

Propuesta para la enseñanza de las relaciones entre el tono y frecuencia de fuentes sonoras

Lina Sandoval Restrepo

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá

2024

Propuesta para la enseñanza de las relaciones entre el tono y frecuencia de fuentes sonoras

Lina Sandoval Restrepo

Trabajo de grado para optar por el título de Licenciada en Física

Asesor: Juan Carlos Castillo Ayala

Universidad Pedagógica

Nacional Facultad De Ciencia y Tecnología

Departamento De Física

Bogotá

2024

Dedicatoria

Este trabajo es para Dios, mi familia y amigos,
por su apoyo incondicional en cada paso
de este proyecto.

Agradecimientos

Primero agradezco a Dios por esta oportunidad, ser mi refugio y fortaleza cuando quería renunciar, a mis padres y hermana por ser un apoyo incondicional, por levantarme cada vez que quería renunciar y acompañarme en este camino con su amor y dedicación, sin ellos este sueño no sería posible. Ellos son mi inspiración y la motivación de mi vida. Mi mamá, que a pesar de resaltarme lo tanto que le costaba la física estaba dispuesta a ayudarme como fuera, a mi papá que día a día me motivaba para terminar este trabajo con sus palabras de amor e inspiración, y a mi hermana por sacarme cada risa en este sufrimiento. Solo nosotros sabemos lo mucho que nos ha costado llegar hasta donde estamos, los amo con todo mi corazón.

A mis amigos de la universidad, principalmente a Sara, Loren, Mavery, Juanma y Andrés, por acompañarme en cada crisis, por reír conmigo, escucharme siempre, y lo más importante, por creer en mí en todo momento. A mis amigas de toda la vida Angie y Valeria, por estar conmigo desde el momento cero e impulsarme a seguir mis sueños.

A los profesores del departamento, especialmente a Francis, Yenifer y Sandra Ávila, por su dedicación y esfuerzo, por sacar lo mejor de la física y acompañar mi proceso como estudiante y futura docente. En particular, quiero agradecer al profesor Juan Carlos Castillo quien fue mi mentor en este último semestre, por explicarme y apoyar la construcción de este trabajo donde une dos pasiones para mí, como lo son la física y la música.

Tabla de Contenido

Introducción	7
Planteamiento del problema	8
Objetivos	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
Justificación	10
MARCO TEÓRICO	12
VIBRACIONES DE CUERDAS TENSAS:	21
LA FÍSICA DEL SONIDO: VIBRACIÓN DE CUERDAS Y SU RELACIÓN CON LA MÚSICA	22
INSTRUMENTOS DE CUERDA Y SU RELACIÓN CON LA FÍSICA.....	25
LA MÚSICA Y LA EXPERIMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA	28
METODOLOGÍA	36
MATERIAL DIDÁCTICO	38
DESCRIPCIÓN DE LA CARTILLA	38
FRECUENCIAS QUE RESUENAN	39
COMPONENTES DE LA CARTILLA.....	40
EXPERIMENTO GIRA Y ESCUCHA:.....	42
VOCES EN LÍNEA:.....	44
LA VOZ EN EL VACÍO	45
VIBRACIÓN EN LA CUERDA.....	46
LABORATORIO VIRTUAL:	47
CONCLUSIONES	49
Referencias Bibliográficas	51

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Representación de una onda transversal y una onda longitudinal.	14
Ilustración 2 . Relación entre agudeza de tres instrumentos.	18
Ilustración 3 . Generalidades de Frecuencia y Amplitud de onda Sonora.....	19
Ilustración 4 Protagonismo de Volumen en Instrumento de Frecuencia alta.....	20
Ilustración 5 : Modos de vibración y armónicos en una cuerda fija en sus extremos	24
Ilustración 6: Elaboración de un acorde en instrumento de cuerda	27
Ilustración 7: Definiciones de la didáctica de diferentes personas que se enfocaron en su estudio	30
Ilustración 8 Representación del ejercicio de las copas.	41
Ilustración 9 Muestra del montaje a construir	43
Ilustración 10 Representación del experimento casero del teléfono de lana.....	44
Ilustración 11 Laboratorio virtual de cuerdas tensas	47

