

Evaluación Interna

Física NM

Luis Enrique Lascano Valarezo

000379-0026

Interacción de ondas acústicas provenientes de diapasones

¿De qué manera interactúan las ondas de sonido provenientes de dos fuentes diferentes?

Mayo 2019



Imagen 1. Interferencia olas de agua

Que sencillo es visualizar como interfieren las ondas en el agua, pero yo me pregunto: **¿Cómo imaginar la interferencia acústica en nuestras mentes?** De manera que esta idea sea analógica a la imagen de interferencia de olas en el agua.

Fuente de la imagen:

<https://www.bbc.com/news/science-environment-13626587>

1. Pregunta de investigación

Las salidas a ferias de física está entre lo más interesante que recuerdo del colegio. En la última, me encontré con un experimento muy interesante vinculado a ondas e interferencia. El demostrador tocó dos diapasones con sus respectivas cajas que estaban separadas alrededor de un metro. Luego de que estas emitieran sonido, fuimos indicados movernos de manera lenta del frente de un diapasón al otro. Lo hice, y logré percibir las interferencias constructivas y destructivas, como si fuera de mayor y menor volumen. En ese momento lo primero que se me vino a la mente fue el recuerdo de la Imagen 1. Interferencia olas de agua que ya la había visto antes, y pensaba que lo que estaba sucediendo era lo mismo. Sin embargo, comencé a cuestionarme, ¿Qué es lo que exactamente sucede en la interferencia de ondas de sonido? Porque yo sabía que mi perspectiva no era completa, tenía que tomar en cuenta que estas ondas estaban compuestas de compresiones y rarefacciones y que van a una velocidad de 343 ms^{-1} . También me pregunté ¿Qué efecto específico tenía la frecuencia en todo esto? Por ende, realizo esta investigación cuya pregunta es *¿De qué manera interactúan las ondas de sonido provenientes de dos fuentes?*

Con la finalidad de responder a esta pregunta se investigará la teoría que responda y experimentaré para comprobar. Emplearé dos diapasones con sus respectivas cajas acústicas y micrófono dentro del instrumento de medición LabDisc¹ conectado a un computador cargado de software; GlobiLab 3.0.5, el cual es capaz de mostrar de manera gráfica en voltaje vs tiempo, la onda sonora modulada por el sensor, siendo el voltaje analógico a la presión del resultante por el efecto de la onda.

(1) LabDisc: Aparato recolector de datos comercializado por GlobiSens.

2. Ondas acústicas

Son perturbaciones que se propagan a través de un medio físico, puede ser sólido, líquido o gaseoso. Tras ser emitidas por una fuente, se propagan de acorde a la ley de la inversa del cuadrado. Caracterizadas por ser ondas longitudinales, puesto que el desplazamiento de las partículas del medio es paralelo a la dirección de transmisión de energía. Su velocidad de propagación en está dada por la fórmula:

$$v_{\text{sonido } X \text{ medio}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Ecuación 1. Velocidad del sonido en indeterminado medio. (Nave, 2016)

Donde Y es el modulo de Young o elasticidad longitudinal que es la medida de rigidez de un medio, ρ es la densidad de dicho medio.

Para el estudio que realizamos, el medio es un gas y su fórmula derivada de la anterior es:

$$v_{\text{sonido gas}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Ecuación 2. Velocidad del sonido en un gas. (Nave, 2016)

Donde: γ es la constante adiabática de los gases, R la contante universal de los gases ideales, T la temperatura en Kelvin, y M la masa molecular del gas.

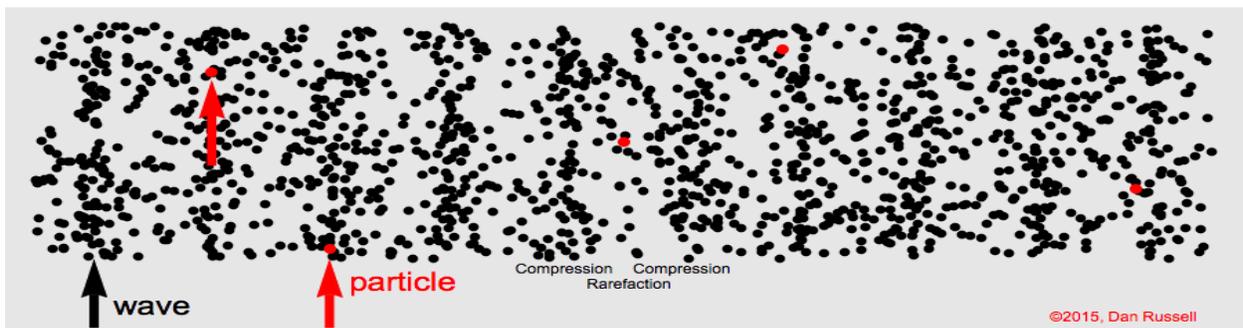


Ilustración 1. Partículas en una onda acústica. (Russel, Longitudinal and Transverse Wave Motion, 2016)

La manera más fácil que encontré para comprender dichas ondas es el ejemplo analógico de un espiral de plástico (Slinky), que, al ser perturbado con una frecuencia constante, se puede visualizar una onda longitudinal.

