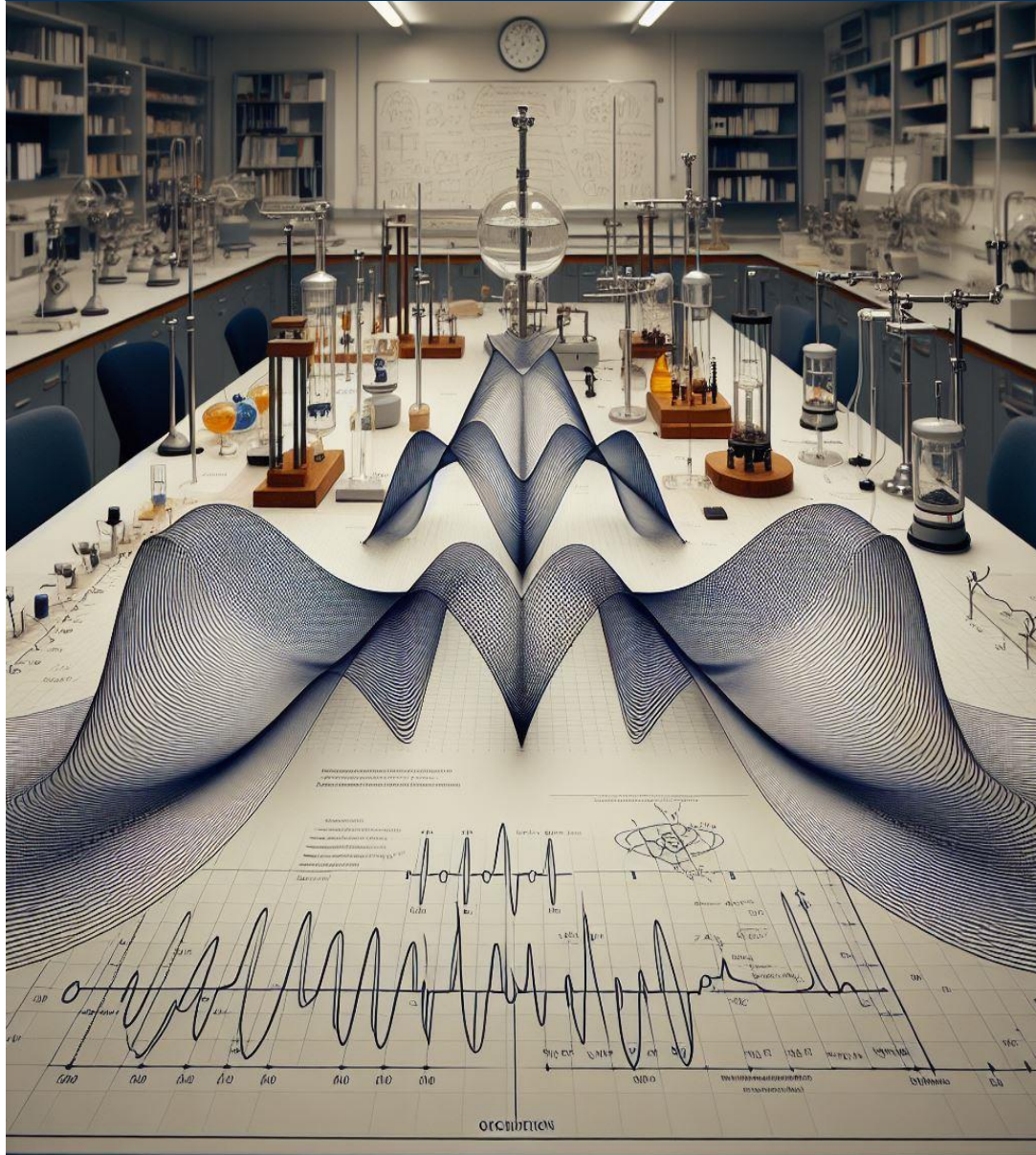




PORTADA

GUÍA DE LABORATORIO DE OSCILACIONES Y ONDAS



FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER Y PAMPLONA
2025

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	2 de 3

INDICE DE CONTENIDO	
Introducción	
Normas de seguridad	
	pág.
Practica 1: OSCILACIONES DEL SISTEMA MASA-RESORTE.	5
Practica 2: OSCILACIONES DEL PÉNDULO SIMPLE.	16
Practica 3: OSCILACIONES DEL PÉNDULO FÍSICO.	28
Practica 4: SUPERPOSICIÓN DE DOS MOVIMIENTOS ARMÓNICOS	37
SIMPLES (MAS).	
Practica 5: OSCILACIONES ELÉCTRICAS CIRCUITO RLC.	51
Practica 6: ONDAS SONORAS Y ANÁLISIS DE FOURIER.	68
Practica 7: ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA.	81
Practica 8: REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ.	90

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	3 de 3

INTRODUCCION

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 oscilaciones y ondas, él 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, él 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 el 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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	4 de 3

- 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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	5 de 3

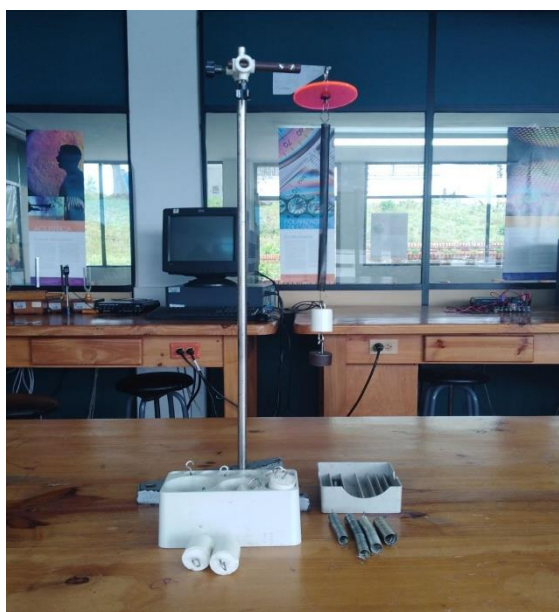
PRACTICA Nro. 1 OSCILACIONES DEL SISTEMA MASA-RESORTE

1 objetivos

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

2 materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Resortes con diferentes constantes elásticas	3	
Conjunto de masas cilíndricas	1	
Sistema para determinar constantes elásticas	1	
Cronometro	1	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	6 de 3

3 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

$$F = ma = m \frac{d^2y}{dt^2} = -ky \quad (1.1)$$

De donde se deduce la ecuación diferencial:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{k}{m}y = \omega^2y \quad (1.2)$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.3)$$



Ecuación diferencial que corresponde con la ecuación de un MAS.

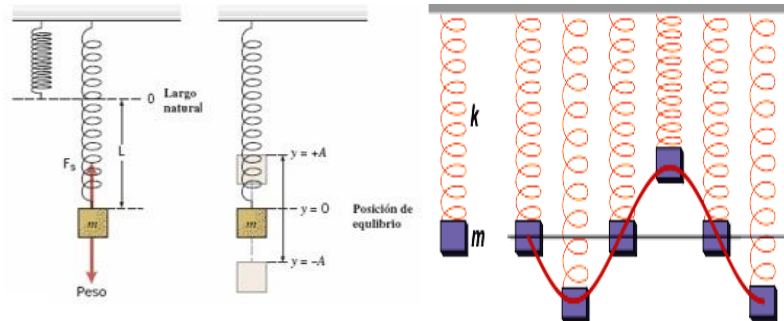


Figura 1. Sistema oscilante masa-resorte (izquierda), movimiento oscilatorio sistema masa resorte (derecha).

Cuestionario

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

1. Realice la deducción detallada de la ecuación diferencial del movimiento armónico simple del sistema masa-resorte; parta de la representación gráfica del problema, ubicando las variables físicas sobre dicho gráfico.
2. ¿Qué consideraciones se deben emplear en un sistema masa-resorte real, para que esté actué como un sistema que realiza oscilaciones armónicas simples?
3. ¿Por qué una fuerza directamente proporcional y en dirección opuesta al desplazamiento produce un MAS?
4. Construya las curvas de energía cinética y energía potencial como función del desplazamiento y del tiempo para la masa oscilante.
5. Enuncie la ley de Hooke y las características de un cuerpo elástico.
6. Consulte los conceptos de oscilación, frecuencia, frecuencia angular, periodo, elongación y amplitud. Ubique dichos conceptos en una gráfica de un movimiento armónico simple.
7. Desarrolle dos ejercicios utilizando la ley de Hooke donde se aplique el cálculo de la deformación de un resorte.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	8 de 3

4 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.

Las constantes de los tres resortes corresponden a k_1 , k_2 y k_3 registre dichos valores en las respectivas tablas.

(Nota: seleccione los mejores resortes de acuerdo con la teoría)

1. Realice el montaje del sistema masa-resorte para generar las oscilaciones, **Esquema1**. 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 " A_1 ", registre dicho valor en la tabla 1.
4. Estire la masa de la posición de equilibrio hasta el valor de la amplitud de oscilación; con el uso del cronometro 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 $m_1 [Kg] =$ $K_1 [N/m] =$ $A_1 [m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

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 $m_2 [Kg] =$ $K_1 [N/m] =$ $A_2 [m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 2.



Medición $m_3 [Kg] =$ $K_1 [N/m] =$ $A_3 [m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

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 cálculo la constante de elasticidad. Registre sus resultados en la **tabla 4 y 5**.

Medición $m_3 [Kg] =$ $K_2 [N/m] =$ $A_4 [m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 4.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	11 de 3

Medición m_3 [Kg] = K_3 [N/m] = A_5 [m] =	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{\text{prom}} \pm \delta t$	$T_{\text{prom}} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

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 utilizo 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 20% 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.



Medición $m [Kg] =$ $K [N/m] =$ $A_6 [m] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

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 $m [Kg] =$ $K [N/m] =$ $A_7 [m] =$	Tiempo de 40 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Promedio			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 7.



Análisis De Datos

1. Determine el periodo de oscilación del péndulo para cada dato usando la **ecuación 1.4** y registre sus resultados en la **tabla 1**.

$$T = \frac{\text{tiempo}}{\# \text{ de oscilaciones}} \quad (1.4)$$

2. Calcule el promedio del tiempo y el periodo, así como sus respectivas incertidumbres haciendo uso de la **ecuación 1.5** y registre dichos resultados en la **tabla 1**.

$$\delta x = \frac{\delta x_1 + \delta x_2}{2} \quad \text{donde:} \quad \begin{aligned} \delta x_1 &= \text{Dato mayor} - x_{prom} \\ \delta x_2 &= x_{prom} - \text{Dato menor} \end{aligned} \quad (1.5)$$

3. Calcule el periodo calculado a partir de la ecuación $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ y con dicho valor calcule el porcentaje de error haciendo uso de la ecuación:

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (1.6)$$

4. Repita el análisis anterior para los datos de la tabla 2, 3, 4, 5, 6 y 7.
5. Realice una gráfica del cuadrado del periodo vs masa oscilante " T^2 vs m ", para ello tome los periodos promedio y las masas de la **tabla 1**, **tabla 2** y **tabla 3**.
6. 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 Control

1. Con los valores promedio del periodo calculado y la información de las tablas 1 a la 5, obtenga las expresiones matemáticas de los MAS usando la **ecuación (1.7)** para cada una de las tablas.

$$X(t) = A \sin(\omega_o t + \phi) \quad (1.7)$$

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	14 de 3

2. ¿Qué concluye sobre la dependencia del periodo de oscilación del sistema con la masa del cuerpo oscilante y la constante elástica del resorte?
3. 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.
4. Enuncie específica y detalladamente 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.
5. 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.
6. Si el sistema masa resorte, se hubiera elongado con una inclinación lateral, es decir con un ángulo, se seguiría comportando con M.A.S, justifique su respuesta.

Conclusiones

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

6 bibliografías

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 9ª Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.
- Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5ª ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999. Guerrero, Alicia., Oscilaciones y Ondas. Colección nota de clase, Editorial Universidad Nacional de Colombia, (2005 primera edición, 2008 reimpresión).

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	15 de 3

- Crawford, Jr., Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).
- Hecht, E. and Zajac, A., Óptica. Editorial Addison-Wesley, tercera edición, (2000).

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	16 de 3

PRACTICA Nro. 2 OSCILACIONES DEL PÉNDULO SIMPLE

1 objetivos

- Comprender el origen físico de la ecuación diferencial del oscilador armónico simple.
- 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).
- Determinar la dependencia del periodo de oscilación del péndulo simple con los parámetros físicos del sistema.
- Determinar el valor de la gravedad en el laboratorio, utilizando las mediciones del periodo de oscilación de un péndulo simple.

2 materiales

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



Esquema 1. Montaje de laboratorio

3 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.

