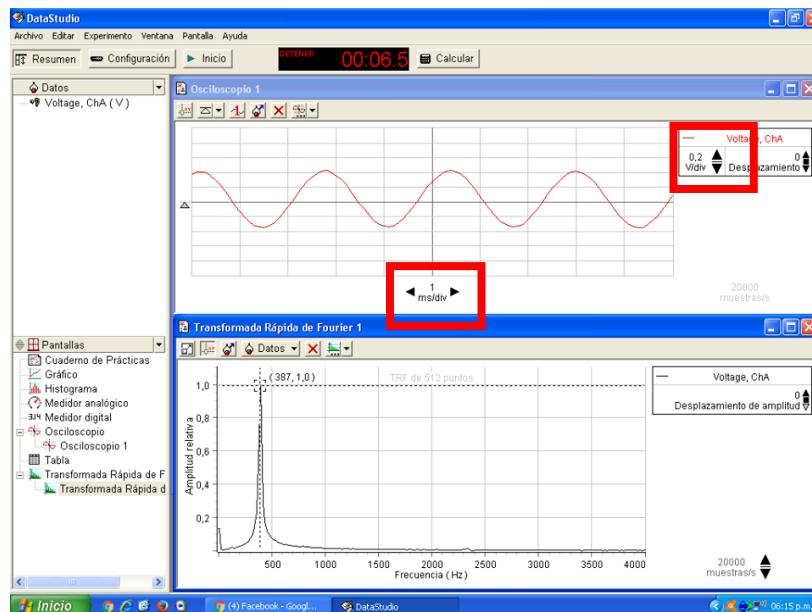


Montaje 4. Distribución de los gráficos para la toma de datos

6. Ubique el mouse sobre un numero de escala en cualquier eje de la gráfica de la transformada rápida de Fourier y oprima doble clic, se desplegará una nueva ventana con el nombre **configuración de la TRF**, en el eje de frecuencia digite en el cuadro **máximo** un valor de 4000 Hz, con el propósito de visualizar todas las frecuencias de la onda sonora.
7. **MEDICIÓN DIAPASÓN:** un estudiante debe tomar el diapasón 1 y la barra con goma, acerque el diapasón apuntando el orificio de la caja de resonancia al sensor de sonido (en inglés SOUND SENSOR) y proceda a golpearlo una sola vez con la barra con goma; de forma simultanea otro estudiante debe dar clic en el botón **inicio** ubicado en la parte superior del software DataStudio, dejando que corra el tiempo, deténgalo hasta que en la pantalla de **osciloscopio 1** observe una señal seno lo más perfecta posible (**ver montaje 5**). En el caso que no logre visualizar bien o nada la señal temporal de clic en los triángulos de la escala de **voltaje ChA** (eje Y) para escoger una mejor escala y en los triángulos de la escala temporal (eje X) para escoger una mejor escala de visualización, son los indicados en rectángulos en el montaje 5.

- **NOTA 1:** Repita el paso anterior las veces que sean necesarias hasta que logre visualizar una señal seno lo más perfecta posible.
- **NOTA 2:** Cuando golpee el diapasón con la barra de goma acerque el orificio de la caja del diapasón al sensor de sonido.

- **NOTA 3:** Realice el experimento cuando el salón se encuentre en el mayor silencio posible, dado que el ruido del ambiente si es elevado es detectado por el sensor. Se sugiere que solicite amablemente a quienes se encuentren en el salón hacer silencio.



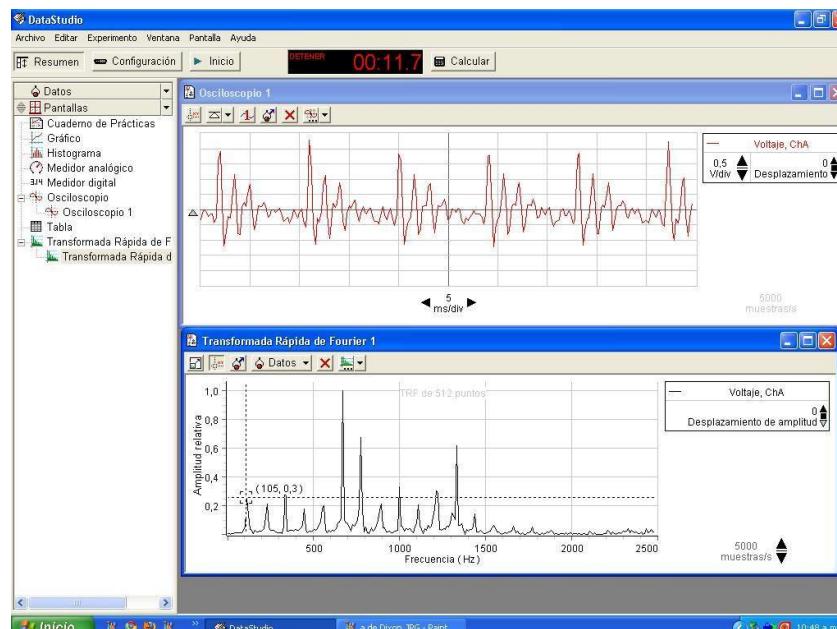
Montaje 5. Visualización evolución temporal y transformada de Fourier de la onda sonora

8. Realice la gráfica de la señal temporal obtenida para el diapasón (osciloscopio 1) en hojas milimetrada, recordando que en el “eje Y” se grafica la amplitud de la señal en voltios y en el “eje X” el tiempo de propagación de la señal.
9. Seleccione un pico (amplitud) de la señal seno y cuente cuantos cuadros horizontales hay hasta otro pico, registre este dato en la **tabla 1** junto con la escala de tiempo utilizada.

DIAPASÓN	NUMERO DE CUADROS	ESCALA DE TIEMPO	PERIODO
1			
2			
3			
4			
FLAUTA			
Voz 1 _____			
Voz 2 _____			
Voz 3 _____			

Tabla 1

10. En la pantalla **Transformada rápida de Fourier 1** aparece la transformada de Fourier de la señal sonora del diapasón, la cual en este caso tiene un pico pronunciado, el eje vertical corresponde a la amplitud relativa de la transformada y el eje horizontal a la frecuencia en Hz.
11. En la pantalla anterior de clic en el segundo botón de opciones llamado "**Herramienta inteligente**", aparecerá un cuadro con un sistema de ejes punteado, el cual muestra los valores de la forma: (frecuencia, amplitud) donde se encuentra ubicado; ubique el mouse sobre dicho cuadro y el puntero tomara la forma de una mano, con clic sostenido arrástrelo hasta la punta del pico lo más exacto posible, registre el dato de la frecuencia de este pico en la **tabla 3** en la columna frecuencia transformada de Fourier.
12. **MEDICIÓN DIAPASONES:** repita los pasos del 7 al 11 para los otros diapasones.
13. **MEDICIÓN VOCES HUMANAS (a) Y FLAUTA:** proceda a registrar la onda sonora de la voz de un integrante del grupo, se recomienda que diga la vocal **a**, acercándose al sensor de sonido, oprima el botón de **inicio** y deje correr el tiempo por aproximadamente dos segundos, utilice las escalas en el comportamiento temporal para visualizarla la señal sonora completa y lo mejor posible (ver montaje 6).



Montaje 6. Visualización evolución temporal y transformada de Fourier de la voz humana con la letra a

14. Seleccione un pico (amplitud) de la señal periódica y cuente cuantos cuadros horizontales hay hasta otro pico, registre este dato en la **tabla 1** junto con la escala de tiempo utilizada.

- 15.** En la pantalla **transformada rápida de Fourier 1** utilice la herramienta inteligente para conocer la frecuencia del primer pico de la transformada de Fourier de la voz del integrante (ver montaje 6), registre estos valores en la **tabla 1**.
- 16.** Repita los pasos 13 y 14 para la voz de los otros dos integrantes, y para la flauta.
- 17. MEDICION VOCES HUMANAS Y CANCIÓN.** Nuevamente procesa a registrar la onda sonora de la voz humana pero esta vez diciendo una palabra, oprima el botón inicio y dejando correr 2 segundos aproximadamente, ajustando con las escalas el comportamiento temporal para mejorar la visualización de la señal.
- 18.** En la pantalla **transformada rápida de Fourier 1** utilice la herramienta inteligente para conocer la frecuencia de los tres picos más altos de la transformada de Fourier registre estos valores en la **tabla 2**
- 19.** Realice el paso 17 y 18 pero para una canción.

ONDA SONORA	FRECUENCIA PICO 1	FRECUENCIA PICO 2	FRECUENCIA PICO 3
VOZ : _____			
VOZ : _____			
VOZ : _____			
CANCIÓN: _____			
CANCIÓN: _____			

Tabla 2

Análisis de datos

- 1.** Con los datos de la **tabla 1** proceda a calcular el periodo de la onda sonora para cada diapasón, voz y flauta utilizando la ecuación **5.1** registre sus datos en la **tabla 1**, con el periodo calculado proceda a calcular la frecuencia temporal del diapasón con la fórmula **5.2** y regístrelo en la **tabla 3** como la frecuencia teórica.

2.

$$T = \#cuadros * escala de tiempo \quad (5.1)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (5.2)$$

3. Calcule el porcentaje de error entre la frecuencia teórica y la frecuencia obtenida por la transformada de Fourier (experimental) y registre los resultados en la **tabla 3**.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (5.3)$$

DIAPASÓN	FRECUENCIA TEÓRICA [Hz]	FRECUENCIA TRANSFORMADA DE FOURIER [Hz]	% ERROR
1			
2			
3			
4			
Voz : _____			
Voz : _____			
Voz : _____			

Tabla 3.