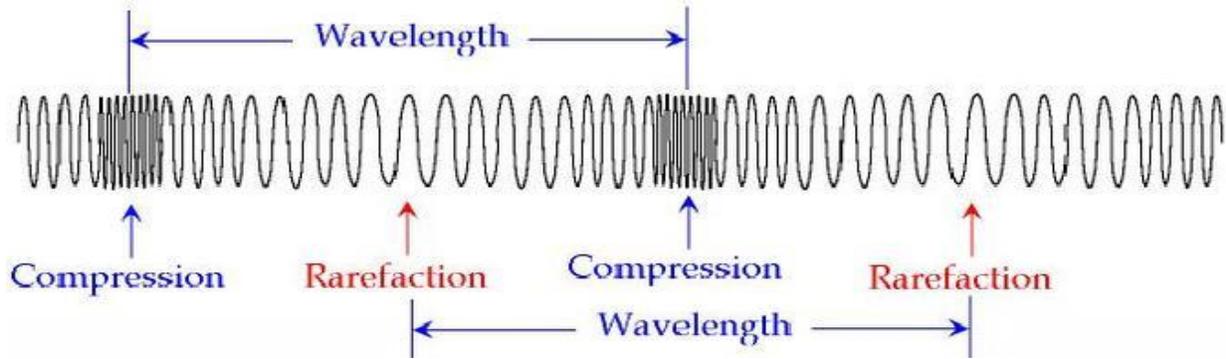


Ilustración 2. Slinky como medio de onda longitudinal. (LumenLearning, n.d.)

Una onda acústica por ende se puede comprender como compresiones y rarefacciones que se propagan a través de un medio dado por las propiedades de restitución y elásticas de la materia.

La amplitud (A) de una onda acústica se puede definir como la diferencia entre su mayor punto de compresión sonora respecto a la presión atmosférica, por ende, se mide en pascales. Sin embargo, debido a que el rango de presiones sonoras que se pueden percibir es amplio, se usa más a menudo los niveles de presión sonora, también conocidos como deciBelios (dB).

La frecuencia (f) de una onda acústica representa las veces que esta efectúa una compresión en un punto por unidad de tiempo (o un ciclo entero). Esto quiere decir que si por ejemplo, se emite una onda sonora de 100 Hz, esta comprimirá y rarefactará cien veces un punto cada segundo.

La longitud de onda (λ) es la distancia física que existe desde un punto de máxima compresión a otro en una onda acústica.

De las características anteriores se derivan otras dos importantes para posterior uso:

1. Número de onda (k): Es la cantidad de oscilaciones por unidad de distancia. Debido a que λ es la distancia dentro del ciclo entre una oscilación y la siguiente equivalente, vienen a ser inversos por ciclo y por ende, este está dado por:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

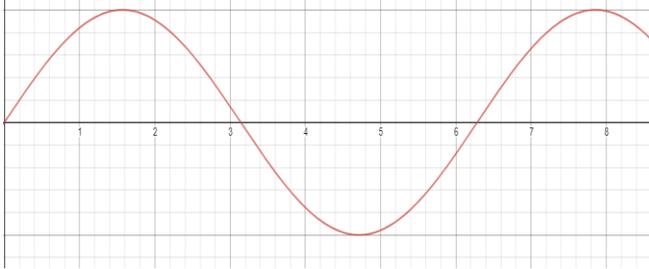
Ecuación 3. Número de onda. (School of Physics Sydney, n.d.)

2. Velocidad angular (ω): Es el desplazamiento angular por unidad de tiempo. Sabiendo que un ciclo entero en radianes es igual a 2π Type equation here., viene a estar dada por la fórmula:

$$\omega = 2\pi f$$

Ecuación 4. Velocidad angular. (School of Physics Sydney, n.d.)

La onda se puede representar mediante un gráfico sinusoidal que realicé empleando la herramienta online Desmos, donde las ordenadas representan la amplitud y las abscisas la distancia desde la fuente sonora al punto. Esto es en un determinado instante de tiempo, puesto que de ser considerado (t), daría como resultado un eje extra.



Gráfica 1. Función sinusoidal representando una onda.

Tomando en cuenta el tiempo y la frecuencia, una onda acústica puede ser representada de mejor manera mediante la función:

$$W(p, t) = A \text{sen}(kp + \omega t)$$

Función 1. Onda acústica respecto a la posición y tiempo.

Donde:

- A: Amplitud de la onda.
- k: Número de onda.
- p : La posición.
- ω : Velocidad angular.
- t : Tiempo.

Esto se emplea para implementar más características de la onda, pero más importante, para luego poder graficar superposiciones de dos ondas acústicas. A se encuentra modificando el valor de las ordenadas al multiplicar a la función trigonométrica final, k modifica a la compresión horizontal de la onda, por ende, su longitud, ω efectúa la sincronización de la onda respecto al tiempo.

Aclaración, dado que se grafica solo en plano bidimensional se pueden tener dos tipos de gráficas que representen una onda acústica, y esto se depende de qué variable independiente se tome en cuenta, el tiempo o la distancia a la fuente, y por ende la otra variable queda como estática.

En el primer caso está la gráfica que compara la amplitud en función de la posición en un instante de tiempo dado.

$$W(p) = A \text{ sen}(kp + \omega t)$$

Función 2. Amplitud vs. Posición. (Russel, Superposition of Waves, 2014)

En el segundo caso está la gráfica que compara la amplitud en función del tiempo para un punto determinado siendo este una posición fija desde las fuentes.

$$W(t) = A \text{ sen}(kp + \omega t)$$

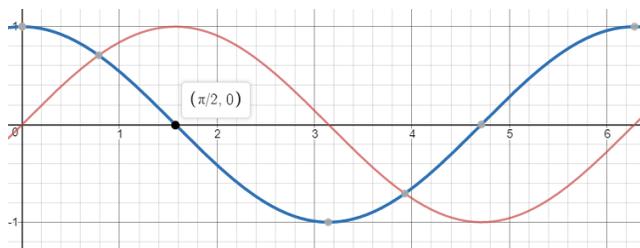
Función 3. Amplitud vs. Tiempo. (Russel, Superposition of Waves, 2014)

Ejemplos de estas gráficas se encuentran anexadas.

