

Capítulo 11

La tarjeta de sonido de una PC como instrumento de medición

Objetivo

El objetivo de este capítulo es introducir la tarjeta de sonido de una computadora personal (PC) como instrumento de medición en el laboratorio. Proponemos algunos experimentos sencillos que ilustran su uso para realizar experimentos. En primer lugar se discute un experimento para medir el tiempo de caída de un objeto con el fin de estimar el valor de la aceleración de la gravedad. Luego describimos una actividad que permite visualizar las características básicas de las ondas sonoras. En particular, proponemos un experimento para medir la velocidad del sonido usando un pulso sonoro que viaja por un tubo y se refleja en los extremos del mismo.

Tarjeta de sonido de las computadoras personales

La **tarjeta de sonido** es un componente presente en la mayoría de las computadoras personales modernas. Posibilita la entrada y salida de señales de audio desde y hacia la PC. Un programa de control (driver) permite grabar o reproducir un sonido con la PC. Este dispositivo se usa en aplicaciones de multimedia y juegos de entretenimiento. También permite escuchar y grabar sonidos o música, la edición de archivos de audio, etc. Las tarjetas de sonido disponen de un **Convertor Analógico Digital** (ADC) que convierte los sonidos (analógicos) en datos digitales. Estos datos digitales pueden, a su vez, ser transformados en señales analógicas de audio a través de un **Convertor Digital Analógico** (DAC). Estas señales analógicas pueden amplificarse y escucharse a través de auriculares o altavoces convencionales. Las tarjetas más simples pueden grabar y reproducir sonidos en forma alternativa. En tanto, para poder grabar y reproducir simultánea e independientemente se requieren tarjetas de sonido denominadas “full-duplex”. La mayoría de las tarjetas de sonido tienen las siguientes entradas y salidas (I/O) de audio con un código de color estandarizado:

- ✓ Conector rosa: Entrada analógica para micrófono. Conector (jack) de 3.5 mm .
- ✓ Conector azul: Entrada analógica “Line-in”, señales de audio proveniente de otros dispositivos de audio (grabadores, radios, etc.). Conector (jack) de 3.5 mm
- ✓ Conector verde: Salida analógica de señal principal (estéreo) que se puede conectar a altavoces. Conector (jack) de 3.5 mm.
- ✓ Conector del **puerto de juegos** o “Joystick input port”: Conector DB15 (hembra de 15 pines).

En la Figura 11.1 se ilustra una tarjeta de sonido típica de una computadora personal, incluyendo sus conectores. Al puerto de juegos se pueden conectar diversos dispositivos, por ejemplo joystick, fotointerruptores, entre otros.



Fig. 11.1. Tarjeta de sonido PCI convencional.

Es común que en la mayoría de las PC existan instalados programas que pueden grabar (por ejemplo, Grabadora de sonido®Microsoft) y reproducir sonidos (por ejemplo, Windows Multimedia®Microsoft). Asimismo, hay una gran variedad de programas, varios de ellos de libre acceso, como: Audacity^φ, Sound Forge^χ, etc., que contienen diversas opciones para el procesamiento de señales de audio, y que trabajan como sistemas de adquisición de señales de audio. En general, permiten grabar y escuchar señales de audio, obtener espectros de frecuencias, editar, filtrar, recortar, etc., y soportan una gran variedad de formatos de audio (WAV, MPEG, MP3, MIDI). Asimismo, existe una gran diversidad de programas que permiten transformar la PC en un osciloscopio o sistema de adquisición de datos de audio. Por ejemplo: MacScopeII,^ε Virtins Sound Card Oscilloscope,^φ WinScope,^γ entre otros disponibles en la *web*. Estos programas permiten adquirir con la PC señales de audio que entran por las líneas de entrada (“line-in” o auricular).

Proyecto II.28- Determinación de la aceleración de la gravedad usando señales de audio

Equipamiento recomendado: Una esfera metálica de entre 1 a 3 cm de diámetro o bien una moneda metálica pesada. Un micrófono conectado a la tarjeta de sonido de una PC.

