

# La Física del Telefonito

**Jurianny Andica**  
**María José Pérez**  
**Alejandra Angarita**  
*Universidad Industrial de Santander*  
*Escuela de Física*

7 de Diciembre del 2024

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Justificación . . . . .	2
1.2. Marco teórico . . . . .	2
<b>2. Metodología</b>	<b>3</b>
2.1. Montaje experimental . . . . .	3
<b>3. Resultados</b>	<b>4</b>
3.1. Resultados teóricos . . . . .	4
3.2. Resultados experimentales . . . . .	6
3.3. Error . . . . .	8
<b>4. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>11</b>
<b>5. Referencias</b>	<b>11</b>

## Resumen

La transmisión de ondas sonoras a través de diferentes materiales es un tema relevante en el estudio de acústica, ya que la elección de materiales puede afectar significativamente la calidad de la señal transmitida. Este trabajo se centró en analizar la pérdida de frecuencia al transmitir ondas sonoras a través de cuerdas de distintos materiales (fique y nylon) y longitudes (1 m y 2 m), conectadas a vasos de papel, lata y plástico. El objetivo fue determinar la configuración que presentara la menor pérdida de frecuencia.

Para el estudio, se utilizó un diseño experimental controlado, en el cual se generaron ondas sonoras de 500 Hz y 1000 Hz mediante un generador de frecuencia, y se midieron las frecuencias de salida utilizando un osciloscopio virtual. Se realizaron cinco ensayos independientes por configuración, asegurando la consistencia de los resultados. Además, se implementó una simulación

teórica que permitió predecir los valores esperados de frecuencia de salida en función de las propiedades físicas de los materiales involucrados.

Los resultados experimentales mostraron que las combinaciones de materiales con cuerdas de nylon y vasos de plástico presentaron menores pérdidas de frecuencia. La comparación entre los datos experimentales y los valores teóricos evidenció ciertas desviaciones, lo que resalta la importancia de considerar factores no controlados en el entorno experimental. Estos resultados contribuyen al diseño de sistemas de transmisión de sonido más eficientes en función de los materiales utilizados.

## 1. Introducción

### 1.1. Justificación

La transmisión del sonido a través de medios mecánicos, estudiada desde el siglo XVII, sentó las bases para las tecnologías modernas de comunicación. El físico británico Robert Hooke demostró que las vibraciones podían viajar por cuerdas tensadas, marcando un hito en la comprensión de la propagación de ondas mecánicas. Estos avances inspiraron dispositivos como el vasófono o teléfono de vasos, cuyo diseño sencillo continúa siendo una herramienta educativa clave para explorar fenómenos como la vibración, la transmisión de energía y las propiedades de las ondas.

Este trabajo analiza los principios físicos que determinan el funcionamiento del vasófono, centrándose en cómo variables como la tensión, el material y el diámetro de la cuerda afectan la calidad y el alcance de la transmisión sonora. Al abordar preguntas fundamentales sobre la relación entre las propiedades de la cuerda y la propagación del sonido, se busca no solo fortalecer la comprensión de este fenómeno, sino también fomentar la curiosidad científica y explorar aplicaciones tecnológicas derivadas de estos principios.

### 1.2. Marco teórico

La propagación de una onda transversal en una cuerda está determinada por su velocidad, que se calcula mediante la ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \quad (1)$$

donde  $T$  es la tensión aplicada a la cuerda (en Newtons) y  $\mu$  es la densidad lineal de masa del material de la cuerda (en kg/m) [1]. Este término describe cómo materiales más densos ( $\mu$ ) disminuyen la velocidad de la onda, afectando directamente la calidad de transmisión. En el código implementado, se consideran dos materiales: nylon ( $\mu = 0,002$  kg/m) y fique ( $\mu = 0,005$  kg/m), permitiendo analizar cómo varían las velocidades de propagación en función del material.

El modelo también incluye un término de atenuación, calculado como:

$$A = e^{-\alpha \cdot L}, \quad (2)$$

donde  $\alpha$  es el coeficiente de absorción del material de la cuerda, y  $L$  es la longitud de la cuerda (en metros) [2]. Este término captura las pérdidas de energía de la onda debido a la absorción y fricción internas del material. Los valores considerados ( $\alpha = 0,1$  para nylon y  $\alpha = 0,15$  para fique)

se tomaron de estudios experimentales reportados en [3] (p. 210), que describen las propiedades de absorción en cuerdas comunes utilizadas para experimentos acústicos y mecánicos.