3. Fase (φ)

Cuando se emiten dos ondas acústicas en diferentes instantes de tiempo existe un desfase, esto quiere decir que, en determinada posición y tiempo, una se puede encontrar ejerciendo una compresión mientras que la otra descomprime o realiza igual una compresión, pero menor. La diferencia de tiempo entre una onda y la otra es la fase, y estas, al ser cíclicas sinusoidales, pueden sujetarse a una fase dada en grados o radianes.

En la imagen inferior se encuentra representada dos ondas a manera del ejemplo anterior, la fase de la primera onda en rojo es cero mientras que la representada en azul ese de $\frac{\pi}{2}$. Cuando la roja se encuentra realizando su mayor compresión o rarefacción, la azul no presenta efectos, y viceversa.



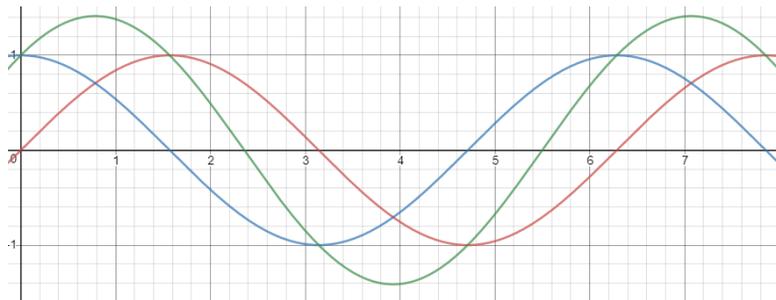
Gráfica 2. Ondas en desfase.

Cabe recalcar que la diferencia de fase al llegar a 2π , es equivalente a 0.

4. Superposición de ondas acústicas

Este fenómeno sucede cuando dos ondas se encuentran en un mismo punto. El hecho resultante es que sus amplitudes presentes es ese punto en el mismo instante, se suman.

En el gráfico inferior tenemos dos líneas (roja y azul) que representan ondas iguales con desfase en un instante de tiempo, cuyas amplitudes se suman, y dan por resultante la línea en verde.



Gráfica 3. Superposición de ondas desfasadas.

Se puede representar el fenómeno incluyendo el tiempo empleando la Función 1. Onda acústica respecto a la posición y tiempo. y aplicándola a ambas ondas, incluyendo la fase en la segunda onda considerando que la primera tiene fase 0.

Onda 1:

$$W_1(p, t) = A_1 \sin(k_1 p - \omega_1 t)$$

Función 4. Primera onda en interferencia.

Onda 2:

$$W_2(p, t) = A_2 \sin(k_2 p - \omega_2 t + \varphi)$$

Función 5. Segunda onda en interferencia. (Russel, *Superposition of Waves*, 2014)

Resultado de superposición:

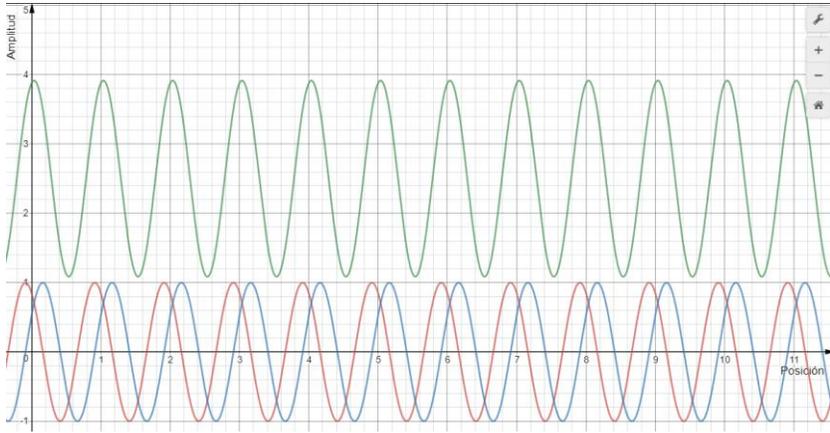
$$(W_1 + W_2)(p, t) = A_1 \sin(k_1 p - \omega_1 t) + A_2 \sin(k_2 p - \omega_2 t + \varphi)$$

$$W_s(p, t) = A_1 \sin(k_1 p - \omega_1 t) + A_2 \sin(k_2 p - \omega_2 t + \varphi)$$

Función 6. Resultado de la superposición. (Russel, *Superposition of Waves*, 2014)

Graficando:

En $t = 0$, con mismas frecuencias y amplitudes, y con un la segunda onda con una fase de $\frac{\pi}{2}$.



Gráfica 4. Superposición de ondas. Amplitud vs. Posición. (En un instante determinado).

	$W_1 = A_1 \sin(k_1x - \omega_1t)$	×
	$W_2 = A_2 \sin(k_2x - \omega_2t + h)$	×
	$T = W_1 + W_2 + 2.5$	×

Captura 1. Funciones de ondas en superposición y resultante.

Ahora bien, debemos analizar de manera más sujeta a la realidad, para eso debe que comprender que las amplitudes no serán de manera exacta las mismas, que la frecuencia puede variar, y que el tiempo modifica el desfase entre ondas. Para referenciar todo esto, se nombró otro fenómeno; Batimiento (por su equivalente en inglés: *Beats*.)

