

Ondas sobre una cuerda

Objetivo.

Analizar el comportamiento de las ondas estacionarias en una cuerda relacionando la tensión, la frecuencia de oscilación, la longitud de la cuerda y el número de segmentos que se forman al vibrar.

Introducción.

Cuando una cuerda tensa se pulsa ésta vibrará en su modo fundamental en un segmento simple con nodos sobre cada extremo. Si la cuerda vibra a su frecuencia fundamental formará una onda estacionaria.

También se formarán ondas si la cuerda vibra con algún múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Estas frecuencias altas o modos normales de vibración se denominan armónicos.

Cada segmento es igual a la mitad de la longitud de onda. En general, para un armónico dado la longitud de onda λ es:

$$\lambda = \frac{2L}{n}; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.1)$$

donde L es la longitud de la cuerda tensa y n es el número de segmentos en la cuerda. La densidad de masa lineal de la cuerda puede medirse directamente pesando la cuerda. Es decir, la densidad lineal de la cuerda es la masa de la cuerda por unidad de longitud:

$$\mu = \frac{\text{masa}}{\text{longitud}} \quad (1.2)$$

La densidad de masa lineal de la cuerda puede obtenerse observando la relación entre la tensión, la frecuencia, la longitud de la cuerda y el número de segmentos en la onda estacionaria. Para obtener esta relación la velocidad de onda se expresa de dos formas:

La velocidad de onda está dada por $v = \lambda f$, donde f es la frecuencia de la onda. Para una cuerda tensa

$$v = \frac{2Lf}{n} \quad (1.3)$$

La velocidad de onda que viaja sobre una cuerda es también depende de la tensión, T, y la densidad de masa lineal μ de la cuerda como:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1.4)$$

Igualando las ecuaciones (1.3) y (1.4) y resolviendo para T queda:



$$T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{n^2} \quad (1.5)$$

Si la tensión varía mientras la longitud y frecuencia se mantienen constantes, un gráfico de la tensión T vs $(1/n^2)$ dará una línea recta, con su pendiente igual a $4L^2 f^2 \mu$. Dicha pendiente puede usarse para calcular la densidad de masa lineal de la cuerda. La ecuación para la tensión puede obtenerse también a partir de:

$$f = \sqrt{\frac{T}{4L^2 \mu}} n \quad (1.6)$$

Si la frecuencia se varía mientras la tensión y longitud se mantienen constantes, se obtendrá una gráfica de f vs número de segmentos, dando una línea recta. La pendiente de esta línea puede también usarse para calcular la densidad de masa lineal de dicha cuerda.

Material.

- Amplificador de señales.
- Balanza.
- Dos abrazaderas.
- Conjunto de masas y ganchos.
- Flexómetro.
- Dos cables banana-banana.
- Poleas con soporte.
- Soporte universal.
- Cuerda.
- Generador de ondas mecánicas.
- Interfaz con cable y adaptador.

Procedimiento.

Primero, determine la densidad de masa lineal de la cuerda directamente, luego determine usando la relación de tensión, longitud, número de segmentos y la frecuencia para las ondas estacionarias de la cuerda.

Luego en la parte A utilice diferentes masas para cambiar la tensión de la cuerda, manteniendo la longitud y frecuencia constantes. Obtén una gráfica de tensión vs. $1/n^2$ para determinar la densidad de masa lineal de la cuerda.

En la parte B utilice el controlador de ondas para variar la frecuencia manteniendo la longitud y tensión constantes. Utilice el programa DataStudio para cambiar la frecuencia del controlador de ondas. Obtenga una gráfica de frecuencia vs n para determinar la densidad de masa lineal de la cuerda.

Parte A: Variando la tensión manteniendo constante la longitud y la frecuencia

1. Conecte la interfaz a la computadora. Encienda primero la interfaz y luego la computadora.
2. Conecta el amplificador de señales al canal analógico A.
3. Para evitar la sobrecarga del equipo, no enciendas el amplificador de señales hasta que la instalación del equipo se complete.
4. Instala el equipo. Amarra un extremo de la cuerda de 2m al soporte vertical que está sujetado a la orilla de la mesa. Pasa el otro extremo de la cuerda sobre la polea que está montada sobre el otro soporte, como se muestra en la Figura 1, y engancha una masa de aproximadamente 500g a la cuerda.