^φ www.audacity.com, y <http://en.wikipedia.org/wiki/Audacity>

^χ http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_Forge

^ε <http://www.physics2000.com/Pages/MacScope.html>

^φ <http://www.virtins.com/>

^γ <http://madan.wordpress.com/2006/06/25/pc-based-oscilloscope-winscope-251/>

Cuando un objeto pesado cae desde una distancia del orden de 1 metro, demora aproximadamente medio segundo en llegar al suelo. Este tiempo de caída es muy corto para medirlo con un cronómetro de accionamiento manual ya que el tiempo de reacción de una persona es de aproximadamente 0.2 s. En caídas de mayor altura los efectos de roce pueden no ser despreciables. Para medir tiempo del orden del segundo con precisión de orden del 1% se requiere usar métodos ópticos para el inicio y la parada de la medición del intervalo, por ejemplo usando fotointerruptores. Una manera alternativa de medir intervalos de tiempo pequeños puede lograrse grabando señales de audio, y luego analizando la señal acústica.^{1,2,3} Un modo simple de lograr una señal acústica clara que indique el comienzo de la caída de un objeto, por ejemplo una moneda grande, consiste en colocar una cinta de papel horizontal y tirante que sostenga la moneda. Se enciende el grabador de sonido de la computadora y un breve instante posterior se rompe la tira de papel por medio de un tirón brusco que genere un sonido bien audible al romperse la cinta. Al romperse la cinta la moneda cae y al llegar a suelo genera un nuevo pulso sonoro. Después de la caída se detiene la grabación y se analiza el sonido registrado.

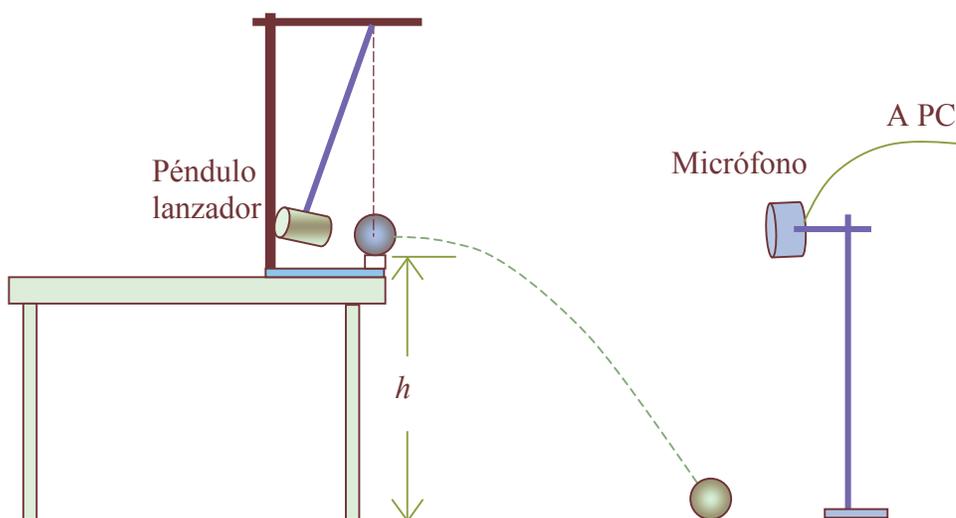


Figura 11.1. Esquema experimental para medir el tiempo de caída de una esfera metálica.

Una manera alternativa de lograr el mismo efecto consiste en construir un péndulo rígido que al golpear lateralmente una esfera de metal produzca un pulso sonoro claro, y haga caer la esfera sin imprimirle una velocidad inicial en la dirección vertical. En la Figura 11.1 se indica esquemáticamente un arreglo experimental posible.¹ Al llegar al suelo, la esfera produce otro pulso sonoro.

La computadora graba estos sonidos y luego se analiza la señal de audio. Visualizando la señal acústica como función del tiempo, se puede determinar el tiempo de caída Δt con una buena precisión. En la Figura 11.2 se muestra en forma esquemática la forma de la señal de audio registrada en una caída. Conociendo la altura inicial h del cuerpo que cae, el valor de g se obtiene, suponiendo un movimiento uniformemente acelerado, como:

$$g = \frac{2h}{\Delta t^2} \quad (11.2)$$

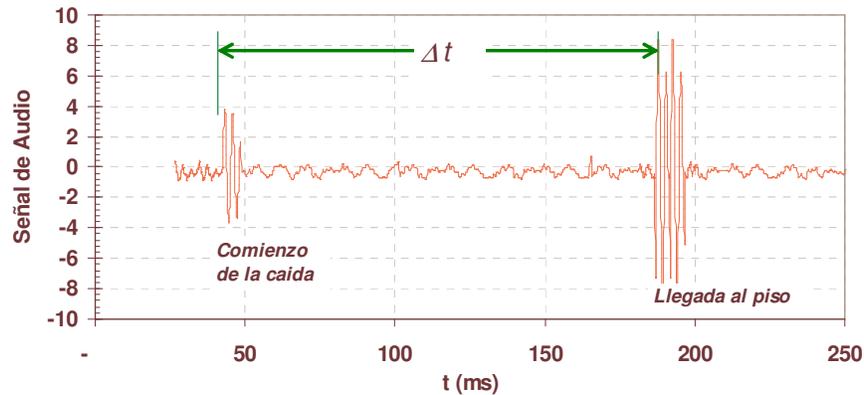


Figura 11.2. Característica de la señal de audio grabada en la caída de una esfera.

Sugerencias de trabajo:

- ✓ Elija la alternativa que mejor se adapte a las condiciones de trabajo de las que disponga, y realice algunos ensayos previos para investigar las condiciones más adecuadas para registrar nítidamente los pulsos sonoros que indiquen el comienzo de la caída y la llegada al suelo.
- ✓ Determine el valor del tiempo de caída Δt , para por lo menos 5 caídas desde una misma altura h . Estime el valor medio del intervalo y su incertidumbre
- ✓ Determine h con un error relativo comparable al de Δt .
- ✓ Obtenga el mejor valor de g y su incertidumbre.

Proyecto II.29- Determinación de velocidad de sonido

Ondas sonoras

En la física clásica hay esencialmente dos categorías de objetos en el universo: la materia y las ondas. La transmisión de energía de un punto a otro se puede hacer mediante el transporte de materia o por la propagación de ondas.^{4,5} Un ejemplo del primer caso es la energía cinética asociada a una partícula o un cuerpo que se mueve. En cambio, la energía asociada a un sonido que llega a nuestros oídos lo hace a través de vibraciones que se propagan en el aire, es decir, a través de ondas acústicas. Las ondas sonoras son un ejemplo particular de ondas mecánicas que se propagan en un medio elástico (un sólido, un líquido o un gas). Son vibraciones que ocasionan variaciones de presión o desplazamiento de las partículas del medio en que se propagan. En las ondas sonoras, los desplazamientos de las partículas tienen lugar en la misma dirección de propagación de la onda, tratándose por tanto de ondas longitudinales.

La velocidad de propagación de una onda mecánica depende de la rigidez o compresibilidad del medio, y de su densidad. En el caso de las ondas sonoras en un gas las variaciones de presión son tan rápidas que las compresiones y descompresiones pueden ser bien descritas por un proceso adiabático^{4,5}. Dentro de esta aproximación, la **velocidad del sonido** en un gas puede escribirse como^{5,6,7},

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} \quad (11.2)$$

donde γ es el coeficiente adiabático del gas (igual al cociente de las capacidades caloríficas molares del gas a presión y volumen constantes, $\gamma = C_P / C_V$), R es la constante universal de los gases, y T y M son la temperatura absoluta y la masa molecular del gas, respectivamente.

Cuando una onda que viaja por un medio se encuentra con una frontera a partir de la cual cambian las propiedades del medio (compresibilidad o densidad), o varían las restricciones geométricas que se imponen a la onda, las ondas parcialmente se transmiten y se reflejan según las características de la interfase. La frontera puede ser la superficie de separación entre dos medios tales como aire y un sólido o un líquido. Un cambio de restricción geométrica puede ser la finalización de un tubo con el extremo abierto o cerrado, o bien un cambio de diámetro del tubo.^{4,5,6,7}