5. Batimiento

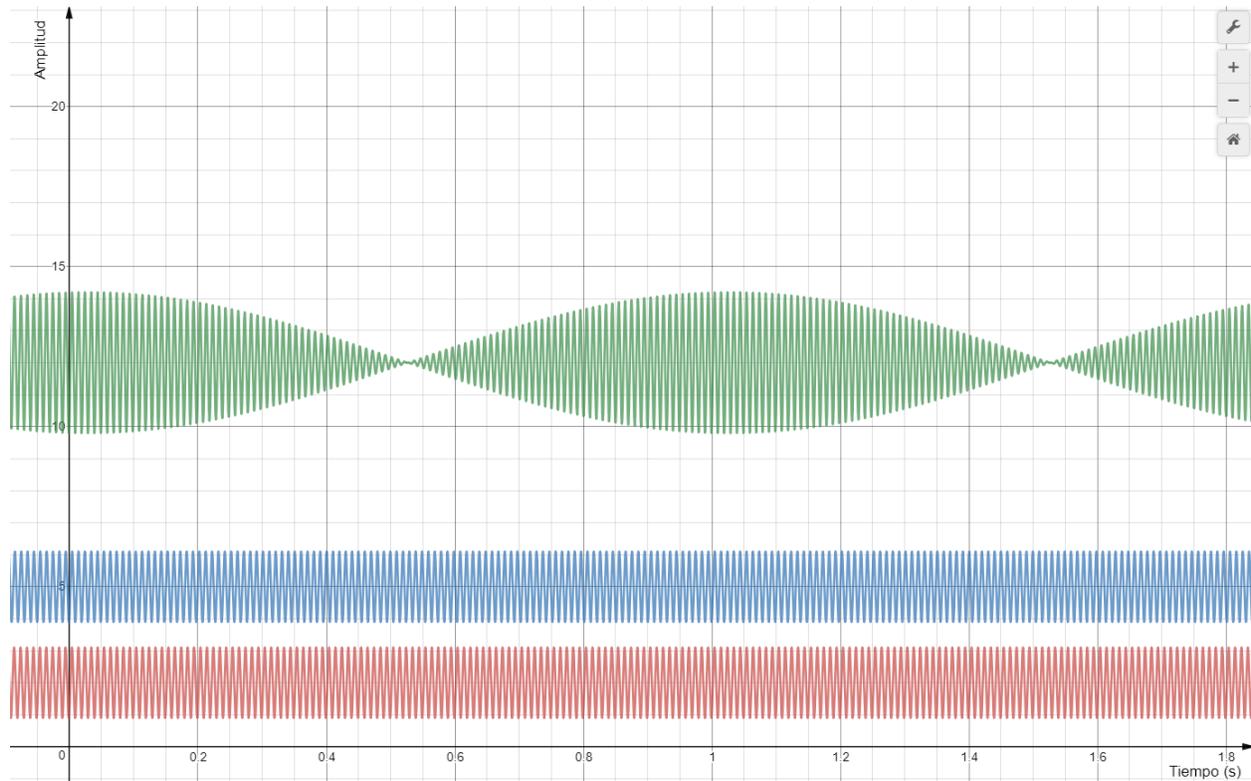
Este fenómeno es producto de la superposición de ondas acústicas cuyas frecuencias son diferentes. La velocidad angular depende de la frecuencia, por ende, también será diferente. El hecho de tener dos ω diferentes en las ondas causa que el desfase entre las ondas en un determinado punto varíe en función del tiempo, y por concatenación afecte al resultado de la superposición (el valor de desfase inicial pasa a ser obsoleto en este caso), puesto que la tasa de desplazamiento del ciclo sobre el punto es variable. Sabiendo que la velocidad del sonido es constante, al cambiar la frecuencia, también varía la longitud de onda, y, por ende, los picos y valles de las dos ondas se juntan solo en ciertos puntos, mientras que, en otros puntos, se encuentran es desfase.

Se facilita su comprensión mediante un gráfica Amplitud vs. Tiempo.

Variables independientes	Variables dependientes	Funciones y valores constantes
$\sigma = 100$ <input type="range" value="100"/>	$l_1 = \frac{314}{\sigma}$ <input type="text" value="3.14"/>	$W_1 = A_1 \sin(k_1 d - w_1 x) + 2$
$g = 101$ <input type="range" value="393"/>	$l_2 = \frac{314}{g}$ <input type="text" value="3.10891089109"/>	$W_2 = A_2 \sin(k_2 d - w_2 x + h) + 5$
$A_1 = 1.1$ <input type="range" value="10"/>	$k_1 = \frac{2\pi}{l_1}$ <input type="text" value="2.00101442904"/>	$T = W_1 + W_2 + 5$
$A_2 = 1.1$ <input type="range" value="10"/>	$k_2 = \frac{2\pi}{l_2}$ <input type="text" value="2.02102457333"/>	$d = 0$ <input type="range" value="60"/>
$h = 0$ <input type="range" value="10"/>	$w_1 = 2\pi\sigma$ <input type="text" value="628.318530718"/>	$h = 0$ <input type="range" value="10"/>
	$w_2 = 2\pi g$ <input type="text" value="634.601716025"/>	<p>h es la fase de la segunda onda.</p>

Tabla 1. Valores y funciones del efecto de batimiento en la Gráfica 5. Resultado de la superposición.

Gráfica:



Gráfica 5. Resultado de la superposición.

Esta gráfica muestra de manera clara el fenómeno, la superposición resultante crece y decrece para un punto en específico en función del tiempo.

Existen dos frecuencias características del batimiento, la primera hace referencia a la de la onda resultante que se percibe al escuchar el batimiento, está dado por:

$$f_{resultante} = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$$

Ecuación 5. Frecuencia resultante perceptible.