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. Para los diapasones utilizados ¿Cómo se diferencia el valor de la frecuencia gráficamente en la señal temporal?, ¿se podría considerar esta señal la de un movimiento armónico simple, sustente su respuesta?
2. ¿Qué puede concluir de la transformada rápida de Fourier para los diapasones, coincide esto con la teoría?
3. Según los datos de la tabla 2 ¿Por qué la voz de cada persona presenta picos de diferentes frecuencias, a pesar que los tres integrantes son humanos?
4. Según el grafico de la transformada rápida de Fourier para las señales ¿Qué significado físico tendrían los picos de menor amplitud?
5. ¿Cuál señal de las registradas tiene componentes de frecuencia mayores y como se identifica esto en la señal en el dominio temporal?
6. ¿Tiene la voz humana un comportamiento en la transformada rápida de Fourier más cercano a la señal de la canción, los diapasones o la de la flauta?
7. ¿En qué se diferencia la voz humana al decir una letra como la a y decir otra palabra cualquiera?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- **Alonso, M. y Finn, E. J., Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).**
- **Gettys, Killer, Skove, Física para ciencias e ingeniería, tomo I y II. Editorial McGraw-Hill.**
- **Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- **Guerrero, Alicia., Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).**
- **Crawford, Jr., Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).**
- **Hecht, E. and Zajac, A., Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).**
- **Giancoli, Douglas c. física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**



No
6

LABORATORIO DE OSCILACIONES Y ONDAS REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ

DEPARTAMENTO DE
FÍSICA Y GEOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

Objetivos

1. Estudiar de forma experimental el fenómeno de refracción de la luz cuando está atravesia dos medios de propiedades diferentes.
2. Asociar el cambio en el índice de refracción con cambio en las propiedades como densidad óptica de las sustancias, para una frecuencia fija.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Recipiente de acrílico cilíndrico de radio R, con glicerina	1	
Recipiente de acrílico cilíndrico de radio R, vacío.	1	
Goniómetro	1	
Azúcar	15 gr	Traerlo el estudiante
Apuntador laser	1	Traerlo el estudiante
Papel milimetrado tamaño carta	2	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico**REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ**

Cuando una onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de dos medios con densidad óptica diferente, se producen dos nuevas ondas, una que retrocede hacia el medio de partida, onda reflejada, y otra que atraviesa la superficie límite y se propaga en el segundo medio, onda refractada. El primer fenómeno se denomina reflexión y el segundo recibe el nombre de refracción.

El fenómeno de la refracción supone un cambio en la velocidad de propagación de la onda, cambio asociado al paso de un medio a otro de diferente naturaleza o de diferentes propiedades. Este cambio de velocidad da lugar a un cambio en la dirección del movimiento ondulatorio. Como consecuencia, la onda refractada se desvía un cierto ángulo respecto del incidente. Cuando el haz incide de un medio de menor índice de refracción que el segundo medio, el rayo transmitido siempre se acercará a la normal, caso contrario el haz se aleja de la normal, llegando un ángulo a partir del cual la luz no es transmitida al segundo medio, dicho ángulo se conoce como ángulo crítico.

La refracción es un fenómeno que también se produce en un medio cuyas propiedades varían continuamente, en la figura 1 se muestra un caso en el que el índice de refracción varía de forma suave de punto a punto, resultando en una trayectoria curva del haz; un ejemplo de este fenómeno se produce cuando la luz atraviesa capas de aire a distinta temperatura, de la que depende el índice de refracción. Los espejismos son producidos por un caso extremo de refracción, denominado reflexión total

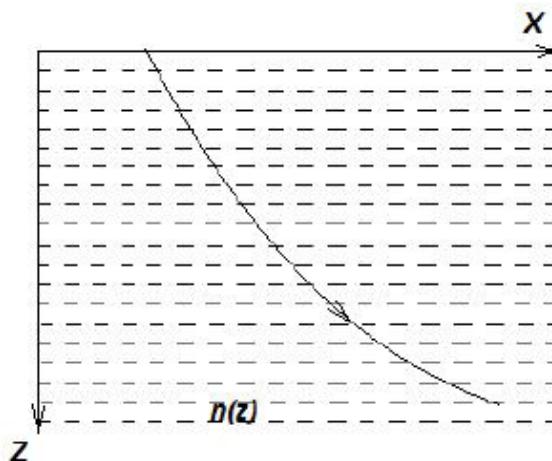


Figura 1. Trayectoria de un rayo en un medio cuyo índice de refracción varía continuamente con la profundidad.

LEYES DE LA REFLEXIÓN

En un estudio simplificado del fenómeno de la reflexión de ondas en la superficie de separación entre dos medios se pueden definir dos leyes básicas:

1. Cada rayo, el de la onda incidente y el rayo correspondiente de la onda reflejada están contenidos en un mismo plano, que es perpendicular a la superficie de separación entre los dos medios en el punto de incidencia.
2. Los ángulos que forman el rayo incidente y el rayo reflejado con la recta perpendicular a la frontera (Normal) son iguales. Estos ángulos se conocen, respectivamente, como ángulo de incidencia y ángulo de reflexión. Es decir:

$$\theta_i = \theta_r \quad (6.1)$$

LEYES DE REFRACCIÓN

El cambio en la dirección de los rayos luminosos cuando atraviesan una superficie de separación entre dos medios se conoce con el nombre de refracción. En términos simples, el fenómeno de la refracción se rige por dos leyes principales:

1. El rayo de la onda incidente y el rayo de la onda refractada forman un plano que es perpendicular a la superficie de separación entre los medios en el punto de incidencia.
2. El ángulo que forma el rayo refractado con la normal, llamado ángulo de refracción, está relacionado con el ángulo de incidencia por una fórmula denominada ley de Snell, en honor a su descubridor, el físico neerlandés Willebrord Snel (1580-1626). Expresada matemáticamente, esta ley indica que:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \quad (6.2)$$

Donde n_1 y n_2 , son los índices de refracción de los dos medios separados y θ_R es el ángulo de refracción. El índice de refracción de un medio se calcula por el cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en ese medio:

$$n = \frac{c}{\vartheta} \quad (6.3)$$

Estas leyes se esquematizan en la Figura 2. En esta práctica se determinará de forma experimental el índice de refracción de diferentes sustancias, a través del trazado de los rayos incidente, reflejado y refractado en una superficie plana circular. A fin de tener una única refracción, se utiliza un recipiente contenedor de las diferentes sustancias con una forma plana circular, ver Figura 3, para garantizar que el rayo refractado desde la superficie plana incida de forma normal en la superficie circular sin sufrir una segunda refracción.

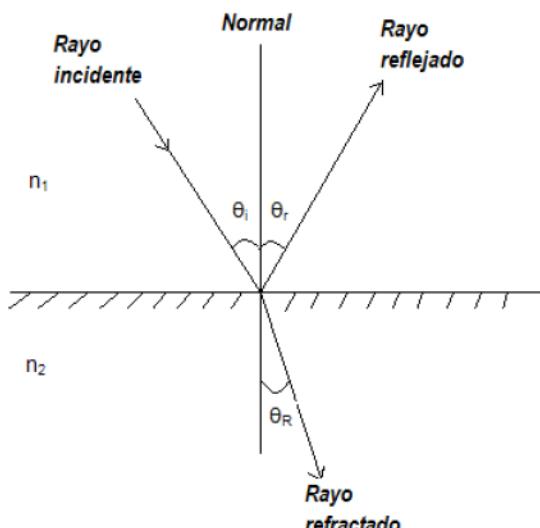


Figura 2. Representación de los rayos en el plano de incidencia.

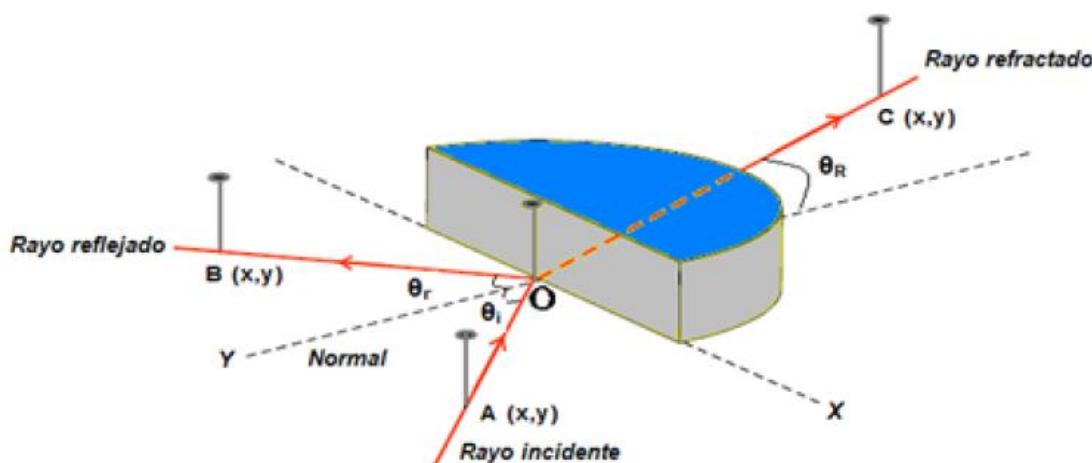


Figura 3. Recipiente plano circular que contiene las diferentes sustancias.

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. Investigar los índices de refracción del aire, del agua, de la glicerina y de otras cinco sustancias.
2. Investigar la velocidad de la luz en el vacío y en los medios que consulto en el punto anterior.
3. Explique el concepto de rayo desde el punto de vista de la óptica.

4. ¿Consulte qué es el ángulo crítico y enuncie dicho valor para cinco materiales?
5. ¿Qué es el ángulo de Brewster?

Procedimiento

Primera parte: cálculo de los ángulos de reflexión y refracción para: aire-agua, aire-glicerina, aire-agua azúcar.

1. Ubique el recipiente plano-circular de acrílico con glicerina, de tal forma que el centro de la cara plana coincida con la mitad del goniómetro.
2. Haga incidir el puntero láser en el punto central de la cara plana del acrílico, formando un ángulo de 10° con respecto a la normal, es decir $\theta_i = 10^\circ$. Ver figura 2 y 3.
3. Observe e identifique los rayos reflejado y refractado (puede utilizar un carnet para visualizar mejor la ubicación de dichos ángulos, colocándolo donde sale el rayo incidente y el reflejado), que se generan a partir del rayo incidente, y registre los ángulos de reflexión y refracción en la **tabla 1**.
4. Repita el procedimiento para ángulos de: 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° . Registre los ángulos en la **tabla 1**.

Aire – Glicerina		
Angulo incidente	Angulo de reflexión	Angulo de refracción
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		

Tabla 1. Refracción Aire – Glicerina.

5. Tome el otro recipiente plano-circular de acrílico vacío y llénelo con agua.
6. Proceda a realizar el procedimiento evidenciado en los pasos del 1 al 4 hasta que llene la **tabla 2**.

Aire – Agua		
Angulo incidente	Angulo de reflexión	Angulo de refracción
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		

Tabla 2. Refracción Aire – Agua.

- Adicione los gramos de azúcar al recipiente de acrílico con agua, hasta que se disuelva totalmente el azúcar y repita el mismo experimento hasta que complete la **tabla 3**.