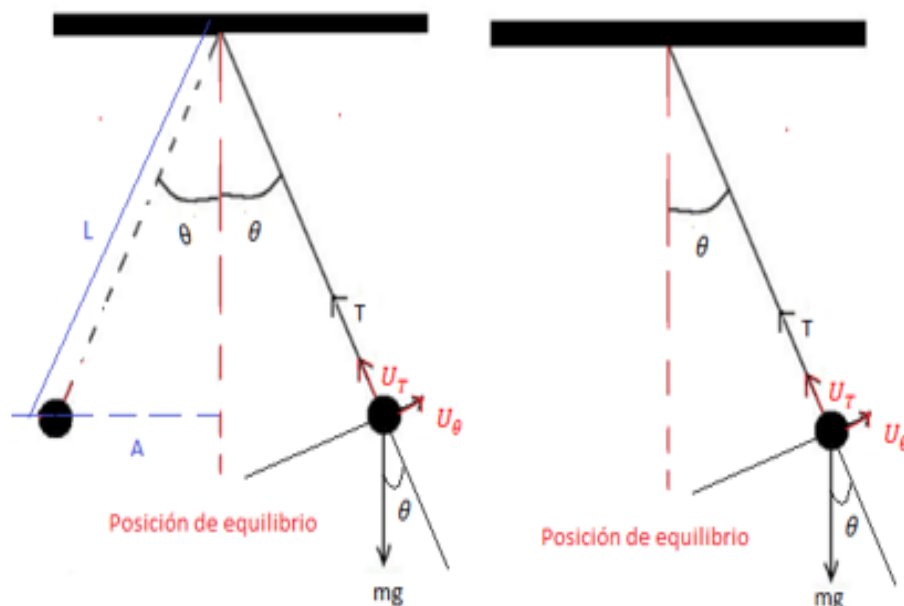


Figura 1. Representación de las variables involucradas en el movimiento del péndulo simple

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	18 de 3

ECUACIÓN DEL MOVIMIENTO

Aplicamos la segunda ley de Newton a la masa oscilante

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \vec{g} + \vec{T} \quad (2.1)$$

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

$$F_r = ma_r \quad (2.2)$$

$$m \left(\frac{d^2 l}{dt^2} \right) = T - mg \cos \theta = 0 \quad (2.3)$$

$$F_\theta = ma_\theta \quad (2.4)$$

$$ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -mg \sin \theta \quad (2.5)$$

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:

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \approx \theta \quad (2.6)$$

De donde la ecuación en el eje $\hat{u}_\theta$ toma la forma

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{l} \theta \quad (2.7)$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \omega_0^2 \theta = 0, \quad \omega_0^2 = \frac{g}{l}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2.8)$$

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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	19 de 3

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:

$$\theta(t) = A \sin(\omega_0 t + \phi) \quad (2.9)$$

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 senoide:

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, proceso matemático 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.

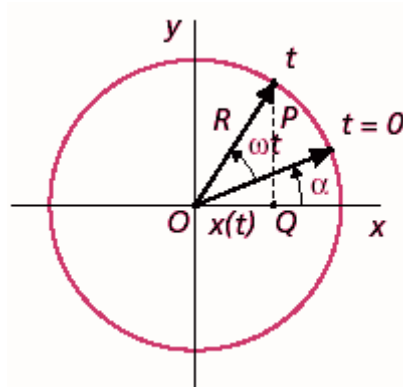


Figura 2. Partícula en movimiento circular uniforme

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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	21 de 3

Cuestionario

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

1. Realice la deducción detallada de la ecuación diferencial del movimiento armónico simple de un péndulo simple; parta de la representación gráfica del problema, ubicando las variables físicas sobre dicho gráfico.
2. ¿Hasta qué ángulo se considera apropiada la aproximación de pequeñas oscilaciones en el péndulo 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?
4. ¿Qué consideraciones son necesarias para estudiar un péndulo simple real, para que esté actúe como un sistema que realiza oscilaciones armónicas simples? Enúncielas detalladamente.
5. Consulte los conceptos de oscilación, frecuencia, frecuencia angular, periodo, elongación y amplitud. Ubique los conceptos antes consultados en una gráfica de un movimiento armónico simple.
6. ¿Qué es un péndulo compuesto y cuáles son sus características?

4 procedimiento

PRIMERA PARTE:

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

1. Para una longitud de la cuerda (**entre 100 cm y 110 cm**) y una masa oscilante (**esfera de negra**), saque el péndulo del equilibrio un ángulo " θ_0 " que satisfaga la condición de linealidad del péndulo simple (**entre 0° y 10°**) 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] = θ_0 = m_1 [Kg] =	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 1.

4. Repita los pasos 1 al 3 pero ahora utilizando una longitud de la cuerda distinta (entre 110 cm y 120 cm) la cual llamaremos " L_2 ", registre en la **tabla 2**.

Medición L_2 [m] = θ_0 = m_1 [Kg] =	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 2.

5. Repita los pasos 1 al 3 pero ahora utilizando una longitud de la cuerda distinta (entre 120 cm y 130 cm) la cual llamaremos " L_3 ", registre en la **tabla 3**.

Medición $L_3 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 3.

6. Repita los pasos 1 al 3 pero ahora utilizando una longitud de la cuerda distinta (entre 130 cm y 140 cm) la cual llamaremos “L₄”, registre en la **tabla 4**.

Medición $L_4 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 4.

7. Repita los pasos 1 al 3 pero ahora utilizando una longitud de la cuerda distinta (entre 140 cm y 150 cm) la cual llamaremos “L₅”, registre en la **tabla 5**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	24 de 3

Medición $L_5 [m] =$ $\theta_0 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 5.

SEGUNDA PARTE: Restricciones para considerar el movimiento del péndulo simple un MAS

Para la masa y longitud utilizada en el paso 7 de la primera parte:

1. Saque la masa de su posición de equilibrio en un ángulo de $\theta_1 = 60^\circ$.
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**.

Medición $L_5 [m] =$ $\theta_1 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 5 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 6.

5. Saque la masa de su posición de equilibrio en un ángulo de $\theta_2 = 5^\circ$.
6. Tome la medición del tiempo que tarda el péndulo en realizar **40 oscilaciones completas**.
7. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces, registre estos datos en la **tabla 7**.

Medición $L_5 [m] =$ $\theta_2 =$ $m_1 [Kg] =$	Tiempo de 40 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 7.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	26 de 3

Análisis De Datos

1. Determine el periodo de oscilación del péndulo para cada dato usando la **ecuación 1.4** y registre sus resultados en la **tabla 1**.

$$T = \frac{\text{tiempo}}{\# \text{ de oscilaciones}} \quad (2.10)$$

2. Calcule el promedio del tiempo y el periodo, así como sus respectivas incertidumbres haciendo uso de la **ecuación 1.5** y registre dichos resultados en la **tabla 1**.

$$\delta x = \frac{\delta x_1 + \delta x_2}{2} \quad \text{donde:} \quad \begin{aligned} \delta x_1 &= \text{Dato mayor} - x_{prom} \\ \delta x_2 &= x_{prom} - \text{Dato menor} \end{aligned} \quad (2.11)$$

3. Calcule el periodo calculado a partir de la ecuación $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ y con dicho valor calcule el porcentaje de error haciendo uso de la ecuación:

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (2.12)$$

4. Repita el análisis anterior para los datos de la tabla 2, 3, 4, 5, 6 y 7.
5. Realice una gráfica del cuadrado del periodo vs. longitud de la cuerda " T^2 vs l ", para ello tome los periodos promedio y las longitudes de la **tabla 1**, **tabla 2**, **tabla 3**, **tabla 4** y **tabla 5**. Sobre la gráfica ubique la recta de regresión lineal junto con su ecuación.

5 cuestionario

Preguntas De Control

1. Realice tres mediciones adicionales del periodo, para dos masas distintas, para ello utilice el ángulo " θ_0 " y la longitud " L_1 ", registre sus resultados en esta pregunta y responda lo siguiente: ¿Qué concluye sobre la dependencia del periodo de oscilación del péndulo con la masa del cuerpo oscilante y la longitud de la cuerda? *Justifique vasado en sus resultados.*
2. 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 (2.9).

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	27 de 3

3. Utilizando la información de la regresión lineal, determine el valor de la aceleración de la gravedad (g) en el laboratorio, para ello compare la ecuación de la recta con la fórmula del periodo calculado. Y calcule el porcentaje de error haciendo uso de la ecuación (2.12). *Justifique sus resultados.*
4. 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.
5. Enuncie las fuentes de error que estuvieron presentes en el montaje del péndulo simple del laboratorio de forma precisa y detallada y como desde una perspectiva física e ingenieril las disminuiría o eliminaría totalmente cada una de ellas.
6. Si se utilizara una cuerda de mayor valor de masa que la masa colgante (esfera), se podría seguir considerando el sistema un péndulo simple y con M.A.S, justifique su respuesta.

Conclusiones

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

6 bibliografías

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 9ª Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.
- Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	28 de 3

PRACTICA Nro. 3 OSCILACIONES DEL PÉNDULO FÍSICO

1 objetivos

- Comprender los principios físicos detrás del péndulo compuesto, incluyendo la relación entre el periodo de oscilación y la longitud del péndulo y la masa del objeto.
- Estudiar la influencia de las diferentes variables en el comportamiento del péndulo compuesto, como la masa y la longitud de los objetos, y la posición del centro de masa.
- Aprender a medir el periodo de oscilación del péndulo compuesto utilizando un cronómetro y una herramienta de medición.
- Desarrollar habilidades prácticas, como la capacidad de trabajar en equipo y de manejar equipos de medición de forma segura y efectiva.

2 materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Soporte	1	
transportador	1	
Cinta métrica	1	
Disco de madera	1	
Cronometro	1	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

3 Marco Teórico

PÉNDULO FÍSICO

El péndulo compuesto es un sistema físico que consta de un objeto suspendido de un eje que puede oscilar libremente. En este caso, el objeto está compuesto por un disco perforado con agujeros ubicados a diferentes distancias medidas desde el centro de masa, suspendido de un punto en la circunferencia. El objetivo de la práctica es medir el periodo de oscilación del péndulo compuesto y compararlo con el periodo teórico calculado.

Para calcular el periodo de oscilación de un péndulo compuesto con un disco perforado, se deben tener en cuenta la masa y la distribución de masa del disco, así como la posición del punto de suspensión. Una posible fórmula para el periodo de oscilación de un péndulo compuesto con un disco perforado sería:

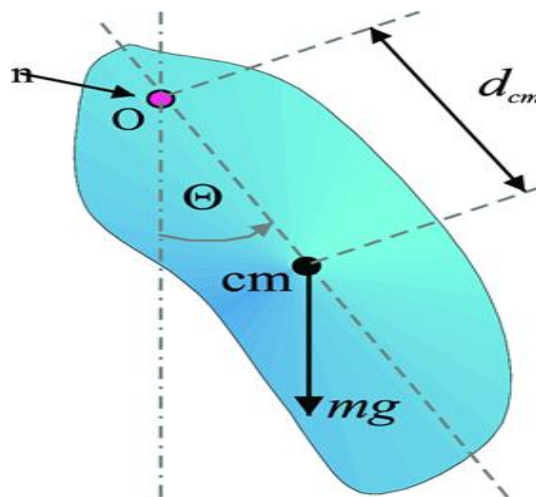


Figura 1. Representación de las variables involucradas en el movimiento del péndulo Físico.

$$\Sigma \tau = I \alpha \quad (3.1)$$

$$mgd \sin \theta = I \frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} \quad (3.2)$$

$$mgd \theta = I \frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} \quad (3.3)$$

$$\frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} - \frac{mgd}{I} \theta = 0 \quad (3.4)$$

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	30 de 3

Obteniendo al solucionar esta ecuación diferencial de pequeñas oscilaciones:

$$\omega^2 = \frac{mgd}{I} \quad (3.5)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}} \quad (3.6)$$

Donde T es el periodo de oscilación, m es la masa del disco, d es la distancia desde el punto de suspensión hasta el centro del disco, g es la aceleración debido a la gravedad y I es el momento de inercia del disco perforado, para el cual usaremos el teorema de Steiner.

$$I = I_{cm} + md^2 \quad (3.7)$$

Para medir el periodo experimental del péndulo compuesto con un disco perforado, se debe medir la longitud desde el punto de suspensión hasta el centro del disco. Luego, se debe registrar el tiempo de oscilación del péndulo para ángulos pequeños ($\theta < 15^\circ$) después de liberarlo desde una posición inicial.

Para reducir el error experimental, se deben realizar varias mediciones y calcular el promedio del periodo de oscilación.