En el segundo caso, no hace referencia a una onda en específico, pero a las veces que el batimiento: presenta su máxima amplitud, realiza un ciclo, o efectúa “golpes” por unidad de tiempo. Equivalente a una onda, la frecuencia del golpe o “beat” del batimiento está dada por el valor absoluto de la diferencia de las frecuencias entre las ondas que interactúan. Esto es:

$$f_{beat} = |f_1 - f_2|$$

Ecuación 6. Frecuencia de golpe.

Se puede comprobar esto mediante la longitud de onda, que es proporcional al periodo puesto que la velocidad de ambas es la misma.

$$\lambda = T$$

cuando:

$$c = ctte$$

$$\lambda = 1$$

Ecuación 7. Comprobación.

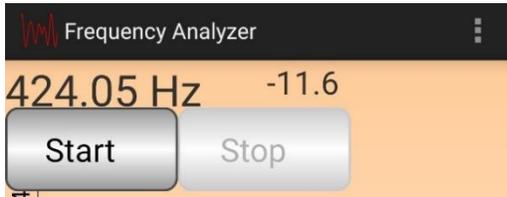
En la gráfica se comprueba esto, la distancia del punto inicial de amplitud mínima a su equivalente con A igual es 1.

Una vez conocido esto, se puede realizar una hipótesis que prediga los resultados a obtener de la experimentación de la interacción entre ondas provenientes de dos fuentes diferentes.

6. Hipótesis

La teoría de la hipótesis ya está establecida, ahora, con la finalidad de lograr predecir un gráfico, es necesario tomar las mediciones de las frecuencias emitidas por los diapasones. Para ello se

emplea una aplicación en Android llamada Frequency Analyzer que permite medir la frecuencia de sonido emitida. A continuación, las recortes de pantalla:



Captura 3. Frecuencia diapasón sin anillo.



Captura 2. Frecuencia diapasón con anillo.

Se tiene 424.05 Hz para el diapasón sin anillo y 395.81 Hz para el diapasón con anillo al extremo, es decir la mínima frecuencia de muestreo. La incertidumbre de esta medición es ± 0.01 Hz.



Foto 1. Temperatura medida por el LabDisc.

Velocidad del sonido a emplear a partir de la temperatura:

$$v_{\text{aire}} = \sqrt{\frac{1.4(8.314) \times 292.65}{0.02895}}$$

$$v_{\text{aire}} = 343.019$$

Tomando en cuenta el número de cifras significativas:

$$v_{\text{aire}} = 343$$

Remplazando estos valores junto con la velocidad del sonido (343 ms^{-1}) en nuestra gráfica prediseñada antes usada, nos debe dar un gráfico predictivo del resultante del experimento a realizar. La amplitud como se diferencia poco de ambos diapasones momentos tras ser tocados, se establecerá la misma amplitud. Se tiene un incertidumbre de ± 0.001 .

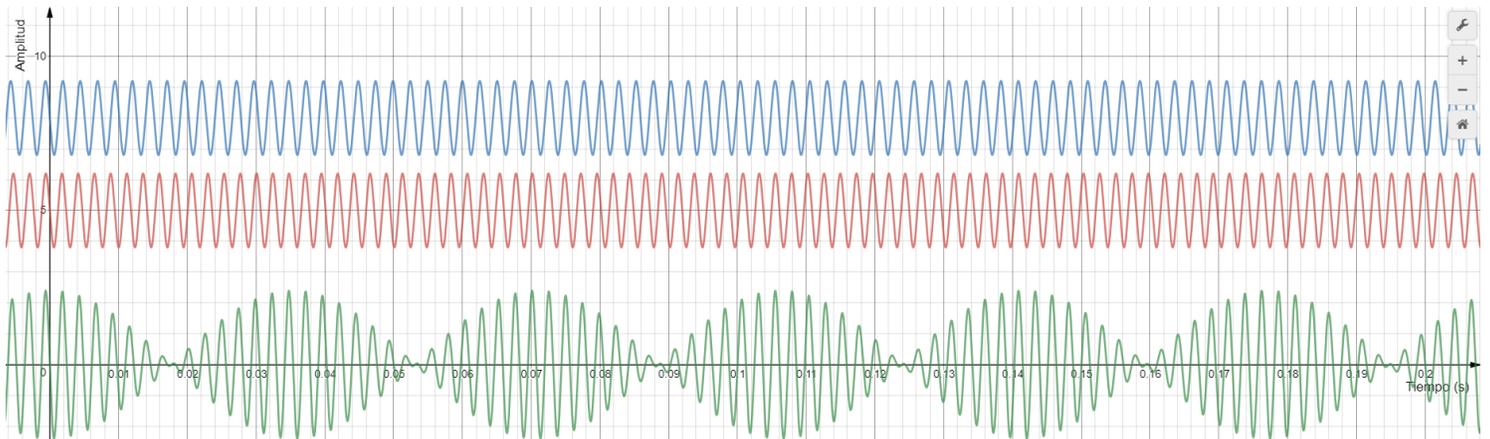
Valores reales (SI):

Variables independientes	Variables dependientes	Funciones y valores constantes
$\omega = 424.05$ <input type="range" value="424.05"/>	$l_1 = \frac{343}{\omega}$ <input type="text" value="0.808866878906"/>	$W_1 = A_1 \sin(k_1 d - \omega_1 x) + 5$
$g = 395.81$ <input type="range" value="395.81"/>	$l_2 = \frac{343}{g}$ <input type="text" value="0.866577398247"/>	$W_2 = A_2 \sin(k_2 d - \omega_2 x + h) + 8$
$A_1 = 1.2$ <input type="range" value="1.2"/>	$k_1 = \frac{2\pi}{l_1}$ <input type="text" value="7.76788550877"/>	$T = W_1 + W_2 - 13$
$A_2 = 1.2$ <input type="range" value="1.2"/>	$k_2 = \frac{2\pi}{l_2}$ <input type="text" value="7.25057602459"/>	$d = 0$ <input type="range" value="0"/>
	$\omega_1 = 2\pi\omega$ <input type="text" value="2664.38472951"/>	$h = 0$ <input type="range" value="0"/>
	$\omega_2 = 2\pi g$ <input type="text" value="2486.94757643"/>	<p>h es la fase de la segunda onda.</p>

Tabla 2. Valores y funciones de la Gráfica 6. Resultado predictivo interferencia ondas de experimento.