Aire – Agua con azúcar		
Angulo incidente	Angulo de reflexión	Angulo de refracción
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		

Tabla 3. Refracción Aire – Agua con azúcar.

Análisis de datos

- A los datos tomados para los ángulos de incidencia " θ_i " y los ángulos de refracción " θ_R " de las tablas 1, 2 y 3, obtenga el valor de la función seno para cada uno de ellos y regístrelos en las tablas 4, 5 y 6 respectivamente.
- Realice el grafico de: $\sin(\theta_i)$ Vs $\sin(\theta_R)$, para las tablas 4 , 5 y 6, tomando $\sin(\theta_i)$ como la ordenada y $\sin(\theta_R)$ como la abscisa.
- Utilizando regresión lineal determine el valor del índice de refracción de la glicerina, del agua y del agua con azúcar y regístrelos en las tablas 4, 5 y 6.

4. Calcule el error porcentual de los índices de refracción para la glicerina y el agua, haciendo uso de la **ecuación 6.4**, tome como valor teórico el consultado en la pregunta de control uno y el valor experimental el obtenido por regresión lineal y regístrelo en la **tabla 7**.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (6.4)$$

5. Calcule la velocidad de la luz en los tres medios utilizados en el laboratorio, para ello utilice la **ecuación 6.3** y los índices de refracción obtenidos por regresión lineal
6. Calcule el error porcentual de las velocidades en el agua y en la glicerina, tomando como valor experimental el obtenido en el punto anterior y como valor teórico el consultado en la pregunta de control número dos y regístrelo en la **tabla 7**.

Seno Angulo incidente <i>sen(θ_i)</i>	Seno Angulo de refracción <i>sen(θ_R)</i>
Índice de refracción de la glicerina por regresión lineal	

Tabla 4. $\sin(\theta_i)$ y $\sin(\theta_R)$ para el Aire – Glicerina.

Seno Angulo incidente <i>sen(θ_i)</i>	Seno Angulo de refracción <i>sen(θ_R)</i>
Índice de refracción del agua por regresión lineal	

Tabla 5. $\sin(\theta_i)$ y $\sin(\theta_R)$ para el Aire – Agua.

Seno Angulo incidente $\text{sen}(\theta_i)$	Seno Angulo de refracción $\text{sen}(\theta_R)$
Índice de refracción del agua con azúcar por regresión lineal	

Tabla 6. $\text{sin}(\theta_i)$ y $\text{sin}(\theta_R)$ para el Aire – Agua con azúcar.

Índice de refracción del agua valor teórico	Índice de refracción del agua valor experimental	% Error
Índice de refracción de la glicerina valor teórico	Índice de refracción de la glicerina valor experimental	% Error
Velocidad de la luz en el agua valor teórico [m/S]	Velocidad de la luz en el agua valor experimental [m/S]	% Error
Velocidad de la luz en la glicerina valor teórico [m/S]	Velocidad de la luz en la glicerina valor experimental [m/S]	% Error

Tabla 7. Calculo de los errores para los índices de refracción y la velocidad de la luz en el agua y la glicerina

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. Según los valores obtenidos para el índice de refracción de las sustancias estudiadas en el laboratorio y sus respectivos porcentajes de error, ¿qué puede concluir?
2. ¿Depende el índice de refracción del agua de su estado de pureza, por qué?
3. ¿La velocidad de la luz en el agua es igual en el agua con azúcar, por qué cree que sucede esto?
4. ¿Qué utilidad o aplicación práctica puede apreciar usted para la ley de Snell y el montaje de laboratorio, enumere dos ejemplos?
5. ¿según los porcentajes de error obtenidos, cuales considera que fueron las fuentes, factores y condiciones que no se consideraron?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., **Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).**
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. **Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. **Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- Serway, Raymond. A., **Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- Guerrero, Alicia., **Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).**
- Crawford, Jr., **Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).**
- Hecht, E. and Zajac, A., **Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).**
- Giancoli, Douglas c. **física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/totint.html>



Objetivos

1. Entender de forma práctica los conceptos de distancia focal, distancia objeto y distancia imagen para un sistema óptico (superficie reflectora, refractora, lente delgada o sistema de lentes).
2. Verificar experimentalmente la validez de las ecuaciones que ligan las distancia objeto, distancia imagen y distancia focal para una lente delgada.
3. Determinar el aumento de una lente delgada.
4. Verificar experimentalmente la relación entre distancia objeto, distancia imagen y distancia focal para un sistema óptico compuesto de dos lentes delgadas.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Lámpara	1	
Banco óptico	1	
Lente convergente	4	
Espejo plano	1	
Objeto (Diagrama en forma de L)	1	



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico

LENTES DELGADAS

En el caso de este experimento se trabajará con lentes limitadas por dos superficies esféricas. Se consideran lentes delgadas, en las cuales la aproximación paraxial es válida, es decir, se supondrá que los rayos forman ángulos pequeños en relación al eje óptico y se presume que el medio que se encuentra a ambos lados de la lente es el aire, con un índice de refracción unitario.

En la **Figura 1.** se representan las diferentes cantidades significativas en la descripción de una lente delgada: distancia objeto (p), distancia imagen (q), distancia focal (f), en la **tabla 1.** se muestran las reglas convencionales de signos para estas cantidades en caso de lentes delgadas.

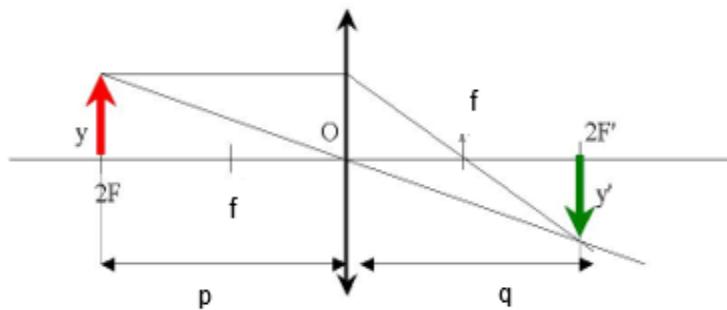


Figura 1. Elementos de una lente convergente.

Cantidad	Positivos cuando...	Negativos cuando...
Ubicación del objeto (p)	el objeto está delante de la lente (objeto real)	el objeto detrás de la lente (objeto virtual)
Ubicación de la imagen (q)	la imagen está detrás de la lente (imagen real)	la imagen está delante de la lente (imagen virtual)
Altura de la imagen (h')	la imagen es vertical	la imagen está invertida
R_1 y R_2	el centro de curvatura está detrás de la lente	el centro de curvatura está delante de la lente
Distancia focal (f)	la lente es convergente	la lente es divergente

Tabla 1. Reglas convencionales para signos en el caso de lentes delgadas.

La ecuación del constructor de lentes delgadas es:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (7.1)$$

El aumento de una lente delgada se obtiene a través la relación

$$M = \frac{y'}{y} \quad (7.2)$$

En la aproximación paraxial todos los rayos provienen de un punto imagen son focalizados en un único punto imagen, por lo que cada objeto puntual tiene una única imagen puntual.

Rayos principales:

- rayo que incide paralelo al eje óptico se refracta pasando por el foco imagen.
- rayo que incide pasando por el foco objeto se refracta paralelo al eje óptico.
- rayo que incide por el centro de simetría de la lente no cambia la dirección de propagación.

De la misma forma cuando se tiene un sistema de dos lentes con distancias focales f_1 y f_2 , separados por una distancia t , se debe construir una imagen intermedia producida por la primera (q') que debe satisfacer la relación:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q'} = \frac{1}{f_1} \quad (7.3)$$

la imagen intermedia (q') hace las veces de objeto para la segunda lente, cumpliendo la relación

$$\frac{1}{q' + t} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f_2} \quad (7.4)$$

Donde (q) es la distancia imagen a la segunda lente.

Se puede verificar las siguientes relaciones para la distancia focal objeto y la distancia focal imagen equivalente del sistema

$$F_0 = \frac{f_1(f_2 - t)}{f_1 + f_2 - t} \quad (7.5)$$

$$F_i = -\frac{f_2(f_1 - t)}{f_1 + f_2 - t} \quad (7.6)$$

En el caso específico en que las lentes están en contacto (despreciar el valor de t), es simple verificar que se satisface la relación

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (7.7)$$

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Cuáles son los tipos de lentes que existen?
2. Consulte los diagramas de las imágenes de una lente convergente y divergente
3. ¿Cuál es la diferencia entre una imagen real y virtual?
4. ¿En qué consiste los fenómenos de aberraciones en las lentes?
5. ¿consulte los métodos para la determinación de la focal de una lente?
6. ¿Qué es un espejo, sus características y tipos?
7. ¿consulte el diagrama

Procedimiento

Primera parte: Determinación de la distancia focal de una lente.

1. Monte el sistema de la **Figura 2**, en el cual se utiliza una lente para condensar la luz desde la lámpara. La luz que emerge del condensador se utiliza para iluminar un objeto en forma de L.

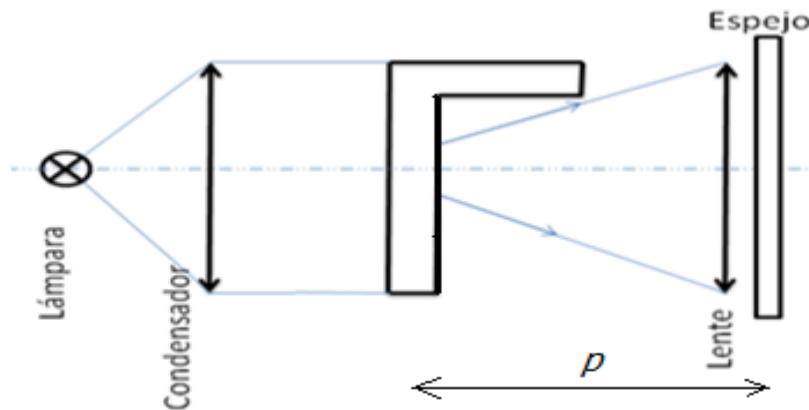


Figura 2. Sistema para la determinación de la distancia focal.