Introducción

En el presente trabajo de grado se plantea como problemática la enseñanza de las características del sonido de manera aislada, sin aborda la interrelación y dejar de lado la forma en la que se complementan dentro de la temática. Para este trabajo, se abordaron las características del sonido y su relación con situaciones de la vida cotidiana. Por lo general, en el aula se suele enseñar conceptos de forma muy aislada, en ocasiones ni siquiera se hace el cierre necesario, es decir, no dan sentido a los conceptos y por ende los estudiantes no le encuentran una razón de interés en la clase. En la población seleccionada se evidencia la falta de interés de los estudiantes del grado once del Instituto Pedagógico Nacional con énfasis en artes frente al área de física, población con la cual se realizó la práctica como docente en formación entre los años 2022 y 2023.

Como herramienta de apoyo para esto, se propone una cartilla compuesta por actividades experimentales que buscan despertar ese interés en los estudiantes relacionando los conceptos de tono y frecuencia con experiencias cotidianas en el ámbito escolar, en especial, se destaca la relevancia y la aplicación de estos conceptos en el ámbito de las artes, donde la comprensión del sonido es fundamental para el desarrollo de habilidades en disciplinas como la música, el teatro y la danza.

La fundamentación del trabajo de grado tuvo lugar durante la práctica realizada en los años 2022 y 2023, ya que buena parte de lo que se propone en la cartilla, marco teórico y demás enfoques están vinculados con la actividad de la práctica pedagógica que se realizó en el Instituto Pedagógico Nacional. Es importante mencionar que este trabajo de grado se presenta como una propuesta para futuras implementaciones.

Planteamiento del problema

Definición del problema

El sonido suele ser un área minoritaria en los planes de estudio de la escuela primaria y secundaria en Colombia, e incluso puede ser ignorada en algunos casos (López Aira, 2014), esto a pesar de que los Estándares Básicos de Competencias para Ciencias Naturales, formulados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), establecen que al finalizar la secundaria los estudiantes deben: a) “comprender la naturaleza (fenómeno de la vibración) y las características del sonido (altura, timbre e intensidad) y que este se propaga en distintos medios (sólidos, líquido, gaseosos)” (MEN, 2016, pp. 13), y b) “establecer relaciones entre frecuencia, amplitud, velocidad de propagación y longitud de onda en diversos tipos de onda mecánica” (MEN, 2004, pp. 21).

Adicionalmente, la enseñanza de las ciencias en general, y del sonido en particular, a menudo se orienta en educar para la “aprehensión de verdades absolutas aisladas de las experiencias de vida y sin posibilidad de análisis y reflexión” (Fonseca & Castiblanco, 2020). Se puede decir que esto aborda la enseñanza tradicional, pues se centra en presentar ejercicios estandarizados y llegar a un resultado puntual, dando la experiencia de realizar las cosas mecánicamente sin comprender la profundidad que este tiene.

Es por esto que, cuando se enfatiza en los temas que se desean abordar en el aula de clase y en la solución de ejercicios, no se suele dar la oportunidad a los estudiantes de analizar las relaciones entre las cualidades del sonido y las características de las ondas que emiten las fuentes de sonido, en particular entre el tono y la frecuencia de la fuente de sonido (cuerdas tensas, membranas, tubos). Tampoco se procura relacionar los problemas de conocimientos abordados en las clases con los intereses particulares de los estudiantes por la música; no se incorpora la experiencia de vida de los sujetos con el sonido y la música como precursor para la construcción

de conocimiento; ni se hace uso de actividades experimentales como estrategia heurística para propiciar la construcción de conocimiento.

En este contexto, surge la pregunta: ¿Qué problemas de estudio y actividades pueden implementarse para facilitar la enseñanza y el aprendizaje del sonido, de manera que se integren los conocimientos y experiencias musicales de los estudiantes de grado once con énfasis en artes del IPN, promoviendo así un aprendizaje significativo?