ω representa la frecuencia del diapasón sin pesa y g del que tiene.

Gráfica:



Gráfica 6. Resultado predictivo interferencia ondas de experimento.

7. Modelo experimental



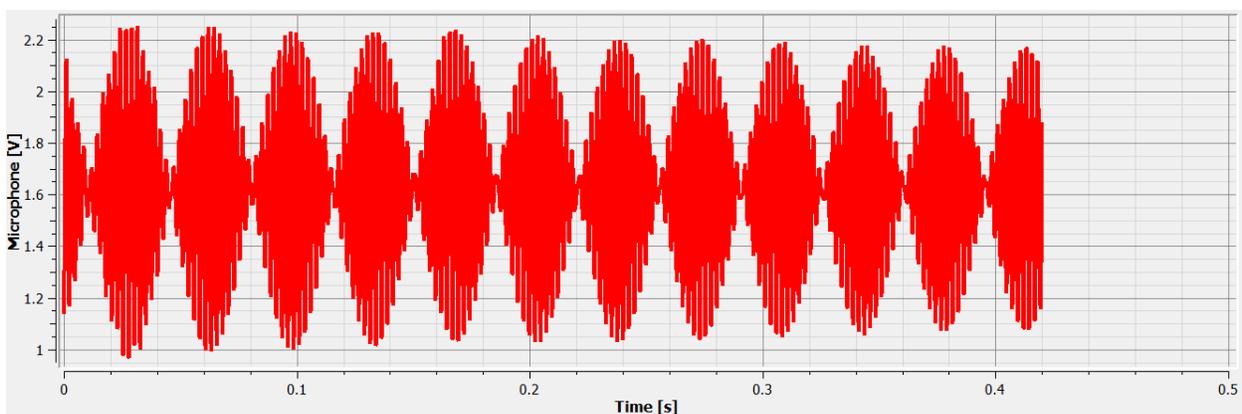
Foto 2. Setup experimental.

Se coloca el sensor LabDisc en medio de los diapasones con la finalidad de que la presión sonora recibida de las fuentes sea la misma.

El LabDisc se lo establece a realizar un un total de 10 000 muestras con una frecuencia de 25 000 muestras por segundo. Con la finalidad de aumentar la precisión y reducir la duración de la muestra.

Al momento de tocar los diapasones se lo hace con fuerza y con el tiempo de separación entre golpes que sea lo más mínimo posible con la finalidad de lograr diferencias de amplitud mínimas.

8. Resultados



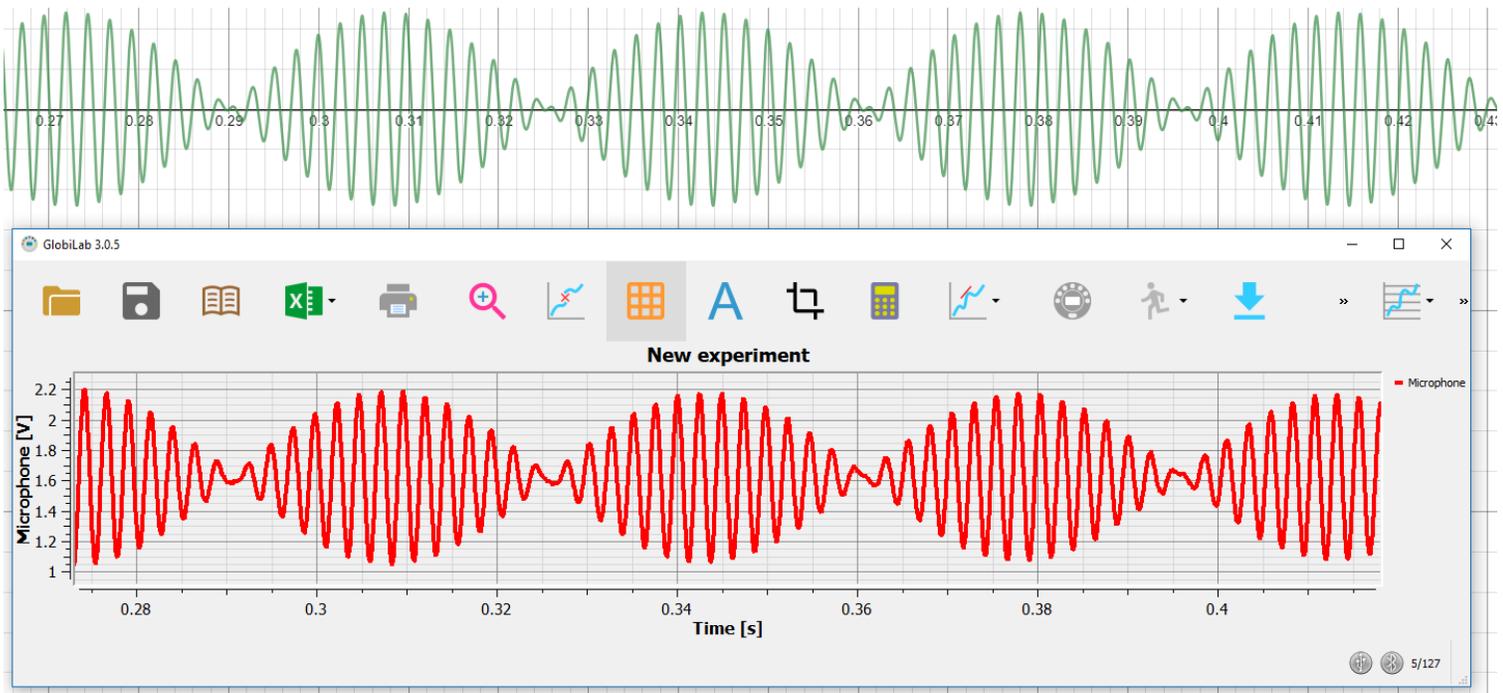
Captura 4. Resultado mostrado por GlobiLab.