Cuando se generan ondas de presión en un tubo con el extremo abierto, la presión del gas interno no iguala a la presión atmosférica inmediatamente donde el tubo termina. De hecho, debido a que las ondas de presión emergen hacia el exterior del tubo, estos extremos son zonas de radiación por las que podemos escuchar los sonidos que viajan por el tubo. Tan pronto como una región de compresión o de expansión llega al extremo abierto, el aire puede expandirse hacia los costados, mientras que dentro del tubo, el aire está confinado en una sola dirección. En consecuencia, la compresión o expansión es rápidamente “aliviada” a medida que aumenta la distancia al extremo del tubo. Esta distancia es del orden de un radio del tubo y, a medida que nos alejamos del extremo del tubo, la presión tiende a la presión atmosférica.^{4,5,6,7} De este modo, la longitud efectiva L_{ef} de un tubo con un extremo abierto es mayor que la longitud nominal L_0 del mismo. Empíricamente se encuentra que la longitud efectiva de un tubo con un extremo abierto es:

$$L_{ef} = L_0 + f d \quad (11.3)$$

donde d es el diámetro del tubo y el coeficiente $f \approx 0.6$.⁷

Si consideramos un tubo cilíndrico con ambos extremos A y B abiertos (Figura 11.3), un pulso sonoro que se emite por uno de sus extremos (A) se reflejará en el otro (B) y será captado por el micrófono. En referencia al arreglo experimental mostrado en la Figura 11.3, el primer pulso que detecta el micrófono es el que le llega directamente desde el emisor, antes de entrar en el tubo. El siguiente pulso que detecta el micrófono tiene una reflexión. A su vez, el tercer pulso que llega al micrófono experimenta dos reflexiones más

que el segundo. Todos los pulsos siguientes tienen el mismo comportamiento que el tercero, o sea, viajan una distancia $2L_{ef}$ más que el anterior. Dado que no toda la energía del pulso se refleja, los pulsos disminuyen en amplitud a medida que sufren más reflexiones.

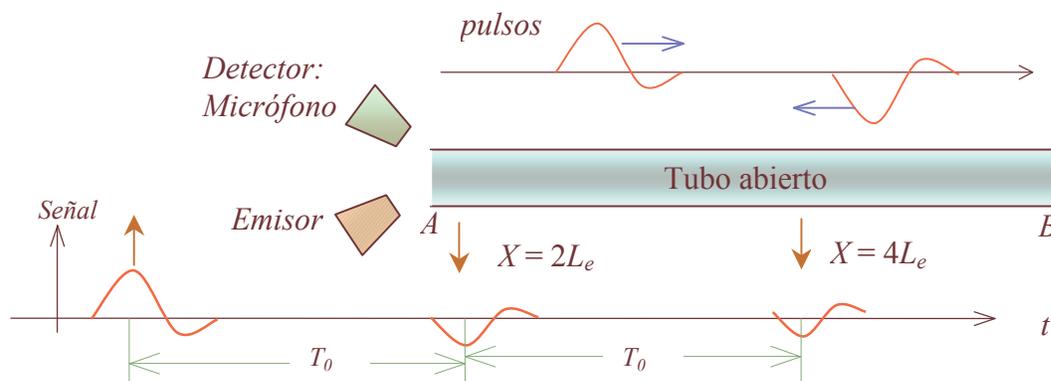


FIGURA 11.3. Esquema de un pulso sonoro que se propaga por un tubo abierto. En el panel superior se muestra esquemáticamente como se mueven los pulsos en el tubo. La inversión de los mismos, es consecuencia de la reflexión en los extremos abiertos. En el panel inferior se muestra como se observaría la señal en el micrófono como función del tiempo. El retardo de los pulsos está dado por el tiempo de viaje del pulso, $T_0 = 2L_{ef}/c$.

EXPERIMENTO

Equipamiento recomendado: Un micrófono conectado a la tarjeta de sonido de una PC. Tubos de desagüe (PVC) de 1 a 7 cm de diámetro y longitudes entre 1 a 5 m.

El método propuesto hace uso de un parlante o audífono (emisor), un micrófono (detector); un tubo de PVC de diámetro entre 1 a 7 cm y de 1 a 5 m de largo puede ser adecuado. Los tubos de descarga de agua usados en construcciones son económicos y aptos para este experimento. Además, para estos tubos se puede adquirir cuplas que permiten acoplar fácilmente unos con otros. De este modo, puede lograrse un sistema de longitud variable usando un conjunto de tubos de igual diámetro. También se requiere una, o mejor dos computadoras, con tarjetas de sonido. El programa útil para la adquisición de datos podría ser Audacity^{®8} que es de acceso libre, pero otros programas similares de adquisición de sonido también podrían usarse.^{9,10}

Se conecta el micrófono (receptor) a una de las PC y el parlante o audífono (emisor) a la otra computadora. En la computadora conectada al parlante se genera la señal sonora utilizando el programa Audacity. A esta onda se le da la forma, frecuencia y duración deseada. Una posibilidad sería utilizar pulsos sinusoidales de 1500 Hz de $\Delta t = 3$ ms de duración, como se ilustra en la Figura 11.4. La idea es que el pulso tenga una duración que sea mucho menor que el tiempo de viaje a lo largo del tubo, así puedan verse

las diferentes señales reflejadas bien separadas. Además, la elección de la forma de la señal permite distinguirla nítidamente pese al ruido electrónico que capta el micrófono conectada a la otra PC.