El vaso, por su parte, se modela como un resonador acústico que transforma las vibraciones mecánicas de la cuerda en ondas sonoras y viceversa. Este efecto se representa mediante el factor de transmisión acústica  $\beta$ , que cuantifica la eficiencia de esta conversión según el material del vaso:

$$f_{\text{salida}} = f_{\text{entrada}} \cdot A \cdot \beta, \quad (3)$$

donde  $f_{\text{entrada}}$  es la frecuencia inicial del sonido, y  $f_{\text{salida}}$  es la frecuencia que se obtiene después de considerar las pérdidas en la cuerda y la eficiencia del vaso [4]. Los valores de  $\beta$  seleccionados ( $\beta = 0,9$  para plástico,  $\beta = 0,85$  para papel y  $\beta = 0,8$  para lata) fueron determinados con base en datos recopilados por Halliday y Resnick en [4], que indican cómo las propiedades de reflexión y absorción de materiales influyen en la transmisión acústica.

Este modelo fue elegido por su capacidad de integrar los factores más relevantes que afectan la calidad de transmisión del sonido en sistemas simples, como los teléfonos de cuerda. Aunque idealiza condiciones como la homogeneidad de la cuerda y la linealidad de las pérdidas, su formulación permite predecir resultados consistentes con observaciones experimentales y proporciona una base sólida para explorar configuraciones óptimas de materiales y geometrías en sistemas de comunicación básicos. Además, el modelo es aplicable en contextos educativos y de demostración científica, al capturar de manera clara la relación entre las propiedades materiales y la transmisión acústica.

## 2. Metodología

### 2.1. Montaje experimental

En este proyecto se analizó la pérdida de frecuencia en la transmisión de ondas sonoras a través de distintas combinaciones de materiales para cuerdas y vasos, con el objetivo de identificar la configuración que presentara la menor pérdida de señal. Para ello, se diseñó un experimento detallado, asegurando su reproducibilidad mediante el uso de herramientas y técnicas precisas que optimizan la exactitud de las mediciones.

Se seleccionaron dos tipos de materiales para las cuerdas: fique y nylon, utilizando longitudes de 1 m y 2 m para cada tipo. Estas variaciones permitieron investigar cómo la longitud de las cuerdas influye en la transmisión del sonido. Para los vasos, se eligieron tres materiales con propiedades acústicas contrastantes: papel (ligero y de baja densidad), lata (con alta rigidez y capacidad reflectante), y plástico (con propiedades acústicas intermedias). Se evaluaron todas las combinaciones posibles entre estos materiales.

El montaje experimental consistió en fijar las cuerdas a los vasos, asegurando una conexión firme y uniforme, así como se observa en la **Figura 1**. Cada sistema se alineó de manera que la distancia entre el vaso emisor y el vaso receptor fuera de 1 metro y 2 metros, en un entorno acústico controlado, con el objetivo de minimizar el ruido y las interferencias externas.

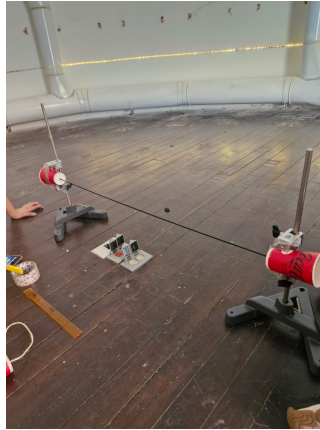


Figura 1: Montaje experimental

Las señales de prueba fueron generadas mediante un generador de frecuencias que emitió ondas sonoras a 500 Hz y 1000 Hz. En el extremo receptor, se utilizó un osciloscopio virtual para capturar las frecuencias transmitidas. Esta herramienta permitió registrar las frecuencias recibidas, proporcionando los datos necesarios para analizar la pérdida relativa de la señal en comparación con las frecuencias emitidas. Cada configuración fue evaluada en cinco ensayos independientes, con el fin de asegurar la consistencia de los resultados.