Cuestionario

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

- 1] Realice la deducción detallada de la ecuación diferencial del movimiento armónico simple de un péndulo Compuesto; parta de la representación gráfica del problema, ubicando las variables físicas sobre dicho gráfico.
- 2] Definir los conceptos de Inercia rotacional, centro de masa, frecuencia, aceleración angular, velocidad angular, frecuencia angular y periodo. Para cada concepto consultar su respectivas formulas.
- 3] Consultar el valor de inercia rotacional con sus respectivas gráficas para los siguientes cuerpos: esfera, cilindro, disco, placa rectangular, barra.
- 4] Examinar en que consiste el teorema de Steiner (definición, formula y realizar un ejercicio).
- 5] Indagué acerca de tres aplicaciones directas del péndulo compuesto es sus carreras y descríbalas.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	31 de 3

- 6] Investigar el péndulo de Foucault, el péndulo de Pohl, el péndulo de torsión y el péndulo doble.

4 procedimiento

En el montaje experimental de las oscilaciones del péndulo compuesto (o Físico), se usa un **disco de madera** uniforme con cinco orificios, lo cual permite modificar la distancia del centro de masas al punto de giro. Así el procedimiento para la toma de datos es la siguiente:

8. La masa del disco de madera es de **2 kilos y 8.2 gramos**, registre este valor como "**m**" en las **tablas 1, 2, 3, 4 y 5**.
9. Retire el disco de la varilla horizontal e insértelo en el primer orificio más cercano al centro del disco, de tal manera que no golpee con ninguna parte del montaje (oscile libremente), puede subir o bajar la varilla horizontal para lograr una altura adecuada.
10. Mida la distancia entre el centro del pivote y el centro del disco cuando el péndulo físico está en posición equilibrio, registre la distancia medida como "**d₁**" en la **tabla 1**.
11. Saque el sistema (péndulo) de la posición de equilibrio un ángulo "**θ₀**" que satisfaga la condición de pequeñas oscilaciones (entre **5°** y **15°**) y regístrelo en la **tabla 1**.
12. Proceda a dejar caer libremente el péndulo y tome la medición del tiempo que tarda el péndulo en realizar **2 oscilaciones completas**, registre este valor de tiempo en la **tabla 1** como medición 1.
13. Repita la medición anterior por lo menos cinco veces para el mismo ángulo inicial, registre en la **tabla 1**.

Medición $d_1 [m] =$ $\theta_0 =$ $m [Kg] =$	Tiempo de 2 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 1. Datos del experimento (d_1)



14. Repita los pasos 2 al 6 para cambiando la distancia “**d**”, es decir, insertando el disco en los otros orificios aumentando la distancia al centro del disco por cada tabla y registre los datos obtenidos en la **tabla 2, 3, 4 y 5**.

Medición d_2 [m] = θ_0 = m [Kg] =	Tiempo de 2 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 2. Datos del experimento (**d_2**)

Medición d_3 [m] = θ_0 = m [Kg] =	Tiempo de 2 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 3. Datos del experimento (**d_3**)

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	33 de 3

Medición $d_4 [m] =$ $\theta_0 =$ $m [Kg] =$	Tiempo de 2 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 4. Datos del experimento (d_4)

Medición $d_5 [m] =$ $\theta_0 =$ $m [Kg] =$	Tiempo de 2 oscilaciones [s]	Periodo [s]		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.			$t_{prom} \pm \delta t$	$T_{prom} \pm \delta T$
Promedio				
Periodo Calculado [s] =			% Error =	

Tabla 5. Datos del experimento (d_5)

Análisis De Datos

6. Determine el periodo de oscilación del péndulo para cada dato usando la **ecuación 1.4** y registre sus resultados en la **tabla 1**.

$$T = \frac{\text{tiempo}}{\# \text{ de oscilaciones}} \quad (3.8)$$

7. Calcule el promedio del tiempo y el periodo, así como sus respectivas incertidumbres haciendo uso de la **ecuación 1.5** y registre dichos resultados en la **tabla 1**.

$$\delta x = \frac{\delta x_1 + \delta x_2}{2} \quad \text{donde:} \quad \begin{aligned} \delta x_1 &= \text{Dato mayor} - x_{prom} \\ \delta x_2 &= x_{prom} - \text{Dato menor} \end{aligned} \quad (3.9)$$

8. Calcule el periodo calculado a partir de la ecuación (3.6) y (3.7), y anótelo en la **tabla1**.

9. Calcule el porcentaje de error del periodo de oscilación con la siguiente formula:

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (3.10)$$

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

11. Llene la **tabla 6**, usando los resultados de las **tablas 1, 2, 3, 4 y 5**.

Distancia (d[m])	Periodo T[s]	d ² [m ²]	T ² d [ms ²]
d ₁ =	T ₁ =		
d ₂ =	T ₂ =		
d ₃ =	T ₃ =		
d ₄ =	T ₄ =		
d ₅ =	T ₅ =		

Tabla 6. Parámetros calculados de la **Tabla 1, 2, 3, 4 y 5**.

12. Realice una gráfica del cuadrado del periodo al cuadrado por la distancia vs. Distancia al cuadrado, "**T²d vs d²**", utilice la información de la **tabla 6**. Sobre la gráfica ubique la recta de regresión lineal junto con su ecuación.

13. La ecuación del periodo puede ser reescrita como:

$$T^2 d = \left(\frac{4\pi^2}{g} \right) d^2 + \left(4\pi^2 \frac{I_{cm}}{mg} \right) \quad (3.11)$$

En la anterior ecuación, si $y = T^2 d$ y $x = d^2$, entonces la ecuación es una recta de la forma: $y = px + q$, donde p es la pendiente y q es el punto de corte en el eje y (termino independiente).

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	35 de 3

5 cuestionario

Preguntas De Control

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

$$\theta(t) = A \sin(\omega_0 t + \phi) \quad (3.12)$$

8. Utilizando la información de la regresión lineal (*ecuación de la recta*), determine el valor de la aceleración de la gravedad (g) en el laboratorio comparando la ecuación de la recta con la fórmula del periodo al cuadrado por la distancia **ecuación (3.11)**. Y calcule el porcentaje de error haciendo uso de la **ecuación (3.10)**. *Justifique sus resultados*
9. Con el valor del término independiente “q”, calcule un porcentaje de error con respecto al valor teórico de la I_{cm} que consulto en el cuestionario. *Justifique sus resultados.*
10. ¿Cómo es la variación del periodo de oscilación a medida que el punto de suspensión se acerca al centro de masa del sistema? ¿Aumenta o disminuye? *Justifique realizando los cálculos de la inercia en cada caso.*
11. Enuncie las fuentes de error, que estuvieron presentes en el montaje del péndulo compuesto del laboratorio de forma precisa y detallada.
12. ¿Qué estrategias implementaría desde una perspectiva física e ingenieril para disminuir o eliminar totalmente los errores del montaje de laboratorio? *Responda de forma muy específica y detallada.*

Conclusiones

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

6 bibliografías

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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	36 de 3

- **Sears, F., Zemansky., Young G. y Freedman, R. Física Universitaria, vol. I 9ª Ed. Addison-Weslet Longman, México, 1999.**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5ª ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**
- **Crawford, Jr., Ondas, Berkeley Physics Course. Editorial Reverte, (1977).**
- **Giancoli, Douglas c. física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**

Revisado por: Físico Pedro David Leal Pérez

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	37 de 3

PRACTICA Nro. 4 SUPERPOSSUPERPOSICIÓN DE DOS MOVIMIENTOS ARMÓNICOS SIMPLES (MAS)

1 objetivos

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

2 materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Generador de señales con frecuencia y amplitud variable	2	
Osciloscopio	1	
Hojas de papel milimetrado	3	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio



3 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:

$$x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t), \quad (4.1)$$

$$x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t), \quad (4.2)$$

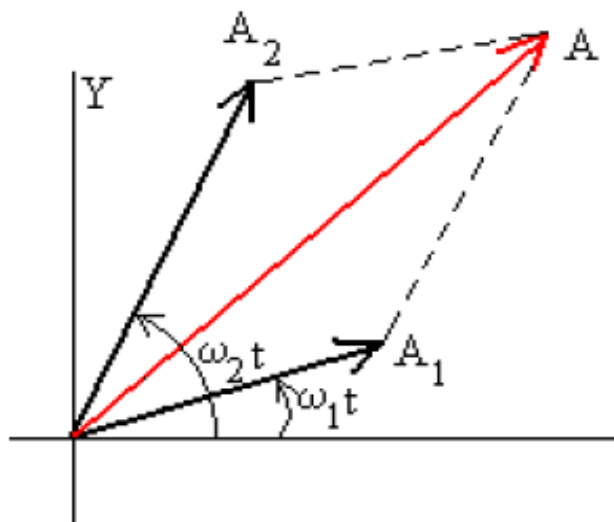


Figura 1. Representación con fasores de dos M.A.S y su superposición.



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:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t} \quad (4.3)$$

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:

$$X = X_1 + X_2 = A_1 \sin(\omega_1 t) + A_1 \sin(\omega_2 t) \quad (4.4)$$

$$X = 2A_1 \cos \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t \cdot \sin \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t \quad (4.5)$$

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.

$$A(t) = 2A_1 \cos \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t. \quad (4.6)$$

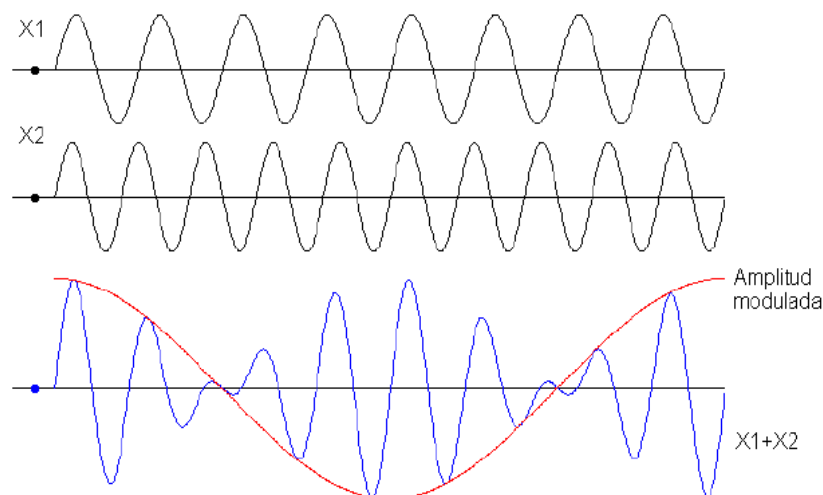


Figura 2. Superposición de dos M.A.S en direcciones paralelas.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	40 de 3

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 Bowditch, son las gráficas del sistema de ecuaciones paramétricas que describen el movimiento armónico complejo:

$$x = a \sin(\omega_1 t + \delta), \quad (4.7)$$

$$y = b \sin(\omega_2) \quad (4.8)$$

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 ($a = b, \delta = \frac{\pi}{2} \text{ radianes}$) 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.

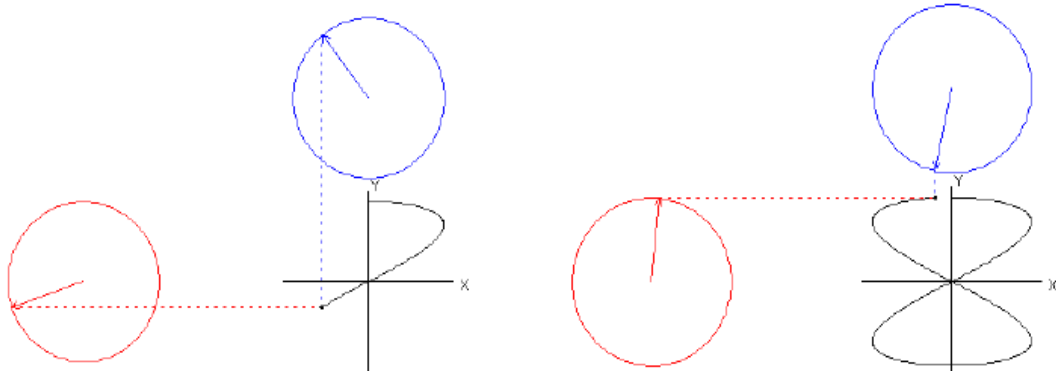


Figura 3. Frecuencia angular en x es 2 veces la frecuencia en y, desfase entre las oscilaciones es de 90°

Cuestionario

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. Describa de forma detallada tres aplicaciones del osciloscopio en su carrera de ingeniería o en alguna aplicación en la industria.
3. ¿Qué es voltaje pico-pico, periodo y frecuencia de una señal y graficarlas?
4. ¿Qué es un armonógrafo y para qué se utiliza?
5. Realice la tabla de las figuras de Lissajous.
6. ¿Para qué se utilizan las figuras de Lissajous?, ¿En qué logos se han utilizado las figuras de Lissajous?
7. ¿Qué es modulación y tipos de modulación (*describalas*)?