- 2.** Seleccione una de las cuatro lentes y ubíquela en uno de los soportes (barras cuadradas) sobre el banco óptico, colocándola lo más cerca al objeto (Diagrama en forma de L). **Ver montaje 1.**



Montaje 1. Medición de la distancia focal de una lente

- 3.** Monte el espejo lo más cerca posible de la lente (en el mismo soporte de la lente).
- 4.** Conecte la lámpara a la mesa y enciéndala con el botón que se encuentra detrás de ella, procure que todo el sistema este lo más alineado posible, sin corrimientos del banco óptico, inclinaciones de las lentes, etc.
- 5.** Incline un poco el soporte de la lente sin retirarlo del banco óptico y comience alejarlo del objeto, notara que se forma la imagen sobre el mismo objeto, deténgase en la posición donde se observe lo más nítida posible la imagen.
- 6.** Mida la distancia que hay entre el objeto y la lente, este valor corresponde a la distancia ***p***, la cual en este montaje corresponde a la distancia focal de la lente, registre este valor en la **tabla 2**.
- 7.** Repita el procedimiento para las otras 3 lentes que se encuentran en el laboratorio y registre las distancias focales en la tabla 2.

LENTE	DISTANCIA FOCAL

Tabla 2. Determinación focal de una lente

Segunda parte: Formación de imágenes en una lente convergente.

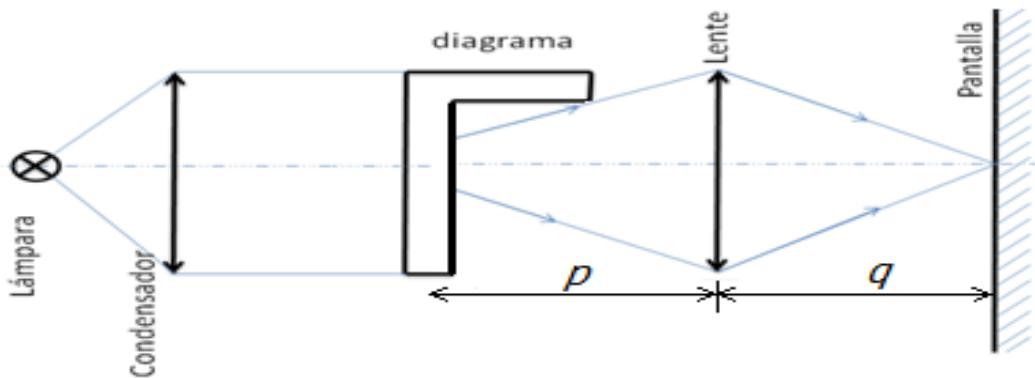
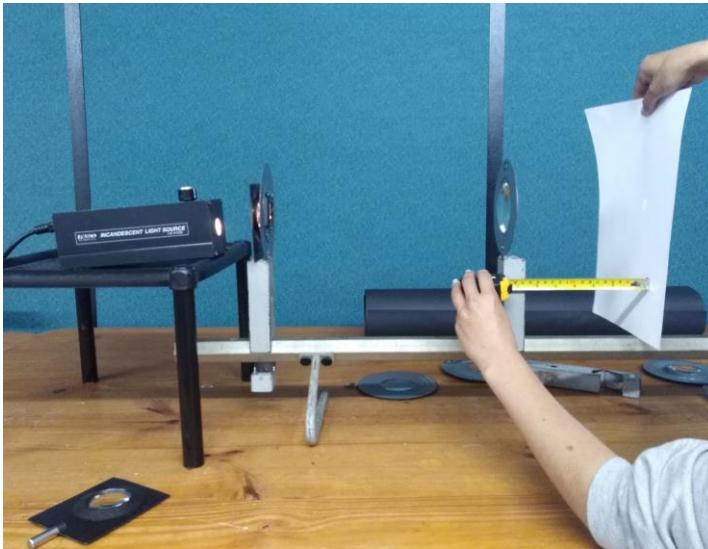


Figura 3. Sistema para formación de la imagen con una lente delgada

1. Seleccione la lente con la que obtuvo la mayor focal y con ella proceda a realizar el **montaje 2** el cual está basado en la figura 3 y llenar la **tabla numero 3** registre la focal “ f ” en dicha tabla.



Montaje 2. Medición de las imágenes de una lente

2. Aleje la lente del objeto hasta una distancia superior a dos veces la focal de la lente seleccionada y déjela en esa posición; mida la distancia que hay entre el objeto (la L) hasta la lente, dicho valor corresponde a la distancia objeto “ p ”, regístrelo en la tabla 3.
3. Tome una hoja blanca la cual servirá como la pantalla de observación de la imagen formada por la lente y ubíquela junto a esta, comience alejar la hoja hasta la ubicación en la que visualice sobre ella la imagen lo más nítida posible. Proceda a medir la distancia entre la lente y la pantalla de observación (la hoja blanca), este valor corresponde a la distancia imagen “ q ” registre este valor en la tabla 3.

NOTA: si la imagen se mantiene generada hasta el infinito, es decir no desaparece por más de que se aleje la hoja, esto quiere decir que no se forma imagen lo que se ve es debido a problemas de aberración y mal alineación del montaje.

Focal de la lente:		Altura objeto: "y"	
Distancia objeto "p"	Distancia imagen "q"	Altura de la imagen "y'"	Características de la imagen
			•
			•
			•
			•
			•
			•
			•
			•

Tabla 3. Formación de imágenes en una lente convergente

4. Mida la altura del objeto (longitud de la L), este valor corresponde a “y” anótelo en la tabla 3.
5. Mida la altura de la imagen formada en la pantalla de observación y regístrelo en la tabla 3 como el valor “y’”.
6. Observe la imagen generada por la lente y en la casilla de características describa:
 - la imagen esta invertida o derecha.
 - aumento de tamaño o disminuyo.
7. Ahora ubique la lente a una distancia entre f y $2f$ y repita el procedimiento evidenciados en los pasos del 2 al 6 y registre esos datos en la tabla 3.
8. Realice el mismo experimento cuando la lente está alejada del objeto una distancia igual a “f”.
9. Coloque por último el objeto a una distancia inferior a “f” y repita los mismos pasos hasta que complete la tabla 3.

Tercera parte: Formación de imágenes para un sistema de lentes.

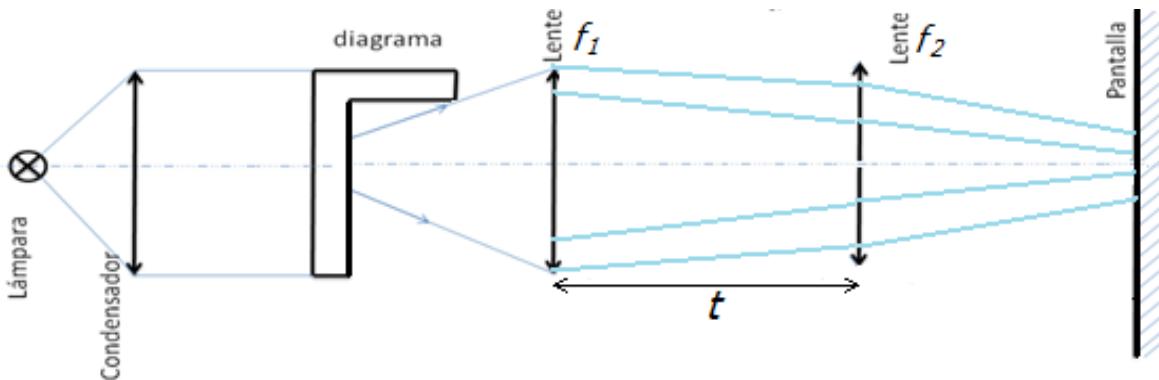
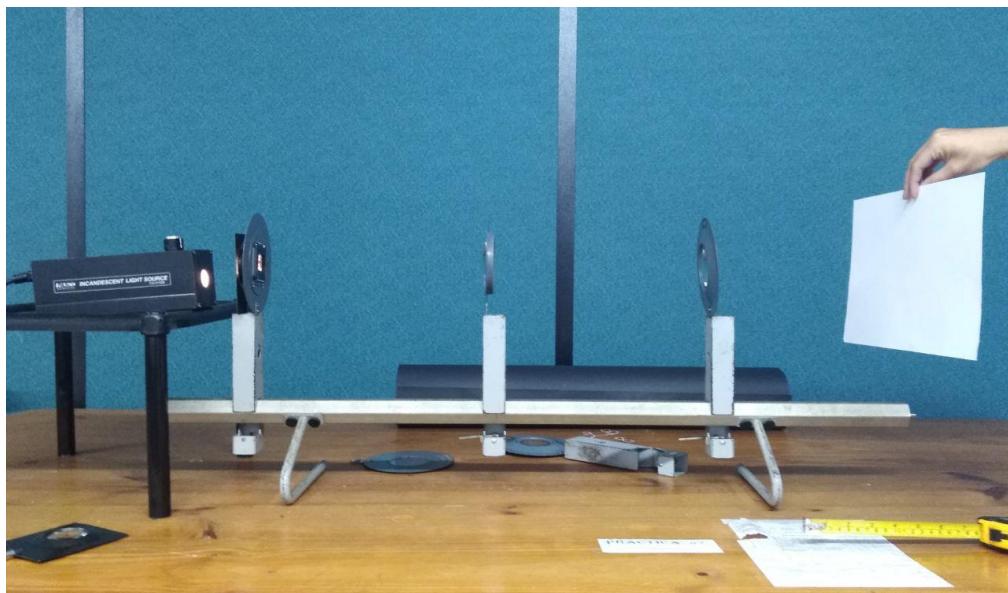


Figura 4. Formación de la imagen con dos lentes delgadas separadas una distancia t .

1. Seleccione una lente y registre el valor de su focal en la tabla 4 como “**f1**” ubíquela en el soporte y aléjela del objeto una distancia mayor a f_1 , este valor corresponde a la distancia objeto “**p**” anótelo en la tabla 4.
2. Siguiendo el procedimiento de la parte dos, con una hoja encuentre la ubicación donde se forma la imagen generada por la lente.
3. Seleccione otra lente anote el valor de su focal en la tabla 4 como “**f2**” ubíquela en el soporte y aléjela de la imagen generada por la primera lente (ubicación del punto anterior) una distancia mayor a f_2 .



Montaje 3. Medición de las imágenes para un sistema de lentes.

4. Proceda a medir la distancia de separación que hay entre la lente 1 y la lente 2, este dato corresponde a la variable “**t**”, repórtelo en la tabla 4.