Para complementar los resultados experimentales, se realizó una simulación que permitió calcular los valores teóricos esperados para la transmisión de las ondas sonoras en las diferentes configuraciones de materiales. La simulación consideró las propiedades físicas de las cuerdas y los vasos, como la elasticidad, la rigidez y la densidad, para predecir cómo estas influían en la propagación del sonido. Los resultados teóricos fueron luego comparados con los datos experimentales obtenidos, lo que proporcionó una base para evaluar las desviaciones y la precisión del sistema.

El uso del generador de frecuencias y el osciloscopio virtual fue crucial para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos. Estas herramientas permitieron registrar señales con alta sensibilidad, facilitando el análisis posterior a través de software especializado. La elección de los materiales para las cuerdas y los vasos se basó en su disponibilidad y en sus propiedades físicas, las cuales son clave para evaluar los distintos mecanismos de transmisión del sonido, tales como elasticidad, rigidez y densidad.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultados teóricos

En este trabajo se simuló la transmisión del sonido en un sistema de cuerda y vasos utilizando un modelo computacional desarrollado en Python. El modelo considera parámetros físicos como la densidad lineal ( $\mu$ ), el coeficiente de atenuación ( $\alpha$ ) de los materiales de la cuerda, y el factor de transmisión ( $\beta$ ) de los materiales de los vasos. Las simulaciones se realizaron con longitudes de 1 m

y 2 m, y frecuencias de entrada de 500 Hz y 1000 Hz. Estas condiciones permitieron evaluar cómo los materiales y las características físicas afectan la transmisión de la frecuencia de salida.

En las **Figuras 2 y 3**, se observan los resultados de las simulaciones para frecuencias de entrada de 500 Hz y 1000 Hz, respectivamente. Cada punto en las gráficas representa la frecuencia de salida simulada en función de la longitud de la cuerda, diferenciándose por el material de la cuerda y el vaso utilizado.

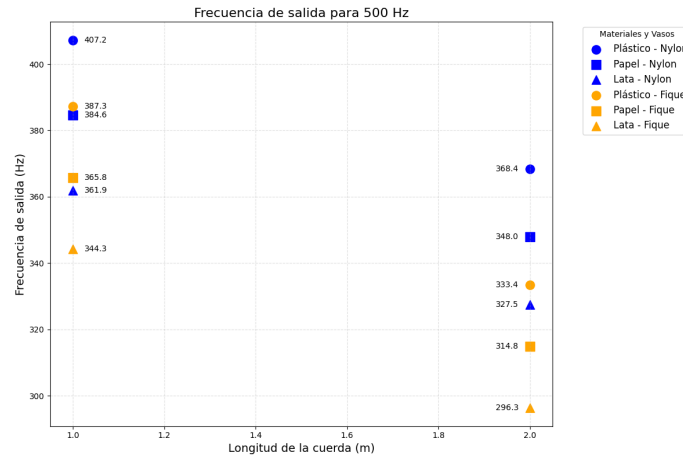


Figura 2: Frecuencia teórica de salida para una frecuencia de entrada de 500 Hz en función de la cuerda y vaso.

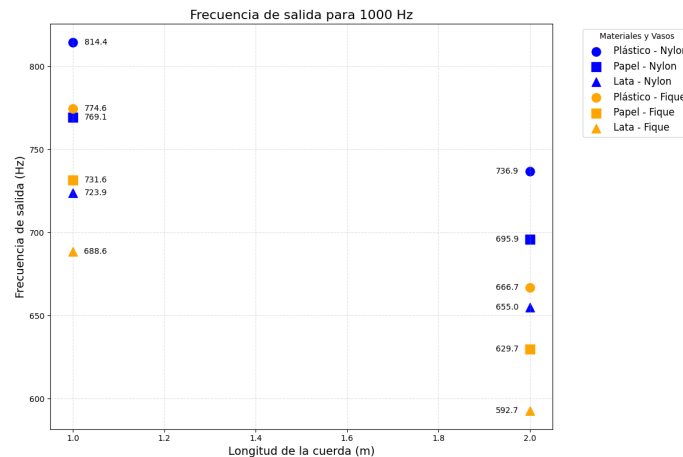


Figura 3: Frecuencia teórica de salida para una frecuencia de entrada de 1000 Hz en función de la cuerda y vaso.