4 procedimiento

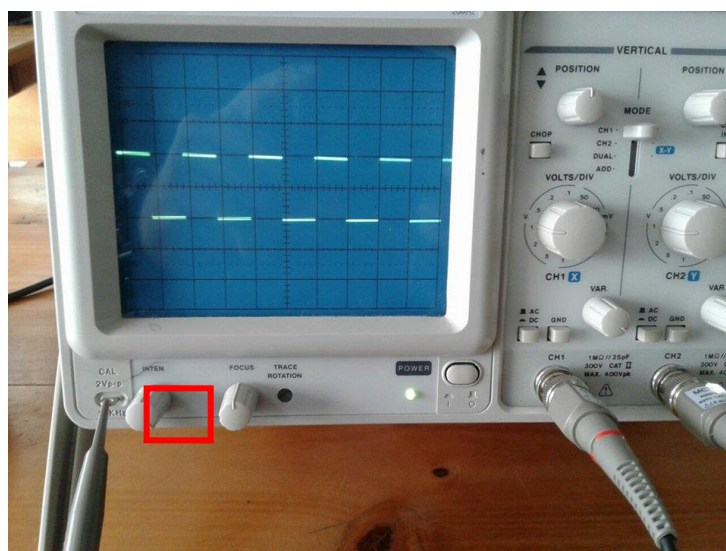
Primera parte: Calibración del osciloscopio

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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	42 de 3

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 multiplíquelos por la escala seleccionada, su resultado debe ser igual a 2 Voltios, es decir, se cumple la siguiente relación:

$$\text{Amplitud p-p} = \# \text{cuadros} * \text{escala de voltaje.}$$



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

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	43 de 3

- 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.
- 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**).
- 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 multiplíquelos por la escala temporal seleccionada, es decir se cumple la siguiente relación:

$$\text{Periodo} = \# \text{cuadros horizontales} * \text{escala de tiempo}$$

Nota: tenga cuidado si la escala esta en milisegundos o microsegundos



Montaje 2: tablero de comandos del osciloscopio analógico.

- 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 el inicio de la onda coincida con uno de los cuadros o una posición que usted considere pertinente observe el montaje 1.
- Calcule la frecuencia de la onda cuadrada usando la fórmula:

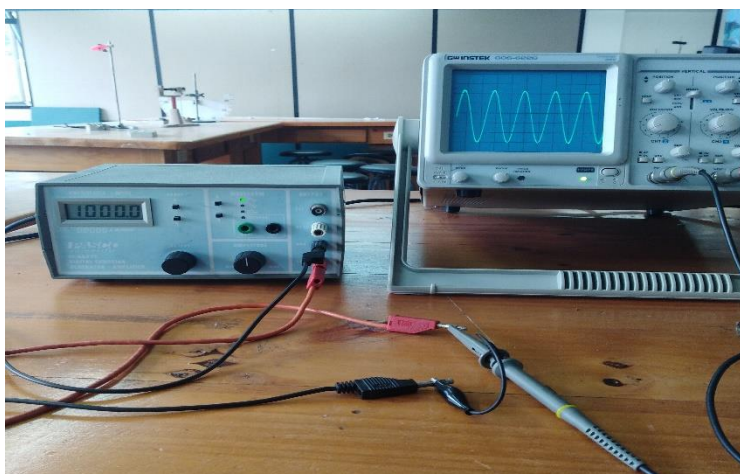
	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	44 de 3

frecuencia = $1/\text{periodo}$, 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 1000Hz** y registre este valor de frecuencia en la **tabla 1** en su celda correspondiente.
2. A continuación la perilla **AMPLITUDE** ubíquela en nivel medio, como se muestra en el **montaje 3**.
3. Ubique el botón **MODE** en el canal 1 “**CH1**”, para observar la señal sinusoidal producida por el generador de señales.
4. Utilice las escalas que mejor le permitan visualizar la señal sinusoidal y proceda a calcular la **amplitud** de la misma forma en que se hizo en la primera parte del laboratorio, registre su resultado en la celda correspondiente de la **tabla 1**.



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

5. Según sea la metodología utilizada por su docente para el informe de laboratorio, realice lo que indique la opción que le corresponda:

a) informe virtual: tome una fotografía de la pantalla del osciloscopio donde se observe la señal sinusoidal y utilizando algún editor señale sobre esta de donde a donde se midió el **periodo y la amplitud**, colocando los respectivos valores obtenidos con sus unidades.

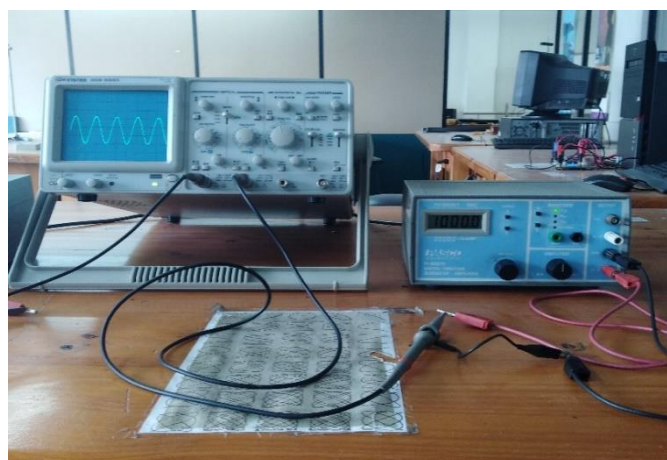
b) informe a mano: grafique la señal sinusoidal observada en el osciloscopio, colocando el eje temporal y el de amplitud, ubique sobre su grafica de donde a donde se midió el **periodo y la amplitud**, con los respectivos valores obtenidos y sus unidades.

Nota: anexe la imagen en la sección correspondiente del informe de laboratorio

Figuras de Lissajous. Casos ω_1/ω_2	Amplitud		Frecuencia		Desfase	Curva cerrada o abierta
	CH1	CH2	CH1	CH2		
1:1						
1:2						
1:3						
2:3						
3:4						
4:5						
5:6						

Tabla 1. Figuras de Lissajous

- 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 registre este valor de frecuencia en la **tabla 1** en su celda correspondiente.
- La perilla **AMPLITUDE** ubíquela en nivel medio, como se muestra en el **montaje 4**.
- Ubique el botón **MODE** en el canal 2 "**CH2**", para observar la señal sinusoidal producida por el generador de señales. Utilice las escalas que mejor le permitan visualizar la señal sinusoidal y proceda a calcular la **amplitud** de la misma forma en que se hizo en la primera parte del laboratorio, registre su resultado en la celda.



correspondiente de la **tabla 1**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	46 de 3

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

9. Oprima el botón **x-y**, el cual se encuentra debajo de la perilla **HORIZONTAL POSITION**, observara como se generan las figuras de Lissajous, 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.

10. Según sea la metodología utilizada por su docente para el informe de laboratorio, realice lo que indique la opción que le corresponda:

a) informe virtual: tome una fotografía de la pantalla del osciloscopio donde se observe la figura de Lissajous, compare la fotografía tomada con las imágenes de la tabla consultada en la pregunta 5 del cuestionario, la figura obtenida en el osciloscopio tendrá el desfase de la tabla de figuras de Lissajous, anote dicho desfase en la **tabla 1**.

b) informe a mano: tome una fotografía de la pantalla del osciloscopio donde se observe la figura de Lissajous y **proceda a graficarla**, compare la fotografía tomada con las imágenes de la tabla consultada en la pregunta 5 del cuestionario, la figura obtenida en el osciloscopio tendrá el desfase de la tabla de figuras de Lissajous, anote dicho desfase en la tabla 1.

Nota: anexe la imagen en la sección correspondiente del informe de laboratorio
Nota: si la imagen en el osciloscopio NO coincide, espere un poco y tómela foto cuando aparezca una que coincida, esto debido a que irán apareciendo lentamente todas las figuras de Lissajous, de la relación de frecuencias que estén estudiando.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	47 de 3

- 11.** Escoja con la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo una frecuencia de 1000.1 Hz y observe en la pantalla del osciloscopio como se obtienen todas las figuras de Lissajous cuando la relación de frecuencias es $\omega_1 : \omega_2$ es **1:1**, es decir, se comenzaran a mover debido al desfase dinámico del montaje.

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

1. Gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo hasta que obtenga una frecuencia de 2000Hz. Observara como se generan las figuras de Lissajous en movimiento, para una relación de frecuencias $\omega_1 : \omega_2$ igual a **1:2**.
2. Según sea la metodología utilizada por su docente para el informe de laboratorio, realice lo que indique la opción que le corresponda:

a) informe virtual: tome una fotografía de la pantalla del osciloscopio donde se observe la figura de Lissajous, compare la fotografía tomada con las imágenes de la tabla consultada en la pregunta 5 del cuestionario, la figura obtenida en el osciloscopio tendrá el desfase de la tabla de figuras de Lissajous, anote dicho desfase en la tabla 1.

b) informe a mano: tome una fotografía de la pantalla del osciloscopio donde se observe la figura de Lissajous y proceda a graficarla, compare la fotografía tomada con las imágenes de la tabla consultada en la pregunta 5 del cuestionario, la figura obtenida en el osciloscopio tendrá el desfase de la tabla de figuras de Lissajous, anote dicho desfase en la tabla 1.

Nota: anexe la imagen en la sección correspondiente del informe de laboratorio
Nota: si la imagen en el osciloscopio NO coincide, espere un poco y tómela foto cuando aparezca una que coincida, esto debido a que irán apareciendo lentamente todas las figuras de Lissajous, de la relación de frecuencias que estén estudiando.

3. Escoja con la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo una frecuencia de 2000.1 Hz y observe en la pantalla del osciloscopio como se obtienen todas las figuras de Lissajous cuando la relación de frecuencias es $\omega_1 : \omega_2$ es **1:2**.
4. Repita el procedimiento anterior incluido las gráficas, pero ahora escoja una frecuencia de 3000Hz, para obtener la relación de frecuencias $\omega_1 : \omega_2$ igual a **1:3**.
5. Escoja con la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo una frecuencia de 3000.1 Hz y observe en la pantalla del osciloscopio como se obtienen todas las figuras de Lissajous cuando la relación de frecuencias es $\omega_1 : \omega_2$ es **1:3**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	48 de 3

6. Realice el paso dos, para esta nueva relación de frecuencias.
7. Gire la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo hasta que obtenga una frecuencia de 3000Hz, 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**.
8. Realice el paso dos, para esta nueva relación de frecuencias.
9. Escoja con la perilla **ADJUST** del generador de señales del lado izquierdo una frecuencia de 3000.1 Hz y observe en la pantalla del osciloscopio como se obtienen todas las figuras de Lissajous cuando la relación de frecuencias es $\omega_1 : \omega_2$ es **2:3**.

Cuarta parte: Modulaciones y pulsaciones.

1. 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.
2. 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 2**.
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 2**.
8. Según sea la metodología utilizada por su docente para el informe de laboratorio, realice lo que indique la opción que le corresponda:

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	49 de 3

a) informe virtual: tome una fotografía de la pantalla del osciloscopio donde se observe la señal del pulso y utilizando algún editor grafique la señal modulada y de donde a donde se midió el **periodo** y la **amplitud**, colocando los respectivos valores obtenidos con sus unidades.

b) informe a mano: Realice una gráfica de la señal del pulso observada en la pantalla del osciloscopio y grafique la señal modulada ubicando el **periodo** y la **amplitud**, colocando los respectivos valores obtenidos con sus unidades.

Frecuencia canal 1:		Frecuencia canal 2:	
Señal modulada Del Pulso	Amplitud pico-pico [V]	Periodo [s]	Frecuencia [Hz]

Tabla 2. Pulso

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. Repita todo el procedimiento de la “cuarta parte: Modulaciones y Pulsaciones” pero en este caso de acuerdo con su criterio escojan una frecuencia diferente para cada generador de señales. *Nota Aclaratoria: debe aparecer otra tabla similar a la tabla dos, pero utilizando las nuevas frecuencias, además debe aparecer en el informe la nueva grafica obtenida.*

5 cuestionario

Preguntas De Control

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?

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	50 de 3

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

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

6 bibliografías

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 9ª Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	51 de 3

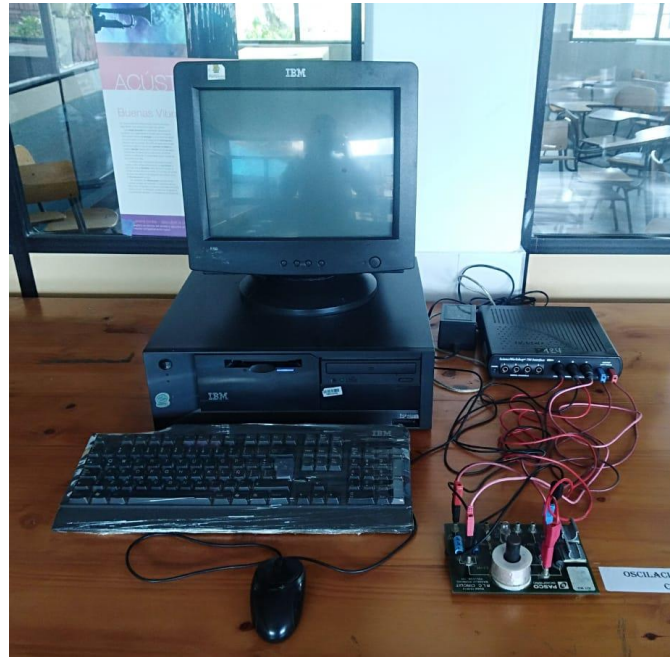
PRACTICA Nro. 5 OSCILACIONES ELÉCTRICAS CIRCUITO RLC

1 objetivos

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

2 materiales

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	2	Traerlas el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

3 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.

