

ONDAS ESTACIONARIAS EN UN HILO

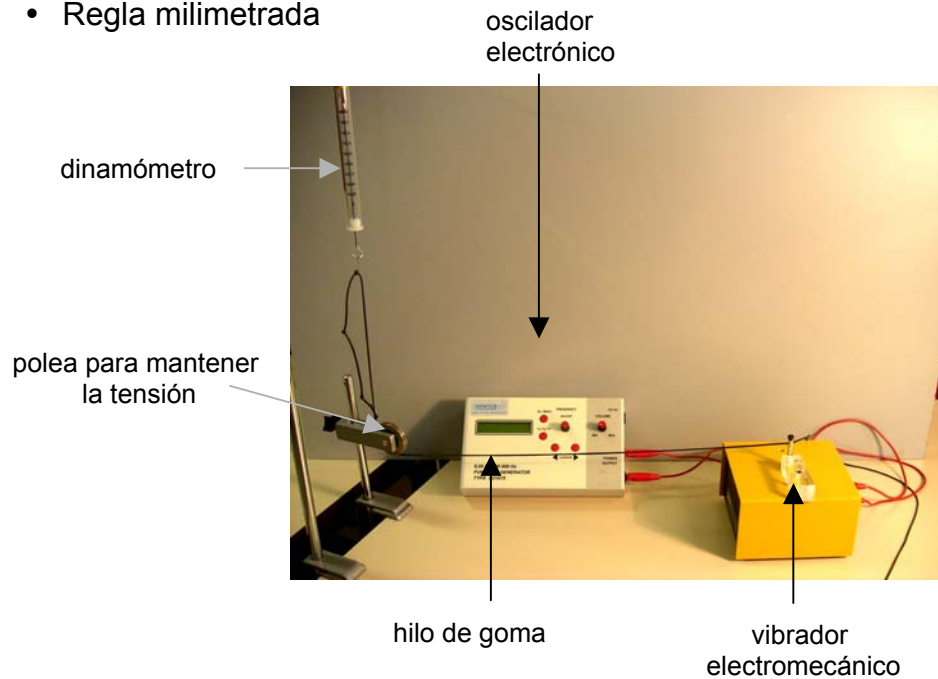
Fecha: 07/02/05

1. Objetivo de la práctica

Estudio de las ondas estacionarias transversales en un hilo. Papel de la tensión y densidad del hilo.

2. Material

- Vibrador electromecánico
- Generador de funciones (oscilador electrónico)
- Dinamómetro hasta 1 N ($\pm 0,01$ N)
- Hilo de goma elástica
- Soportes
- Regla milimetrada



3. Teoría

La velocidad V con que una onda transversal se propaga a través de un hilo elástico depende de la densidad lineal ρ (masa por unidad de longitud) y de la tensión F a que esté sometido el hilo, mediante la relación:

$$V = \sqrt{\frac{F}{\rho}} \quad (1)$$

Cuando una onda llega al extremo del hilo, se refleja y se propaga en sentido contrario con lo que el tren de ondas incidente y el reflejado se superponen dando lugar a una vibración compleja. Cuando la longitud L del hilo es un múltiplo entero de semilongitudes de onda, es decir cuando

$$L = K \frac{\lambda}{2} = K \frac{V}{2\nu} \quad (K = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

esta superposición da lugar a *ondas estacionarias*. Estas ondas se llaman así porque dan la impresión de no propagarse a lo largo del hilo; aparentemente sólo se observan las vibraciones transversales de cada punto. Eliminando V entre (1) y (2) se puede escribir la siguiente expresión:

$$K = 2L \sqrt{\frac{\rho}{F}} \nu \quad (3)$$

que indica que existe una relación lineal entre la frecuencia de excitación y el orden K del “modo de oscilación” de la onda estacionaria. Este número K coincide con el número de *vientres* que presenta la onda, de manera que $K = 1$ corresponde al modo fundamental en el que sólo hay un vientre de oscilación en el centro del hilo (en los extremos siempre hay nodos). Para producir y mantener las ondas estacionarias en el hilo, se dispone de un vibrador alimentado con un generador de funciones (oscilador electrónico) de frecuencia y amplitud variable al que se sujeta el hilo.

4 Montaje Experimental

El montaje experimental permite variar la tensión F del hilo elástico, que se mide con el dinamómetro. Para ello, se desplaza la posición de este último, estirando más o menos el hilo hasta conseguir el valor de F deseado. Por tanto, la densidad ρ del hilo dependerá de la tensión F . Téngase en cuenta que la longitud L

del hilo que está implicada en las oscilaciones es la distancia entre el vibrador y el centro de la polea del otro extremo; el resto del hilo está a la misma tensión pero no forma parte de las ondas estacionarias. La frecuencia del vibrador se puede variar con el generador de funciones con objeto de conseguir una buena resonancia para cada pareja de valores K y F . Los cables del generador de funciones deben estar siempre conectados al vibrador con objeto de evitar que se produzca un cortocircuito entre ellos. En el Apéndice se da una descripción del generador de funciones.