Con la PC conectada al micrófono grabamos (digitalmente) el sonido emitido y sus reflexiones, usando el programa Audacity. La Figura 11.5 ilustra el arreglo experimental que puede usarse Este diseño experimental que utiliza dos computadoras puede simplificarse y utilizarse sólo una conectada al micrófono. En este caso, el pulso sonoro se puede generar golpeando dos maderas o haciendo un chasquido con los dedos. Con un poco de práctica es posible generar pulsos cortos y nítidos, sin embargo el emplear dos PC, permite tener una señal nítida fácilmente distinguible de posibles ruidos que pueda captar el micrófono.

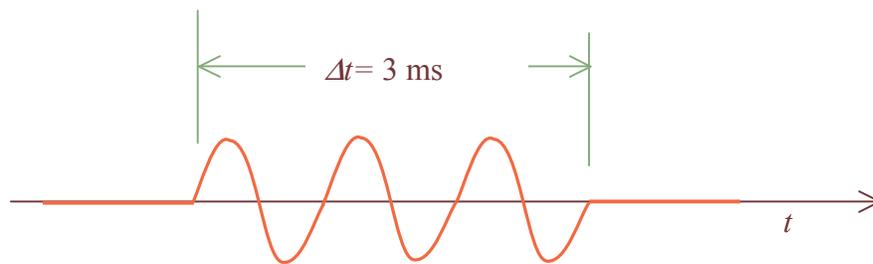


FIGURA 11.4. Muestra la señal que se emite en el extremo del tubo.

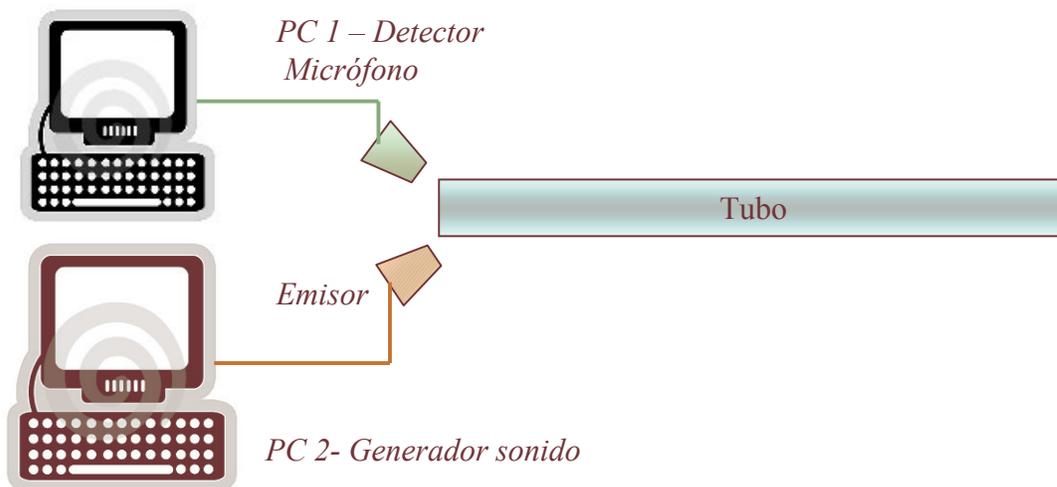


FIGURA 11.5. Esquema experimental. El micrófono está conectado a una PC y el auricular o parlante a la otra PC. El tubo puede cerrarse en el extremo opuesto adonde se emite y graba la señal.