Se aprecia que la frecuencia de salida disminuye exponencialmente con la longitud de la cuerda, consistente con el modelo teórico basado en la atenuación exponencial de las ondas mecánicas. Este

efecto es más pronunciado para materiales como el fique, que tiene un coeficiente de atenuación mayor ( $\alpha = 0,15$ ), en comparación con el nylon ( $\alpha = 0,1$ ).

Los vasos de plástico, que tienen el mayor factor de transmisión ( $\beta = 0,9$ ), conservan mejor la frecuencia de entrada en comparación con los vasos de papel y lata, cuyos factores de transmisión son más bajos ( $\beta = 0,85$  y  $\beta = 0,8$ , respectivamente). En particular, las diferencias entre las frecuencias de salida para 500 Hz y 1000 Hz se vuelven más evidentes con el aumento de la longitud, destacando la sensibilidad de las ondas de mayor frecuencia a las condiciones de atenuación.

Una limitación del modelo es la suposición de una tensión constante y uniforme en toda la longitud de la cuerda, lo cual puede no representar situaciones reales donde las condiciones de tensión varían. Además, la simulación no incluye efectos como las pérdidas por dispersión o los efectos no lineales en la transmisión del sonido, lo que puede ser relevante en casos prácticos.

### 3.2. Resultados experimentales

En los experimentos realizados, se midió la frecuencia de salida en función de la longitud de la cuerda para diferentes combinaciones de materiales (nylon y fique) y tipos de vasos (papel, lata y plástico) primero a una frecuencia de 500 Hz. Los resultados obtenidos se muestran en la [Figura 4](#), donde se puede observar que las frecuencias de salida para las cuerdas de nylon son consistentemente más altas que las de fique, lo que indica una mayor rigidez o resonancia del material de hilo en comparación con el fique. Además, las frecuencias disminuyen con el aumento de la longitud de la cuerda, lo cual es coherente con el comportamiento esperado para sistemas resonantes. En cuanto al tipo de vaso, los vasos de plástico presentan frecuencias de salida más altas en comparación con los de papel y lata, lo que sugiere que las propiedades acústicas del vaso afectan la propagación de las vibraciones en la cuerda. En general, el material de la cuerda tiene un impacto más significativo en la frecuencia de salida que el tipo de vaso, lo que resalta la importancia de la rigidez y elasticidad de la cuerda en la resonancia del sistema.

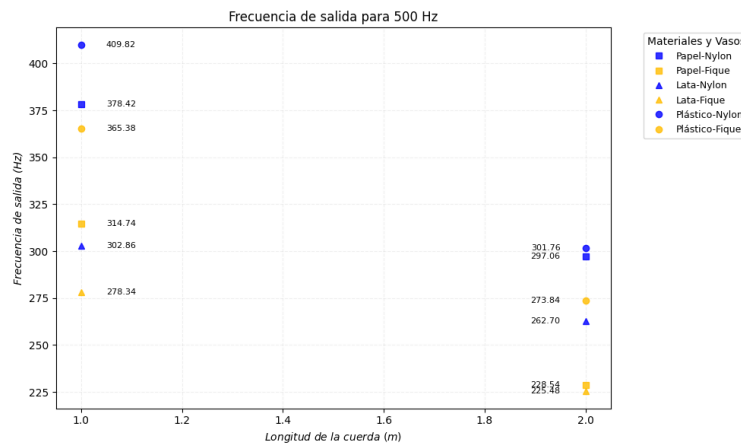


Figura 4: Frecuencia experimental de salida en función de la longitud de la cuerda para diferentes combinaciones de materiales y vasos para 500Hz.