5 Medidas

1. En primer lugar, conviene comprobar el "cero" del dinamómetro por si fuera necesario reajustarlo llevándolo a cero cuando no tiene tensión aplicada. Además, se fija la longitud de hilo útil para la oscilación en $L \cong 1,5$ m
2. *Observación de las ondas estacionarias.* Se coloca el vibrador de modo que la longitud del hilo sea $\sim 1,60$ m, y se mide esta longitud con la regla. Se desplaza el extremo del hilo enganchado al dinamómetro hasta que éste indique 0,4 N aproximadamente. Con esta tensión se pone en marcha el oscilador y el vibrador con una frecuencia de unos 40 Hz y una amplitud de la cuarta parte del máximo aproximadamente (en el máximo de amplitud el equipo puede dañarse). Mientras se observa detenidamente el hilo, se va variando la frecuencia por saltos de 0,1 Hz hasta que se produzca la resonancia, claramente detectable porque en los vientres la oscilación se hace intensa y en los nodos se hace prácticamente nula; cuanto más marcada sea la diferencia entre vientres y nodos, mejor se ha conseguido la frecuencia de resonancia. En principio deberían aparecer alrededor de 10 vientres, $K \sim 10$ (depende de la longitud del hilo). A veces conviene aumentar ligeramente la amplitud para empezar a ver la resonancia, pero después se baja la amplitud para afinar mejor la frecuencia de resonancia. La amplitud no debe ser muy grande porque, aparte del daño que se causa al oscilador, eso hace que el enganche del oscilador tienda a actuar como un vientre, lo cual cambia la condición de resonancia de la ecuación (2). Si la amplitud es pequeña, el punto de enganche actúa como un nodo que transmite la oscilación y vale la ecuación (2). Además, con una amplitud grande aparecen armónicos superiores en el vibrador y la condición de resonancia no es tan limpia.

3. *Modo fundamental.* Si ahora se va bajando la frecuencia en saltos de 0,1 Hz, las ondas estacionarias desaparecen (se pierde la resonancia). Si se sigue bajando la frecuencia se vuelve a recuperar resonancia, pero con un vientre menos. Continuando con el descenso de la frecuencia se van perdiendo vientres hasta que, para $\nu \approx 4$ Hz (depende de la longitud del hilo) se llega a un solo vientre en el centro del hilo; este es el *modo fundamental*.
4. *Variación de K en función de ν .* Con la mayor precisión posible, se vuelve a medir en el dinamómetro el valor de la tensión F , puesto que durante los pasos 1 y 2 ha podido variar algo. Partiendo ahora del modo fundamental, $K = 1$, se va subiendo la frecuencia para encontrar todas las resonancias $K = 2, 3, \dots$ hasta $K = 10$ y se anotan los valores de K y de ν (la Tabla 1 es un ejemplo de anotación).
5. *Otros valores de la tensión F .* A continuación se repite el paso anterior para valores de la tensión de 0.7 N y de 1 N.
6. *Determinación de la densidad del hilo.* Se representan gráficamente los valores de K en función de ν para los tres valores de la tensión usados. De acuerdo con la fórmula (3), en cada caso los puntos deben quedar situados aproximadamente a lo largo de una recta de pendiente

$$pend = 2L\sqrt{\rho/F} \quad (4)$$

Se busca la recta que mejor se ajusta a los puntos experimentales, primero visualmente y después por mínimos cuadrados. Utilizando (4), se determina el valor de la densidad lineal $\rho = pend^2 \cdot F / (4L^2)$ para cada valor de la tensión. Compárense los valores obtenidos con el valor de ρ medido directamente (*longitud total* ~ 2 m; *masa* $\sim 5,6$ g; \rightarrow *densidad lineal* $\sim 2,78$ g/m). Aunque el montaje experimental no permite determinar con precisión la dependencia de la densidad con la tensión, se debe apreciar la tendencia de ρ a disminuir cuando F aumenta, porque el hilo elástico se estira.

Bibliografía

1. M. Alonso, E. J. Finn, "Física", Vol. II: Campos y Ondas. Fondo Educativo Interamericano, 1987.
2. P. E. Tipler, "Física". Reverté, 1994.

Tabla 1. Datos numéricos

$L = \pm$ m; (Precisiones: dinamómetro, \pm N; oscilador, \pm Hz)

$F_1 = \pm$ N		$F_2 = \pm$ N		$F_3 = \pm$ N	
K_1	ν_1 (Hz)	K_2	ν_2 (Hz)	K_3	ν_3 (Hz)

APENDICE: Generador de funciones U21015 (VENTUS)

En términos generales, un generador de funciones consiste en un oscilador electrónico que suministra a su salida una tensión/corriente eléctrica periódica. La alimentación es a 12 V AC a través de la entrada lateral derecha superior. La salida a través del lateral derecho inferior viene indicada por "Power output" (hasta 1 A máximo y 50Ω de impedancia) y suministra tres formas de onda que se seleccionan con un conmutador de tres posiciones y los correspondientes iconos, sinusoidal y dos tipos de cuadrada. Se debe elegir la forma sinusoidal para aproximarnos todo lo posible al caso ideal de una frecuencia pura, sin armónicos. También permite variar la amplitud de la oscilación mediante el potenciómetro que indica "Volume". No se debe llegar al máximo de amplitud tanto para evitar dañar al oscilador y al vibrador como para que la frecuencia de oscilación del vibrador contenga pocos armónicos. Por último, es posible variar la frecuencia de oscilación mediante un control grueso que conmuta entre 3 kHz y 50 kHz (aquí sólo se usa la posición de 3 kHz) y otro de paso continuo para un ajuste fino "Adjust". La frecuencia de trabajo viene indicada en un visualizador, donde aparece subrayado por un cursor el dígito que varía al girar el control de frecuencia. Se puede variar el dígito que va cambiando moviendo el cursor de posición por medio de los pulsadores (izquierda/derecha) del cursor. El equipo se debe apagar al finalizar la Práctica cortando el interruptor del cuadro de enchufes.