

Desafío: ¿Podrías generar, identificar y explicar los modos normales de una cuerda vibrante bajo diferentes condiciones de frontera, y establecer cómo se relacionan con la tensión, la frecuencia y la energía?

Contexto del desafío

En muchas aplicaciones de la ingeniería —como el diseño de estructuras resistentes a vibraciones, la acústica de auditorios o la construcción de instrumentos musicales— es esencial comprender cómo se propagan y se estacionan las ondas en medios físicos. El docente presenta el desafío y orienta la discusión inicial destacando la importancia del fenómeno de ondas estacionarias en múltiples contextos tecnológicos y plantea preguntas abiertas que despiertan la curiosidad:

- ¿Por qué algunas frecuencias generan patrones claros y estables en una cuerda?
- ¿Qué variables pueden controlar esos patrones?
- ¿Cómo podríamos aplicar este conocimiento para diseñar dispositivos más eficientes o seguros?

Cada grupo de estudiantes se enfrentará al reto de diseñar, ajustar y justificar experimentalmente un sistema vibrante capaz de producir ondas estacionarias, y de analizar sus características matemáticas y físicas en función de los parámetros involucrados.

Objetivos

- Observar y analizar la formación de ondas estacionarias en una cuerda real.
- Verificar experimentalmente las condiciones de resonancia y los modos normales, y analizar cómo se relacionan con la longitud, la frecuencia y la tensión.
- Identificar los modos normales de vibración y sus condiciones de aparición en función de las características del sistema.
- Calcular la energía almacenada en cada modo normal y analizar cómo varía con el número de armónico.
- Interpretar los patrones de vibración a partir de modelos físicos y relacionarlos con aplicaciones en ingeniería.

Conexiones

- **Ciencia:** Interferencia, resonancia, nodos y antinodos.
- **Tecnología:** Simuladores y generadores de frecuencia.

- **Ingeniería:** Diseño de estructuras, acústica arquitectónica, instrumentos musicales.
- **Matemáticas:** Funciones sinusoidales, proporciones, análisis gráfico.

Materiales en laboratorio

- Cuerda real con vibrador mecánico.
- Pesas colgantes y balanza.
- Regla o cinta métrica.

Número de sesiones: 2 (cada una de 1.5 h)

Sesión 1: Trabajo experimental en laboratorio. Todos los grupos realizarán el siguiente experimento:

Experimento: Ondas estacionarias en una cuerda ligera

1. Monta la cuerda horizontal conectada al vibrador mecánico.
2. Cuelga diferentes masas para variar la tensión. Mide la masa con una balanza.
3. Ajusta la frecuencia hasta observar claramente nodos y antinodos.
4. Registra frecuencia, longitud de onda (según número de nodos), y calcula la velocidad de propagación.
5. Verifica la relación $v = \lambda f$ y la influencia de la tensión.

Sesión 2: Entrega del informe escrito y mini-exposición oral (máximo 10 minutos por grupo).

Recomendación previa

Se recomienda que los estudiantes exploren con antelación el simulador PhET “**Wave on a String**” para familiarizarse con la formación de ondas estacionarias antes de asistir al laboratorio.

Enlace: <https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string.es.html>

Preparación previa del estudiante

Antes de asistir a la sesión de laboratorio, cada estudiante debe realizar una síntesis escrita (máximo 1 página), que incluya:

- Diferencias entre onda viajera y onda estacionaria.
- Condiciones de frontera en una cuerda con un extremo fijo (izquierdo) y el otro extremo:
 - Fijo (extremo derecho fijo)
 - Libre (extremo derecho libre)
- Representación matemática de la onda estacionaria para cada caso.

- Relación entre frecuencia, longitud de onda y velocidad: $v = \lambda f = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, siendo T la tensión de la cuerda y μ su masa por unidad de longitud.
- Identificación de los modos normales y armónicos en ambos casos.
- Uso del simulador PhET para:
 - Visualizar ondas estacionarias cuando el extremo izquierdo está conectado a la fuente oscilante.
 - Comparar nodos y antinodos según si el extremo derecho es fijo o libre.
 - Determinar las frecuencias de resonancia de los primeros tres modos normales en cada caso.
- Análisis de cómo varía la energía almacenada con la amplitud, frecuencia y número de armónico.

Rol del docente durante la actividad

Durante la práctica, el docente actúa como facilitador del aprendizaje:

- Observa las decisiones de cada grupo al montar el sistema y ajustar parámetros.
- Formula preguntas que promueven el razonamiento:
 - ¿Cómo saben que han alcanzado un modo estacionario?
 - ¿Cómo se evidencia que $v = \lambda f$?
 - ¿Qué efecto tiene cambiar la masa colgante?
- Estimula el uso del lenguaje matemático y gráfico.
- Evalúa la argumentación física del grupo.

El docente no brinda respuestas, sino que guía la construcción activa del conocimiento.

Preguntas orientadoras

- ¿Qué condiciones deben cumplirse para que se forme una onda estacionaria?
- ¿Cómo influyen la longitud, la masa y la tensión en la velocidad?
- ¿Cómo varía la frecuencia fundamental con las características del sistema?
- ¿Qué patrones se observan en los modos normales?
- ¿Cómo se distribuye la energía en una onda estacionaria?
- ¿Qué aplicaciones tienen estos fenómenos en la ingeniería?

Evaluación

La nota definitiva corresponde al promedio de:

- **Informe escrito:** 2.5 puntos
- **Mini-exposición oral:** 2.5 puntos

Durante la sustentación, se espera que los integrantes del grupo demuestren comprensión conceptual y matemática sobre:

- Las condiciones para observar los modos normales.
- El cálculo de la energía de cada modo.
- Las aplicaciones prácticas del fenómeno.

Rúbrica del informe (2.5 puntos)

Criterio	Puntaje Máximo
Descripción clara del objetivo y modelo físico usado	0.25
Presentación organizada de datos y gráficas	0.25
Cálculos correctos de la longitud de onda y energía	1.0
Inclusión y análisis de fotogramas (simulación y experimento real) para los primeros modos con extremos fijo y libre	0.5
Análisis crítico de resultados y fuentes de error	0.25
Conclusiones coherentes y fundamentadas	0.25
Total	2.5

Rúbrica de la mini-exposición (2.5 puntos)

Criterio	Puntaje Máximo
Claridad en la explicación del experimento y sus resultados	0.5
Participación equilibrada de todos los miembros	0.5
Uso de recursos visuales (gráficas, fotografías, esquemas)	0.25
Presentación clara de evidencias visuales (fotogramas) que comparan la simulación con el experimento real	0.5
Interpretación de los fenómenos y relación con la teoría	0.5
Dominio del tema y respuestas al jurado	0.25
Total	2.5

Nota final: Suma de informe (2.5) + sustentación (2.5) = 5.0 puntos

Referencias

PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder.
https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_es.html