5. Utilizando una hoja como pantalla de observación encuentre la ubicación de la imagen generada por la segunda lente, mida la distancia que hay entre la segunda lente y la pantalla de observación, este valor corresponde a la distancia imagen “ q ”, regístrelo en la tabla 4. **Vea la figura 4 y el montaje 3.**
6. Observe la imagen generada por la lente y en la casilla de características de la tabla 4 describa:
 - La imagen esta invertida o derecha
 - Aumento de tamaño o disminuyo
7. Mida la altura del objeto (longitud de la L), este valor corresponde a “ y ” anótelo en la tabla 4.
8. Mida la altura de la imagen formada en la pantalla de observación (imagen generada después de la segunda lente, ver montaje 3) y regístrelo en la tabla 4 como el valor “ y' ”.
9. Aumente la separación de las lentes “ t ” y repita los pasos del 4 al 8 anotando sus resultados en la tabla 4, repita este procedimiento otras dos veces hasta que complete la tabla 4.

Focal de la lente 1 “ f_1 ”		Focal de la lente 2 “ f_2 ”	
Distancia objeto “ p ”		Altura objeto: “ y ”	
Separación de las lentes “ t ”	Distancia imagen “ q ”	Altura de la imagen “ y' ”	Características de la imagen
			•
			•
			•
			•
			•
			•
			•

Tabla 4. Formación de imágenes para un sistema de lentes.

Análisis de datos

- Para las dos primeras distancias objeto de la tabla 3 (segunda parte de procedimiento) y las distancias imágenes obtenidas para dichas distancias, calcule la focal de la lente haciendo uso de la ecuación 7.1 registre ambos datos en la **tabla 5** como f_{exp1} y f_{exp2} .
- Registre el valor de la focal de la lente usada en la tabla 2 como el valor f_{teo} en la tabla 5.

FOCAL TEÓRICA f_{teo}	FOCAL EXPERIMENTAL 1 f_{exp1}	% ERROR
	FOCAL EXPERIMENTAL 2 f_{exp2}	% ERROR

Tabla 5. Calculo de la focal de una lente

- Calcule el porcentaje de error para los valores de la distancia focal de la lente de la segunda parte de procedimiento haciendo uso de la **ecuación 7.8** y complete la tabla 5.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (7.8)$$

- Tome los datos obtenidos en la tabla 4 y haciendo uso de las ecuaciones 7.5 y 7.6, calcule la focal objeto “**Fo**” y la focal imagen “**Fi**” para un sistema de lentes (tercera parte de procedimiento) para los diferentes valores de separación “**t**”, registre sus resultados en la **tabla 6**.

SEPARACIÓN DE LAS LENTES “t”	DISTANCIA FOCAL OBJETO “Fo”	DISTANCIA FOCAL IMAGEN “Fi”

Tabla 6. Determinación focal de una lente

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. ¿Qué errores considera estuvieron presentes en el experimento, sea específico en su respuesta?
2. Las mediciones que realizo en la práctica del laboratorio en la segunda parte del procedimiento, verifican la ecuación del constructor de lentes (ecuación 7.1). sustente su respuesta.
3. Los resultados obtenidos en la tabla 2 corresponden con lo esperado para la formación de imágenes de una lente convergente. Sustente su respuesta.
4. Para la tercera parte del procedimiento: ¿Cómo depende la distancia focal objeto e imagen de la separación “ t ” de las lentes?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., **Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).**
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. **Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. **Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- Serway, Raymond. A., **Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- Guerrero, Alicia., **Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).**
- Crawford, Jr., **Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).**
- Hecht, E. and Zajac, A., **Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).**
- Giancoli, Douglas c. **física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**

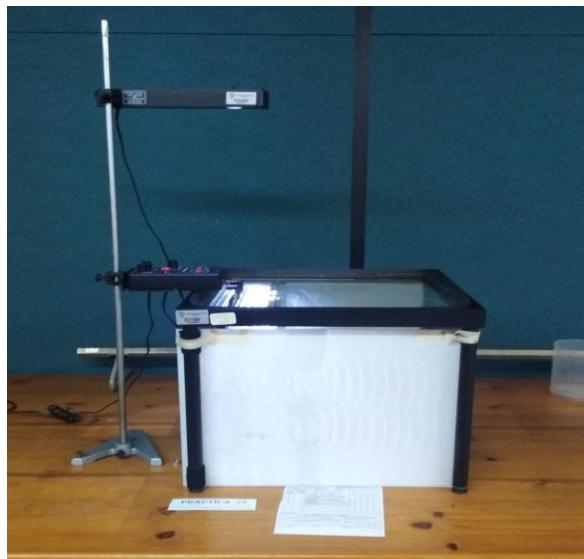


Objetivos

1. Caracterizar las Ondas producidas en la cubeta con sus respectivos frentes de onda.
2. Observar el fenómeno de interferencia experimentado por dos fuentes sincrónicas.
3. Experimentalmente generar la interferencia de fuentes sincrónicas por partición del frente de onda.
4. Observar claramente el fenómeno de difracción experimentado por ondas superficiales.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Cubeta de ondas	1	
Fuentes Oscilantes puntuales	2	
Reglilla para generación de ondas planas	1	
Reglillas metálicas para Experimento de Young	1	
Lámpara para Estroboscopio	1	
Pantalla para proyección del patrón de interferencia	1	
Soporte	1	



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico**REFLEXIÓN DE LAS ONDAS**

Una onda propagándose presenta varios fenómenos al encontrarse con un obstáculo o al llegar al final del medio donde se propaga, en este caso la onda se devuelve, es decir, se releeja. Por ejemplo, al dejar caer un objeto pequeño a un estanque, en su superficie se generan frentes de ondas circulares, cuando estas ondas generadas chocan con el borde del estanque experimentan un cambio en su dirección *con la misma amplitud* lo cual indica que la onda se reflejó y no hubo transmisión.

La reflexión consiste en el cambio de dirección que experimenta una onda cuando choca contra un obstáculo. La onda que se dirige hacia el obstáculo se denomina onda incidente, mientras que la onda que se aleja del obstáculo después de haber chocado contra él se denomina onda reflejada (Medina & Ballén, 2011).

Si la densidad del segundo medio es mayor que la del primero la onda incidente al chocar estaba en cresta, se devuelve en valle o viceversa. Si la densidad del segundo medio es menor que la del primero, se devuelve sin alteraciones. Además, el ángulo de la onda incidente que forma con la superficie es igual al ángulo formado por la onda reflejada, por tanto, podemos decir que

$$\theta_i = \theta_r \quad (2.1)$$

REFRACCIÓN DE LAS ONDAS

Cuando una onda llega a otro medio *diferente* en el que venía propagándose, una parte de la onda se refleja mientras la otra se transmite, a la onda transmitida se le llama onda refractada.

La refracción de las ondas consiste en el cambio de dirección que experimenta un movimiento ondulatorio cuando pasa de un medio material a otro. Si se genera un pulso plano que viaje de una región más profunda a una región menos profunda, en un estanque con agua, la velocidad de propagación de la onda disminuirá a medida que la profundidad sea menor. En el instante en que la onda cruza la frontera, se produce una diferencia en la longitud de onda que ocasiona una desviación en la dirección de propagación. Sin embargo, la frecuencia en los dos medios no cambia, pues esta depende de la perturbación inicial; por lo tanto, para disminuir la velocidad de propagación es necesario disminuir la longitud de onda. (Medina & Ballén, 2011)

DIFRACCIÓN DE LAS ONDAS

Las ondas se dispersan al propagarse, y cuando encuentran un obstáculo, lo rodean y se doblan alrededor de él. Por ejemplo, cuando estamos en un cuarto cerrado y deseamos escuchar una conversación que se da en el pasillo, abrimos ligeramente la puerta y así logramos escuchar a través de la rendija. Esto sucede porque la onda sonora bordea el obstáculo, ósea la puerta, y sigue su camino, es decir que entra a la habitación (figura 1).

La difracción de las ondas consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo, el principio de Huygens proporciona una explicación geométrica de este comportamiento

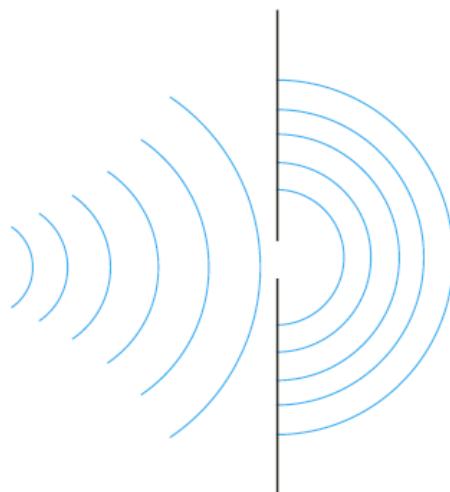


Figura 1. Frentes de Onda circulares generados por la difracción del frente de onda al pasar por una abertura

INTERFERENCIA DE LAS ONDAS

La interferencia es el fenómeno que se produce cuando una onda se encuentra con otra y chocan entre sí. El principio de superposición establece que cuando dos o más ondas se encuentran en determinado punto de un medio en el mismo instante, el desplazamiento resultante es la suma algebraica de los desplazamientos individuales.

Cuando dos o más ondas de la misma naturaleza coinciden en un punto del medio, en un instante determinado, sucede lo que se define como interferencia. Por ejemplo, si se golpea periódicamente con dos objetos la superficie del agua en un estanque, se producen dos frentes de onda circulares que se propagan a través de ella con la misma frecuencia e igual amplitud, es decir, en el momento en que un

objeto produce una cresta, el otro también genera la suya, y cuando uno produce un valle, el otro también lo hace. En estas condiciones, los dos focos vibratorios se encuentran en fase, originando una superposición de las ondas.