Los experimentos realizados a 1000 Hz muestran una tendencia similar a la observada a 500 Hz, pero con frecuencias de salida más altas en todos los casos, lo cual es esperado dado el aumento en la frecuencia de excitación. Los resultados obtenidos, que se presentan en la [Figura 5](#), indican que, al igual que en el caso de 500 Hz, las frecuencias de salida para las cuerdas de hilo son consistentemente mayores que las de fique, sugiriendo una mayor rigidez del material de hilo. En términos de la influencia de la longitud de la cuerda, las frecuencias continúan disminuyendo con el aumento de la longitud de la cuerda, lo cual sigue el comportamiento característico de sistemas resonantes. Es importante destacar que los vasos de plástico presentan las frecuencias más altas, seguidos por los vasos de papel y lata, lo que sugiere que las propiedades acústicas del vaso también juegan un papel crucial en la resonancia del sistema. Aunque las tendencias observadas para las frecuencias de salida son consistentes con las del experimento a 500 Hz, las diferencias en las frecuencias para 1000 Hz son más marcadas, lo que resalta la influencia de la frecuencia de excitación en el comportamiento del sistema. Estos resultados contribuyen a comprender mejor cómo los materiales de las cuerdas y los vasos afectan las frecuencias de salida en sistemas acústicos resonantes.

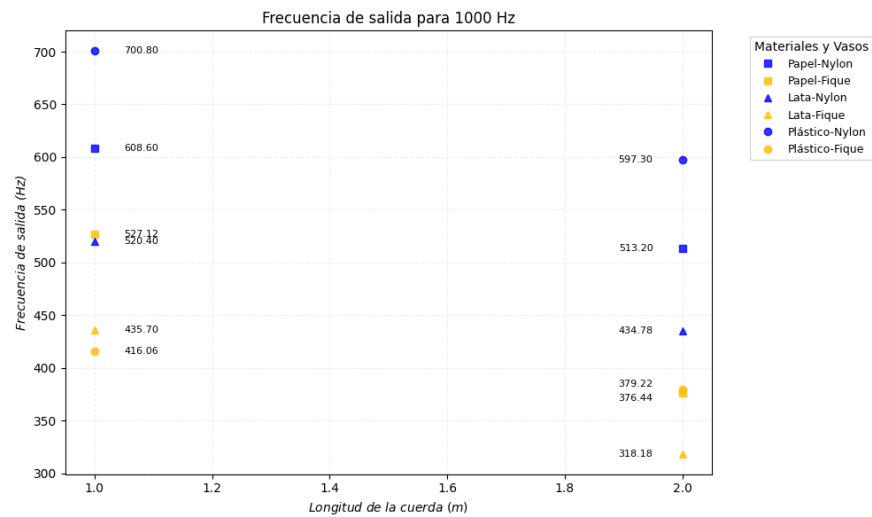


Figura 5: Frecuencia experimental de salida en función de la longitud de la cuerda para diferentes combinaciones de materiales y vasos a 1000 Hz.

### 3.3. Error

Para el caso de 500 Hz, los valores teóricos fueron calculados considerando un modelo de resonancia simple, tomando en cuenta la relación teórica entre la frecuencia de resonancia y la longitud de la cuerda. En primera instancia se hizo una comparativa de ambos valores obtenidos como se observa en la [Figura 6](#), los datos experimentales presentan una ligera variación con respecto a los valores teóricos. Consecuentemente se hizo el respectivo análisis de error (Ver [Figura 7](#)) en el que se puede observar cierta discrepancia entre los resultados. Por un lado existen cifras en las que se obtuvieron un mínimo de error mientras que se hallan otras con unos altos porcentajes del mismo. Esto puede atribuirse a factores como la calidad de los materiales utilizados, ruido externo, la precisión en la medición de la longitud de la cuerda y las características acústicas de los vasos. A pesar de estas pequeñas diferencias, los resultados experimentales siguen la tendencia teórica, lo que valida la aproximación teórica utilizada.