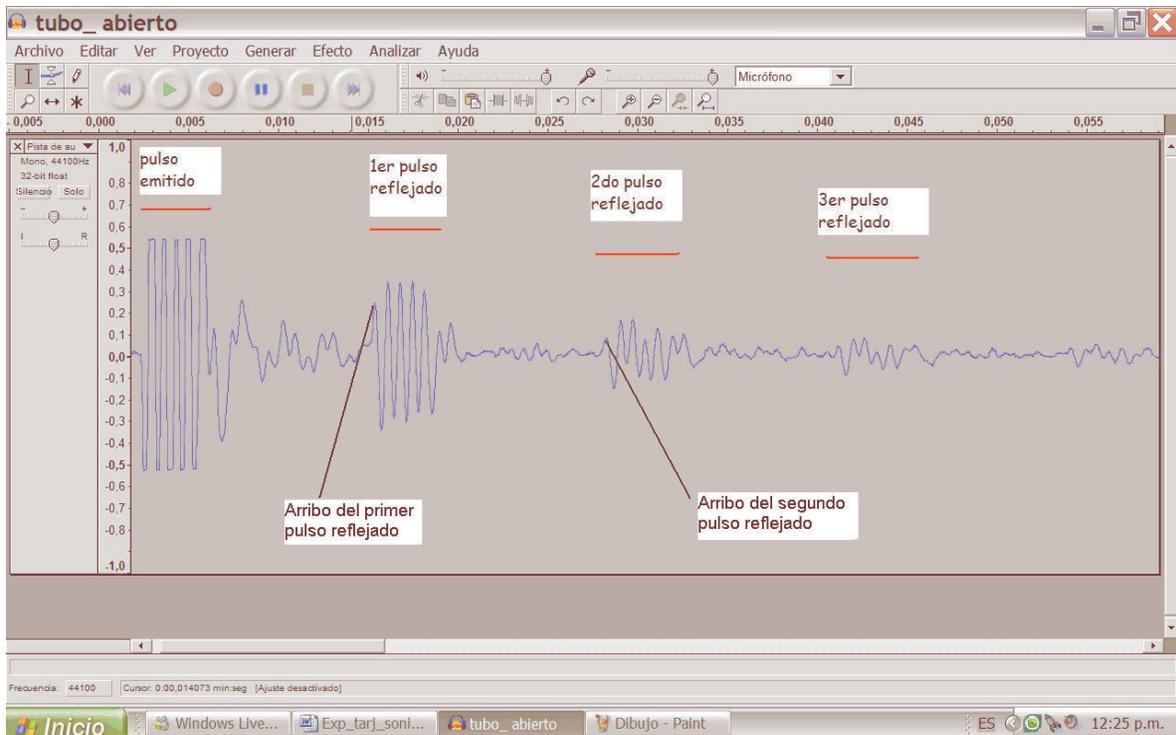


FIGURA 11.6. Ejemplo de la señal sonora de un pulso emitido y sus sucesivas reflexiones en el tubo abierto. Esta señal fue grabada usando el programa Audacity.

Actividad

En las Figuras 11.6 y 11.7 se muestran las características de los pulsos incidentes y reflejados para un tubo abierto. La llegada de los pulsos reflejados se puede observar claramente. De análisis de este tipo de figura se puede obtener los tiempos de tránsito de los pulsos reflejados 1, 2 y 3 veces. Estos tiempos de tránsito están asociados a distancias de viaje de los pulsos correspondientes a distancias $X = 2L_e$, $X = 4L_e$ y $X = 6L_e$, respectivamente. Para determinar la velocidad del sonido es conveniente utilizar tubos de diferentes longitudes. Para cada uno de ellos, es decir para cada longitud, se determina la longitud efectiva (L_e) del tubo, Ec. (11.3) y se miden los tiempos de arribo de los distintos pulsos reflejados.