Esta es la gráfica que proporciona GlobiLab como resultado tras recibir la señal del LabDisc luego de que este realizó el muestro de duración aproximada 0.4 decisegundos.

9. Comparación gráfica

Se expande la gráfica en GlobiLab y se busca un punto destacable (pico) que coincida lo más posible con una décima de segundo; en este caso, el decisegundo 3.

Ahora, nos dirigimos a la gráfica de Desmos y nos centramos en el mismo espacio de tiempo realizando igual una expansión a una escala similar. Sin embargo, esto no será suficiente para que las gráficas coincidan, puesto que es muy probable que exista un desfase. Con la finalidad de anular este hecho, se usa el *slider* (Disponible en Desmos) de la posición p (recordemos que este es un valor dado) y se desplaza la onda hasta que los picos en las líneas de escala coincidan con el de GlobiLab. No es muy probable que coincida con el siguiente ciclo. En mi caso, he tenido que desplazar la onda 142 metros en la aplicación.



Captura 5. Resultado gráfico Teórico vs. Práctico.



Captura 6. Slider para dar recorrer el valor de posición.

10. Análisis resultados

En las gráficas de comparación se demuestra que el comportamiento de las ondas acústicas en interacción o interferencia responde a la función sinusoidal antes mencionada. La total similitud entre gráficos da a conocer que en este caso sí es posible predecir las características del hecho resultante mediante el procesamiento de información antes de que suceda. El despreciable margen de error se debe a pequeños errores sistemáticos causados por los instrumentos de medición. En cuanto a la incertidumbre, esta es mínima ± 0.001 .

11. Conclusiones

La pregunta de investigación hace referencia a la búsqueda de una explicación que proporcione el conocimiento capaz de llevar a la comprensión de la interacción de ondas acústicas. El comportamiento de ondas es simple en relación con el análisis de velocidad de onda, cálculo de periodo, entre otras características revisadas durante el curso de física, sin embargo, cuando se desea analizar interferencia de ondas, la complejidad aumenta, pero también el potencial de aplicación a una situación física difícil de comprender aumenta.

En efecto, mediante las fórmulas acústicas investigadas se puede visualizar la manera en la que interfieren, e incluso se puede predecir características de la interacción. No existe una respuesta exacta escrita para la pregunta de investigación, para responderla se debe referenciar al análisis físico matemático del fenómeno; la interacción entre dos ondas acústicas provenientes de dos fuentes diferentes sucede de manera que las amplitudes de estas se superponen en un punto dado, siendo el valor total de las amplitudes dependiente del tiempo, ya que las ondas acústicas entran en fase y desfase en el punto según el tiempo. Por ende, cuando interactúan, se produce una subida y caída de amplitud que se puede representar por una onda sinusoidal con frecuencia equivalente al valor absoluto de la diferencia de las frecuencias que interfieren. En cuanto a la frecuencia que se percibe, esta será el promedio de las frecuencias de las ondas que interactúa.

12. Evaluación, mejoras y ampliaciones.

El método empleado para realizar el muestreo puede ser mejorado mediante la implementación de instrumentos de medición con mayor precisión, este se puede lograr mediante el aumento de la cantidad de mediciones realizadas por segundo por el LabDisc. La diferencia serviría más para

aumentar la calidad de la gráfica, sin embargo, 10 000 muestras del sensor del micrófono por segundo en si ya proporcionan la suficiente información para poder comparar con la gráfica teórica.

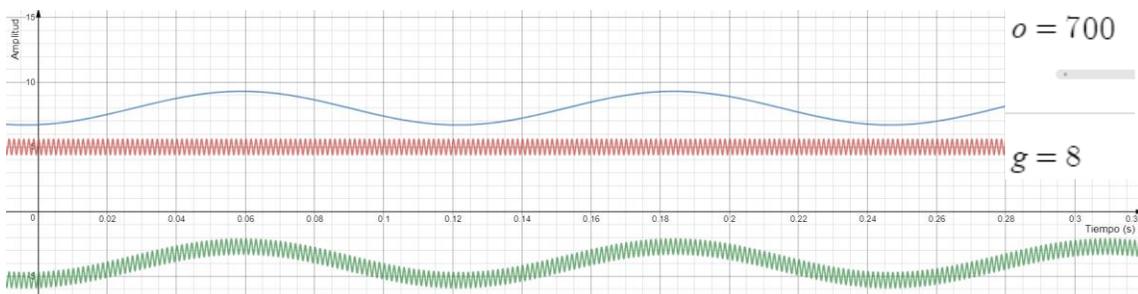
La calidad del gráfico dado por GlobiLab se puede decir que es adecuada para la investigación, esto se comprobó al comparar las imágenes en la Captura 5. Resultado gráfico Teórico vs. Práctico. La forma de la función Amplitud vs. Tiempo en ambas gráficas es igual, lo que difiere es la amplitud. Este último dato no es esencial para la investigación, sin embargo, esto nos deja a una posible mejora.