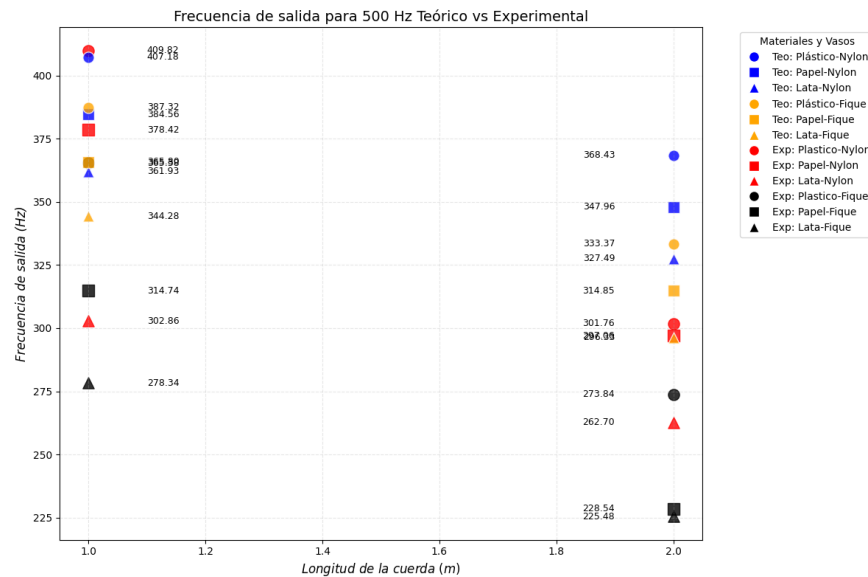


Figura 6: Comparación entre los valores experimentales y teóricos de la frecuencia de salida para 500 Hz.



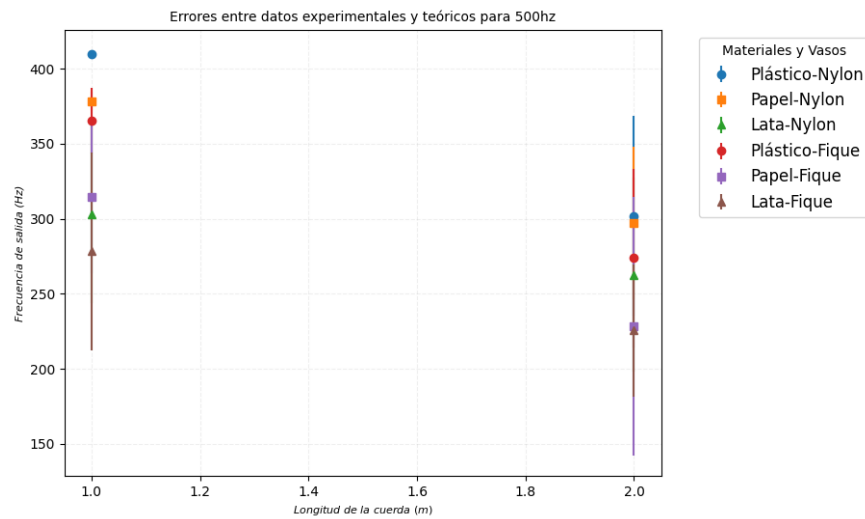


Figura 7: Gráfica de error para frecuencia de salida para 500 Hz.

De manera similar, a 1000 Hz los valores teóricos fueron calculados utilizando el mismo modelo de resonancia. En la [Figura 8](#), se presentan los resultados experimentales junto con los valores teóricos correspondientes y en la [Figura 9](#) se muestra la gráfica del error correspondiente. En este caso, las discrepancias entre los valores teóricos y experimentales son más evidentes, lo cual podría deberse a la mayor sensibilidad del sistema a frecuencias más altas. Factores como la variabilidad en la tensión de la cuerda, ruido externo, la distribución de masa del material y la precisión en el ajuste de la longitud de la cuerda pueden haber influido en la diferencia entre los resultados. Sin embargo, los datos experimentales siguen una tendencia coherente con los valores teóricos, lo que refuerza la validez del modelo utilizado.