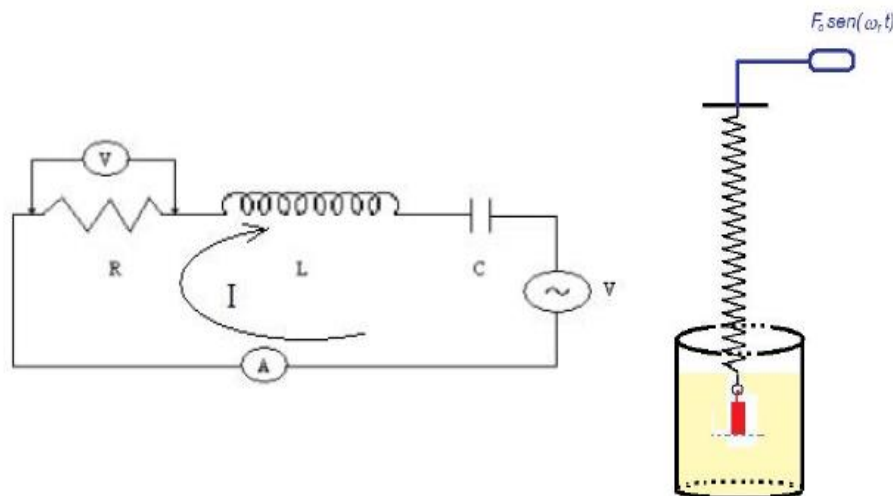


Figura 1. Circuito RLC en serie con una fuente de voltaje y su equivalente mecánico.

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 pérdidas 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 $-q$ en las placas del capacitor C tales que:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (5.1)$$

Estas cargas producen una fuerza electromotriz

$$V_c = q/C \quad (5.2)$$

En la inductancia se genera otra fuerza electromotriz

$$V_L = -L \frac{dI}{dt} \quad (5.3)$$

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:



$$IR = -\frac{q}{C} - L \frac{dI}{dt} \quad (5.4)$$

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:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} - \frac{I}{C} = 0 \quad (5.5)$$

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

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \lambda \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (5.6)$$

De donde se establecen las siguientes correspondencias:

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

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.

$$I = I_0 e^{-\gamma t} \sin(\omega t + \alpha), \quad (5.7)$$

Donde

$$\gamma = \frac{R}{2L}, \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (5.8)$$

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

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (5.9)$$

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	55 de 3

O su equivalente en el caso mecánico del oscilador no amortiguado

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.10)$$

OSCILACIONES FORZADAS

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

$$V_0 \sin \omega_f t, \quad (5.11)$$

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

$$F_0 \sin \omega_f t. \quad (5.12)$$

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

$$IR + \frac{Q}{C} + L \frac{dI}{dt} = V_0 \sin \omega_f t, \quad (5.13)$$

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.

$$I = I_0 \sin(\omega_f t - \alpha), \quad (5.14)$$

donde la amplitud de la corriente se obtiene como

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (\omega_f L - \frac{1}{\omega_f C})^2}} \quad (5.15)$$

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

$$\tan \alpha = \frac{\omega_f L - \frac{1}{\omega_f C}}{R} \quad (5.16)$$



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 capacitiva, 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.

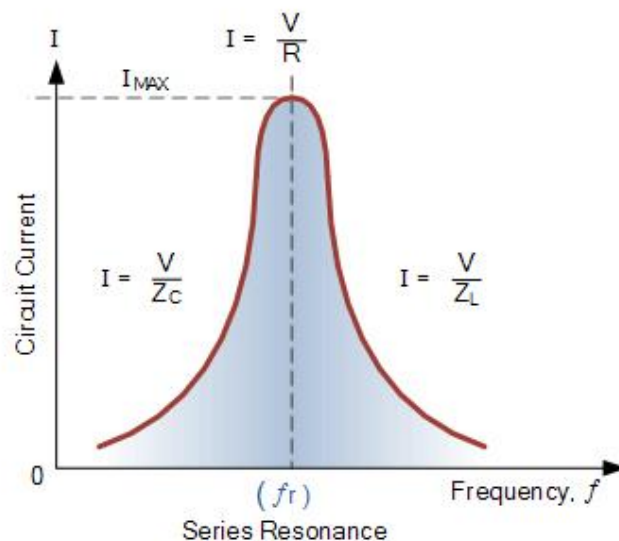


Figura 2. Frecuencia de resonancia

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	57 de 3

Cuestionario

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 cómo 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. Enuncie cinco ejemplos para cada uno de los siguientes casos: oscilaciones con amortiguamiento crítico, oscilaciones con sobre-amortiguamiento y oscilaciones sub-amortiguadas.
5. Describa otros siete fenómenos físicos donde sea aplicable el concepto de resonancia.
6. ¿Para una fuente de voltaje alterno, cuál es la diferencia entre voltaje pico-pico, voltaje rmc y voltaje promedio, realice las respectivas graficas?
7. ¿Qué es un material ferromagnético, paramagnético, diamagnético y de ejemplos de materiales con estas características?
8. ¿Consultar qué es un movimiento armónico simple, características y comportamiento grafico?
9. ¿Investigar detalladamente que es un movimiento oscilatorio forzado?

4 procedimiento:

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

En esta sección el estudiante encontrará 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 $10\ \Omega$ y el polo positivo al condensador de valor $330\ \mu\text{F}$ (**ver montaje 1**).

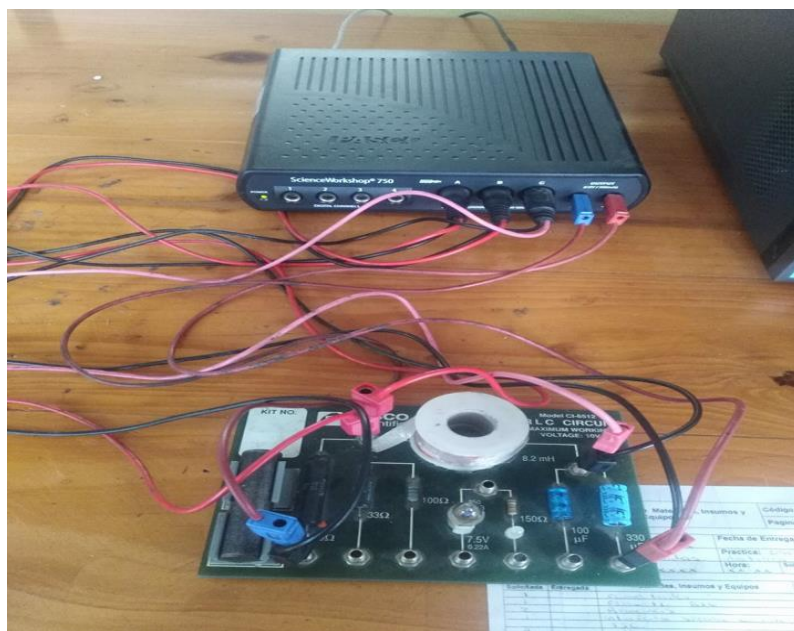
	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	58 de 3

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 ($10\ \Omega$).

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

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



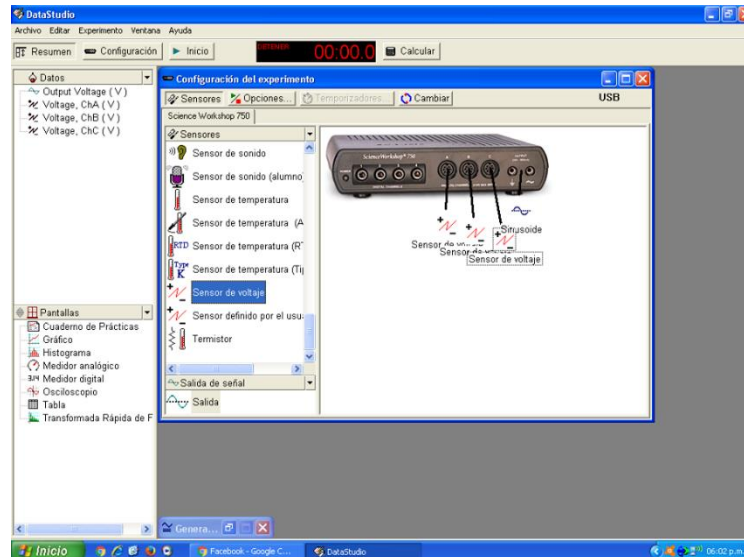
Montaje 1. Conexiones interface Science Workshop 750, con el circuito RLC Model CI-6512

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 icono 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.

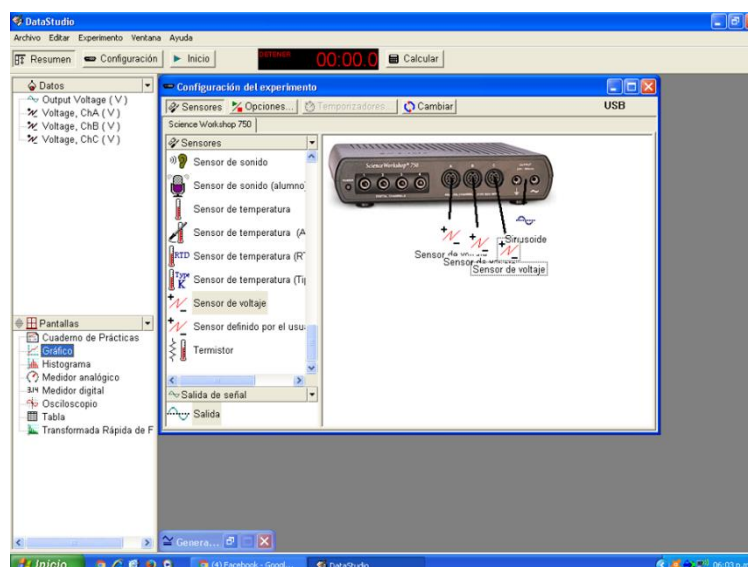


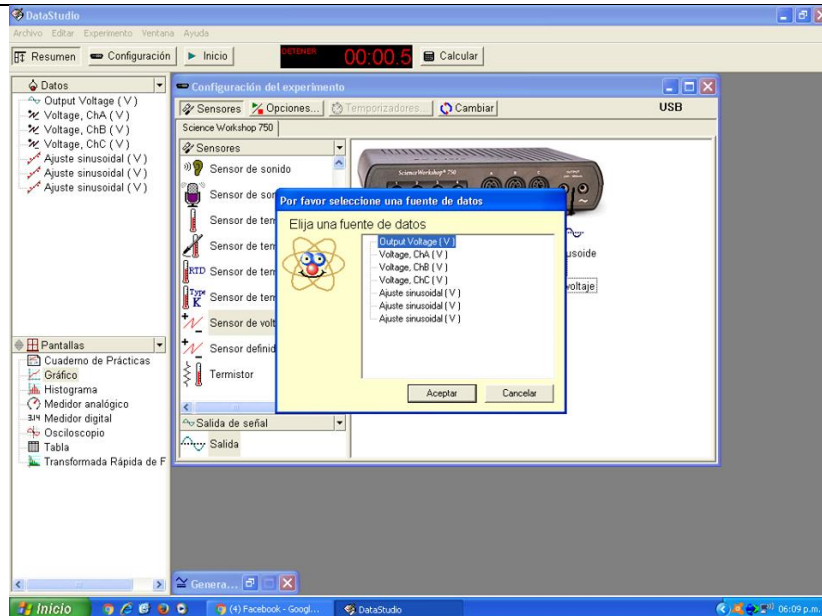
5. En la ventana configuración del experimento, en la sección **Sensores**, busque el **sensor de voltaje** y ábralo con doble clic, el sensor de voltaje se asignará en el **canal A**, repita este paso otras dos veces para asignar el sensor de voltaje al **canal B** y **canal C**. Ver montaje 2.