Si en el mismo instante, en determinado punto de la superficie se encuentran dos crestas o dos valles, la amplitud del pulso resultante es la suma de las amplitudes, siendo la interferencia constructiva o positiva. Por otra parte, si se encuentran un valle y una cresta con igual amplitud, la superficie aparenta no vibrar, siendo esta una interferencia destructiva o negativa. En una interferencia destructiva o negativa, para que los movimientos al superponerse anulen la vibración, sus estados vibratorios deben estar en oposición de fase, lo cual solo ocurrirá si las ondas llegan habiendo recorrido distancias diferentes, d_1 y d_2 , ver figura 2

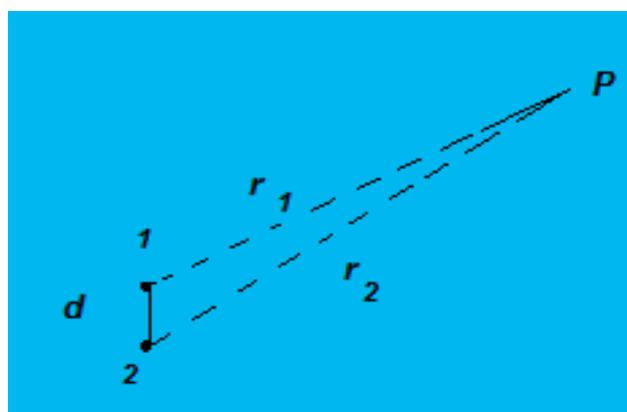


Figura 2. Diferentes caminos desde las fuentes 1 y 2 hasta el punto P

Preguntas de control

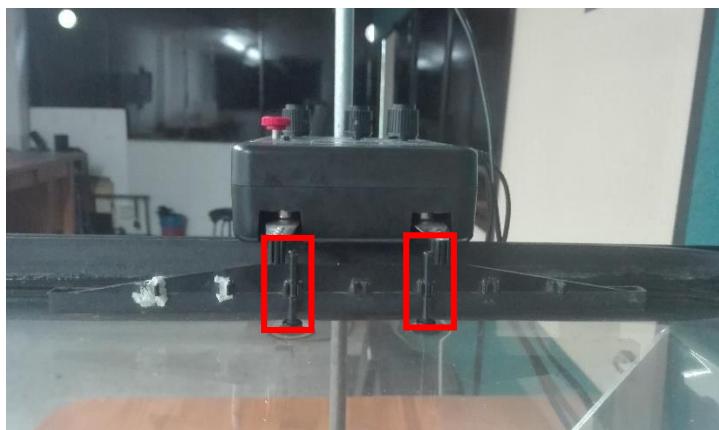
Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el informe según indicaciones del docente.

1. ¿Qué significa que dos ondas estén en fase?
2. ¿Cuál es la diferencia entre interferencia constructiva y destructiva?
3. Defina frente de onda y dibuje los diferentes tipos.
4. ¿Qué es difracción y cual es si diferencia con la interferencia?
5. Dibuje el experimento de Young y descríbalo generalmente
6. ¿Qué es una hipérbola de difracción?

Procedimiento

Primera parte: Generación del patrón de interferencia de dos fuentes coherentes del sistema.

1. Cerciórese que las fuentes puntuales toquen superficialmente el agua, Ver montaje 1, de no ser así, gire el tornillo rojo del RIPPLE GENERATOR (equipo encargado de generar las ondas) señalado con un recuadro en el montaje 2.



Montaje 1. Fuentes puntuales (recuadros rojos) tocando superficialmente el agua



Montaje 2. RIPPLE GENERATOR (generador de ondas en la cubeta)

2. Conecte al toma el RIPPLE GENERATOR y enciéndalo moviendo el botón ubicado en la parte lateral izquierda.

3. Mida la distancia entre las fuentes puntuales d_1 y registrela en la tabla 1. Con la perilla de **Frecuency** gradue la frecuencia a 20Hz y ajuste la perilla de **Amplitude** para una mejor vizualizacion.
4. Encienda el sistema estroboscopio moviendo el boton **Light source** ubicado en el recuadro blanco en el **RIPPLE GENERATOR** de tal forma que se pueda observar sobre la pantalla de proyección el patrón de interferencia. Ver figura 3.

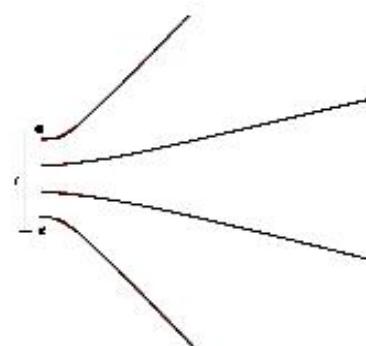
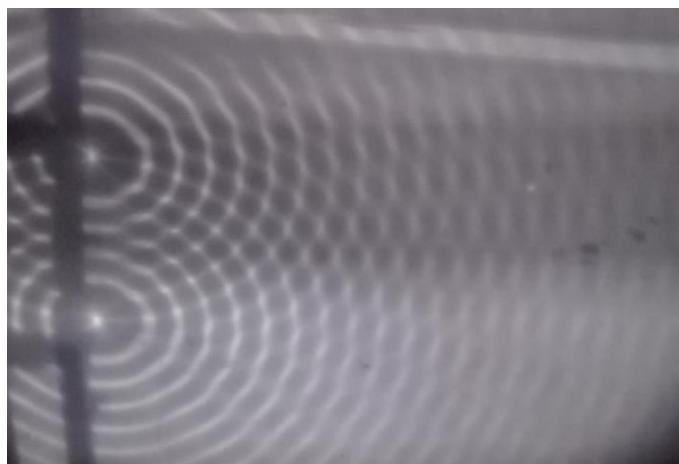


Figura 3 Ondas generadas por dos fuentes puntuales

5. Cuente las hiperbolas de difraccion a partir del orden cero hacia arriba y registre en la **tabla 1**. Ver figura 3.
6. Repita el paso anterior 3 veces mas aumentando la frecuencia con un valor de 10 Hz cada vez.

d1		d2	
Frecuencia (Hz)	# hipérbolas	Frecuencia (Hz)	# hipérbolas
20		20	
30		30	
40		40	

Tabla 1 Hipérbolas generadas para d1 y d2 con diferente frecuencia para fuentes puntuales.

7. Apague el Ripple Generator, retire una fuente puntual cuidadosamente y coloquela en otra posicion y registre la distancia de separacion d_2 y encienda nuevamente
8. Repita los pasos del 2 al 6

Segunda parte: Sustituya las fuentes puntuales por una rejilla para generación de ondas planas

1. Apague nuevamente el Ripple Generator y retire las fuentes puntuales
2. Gire la perilla roja (ver montaje 2) para ajustar de elevacion de la placa que sostiene las fuentes puntuales hasta que toque la superficie del agua. En el caso que la placa quede inclinada utilice la otra perilla roja para ajustar la inclinacion.
3. Encienda el equipo y ajuste la amplitud y la frecuencia a 20 Hz hasta que obtenga un frente de onda plano
4. Disponga las rejillas metálicas para experimento de Young de tal forma que hayan dos separaciones entre las rejillas como se muestra en el montaje



Montaje 3 rejillas metálicas para experimento de Young

5. Cerciorese que las rendijas metalicas mas largas tengan la misma distancia de separacion de la rendija mas pequena.
6. Grafique el patron generado con ayuda de compas y regla (para facilidad puede tomar una foto para luego graficar el patron).

Tercera parte: Difracción

1. Utilice el mismo sistema de generación de ondas planas de la segunda parte, pero ahora disponga las rejillas de forma que solamente una abertura este presente.
2. Observe y grafique el fenómeno que ocurre cuando la onda plana alcanza la abertura.
3. Disminuya el tamaño de la abertura, observe y nuevamente grafique.

Análisis de datos

1. Segundo la tabla 1
 - a. ¿Qué ocurre con las hipérbolas de difracción al variar la frecuencia?
 - b. ¿Existe algún cambio en las hipérbolas de difracción si se cambia la distancia entre las fuentes puntuales que las generan? ¿A qué se debe esto?
2. En la segunda parte según la gráfica ¿Qué puede analizar acerca del patrón generado por las rendijas metálicas?
3. En la tercera parte según la gráfica ¿Qué ocurre con la onda al alejar las rejillas metálicas? Y si se acercan ¿en qué difiere?

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. ¿Qué tipo de frentes de ondas observó en la gráfica, debido a que objetos fueron generados?
2. Si se sabe que la interferencia es un fenómeno causado al superponerse dos ondas, ¿dónde se ve demostrado esto en el experimento realizado? ¿Existe interferencia destructiva y constructiva y dónde se evidencia?
3. ¿Cuál es la relación de las hipérbolas de difracción con la interferencia?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

- Alonso, M. y Finn, E. J., Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.
- Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.
- Guerrero, Alicia., Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).
- Crawford, Jr., Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).
- Hecht, E. and Zajac, A., Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).
- Giancoli, Douglas c. física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.
- Guías de laboratorio de Oscilaciones y Ondas. Departamento de física y geología. Universidad de Pamplona.
- Híper texto, Olga Lucia Romero Medina & Mauricio Bautista Vallen. Santillana. Bogotá 2011



Objetivos

1. Estudiar y observar experimentalmente los modos de vibración (armónicos) de las ondas estacionarias en una cuerda con sus dos extremos fijos.
2. Determinar a partir de la medición de las frecuencias de los primeros siete modos de vibración, la velocidad de propagación de las ondas transversales en la cuerda y comparar este valor con el calculado a partir de la tensión y la densidad de masa de la cuerda.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Generador de señales	1	
Vibrador mecánico	1	
Soportes universales	2	
Masa cilíndrica	2	
Balanza	1	
Cinta métrica	1	
Polea	2	
Cuerda	1	



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico

ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA

Al considerar uno de los extremos fijos de la cuerda, se tendrán dos ondas transversales: una incidente y otra reflejada (una propagándose hacia la izquierda y la otra hacia la derecha), representadas por las siguientes ecuaciones:

$$\xi_1(x, t) = \xi_{01} \sin(\omega t + kx) \quad (9.1)$$

$$\xi_2(x, t) = \xi_{02} \sin(\omega t - kx) \quad (9.2)$$

El desplazamiento en cualquier punto de la cuerda es el resultado de la interferencia o superposición de estas dos ondas:

$$\xi_1(x, t) + \xi_2(x, t) = \xi_{01} \sin(\omega t + kx) + \xi_{02} \sin(\omega t - kx) \quad (9.3)$$

Lo que ocurre en el punto fijo $X=0$ (figura 1), es un cambio de fase de la onda incidente igual a π , dando como resultado una onda estacionaria, representada por la ecuación:

$$\xi(x, t) = 2\xi_0 \sin(kx) \cos(\omega t) \quad (9.4)$$

La cual representa un M.A.S, cuya amplitud varía de punto a punto y está dada por:

$$A = 2\xi_0 \sin(kx) \quad (9.5)$$

Donde: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ es el numero de onda, λ es la longitud de onda, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ es la frecuencia angular con f como la frecuencia temporal y T como periodo.

La resonancia sucede cuando en la onda estacionaria se observan puntos fijos de la cuerda de cero desplazamientos, llamados nodos y puntos de máximo desplazamiento llamados antinodos. Como la cuerda se supone fija en sus dos extremos, esto limita las frecuencias para las cuales se observan nodos y antinodos. Cada frecuencia posible es una frecuencia resonante y la forma de onda estacionaria correspondiente es un modo de oscilación.