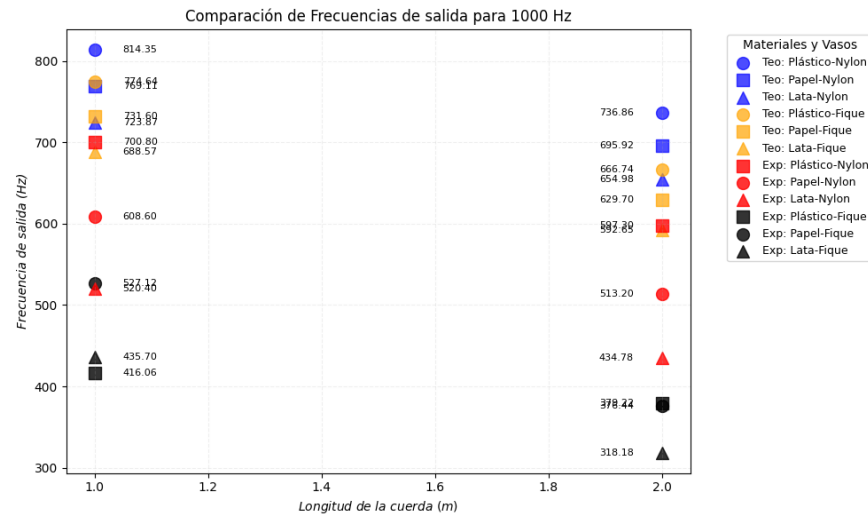


Figura 8: Comparación entre los valores experimentales y teóricos de la frecuencia de salida para 1000 Hz.

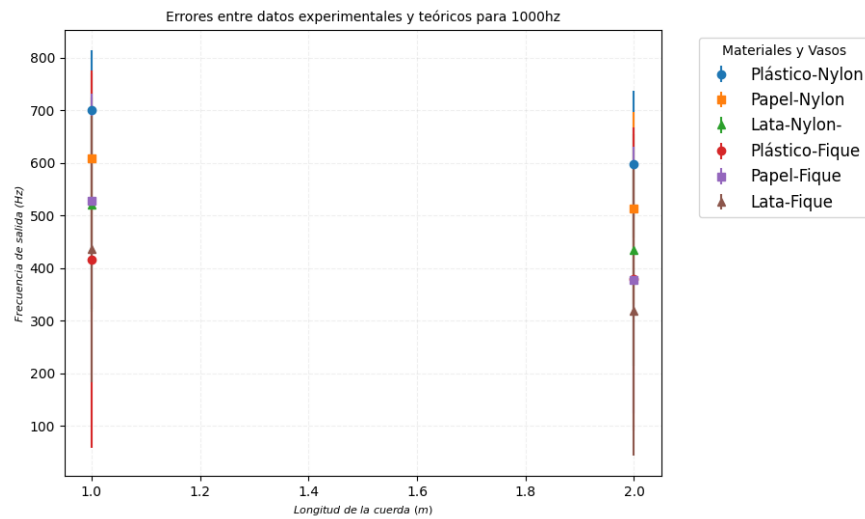


Figura 9: Grafica de error para frecuencia de salida para 1000 Hz.

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

La rigidez y elasticidad del material de la cuerda tienen un impacto significativo en la transmisión del sonido. Las cuerdas de nylon, debido a su menor coeficiente de atenuación ( $\alpha$ ), permiten conservar mejor la frecuencia de entrada en comparación con las cuerdas de fique. Por otro lado, los vasos de plástico, con su mayor factor de transmisión ( $\beta$ ), presentan una mejor preservación de la frecuencia de entrada en comparación con los vasos de papel y lata, lo que evidencia la importancia de las propiedades acústicas del vaso en la resonancia del sistema.

Las simulaciones y experimentos a 500 Hz y 1000 Hz muestran tendencias similares; sin embargo, las frecuencias más altas (1000 Hz) son más sensibles a las condiciones de atenuación, lo que resulta en discrepancias más evidentes entre los valores teóricos y experimentales.

Se debe tener en cuenta que la suposición de una tensión constante en la cuerda no siempre es realista, y factores como la dispersión, las pérdidas no lineales y la variabilidad en las condiciones experimentales pueden influir en los resultados.

El análisis de error revela que, aunque existen ciertas discrepancias entre los valores experimentales y teóricos, los resultados experimentales siguen las tendencias esperadas, confirmando la validez del modelo de resonancia utilizado. Las diferencias observadas pueden atribuirse a factores experimentales, como las limitaciones en la precisión de las mediciones y las variaciones inherentes a los materiales utilizados. En general, el modelo teórico proporciona una descripción adecuada del comportamiento del sistema, aunque los errores experimentales deben ser considerados al interpretar los resultados.

## 5. Referencias

### Referencias

- [1] Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Editorial Reverté.
- [2] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). *Física universitaria*. McGraw-Hill.
- [3] Morse, P. M., & Ingard, K. U. (1986). *Theoretical Acoustics*. Princeton University Press.
- [4] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2001). *Fundamentals of Physics*. Wiley.