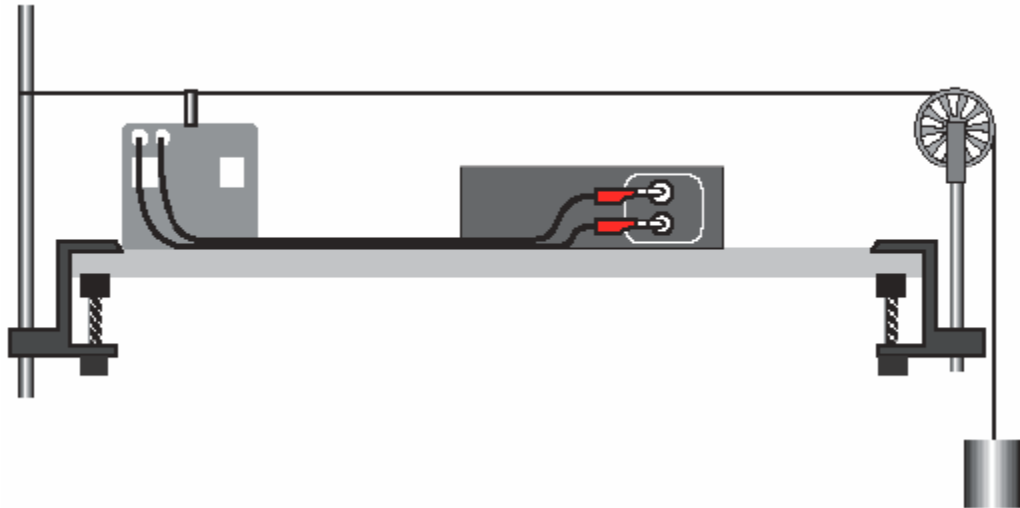


Figura 1. Instalación del equipo.

5. Coloca el controlador de ondas sobre la cuerda cerca del soporte vertical. Inserta la cuerda en la ranura del tope del controlador que haga vibrar la cuerda hacia arriba y hacia abajo. Utiliza los conectores banana para realizar las conexiones entre el amplificador y el controlador de ondas.
6. Mide la longitud de la cuerda L que estará vibrando (la parte entre el tope del controlador y el tope de la polea).
7. Encienda el amplificador de señales.

8. Coloque suficiente masa sobre el gancho para hacer que la cuerda vibre en su modo fundamental (un antinodo en el centro) a una frecuencia de 60 Hz. Ajuste la cantidad de masa hasta que los nodos de cada extremo estén estables (no vibren), y registre la masa inicial.
9. Ahora cambie la cantidad de masa del gancho hasta que la cuerda vibre en cada uno de los armónicos más altos (desde 2 hasta 8 segmentos) y registre estas masas. Sugerencia: Reduzca la masa para incrementar el número de segmentos.
10. Calcule la tensión de cada masa usada (tensión = mg , donde $g = 9.8 \text{ m/s}^2$).
11. Obtenga una gráfica de tensión vs $1/n^2$.
12. Determine la pendiente de la recta que mejor se ajuste a los datos.
13. Usando este valor de la pendiente, calcule la densidad de masa lineal de la cuerda recordando que la pendiente también se expresa como $4L^2 f^2 \mu$.
14. Calcule el porcentaje de error entre este valor encontrado y el valor medido directamente.

Parte B: Variando la frecuencia, manteniendo constantes la tensión y la longitud.

1. Coloque alrededor de 500g sobre el gancho de masas y calcula la tensión.
2. Varie la frecuencia del generador de señales hasta que la cuerda vibre en un segmento (frecuencia fundamental).
3. Encuentre la frecuencia requerida para el armónico mayor (desde $n=2$ hasta $n=7$ y regístrelas.
4. Obtenga una gráfica de frecuencias vs segmentos.
5. Determine la pendiente de la recta que mejor se aproxime.
6. Usando la pendiente, longitud y frecuencia, calcule la densidad de masa lineal de la cuerda. Ahora resuelva para la densidad lineal cuando la pendiente es igual a $\sqrt{T/4L^2 \mu}$.

-
7. Calcule el porcentaje de error entre este valor encontrado y el valor medido.

Preguntas.

1. Si la tensión se incrementa y la frecuencia se mantiene constante, ¿qué sucede con el número de segmentos?
2. Si la frecuencia se incrementa y la tensión se mantiene constante, ¿qué sucede con el número de segmentos?
3. Si la tensión se incrementa y la frecuencia se mantiene constante, ¿qué sucede con la velocidad de onda?
4. **Si** la frecuencia se incrementa y la tensión se mantiene constante, ¿qué sucede con la velocidad de onda?
5. **Suponga** que la cuerda #1 tiene una doble densidad que la cuerda #2, ambas tienen la misma tensión y longitud. Si cada una de las cuerdas está vibrando en su modo fundamental, ¿cuál de las cuerdas tiene la frecuencia mayor?

NOTA: Revise bien el estado de los componentes a utilizar. Cualquier desperfecto, repórtelo con el técnico del laboratorio. Cualquier duda con las conexiones, funcionamiento o el uso del software puede preguntarle a su profesor o al técnico del laboratorio.