La longitud entre cada nodo es igual a media longitud de onda. Por lo que las longitudes de ondas espaciales que pueden propagarse en una cuerda de longitud L fija en sus extremos está limitada a los valores dados por la ecuación:

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9.6)$$

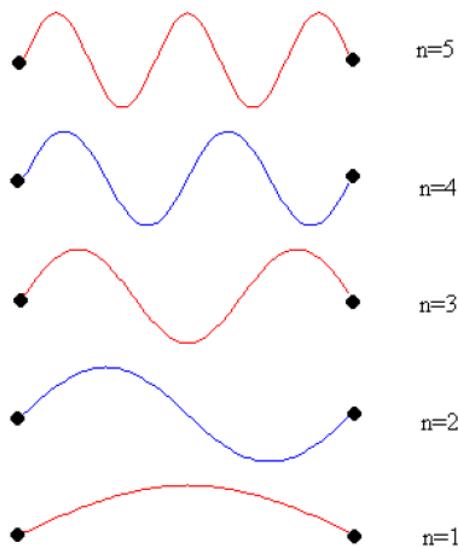


Figura 1. Armónicos en una cuerda

donde n es el armónico correspondiente y L la longitud de cuerda entre los puntos fijos.

Como la velocidad de propagación de cualquier onda en una cuerda está dada por:

$$\vartheta = \lambda f \quad (9.7)$$

donde f es la frecuencia temporal de la onda, Entonces, las frecuencias resonantes de excitación de la cuerda están limitadas a los valores dados por la siguiente ecuación:

$$f_n = \frac{n}{2L} \vartheta, \quad n = 1, 2, 3, \dots \dots \quad (9.8)$$

donde, ϑ es la velocidad de propagación de la onda en la cuerda y f_n es la frecuencia del el n -esimo armónico.

La velocidad de propagación de una onda en una cuerda está dada por la expresión:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (9.9)$$

Donde, T es la tensión a la que está sometida la cuerda y μ es su densidad lineal de masa, esta dada por:

$$\mu = \frac{m_c}{L_c} \quad (9.10)$$

Donde, m_c es la masa de la cuerda y L_c es la longitud de la cuerda.

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre informe según indicaciones del docente.

1. ¿Consulte los tipos de onda según el medio de propagación y enuncie tres ejemplos para cada caso?
2. ¿Consulte los tipos de onda según la dirección de propagación y enuncie tres ejemplos para cada caso?
3. ¿Qué es el efecto estroboscópico?
4. ¿Qué es un armónico?, ¿Qué es un armónico en acústica?, ¿Qué mecanismos existen para generar un armónico?, ¿enuncie tres aplicaciones de los armónicos?

Procedimiento

Primera parte: Cálculo de los armónicos en una cuerda para diferentes tensiones

1. Mida la masa de la cuerda m_c (en Kg) y la longitud total de la cuerda L_c (en metros) y regístrelos en la tabla 1. La puede retirar jalando hacia arriba la barra metálica en el vibrador mecánico, donde está atada la cuerda.
2. Calcule la densidad lineal de masa μ con la **ecuación 9.10**. Mida ambas masas colgantes y registre los valores como m_1 y m_2 en la **tabla 1**.
3. Realice el montaje como el del esquema 1, sujeté un extremo de la cuerda al vibrador mecánico de tal manera que la cuerda pase por la polea y en el otro extremo cuelgue la masa que registró como m_1 .
4. Mida la longitud desde el vibrador mecánico hasta la polea, que es el segmento de la cuerda donde la onda se va a propagar y regístrelo como L en la tabla 1.
5. Encienda el generador de señales y ajuste la frecuencia y la amplitud de la señal a la mínima posible. Conecte los cables del generador de señales al vibrador mecánico y ajuste la amplitud hasta la mitad o más.

6. Mueva la perilla de la frecuencia lentamente hasta que se observe una onda estacionaria con un solo antinodo. Registre el valor de la frecuencia del generador en el número del armónico correspondiente a $n=1$, en la **tabla 2**.
7. Repita el paso anterior, ajustando la frecuencia del generador para obtener 2, 3, 4, 5, 6 y 7 armónicos y registre el valor de la frecuencia para cada caso en la **tabla 2**.
8. Disminuya la amplitud y la frecuencia del generador de señales al valor más bajo, retire la masa m_1 de la cuerda y cuelgue la otra masa de valor m_2 , es decir del cuerpo que tensiona la cuerda y registre los datos en la **tabla 3**.
9. Repita los pasos del 6 al 7 con la masa m_2 , hasta que complete la tabla 3.

L_c [m]	m_c [Kg]	m_1 [Kg]	m_2 [Kg]	L [m]

Tabla 1. Parámetros de la cuerda y de las masas colgantes.

Número del Armónico (n)	Frecuencia f_n [Hz]		Número del Armónico (n)	Frecuencia f_n [Hz]
1			1	
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	

Tabla 2. Armónicos y frecuencias para la masa m_1 .

Tabla 3. Armónicos y frecuencias para la masa m_2 .

Análisis de datos

1. Para cada una de las dos masas utilizadas, calcule la longitud de onda de cada armónico n con la **ecuación 9.6** y registre sus resultados en las tablas 4 y 5.

- 2.** Calcule la velocidad de propagación de la onda en la cuerda para cada masa colgante con la **ecuación 9.7** utilizando la longitud de onda λ_n y la frecuencia f_n correspondiente a cada armónico anote sus resultados en las tablas 6 y 7.

Número del Armónico (n)	Longitud de onda λ_n [m]		Número del Armónico (n)	Longitud de onda λ_n [m]
1			1	
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	

Tabla 4. Armónicos y longitud de onda para la masa m_1 .

Tabla 5. Armónicos y longitud de onda para la masa m_2 .

- 3.** Promedie los resultados de la velocidad obtenidos en el punto anterior y regístrelos en las tablas 6 y 7; además regístrelos en la tabla 8 como la velocidad experimental promedio para cada masa.

Número del Armónico (n)	Velocidad de propagación v_n [m/s]		Número del Armónico (n)	Velocidad de propagación v_n [m/s]
1			1	
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	
Velocidad promedio			Velocidad promedio	

Tabla 6. Armónicos y velocidad de propagación para la masa m_1 .

Tabla 7. Armónicos y velocidad de propagación para la masa m_2 .

- 4.** Para cada una de las dos masas utilizadas, realiza una gráfica de f_n (ordenada) contra n (abscisa), calcule la pendiente de la recta obtenida y con ella encuentre la velocidad de propagación de la onda en la cuerda, comparándola con la **ecuación 9.8**. Este valor de velocidad para cada masa corresponde a la velocidad experimental, registre sus resultados en la tabla 8.

Velocidad teórica m_1 [m/S]	Velocidad experimental promedio m_1 [m/S]	% Error
	Velocidad experimental m_1 (gráfica) [m/S]	% Error
Velocidad teórica m_2 [m/S]	Velocidad experimental promedio m_2 [m/S]	% Error
	Velocidad experimental m_2 (gráfica) [m/S]	% Error

Tabla 8. Calculo de la velocidad de propagación de la onda y porcentajes de error para la masa m_1 y m_2

- 5.** Calcule la velocidad de propagación de la onda en la cuerda para cada una de las dos masas con la **ecuación 9.9**, este valor corresponde a la velocidad teórica, registre los resultados en la tabla 8.
- 6.** Calcule el porcentaje de error de los valores de velocidad experimental promedio respecto a los valores de velocidad teórica (ecuación 9.9) con la **ecuación 9.11** y registre sus resultados en la tabla 8.
- 7.** Calcule el porcentaje de error de los valores de velocidad experimental (obtenidos por grafica) respecto a los valores de velocidad teórica (ecuación 9.9) con la **ecuación 9.11** y registre sus resultados en la tabla 8.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (9.11)$$

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. Para cada una de las velocidades calculadas en la tabla 8, ¿cuánto se tarda la onda en recorrer toda la longitud de la cuerda, recuerde que $v = x/t$?
2. ¿De qué depende la velocidad de propagación de una onda en una cuerda?
3. ¿Según los datos obtenidos para el cálculo de la velocidad qué factores influyeron en el porcentaje de error?, ¿se puede considerar este error despreciable, por qué?
4. Si se modifica el material de la cuerda, pero la masa de esta sigue siendo la misma, ¿qué pasa con los armónicos, se mantienen igual o cambian?
5. si ambos extremos de la cuerda se conectan a un vibrador mecánico, ¿se podrían generar ondas estacionarias en la cuerda? ¿Qué se debería tener en cuenta?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., **Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).**
- Gettys, Killer, Skove, **Física para ciencias e ingeniería, tomo I y II.** Editorial McGraw-Hill.
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. **Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. **Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- Serway, Raymond. A., **Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- Guerrero, Alicia., **Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).**
- Giancoli, Douglas c. **física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**



Objetivos

1. Observar el fenómeno de difracción experimentado por una onda luminosa (rayo láser) a través de objetos de dimensiones pequeñas de forma circular y rectangular.
2. Determinación experimental de las dimensiones de un objeto cuya determinación por medición directa es difícil.
3. Variación del patrón de difracción con las dimensiones del objeto difractor.

Esquema del laboratorio y Materiales

Equipo requerido	Cantidad	observaciones
Puntero laser	1	Traerlo el estudiante
Soporte	2	
Reglilla con 3 aberturas rectangulares	1	
Pantalla de observación	1	
Metro	1	



Esquema 1. Montaje de laboratorio

Marco teórico

DIFRACCIÓN

Introducción: El fenómeno de difracción se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables con la longitud de onda. El obstáculo puede ser también un pequeño objeto, tal como un alambre o un disco, que impide el paso de una pequeña porción del frente de onda.

Si un haz de partículas incide sobre una pantalla que tiene una abertura pequeña, solamente las que inciden en la abertura son transmitidas, continúan su movimiento sin ser perturbadas, en el caso de las ondas el fenómeno observado es bien diferente y fue estudio de los físicos en el siglo XIX, siendo denominado fenómeno de difracción.