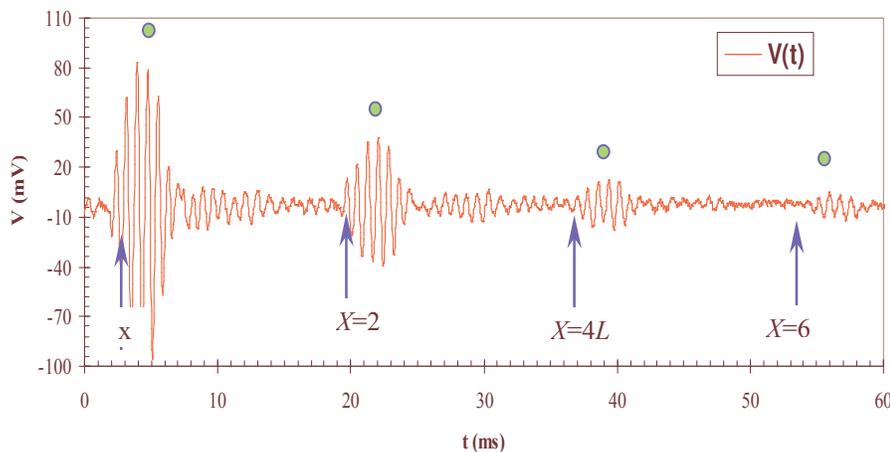


FIGURA 11.7. Señal original emitida por el auricular y las sucesivas reflexiones. Los puntos señalan el centroide de los pulsos reflejados.

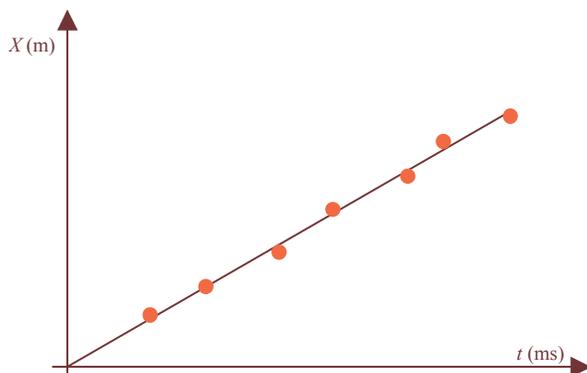


FIGURA 11.8. Distancia recorrida por los distintos pulsos y sus correspondientes demoras. La pendiente en el gráfico $x(t)$ permite determinar la velocidad del sonido.

Sugerencias de trabajo:

- ✓ Para cada longitud de los tubos elegidos, determine las distancias recorridas por los distintos pulsos y sus tiempos de viaje.
- ✓ Construya un gráfico de las distancias recorridas por los distintos pulsos y sus correspondientes demoras, tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 11.8. La pendiente de este gráfico es la velocidad del sonido.
- ✓ Usando los datos de todos los tubos ensayados, obtenga el mejor valor de la velocidad del sonido y estime su incertidumbre.
- ✓ Mida la temperatura del laboratorio y obtenga de tablas el valor esperado del sonido a la temperatura de trabajo. ¿Cómo se compara el valor de sus mediciones con los valores esperados de tablas?

Índice Alfabético

Marcadores	Nombre Marcador
tarjeta de sonido	tarjeta
Convertor Analógico Digital	ADC
puerto de juegos	P_juegos
velocidad del sonido	V_sonido

REFERENCIAS

- ¹ J.A. White, A. Medina, F.L. Román, and S. Velasco , “A Measurement of g Listening to Falling Balls,” *Phys. Teach.* 45, (3) 175 (2007)
- ² A.D. Bernstein, “Listening to the coefficient of restitution,” *Am. J. Phys.* 45, 41–44 (Jan. 1977).
- ³ P.A. Smith, C.D. Spencer, and D.E. Jones, “Microcomputer listens to the coefficient of restitution,” *Am. J. Phys.* 49, 136–140 (Feb. 1981).
- ⁴ Feynman R, Leighton y Sand M. (1971) *The Feynman Lectures On Physics, Mecanica, Radiación Y Calor*. Fondo Educativo Interamericano México.
- ⁵ Alonso M. Y Finn E.J. (1995) *Física*, Editorial Addison-Wesley Interamericana.
- ⁶ Tipler P.A.(1994) *Física*, Editorial Reverté, Madrid.
- ⁷ Crawford Jr. (1977) *Ondas*. Berkeley Physics Course. Volumen III.. Editorial Reverté
- ⁸ Audacity Es un programa libre y de código abierto para grabar y editar sonido, <http://Audacity.Sourceforge.Net>
- ⁹ Potter, D. (2003) *Phase Changes In Reflected Sound Waves*. *The Physics Teacher*, 41(2003) 12-13
- ¹⁰ *Experimentos en el aula utilizando la tarjeta de sonido de una PC*, Silvia E. Calderón, Pablo Núñez, y Salvador Gil, Enviado a *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, No. 1, 188, Jan. 2010