Montaje 2. Selección de sensores de voltaje software DataStudio

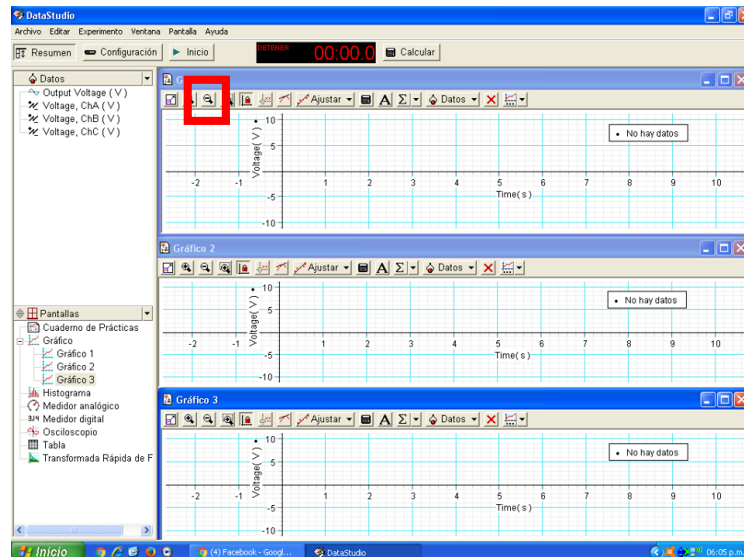
6. En la opción **pantallas** (ver montaje 3) ubicada en la parte inferior izquierda, escoja con doble clic el comando **Gráfico**, se desplegará una nueva ventana llamada “por favor seleccione una fuente de datos”, escoja con doble clic “**Voltage, ChA[V]**”, aparecerá una nueva pantalla con el nombre **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

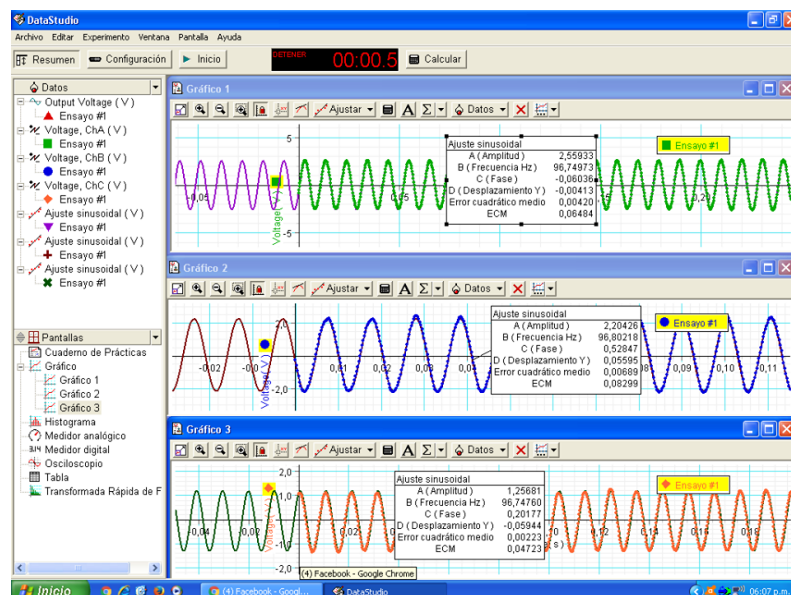
7. Repita el paso anterior seleccionando “**Voltage, ChB [V]**” y “**Voltage, ChC [V]**”, colocando cada gráfico uno debajo del otro como se observa en el montaje 4.



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



8. En la parte superior de clic en el botón **inicio**, y déjelo correr el tiempo de muestreo y deténgalo en un rango de **dos a tres segundos**, 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, de clic sobre el primer botón de cada gráfico, llamado auto escala. (Nota: señalado con un cuadrado rojo en la imagen del montaje 4).



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. En la barra de herramientas, parte superior, de clic en la opción **Experimento**, se desplegará un menú de opciones, escoja la opción **Suprimir TODOS los ensayos de datos**, aparecerá un cuadro de diálogos que dice: ¿Desea que DataStudio quite completamente TODOS los datos de esta actividad?, dele aceptar, observara que se borrarán los datos de los tres gráficos (deben quedar en blanco).



13. 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 y 12.

14. 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				
196,75				
206,75				
216,75				
226,75				
236,75				
246,75				
256,75				

Tabla 1. Datos oscilaciones eléctricas circuito RLC

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	63 de 3

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 6.



Montaje 6. Circuito RLC con la barra en el inductor

2. Realice los pasos 13 y 14 de la segunda parte del 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				
196,75				
206,75				
216,75				
226,75				
236,75				
246,75				
256,75				

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

Análisis De Datos

1. 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.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (5.17)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (5.18)$$

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	65 de 3

- Realice el cálculo de la frecuencia angular para las frecuencias temporales de la tabla 1 y tabla 2, con las cuales hizo las mediciones y complete dichas tablas, haciendo uso de la **ecuación 5.18**.
- Cuando se introduce la barra cilíndrica en el inductor, la inductancia cambia y por ende la frecuencia de resonancia del sistema también. 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. (Hz)	Amplitud del Inductor Tabla 1. (V)	Frecuencia de Resonancia con la barra Tabla 2. (Hz)	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 = $V_{\text{tabla1}} - V_{\text{tabla2}}$	Desfase capacitor = $V_{\text{tabla1}} - V_{\text{tabla2}}$

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

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	66 de 3

1. Realice la gráfica de amplitud de voltaje en el resistor versus frecuencia " V_{resistor} vs f ", utilizando los datos de la tabla 1.
2. 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).
3. Realice de nuevo el paso 5 y 6 pero ahora utilice los voltajes en el Inductor y los voltajes del Capacitor, es decir, deben aparecer las gráficas " V_{inductor} vs f " y " $V_{\text{capacitor}}$ vs f ".

5 cuestionario

Preguntas De Control

1. 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 5.17**.
2. De acuerdo con la tabla 3, se evidencia un cambio en la frecuencia de resonancia ¿por qué considera que sucede dicho cambio?
3. ¿Qué concluye del comportamiento grafico del voltaje en el Inductor y el Capacitor?
4. Según 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?
5. Según la gráfica " V_{resistor} vs f " realizada, justifique: ¿por qué se desplaza el pico de la gráfica de los datos de la tabla 2?

Conclusiones

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

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	67 de 3

6 bibliografías

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).**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5ª 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).**
- **Giancoli, Douglas c. física para ciencias e ingeniería. Cuarta edición. Pearson educación, México, 2008. Vol. I y II.**

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	68 de 3

PRACTICA Nro. 6 ONDAS SONORAS Y ANÁLISIS DE FOURIER

1 objetivos

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

2 materiales

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	4	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	69 de 3

3 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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	70 de 3

Cuestionario

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. ¿Qué es la transformada de Fourier? y ¿qué es la transformada rápida de Fourier?
3. Investigar las transformadas de Fourier de las funciones seno, coseno y la función delta de Dirac, realizar sus gráficas.
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.
8. Consultar el rango de audición del ser humano y otros animales.
9. Investigar el rango de frecuencias de la voz humana.
10. Buscar el valor de frecuencia de las notas musicales.
11. ¿En qué consiste la superposición de ondas?
12. ¿Qué es el sonido y cuáles son sus características?

4 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.

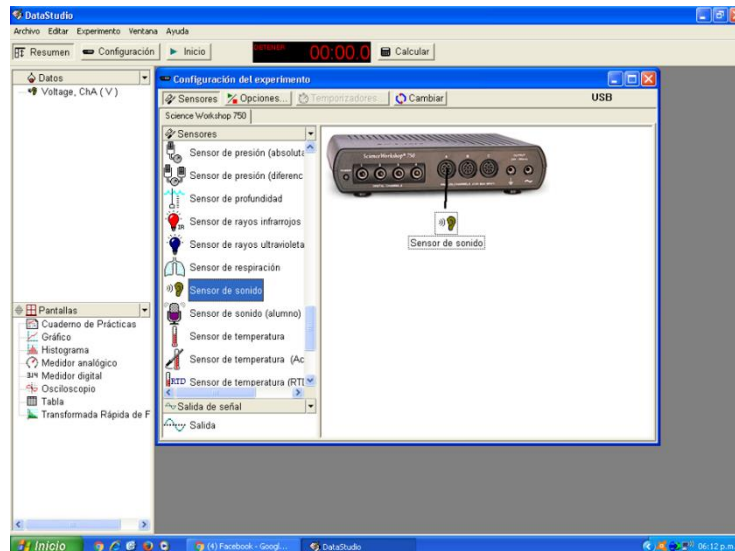
1. Conectar la interface **Science Workshop 750** al computador y a la fuente de alimentación.
2. Conectar el cable del canal A al **sensor de sonido**. (ver montaje 1).



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

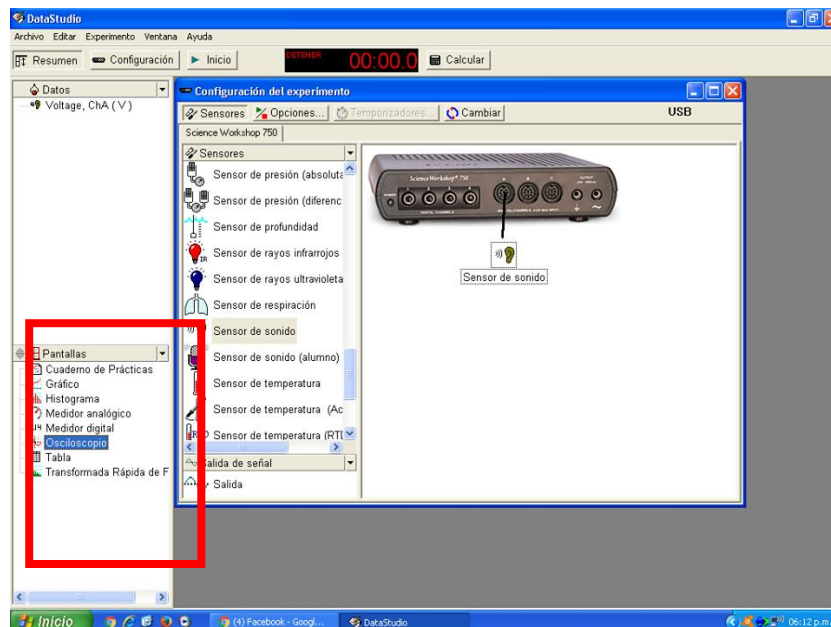
Segunda parte: Manejo del software DataStudio para la medición de la señal temporal y la transformada de Fourier de una onda sonora.

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

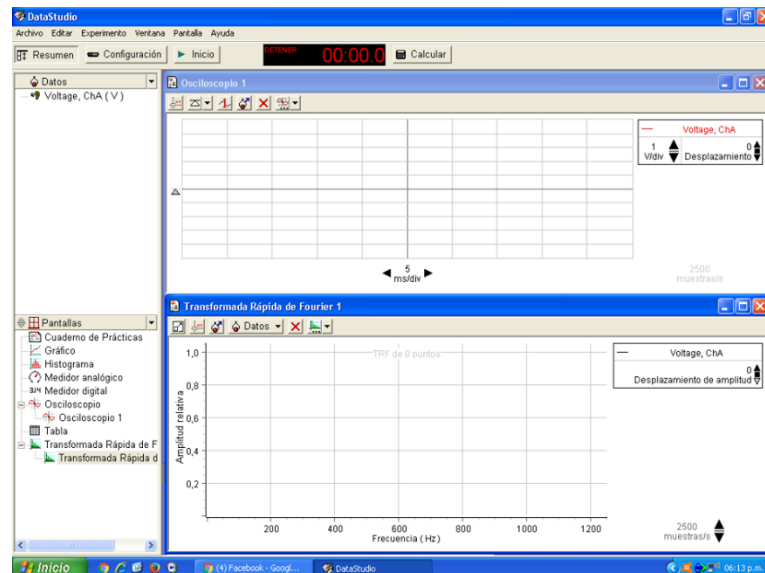
4. En la opción **pantallas** (ver montaje 3) ubicada en la parte inferior izquierda, escoja con doble clic el comando **osciloscopio**, aparecerá una nueva pantalla con el nombre **osciloscopio 1**, la gráfica que se genere en esta pantalla será la **señal temporal** de la onda sonora, con el mouse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



- 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.