Difracción por una sola Rendija: Cuando la luz monocromática pasa por una sola rendija cuya abertura es del orden de la longitud de onda, la luz se difracta en el otro lado de la rendija. El fenómeno de Difracción es una característica de los fenómenos ondulatorios en general, por tanto se examina la difracción de la luz a medida que pasa por una sola abertura en forma de rendija de ancho a ; la distribución de intensidad de la luz difractada en una pantalla distante se muestra en la figura (1.a). La distribución observada de la intensidad de la luz en la pantalla indica que la luz no se difracta en forma uniforme: ciertas regiones en la pantalla no tienen luz, mientras que otras tienen algo de luz. Así la amplitud de la luz difractada depende del ángulo θ a partir de la dirección recta en la figura (1.a). Si la distancia z a la pantalla es mucho mayor que la pequeña abertura de la rendija, la trayectoria extra Δx desde el borde más lejano de la rendija es parte de un pequeño triángulo rectángulo, figura (1.b). Del triángulo rectángulo se encuentra que la diferencia de trayecto es:

$$\Delta x = a \sin \theta \quad (10.1)$$

Si el punto en la pantalla está en el centro, las contribuciones de pares de fuentes puntuales colocadas en forma simétricas en cualquier lado de la dirección recta llegan en fase y tenemos una amplitud y una intensidad máxima en esa posición. Por tanto para una diferencia de trayectoria Δx , la diferencia de fase resultante en radianes es

$$\delta_{trayectoria} = \frac{\Delta x}{\lambda} (2\pi) \quad (10.2)$$

Por otro lado a medida que nos alejamos del máximo central de la pantalla, en algún momento alcanzamos una posición donde la diferencia de trayecto al punto P , en la pantalla entre la fuente puntual en el borde cercano (superior) de la abertura y la

fuente puntual en el centro de la rendija es equivalente a la mitad de una longitud de onda, como se muestra en la figura (1.a). La diferencia de trayectoria de longitud de onda media para el par, corresponde a una diferencia de fase de π radianes. Entonces, las dos ondas pequeñas de estos dos puntos interfieren destructivamente en la pantalla y su contribución es nula. Ahora si consideramos el par de fuentes puntuales en la abertura justo debajo del primer par. Las ondas pequeñas de estas fuentes también tiene una diferencia de trayectoria al punto P de la mitad de una longitud de onda (y una diferencia de fase de π radianes), y por tanto las dos ondas también interfieren en forma destructiva. La diferencia de trayectoria $\lambda/2$ entre un punto en la parte superior y un punto a la mitad de la rendija también significa que la diferencia de trayectoria entre los puntos en la parte superior e inferior de la rendija es una longitud de onda completa como se muestra en la figura (1.a).

Los mínimos de difracción cuando la diferencia de trayectoria es $a \sin \theta$ entre los bordes opuestos de la rendija es algún múltiplo entero (m) de la longitud de onda:

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (\text{Mínimos de difracción de una rendija}) \quad (10.3)$$

Para ángulos pequeños es válida la aproximación,

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{z} \quad (10.4)$$

Así los mínimos están igualmente espaciados

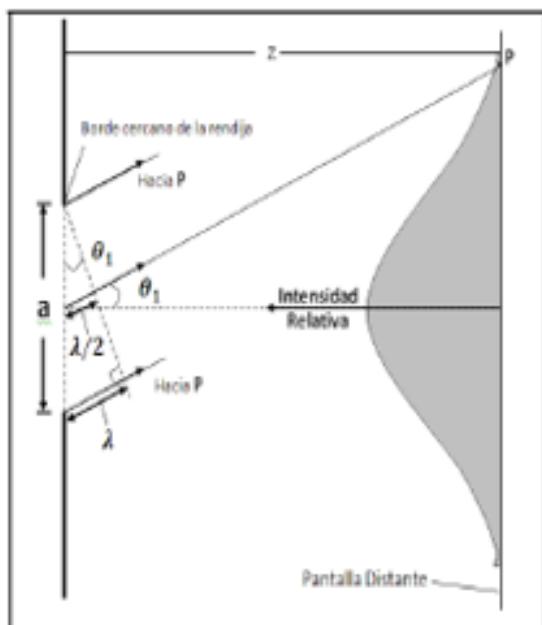


Figura (1.a)

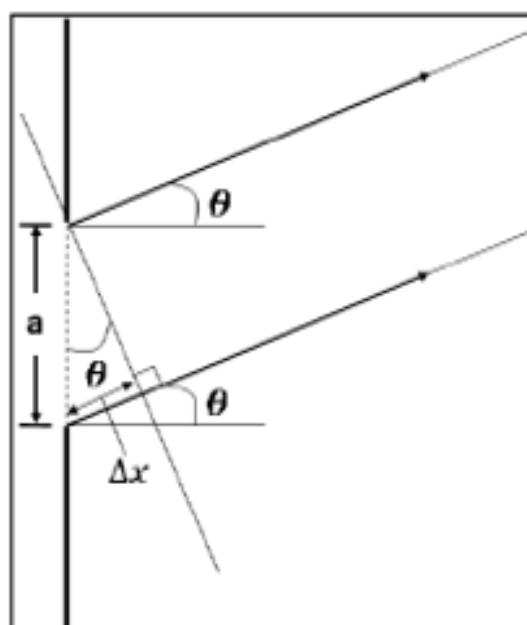


Figura (1.b)

Figura 1. Fenómeno de difracción producido por una abertura rectangular (función $\text{Sinc}(x)$)

Preguntas de control

Estas preguntas deben desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el informe según indicaciones del docente.

1. ¿Cuál es la longitud de onda para un puntero laser convencional, el láser Helio neón y el láser de cadmio y cuáles son sus respectivos colores?
2. ¿Qué es una red de difracción y para que se utiliza?
3. ¿Qué es la difracción de Fraunhofer y cuál es su diferencia con la difracción de Fresnel?
4. ¿Qué es una función *Sinc(x)*?
5. Consulte el patrón de difracción para una rejilla rectangular, rejilla circular y una rejilla triangular.

Procedimiento

1. Monte el puntero laser (proporcionado por el estudiante), en el banco de madera de la mesa de trabajo ajustándolo a una posición fija y cómoda.
2. Coloque la placa negra con tres orificios rectangulares a 3m (señalado en la mesa) de la pantalla de observación ajustándola de tal manera que el láser pase por la ranura de **0.2 mm**.
3. Encienda el apuntador láser, ajuste la posición del láser y de la abertura rectangular de modo que el rayo láser atraviese la abertura y produzca una descomposición clara y horizontal sobre la pantalla de observación (patrón de difracción).
4. Mida la distancia entre el centro de orden cero (centro de mayor intensidad) y el centro del primer orden de difracción, registre ese valor como “**distancia y**” para $m=1$. Realice este procedimiento para los tres primeros ordenes de difracción ($m=1,2,3$). Y registre las distancias en la **tabla 1**.

NOTA: puede utilizar un lápiz para marcar sobre la pantalla de observación la ubicación del orden cero y los siguientes tres órdenes de difracción y así sea más fácil medir las distancias “y”

5. Varíe la distancia (z) a 3.1m y 3.2 m, y repita dos veces los incisos (3), (4)
6. Repita el experimento para las otras dos aberturas y registre los datos en la tabla 2 y 3

Análisis de datos

Ancho teórico de la rendija (0,2mm)				
Distancia (Z)	Orden de difracción (m)	Distancia (y) (m)	Angulo de dispersión (θ)	Ancho de la rendija (a): (m)
$z_1 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
$z_2 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
$z_3 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
				promedio
				% ERROR

Tabla 1 Datos obtenidos del fenómeno de difracción a través de una abertura rectangular 0.2mm.

Ancho teórico de la rendija (0,3mm)				
Distancia (Z)	Orden de difracción (m)	Distancia (y) (m)	Angulo de dispersión (θ)	Ancho de la rendija (a): (m)
$z_1 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
$z_2 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
$z_3 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
				promedio
				% ERROR

Tabla 2 Datos obtenidos del fenómeno de difracción a través de una abertura rectangular 0.3mm.

Ancho teórico de la rendija (0,4mm)				
Distancia (Z)	Orden de difracción (m)	Distancia (y) (m)	Angulo de dispersión (θ)	Ancho de la rendija (a): (m)
$z_1 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
$z_2 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
$z_3 =$	$m = 1$			
	$m = 2$			
	$m = 3$			
			promedio	
			% ERROR	

Tabla 3 Datos obtenidos del fenómeno de difracción a través de una abertura rectangular 0.4mm.

1. Con los datos de la tabla 1 calcule los ángulos de dispersión con la ecuación **10.4** y registre los valores en la misma tabla.
2. Calcule el valor del ancho (a) de la abertura rectangular con ayuda de la ecuación **10.3**, de los datos de la **tabla 1** y sabiendo la longitud de onda para su puntero laser (consultada en la pregunta de control 1), luego registre estos valores en la misma tabla.
3. Promedie todos los valores obtenidos en el inciso anterior y registre el valor en la tabla 1 en la casilla promedio
4. Calcule el porcentaje de error para el ancho de la rendija, tomando la casilla promedio como su valor experimental y el valor de la rendija dado en la primera fila de la tabla 1 como su valor teórico con la siguiente ecuación:

$$\%Error = \left| \frac{V_{teorico} - V_{experimental}}{V_{teorico}} \right| * 100\%$$

5. Realice los pasos del 1 al 4 para la tabla 2 y tabla 3.

Preguntas de profundización de la práctica de laboratorio

1. ¿A qué parámetros cree se deba el porcentaje de error para el cálculo del ancho de las rendijas rectangulares?
2. Si conoce con anterioridad el ancho de la apertura rectangular puede calcular la longitud de onda del láser utilizado?, si su respuesta es **sí**, calcule dicho valor utilizando los datos del primer orden de difracción de la tabla 3, para un **z** deseado.
3. ¿Qué ocurriría si en lugar de utilizar un láser para la práctica se hubiera usado una lámpara?
4. ¿Qué puede concluir acerca del patrón de difracción al alejar cada vez más la rendija de la pantalla de observación?
5. ¿Qué puede decir acerca de la función $Sinc(x)$ y su relación con el patrón de difracción?

Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la práctica.

Bibliografía

Para ampliar la información, puede consultar las siguientes referencias:

- Alonso, M. y Finn, E. J., **Física, vol. I y II, Edición Revisada y Aumentada, Mecánica, Fondo Educativo Interamericano, 1967, Reimpresión 1998 (Texto Guía).**
- Gettys, Killer, Skove, **Física para ciencias e ingeniería, tomo I y II. Editorial McGraw-Hill.**
- Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. **Física Universitaria, vol. I 9^a Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. **Física, vol. I 5^a ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- Serway, Raymond. A., **Física, Tomo 1, 5^a ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- Hecht, E. and Zajac, A., **Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).**
- Giancoli, Douglas c. **física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**