Se podría mejorar el modelo experimental incluyendo el siguiente proceso:

- Medir mediante un sonómetro los decibelios emitidos por el diapasón tras ser tocado.
- Al mismo tiempo también realizar el muestro empleando el LabDisc.
- Comparar la amplitud máxima registrada con la medición de decibelios máxima.
- Encontrar el valor de presión del punto máximo en base a sus decibelios.
- Establecer la equivalencia o relación en base al Voltaje en el punto máximo escogido en la gráfica.
- Repetir el proceso y promediar los valores para reducir los errores aleatorios.

Una vez realizado esto, se puede incluir en la función, los valores de amplitud y de esta manera se podrá realizar más comparaciones, e incluso hallar el decaimiento de la intensidad de sonido del diapason definida por el tiempo.

Una ampliación posible es la investigación de la interacción entre ondas de infrasonido con ondas de frecuencia media. Esto debido al gráfico mostrado por la computadora tras insertar valores bajos y medios en la frecuencia.



Gráfica 7. Interacción teórica de onda de infrasonido y de sonido medio.

BIBLIOGRAFÍA

Desmos. (s.f.). *Desmos*. Obtenido de Demos: <https://www.desmos.com/about>

Gibson, G. N. (s.f.). *Interference in Time: Beats*. Obtenido de High-Intensity Laser Physics: http://www.phys.uconn.edu/~gibson/Notes/Section5_5/Sec5_5.htm

Instituto Politécnico Nacional de México. (29 de Julio de 2015). *Módulo de elasticidad o módulo de Young*. Obtenido de Mecatrónica S1: <http://mecatronica-ipn-s1.blogspot.com/2015/07/modulo-de-elasticidad-o-modulo-de-young.html>

Ling, S. J. (22 de Octubre de 2018). *Speed of Sound*. Obtenido de Physics LibreText: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_\(OpenStax\)/Map%3A_University_Physics_I_-_Mechanics%2C_Sound%2C_Oscillations%2C_and_Waves_\(OpenStax\)/17%3A_Sound/17.2%3A_Speed_of_Sound](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_(OpenStax)/Map%3A_University_Physics_I_-_Mechanics%2C_Sound%2C_Oscillations%2C_and_Waves_(OpenStax)/17%3A_Sound/17.2%3A_Speed_of_Sound)

LumenLearning. (s.f.). *Waves*. Obtenido de Lumen Boundless Physics: <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/waves/>

MapleSoft. (s.f.). *Constructive and Destructive Interference*. Obtenido de MapleSoft Online Help: <https://www.maplesoft.com/support/help/maple/view.aspx?path=MathApps%2FConstructiveAndDestructiveInterference>

Nave, R. (2016). *Sound and Hearing*. Obtenido de HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/soucon.html>

Palmer, J. (3 de Junio de 2011). *Quantum mechanics rule 'bent' in classic experiment*. Obtenido de BBC News: <https://www.bbc.com/news/science-environment-13626587>

Russel, D. A. (27 de Enero de 2014). *Superposition of Waves*. Obtenido de Acoustics and Vibration Animations: <https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/superposition/superposition.html>

Russel, D. A. (5 de Agosto de 2016). *Longitudinal and Transverse Wave Motion*. Obtenido de Acoustics and Vibration Animations: <https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/waves/wavemotion.html>

School of Physics Sydney. (s.f.). *Travelling Sine Wave*. Obtenido de PhysClips:
http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/travelling_sine_wave.htm

ANEXO

13. Reflexión

Al inicio de la investigación solo tenía dudas, cuestiones, y vacíos de conocimiento. Este último hecho fue el que más me complicó el arranque del proyecto y por ende considero que es la barrera que tuve que romper para pasar a tener la capacidad de redacción sobre el tema. La primera fase del trabajo en mi caso fue la lectura, puesto que ya tenía las cuestiones e incógnitas en mi mente, solo hacía falta llenar esos vacíos de conocimiento y experimentar el hecho de manera audiovisual, esto mediante la experimentación. Esta fase fue muy interesante, sin embargo, cada vez que leía más, en mi mente se generaban nuevas dudas, necesidades de comprender. Esto me sucedió al intentar comprender de donde se derivaba la fórmula de la velocidad del sonido y que referenciaba cada uno de sus componentes. Cuando me sucedió esto, en un principio intenté buscar las respuestas, pero esto a su vez causaba nuevas dudas, por ende, comprendí que existen límites de conocimiento, hay un punto donde solo queda aceptar lo escrito y seguir al siguiente tema.

Durante la redacción, el proceso se resumía a reflejar mis conocimientos adquiridos en la etapa de investigación. Sin embargo, cabe recalcar que existieron varios casos en los cuales me di cuenta de conceptos que había adquirido y comprendido de manera errónea. Por ejemplo, yo pensaba que el desfase de ondas tenía como consecuencia un cambio en la forma del gráfico resultante de la superposición, pero tras comenzar a graficar, comprendí que la fase solo tendría efecto en el desplazamiento de onda, pero conservaría su forma. Primero lo aprecié de manera empírica tras graficar, y luego analizando la fórmula de superposición de nuevo, pero buscando la función y efecto de cada componente sobre la fórmula. Otra complicación fue estructurar el documento, sobre todo dar tamaño correspondiente a las imágenes de tal forma que no termine en muchas páginas.

Tras realizar el proyecto finalicé con más cuestiones e intrigas de las que tenía antes esto junto con el hecho de saber que mi conocimiento aumentó fue lo que me enseñó que investigar no solo es para aumentar el conocimiento, pero también y quizá más importante, para saber que es aquello que desconozco, encontrarme con los vacíos de conocimientos no antes vistos.