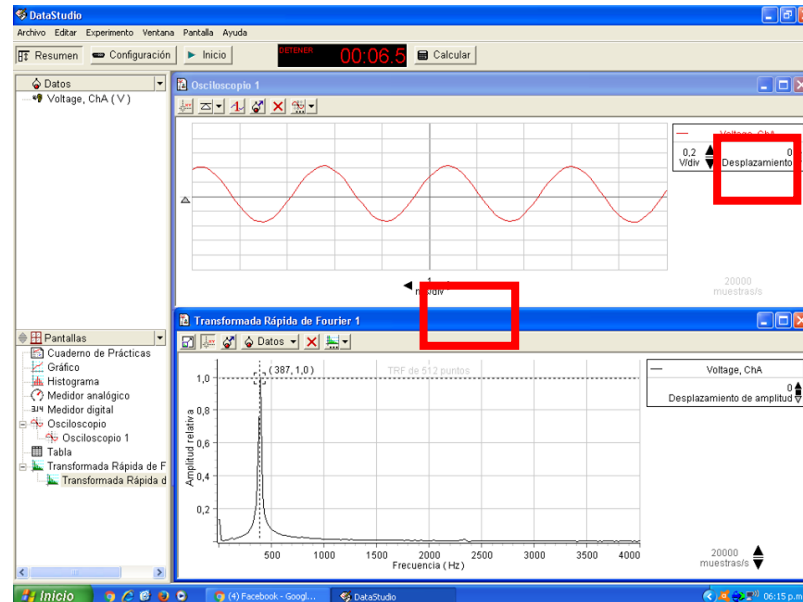


Montaje 4. Distribución de los gráficos para la toma de datos

- 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.
- 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 simultánea 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. En la pantalla **Osciloscopio 1**, de clic en el primer botón de opciones llamado **"Herramienta inteligente"**, aparecerá un cuadro con un sistema de ejes punteado, el cual muestra los valores de la forma: **(tiempo, 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 una **Amplitud** (pico) de la señal sinusoidal lo más exacto posible, registre el dato del tiempo (primer valor escrito en el paréntesis) en la **tabla 1**, el cual corresponde al dato del Tiempo 1.
9. Ahora usando la herramienta inteligente ubíquela en la **Amplitud** que se encuentra a la derecha de la amplitud que tomo en el paso anterior, registre el dato del tiempo, este valor corresponde al Tiempo 2, registre el resultado en la **tabla 1**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	75 de 3

FUENTE SONORA	TIEMPO 1	TIEMPO 2	PERIODO TIEMPO 2 – TIEMPO 1
DIAPASÓN 1			
DIAPASÓN 2			
DIAPASÓN 3			
DIAPASÓN 4			
FLAUTA: ORIFICIO 1			
FLAUTA: ORIFICIO 2			

Tabla 1. Medición del tiempo para el cálculo del periodo de señales sonoras

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 2** en la columna **frecuencia transformada de Fourier**.
12. Según sea la metodología utilizada por su docente para el informe de laboratorio, realice lo que indique la opción que le corresponda:
 - a) **informe virtual:** tome una fotografía de la señal temporal (señal sinusoidal) obtenida para el diapasón 1 y utilizando algún editor señale sobre esta de donde a donde se midió el **periodo y la amplitud**, colocando los respectivos valores obtenidos con sus unidades.
 - b) **informe a mano:** grafique la señal sinusoidal observada en la escala temporal, colocando el eje temporal y el de amplitud, ubique sobre su grafica de donde a donde se midió el **periodo y la amplitud**, con los respectivos valores obtenidos y sus unidades.

Nota: anexe la imagen en la sección correspondiente del informe de laboratorio

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	76 de 3

FUENTE SONORA	FRECUENCIA TEÓRICA [Hz]	FRECUENCIA TRANSFORMADA DE FOURIER [Hz]	% ERROR
Diapasón 1			
Diapasón 2			
Diapasón 3			
Diapasón 4			
Flauta: orificio 1			
Flauta: orificio 2			

Tabla 2. Análisis de frecuencia para señales sonoras

13. MEDICIÓN DIAPASONES: repita los pasos del 7 al 11 para los otros diapasones.

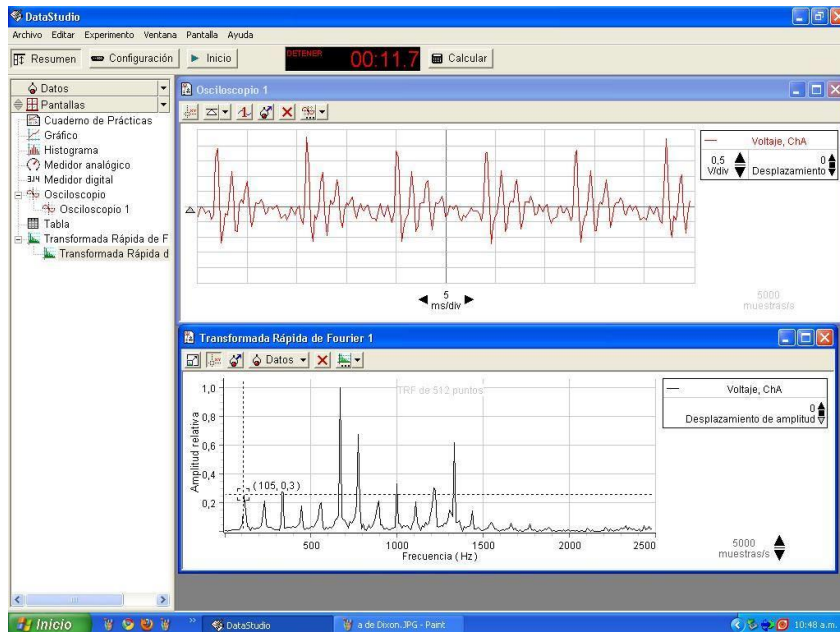
14. MEDICIÓN FLAUTA: uno de los integrantes debe acercar la flauta al sensor y soplar la flauta de forma sostenida, generando un solo tono (*Dejar un único orificio sin tapar*), realice este proceso durante un tiempo prudente en el que les permita captar la señal sonora con la interfaz, es decir oprimir el botón inicio y detenerlo cuando se esté generando el sonido con la flauta.

15. Repita los pasos del 8 al 12 para la flauta con dos orificios distintos.

Tercera parte: Manejo del software DataStudio para la medición de la señal temporal y la transformada de Fourier de ONDAS SONORAS COMPLEJAS.

1. Se va a registrar la onda sonora de la voz de un integrante del grupo, para lo cual debe acercarse al sensor de sonido y decir la **vocal a** de manera prolongada y sostenida (*sin detenerse y sin disminuir o aumentar la intensidad*), durante el proceso en el que el integrante genera el sonido con la **letra a**, se debe oprimir el botón de **inicio** y luego detenerlo mientras se está captando el sonido en la interfaz, se debe ver la señal lo mejor posible (**ver montaje 6**).

Nota: realice un primer ensayo, para ajustar la escala vertical y horizontal de la pantalla Osciloscopio 1.



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

2. En la pantalla **Transformada rápida de Fourier 1** utilice la herramienta inteligente para conocer la frecuencia de los cuatro picos más altos de la transformada de Fourier, haciendo un barrido de izquierda a derecha, registre dichos valores en la **tabla 3**.
3. El mismo integrante debe repetir los pasos 16 y 17 pero ahora con la **vocal i**.
4. El segundo y tercer integrante del grupo deben realizar también los pasos 16 al 18.
5. Para la siguiente parte, se requiere que dos integrantes trabajen de forma simultánea, para lo cual ambos se deben acercar al sensor de sonido y realizar lo siguiente: un integrante pronunciará la **vocal a** y el otro integrante la **vocal i**, de la misma forma que en los pasos anteriores, es decir, de forma sostenida y con intensidad constante.
6. Para la señal generada con las dos voces, ubíquense en la pantalla **Transformada rápida de Fourier 1** y utilicen la herramienta inteligente para conocer la frecuencia de los cuatro picos más altos de la transformada de Fourier, haciendo un barrido de izquierda a derecha, registre dichos valores en la **tabla 3**.
7. Repitan el paso 20 y 21, pero ahora un integrante generando una onda sonora con la **vocal a** y otro integrante con la **vocal e**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	78 de 3

ONDA SONORA	FRECUENCIA PICO 1	FRECUENCIA PICO 2	FRECUENCIA PICO 3	FRECUENCIA PICO 4
Integrante 1, vocal "a"				
Integrante 2, vocal "a"				
Integrante 3, vocal "a"				
Integrante 1, vocal "i"				
Integrante 2, vocal "i"				
Integrante 3, vocal "i"				
Integrante 1 vocal "a" e integrante 2 vocal "i"				
Integrante 1 vocal "a" e integrante 2 vocal "e"				

Tabla 3. Análisis frecuencia de ondas complejas, generadas por la voz humanan

Análisis De Datos

1. Con el periodo calculado en la tabla 1, proceda a calcular la frecuencia temporal de los diapasones y de la flauta con la fórmula **6.1** y regístrelas en la **tabla 2** como la frecuencia teórica.

$$f = \frac{1}{T} \quad (6.1)$$

2. 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 2**.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (6.2)$$

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	79 de 3

5 cuestionario

Preguntas De Control

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 las primeras seis filas de la tabla 3 ¿Por qué la voz de cada persona presenta picos de diferentes frecuencias, a pesar que los tres integrantes son humanos y están generando la misma onda sonora?
4. ¿Qué fenómeno se está generando cuando los dos integrantes generan una onda sonora a la vez? ¿se produciría un comportamiento similar s ambas personas pronuncian la misma vocal? Justifique su respuesta.
5. ¿Cuál señal de las registradas tiene componentes de frecuencia mayores y como se identifica esto en la señal en el dominio temporal?
6. ¿Cuáles fueron los errores presentes en la práctica de laboratorio? Justifique su respuesta.
7. Para cada una de las señales sonoras de la tabla 1, ¿sus frecuencias corresponden a la frecuencia de una nota musical?, si es así ¿a cuál nota musical?

Conclusiones

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

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	80 de 3

6 bibliografías

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 9ª Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5ª ed. McGraw-Hill, Bogotá, 1999.**

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	81 de 3

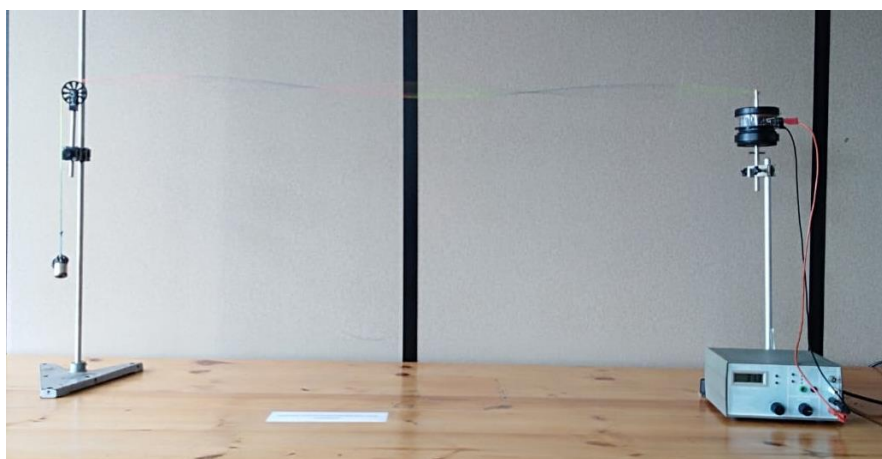
PRACTICA Nro. 7 ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA

1 objetivos

- Estudiar y observar experimentalmente los modos de vibración (armónicos) de las ondas estacionarias en una cuerda con sus dos extremos fijos.
- 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.

2 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	
Hojas papel milimetrado	2	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	82 de 3

3 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:

$$\xi_1(x, t) = \xi_{01} \sin(\omega t + kx) \quad (7.1)$$

$$\xi_2(x, t) = \xi_{02} \sin(\omega t - kx) \quad (7.2)$$

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

$$\xi_1(x, t) + \xi_2(x, t) = \xi_{01} \sin(\omega t + kx) + \xi_{02} \sin(\omega t - kx) \quad (7.3)$$

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:

$$\xi(x, t) = 2\xi_0 \sin(kx) \cos(\omega t) \quad (7.4)$$

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

$$A = 2\xi_0 \sin(kx) \quad (7.5)$$

Donde: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ es el número 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:

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (7.6)$$

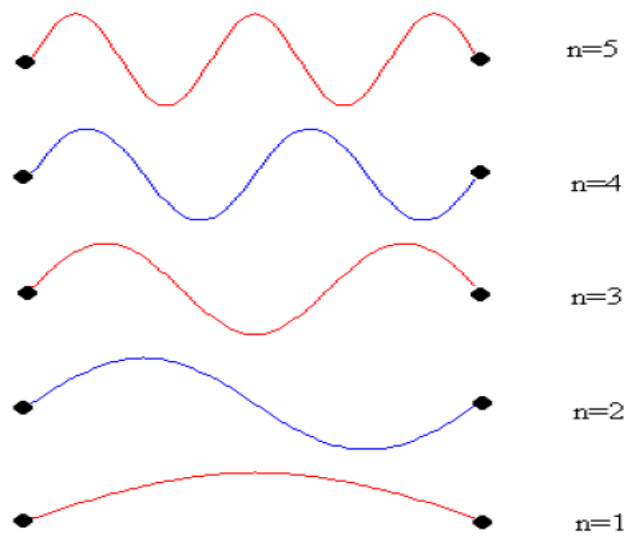


Figura 1. Armónicos en una cuerda

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:

$$\vartheta = \lambda f \quad (7.7)$$

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:

$$f_n = \frac{n}{2L} \vartheta, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (7.8)$$

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

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

$$\vartheta = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (7.9)$$

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

$$\mu = \frac{m_c}{L_c} \quad (7.10)$$

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

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	84 de 3

Cuestionario

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

- 1] ¿Consulte y describa los tipos de onda según el medio de propagación y enuncie cinco ejemplos para cada caso?
- 2] ¿Consulte y describa los tipos de onda según la dirección de propagación y enuncie cinco 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?
- 5] ¿Qué otros tipos de ondas estacionarias existen y qué condiciones son necesarias para que se generen?
- 6] Enuncie seis ejemplos de ondas estacionarias, describiendo como se forman y sus características.

4 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 7.10**. 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, sujete 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.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	85 de 3

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**. (sostenga los soportes para evitar que se muevan por la vibración).
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 registra 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]	μ [Kg/m]	m_1 [Kg]	m_2 [Kg]	L [m]

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

Número del Armónico (n)(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 7.6** y registre sus resultados en las **tablas 4 y 5**.

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 .

2. Calcule la velocidad de propagación de la onda en la cuerda para cada masa colgante con la **ecuación 7.7** 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**.
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)(n)	Velocidad de propagación v_n [m/s]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
Velocidad promedio	

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

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

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 7.8**. Este valor de velocidad para cada masa corresponde a la velocidad experimental, registre sus resultados en la **tabla 8**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	88 de 3

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. Cálculo de la velocidad de propagación de la onda y porcentajes de error para la masa m_1 y m_2

- Calcule la velocidad de propagación de la onda en la cuerda para cada una de las dos masas con la **ecuación 7.9**. este valor corresponde a la velocidad teórica, registre los resultados en la **tabla 8**.
- Calcule el porcentaje de error de los valores de velocidad experimental promedio respecto a los valores de velocidad teórica (ecuación 7.9) con la **ecuación 7.11** y registre sus resultados en la **tabla 8**.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (7.11)$$

5 cuestionario

Preguntas De Control

- 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 $v = x/t$?
- ¿De qué depende la velocidad de propagación de una onda en una cuerda?
- ¿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?

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	89 de 3

4. Si se modifica el material de la cuerda, pero la masa y longitud 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

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

6 bibliografías

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 9ª Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5ª 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.**

Revisado por: Físico Pedro David Leal Pérez

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	90 de 3

PRACTICA Nro. 8 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ

1 objetivos

- 1] Estudiar de forma experimental el fenómeno de refracción de la luz cuando está atravesando 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.

2 materiales

Equipo requerido	Cantidad	Observaciones
Recipiente de acrílico cilíndrico de radio R, vacío.	3	
Goniómetro	1	
Apuntador laser	1	Traerlo el estudiante
Papel milimetrado	2	Traerlo el estudiante



Esquema 1. Montaje de laboratorio



3 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.

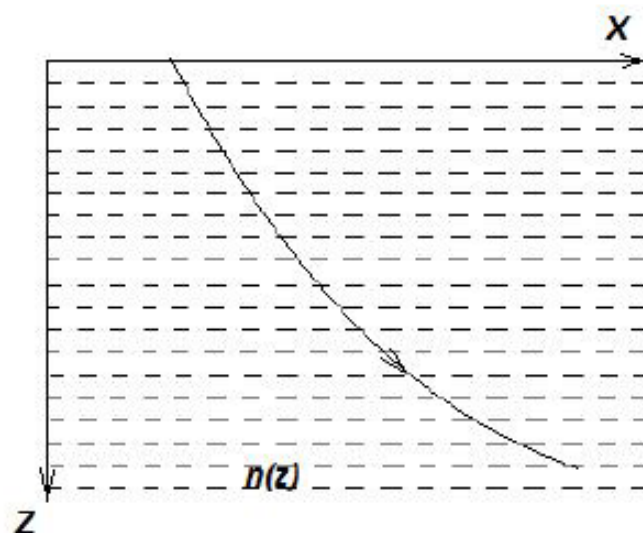


Figura 1. Trayectoria de un rayo en un medio cuyo índice de refracción varía continuamente con la profundidad.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	92 de 3

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:

$$\theta_i = \theta_r \quad (8.1)$$

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:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R \quad (8.2)$$

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:

$$n = \frac{c}{v} \quad (8.3)$$

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 plano circular. A fin de tener una única refracción, se utiliza un recipiente contenedor de las diferentes sustancias con una forma plano 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.

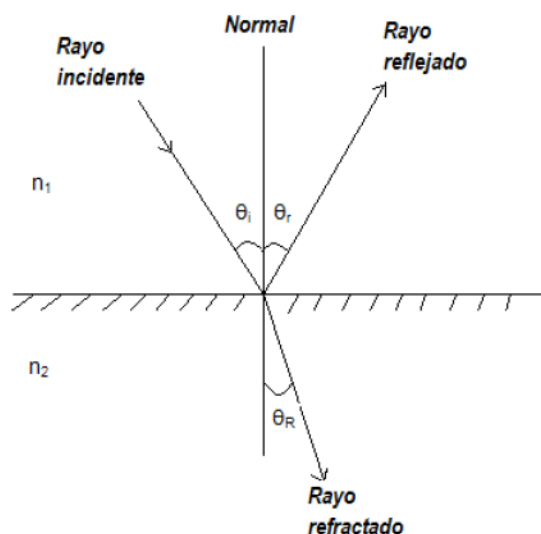


Figura 2. Representación de los rayos en el plano de incidencia.

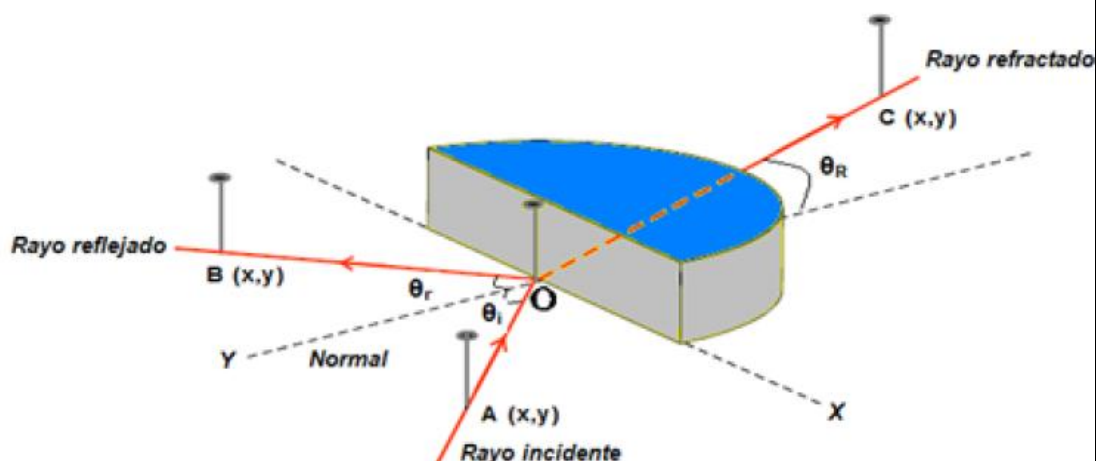


Figura 3. Recipiente plano circular que contiene las diferentes sustancias.

Cuestionario

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 siete 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? ¿Cuáles son las aplicaciones del ángulo crítico? y enuncie dicho valor para cinco materiales.
- 5] ¿Consulte qué es el espectro visible y su rango de acuerdo a la longitud de onda y frecuencia?
- 6] ¿Investigue qué es un láser, realizando una descripción de sus características, partes y enuncie seis aplicaciones en ingeniería donde se utilice el láser?

4 procedimiento:

Primera parte: cálculo de los ángulos de reflexión y refracción para tres sustancias.

1. Ubique el recipiente plano-circular de acrílico con la “**Sustancia1**”, de tal forma que el centro de la cara plana coincida con la mitad del goniómetro (transportador).
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 - “Sustancia 1”		
Ángulo incidente	Ángulo de reflexión	Ángulo de refracción
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		

Tabla 1. Refracción Aire – “sustancia 1”.

5. Tome el otro recipiente plano-circular de acrílico vacío y llénelo con la “**sustancia2**” casi hasta el borde (**nota: tenga cuidado de no hacer regueros**)
6. Proceda a realizar el procedimiento evidenciado en los pasos del 1 al 4 hasta que llene la **tabla 2**.



Aire – “Sustancia 2”		
Ángulo incidente	Ángulo de reflexión	Ángulo de refracción
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		

Tabla 2. Refracción Aire – “Sustancia 2”.

7. Tome el otro recipiente plano-circular de acrílico que contiene otra “**sustancia 3**” (*nota: tenga cuidado de no hacer regueros*).
8. Proceda a realizar el procedimiento evidenciado en los pasos del 1 al 4 hasta que llene la **tabla 3**.

Aire – “sustancia 3”		
Ángulo incidente	Ángulo de reflexión	Ángulo de refracción
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		

Tabla 3. Refracción Aire – “Sustancia 3”.

Análisis De Datos

1. 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. (*nota: utilice mínimo 4 decimales*).
2. 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.



Seno Ángulo incidente $sen(\theta_i)$	Seno Ángulo de refracción $sen(\theta_R)$
Índice de refracción de la "sustancia 1" por regresión lineal	

Tabla 4. $sin(\theta_i)$ y $sin(\theta_R)$ para el Aire – "Sustancia 1".

Seno Ángulo incidente $sen(\theta_i)$	Seno Ángulo de refracción $sen(\theta_R)$
Índice de refracción de la "sustancia 2" por regresión lineal	

Tabla 5. $sin(\theta_i)$ y $sin(\theta_R)$ para el Aire – "Sustancia 2".

Seno Ángulo incidente $sen(\theta_i)$	Seno Ángulo de refracción $sen(\theta_R)$
Índice de refracción de la "sustancia 3" por regresión lineal	

Tabla 6. $sin(\theta_i)$ y $sin(\theta_R)$ Para el Aire – "Sustancia 3".

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	97 de 3

3. Utilizando regresión lineal determine el valor del índice de refracción de las sustancias y regístrelos en las tablas 4, 5 y 6. Para dicho proceso utilice la ley de Snell **ecuación 8.2**.
4. Calcule el error porcentual de los índices de refracción para las sustancias haciendo uso de la **ecuación 8.4**, 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**.

$$\%E = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| \times 100\% \quad (8.4)$$

5. Calcule la velocidad de la luz en los tres medios utilizados en el laboratorio, para ello utilice la **ecuación 8.3** y los índices de refracción obtenidos por regresión lineal y regístrelos en la **tabla 7** como valores experimentales.
6. Calcule el error porcentual de las velocidades de las sustancias, haciendo uso de la **ecuación 8.4**, 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**.

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	98 de 3

Índice de refracción de la “sustancia 1” valor teórico	Índice de refracción de la “sustancia 1” valor experimental	% Error
Índice de refracción de la “sustancia 2” valor teórico	Índice de refracción de la “sustancia 2” valor experimental	% Error
Índice de refracción de la “sustancia 3” valor teórico	Índice de refracción de la “sustancia 3” valor experimental	% Error
Velocidad de la luz en la “sustancia 1” valor teórico [m/S]	Velocidad de la luz en la “sustancia 1” valor experimental [m/S]	% Error
Velocidad de la luz en la “sustancia 2” valor teórico [m/S]	Velocidad de la luz en la “sustancia 2” valor experimental [m/S]	% Error
Velocidad de la luz en la “sustancia 3” valor teórico [m/S]	Velocidad de la luz en la “sustancia 3” valor experimental [m/S]	% Error

Tabla 7. Cálculo de los errores para los índices de refracción y la velocidad de la luz en el agua, la glicerina y la “sustancia”

5 cuestionario

Preguntas De Control

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. ¿La velocidad de la luz depende de las sustancias utilizadas o del láser?
3. ¿Qué utilidad o aplicación práctica puede apreciar usted para la ley de Snell y el montaje de laboratorio, enuncie dos ejemplos?

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	99 de 3

4. ¿Según los porcentajes de error obtenidos, ¿cuáles considera que fueron las fuentes, factores y condiciones que no se consideraron y contribuyeron a dicho error?
5. ¿Cómo mejoraría el montaje experimental desde una perspectiva física e ingenieril, de tal forma que el margen de error se disminuya considerablemente?

Conclusiones

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

6 bibliografías

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 9ª Ed. Addison-Wesley Longman, México, 1999.**
- **Halliday, R., Resnick, D. y Krane, K. S. Física, vol. I 5ª ed., Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1994.**
- **Serway, Raymond. A., Física, Tomo 1, 5ª 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.**

Revisado por: Físico Pedro David Leal Pére

	Manual de Practicas	Código	FGA-73 v.00
		Página	100 de 3