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de las relaciones entre tono y frecuencia, mediante actividades experimentales que integren conocimientos de física y música, dirigida a los estudiantes de grado once con énfasis en artes del Instituto Pedagógico Nacional.

Objetivos Específicos

- Abordar conceptualmente la relación de tono y frecuencia de la onda sonora emitida por una fuente.
- Resaltar el papel de la actividad experimental en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la física del sonido.
- Diseñar una cartilla que contenga un conjunto de actividades experimentales, con el fin de que los estudiantes logren un conocimiento acerca de las relaciones entre el tono y la frecuencia de la onda sonora emitida por una fuente.

Justificación

El sonido es un fenómeno físico esencial en la vida cotidiana, percibido por los diferentes sentidos del ser humano como lo son la escucha, el tacto y la vista. Ha sido un factor fundamental en el desarrollo de la sociedad, ya que ha sido la principal herramienta de comunicación. “... el sonido en sí tiene un impacto decisivo sobre el ser humano. Todo el proceso de adquisición del lenguaje está fuertemente supeditado a la posibilidad de contar con el sonido como medio de realización” (Miyara, 2001, p. 2). Esto hace que el llevar la temática del sonido al aula de clase sea necesario ya que no solo se deben abordar aquellos aspectos conceptuales, sino que a su vez se les permita tener un acercamiento físico con experimentos que fomenten la interacción con el sonido.

Con esto en mente, la propuesta surge en la práctica pedagógica como docente en formación desarrollada en el Instituto Pedagógico Nacional en los periodos 2022 y 2023, con grado 11, con énfasis en artes, práctica que fue culminada en el año 2023. En el acompañamiento que se realizó en el aula de clase, como apoyo para el tutor docente para planificar las clases, elaborar las actividades y evaluaciones, se logró percibir, por medio de la observación y el tiempo compartido con el curso, que los estudiantes tienen poco interés y motivación respecto a la asignatura de física, tienen vacíos en algunas temáticas, y su enfoque en las clases es la resolución correcta de los ejercicios propuestos por los docentes. En términos generales, a estos estudiantes no les interesa entender los fenómenos que están estudiando, tanto así, que en una ocasión un estudiante mencionó: “¿Para qué debo aprender esto si yo voy a estudiar música?”.

La desconexión entre la enseñanza de la física y el mundo de la música en el aula no es percibida necesariamente por los estudiantes, ya que la relación entre ambos temas no ha sido planteada ni discutida previamente en su proceso formativo. Esto representa un desafío en la

enseñanza, porque se pierden oportunidades de generar un aprendizaje significativo que aproveche los intereses y experiencias de los estudiantes como punto de partida para la construcción de conocimiento.

De aquí surge una preocupación por elaborar una herramienta que sirva como recurso tanto para el docente como para el estudiante de secundaria, y logren mediar las clases de física cuando se quiera abordar como temática del tono y su relación con la frecuencia. Resulta fundamental indicar que, si bien, en el presente trabajo de grado se diseña y construye una cartilla, la implementación de esta no hace parte del presente trabajo de grado, como se menciona anteriormente, debido a que la práctica fue culminada en el año 2023. Aun así, se busca que esta sea un aporte para futuras experiencias de práctica con estudiantes de grado once. Es importante señalar que las reflexiones que se hacen en el documento son gracias a la experiencia compartida con dicha población.

MARCO TEÓRICO

Desde tiempos antiguos, los seres humanos han buscado formas de comunicarse y expresarse. La música, como medio intuitivo de expresión, ha surgido a través de la experimentación con sonidos producidos por objetos naturales y la percusión corporal. Sin notarlo, la humanidad hizo uso de la física con fines inicialmente religiosos, sociales o como forma de expresar las emociones. Existe evidencia científica que afirma la existencia de instrumentos musicales desde la antigua Mesopotamia (liras de más de 5000 años).

Se ha hecho uso de los fundamentos físicos del sonido a través de la historia del ser humano y de los primeros estudios que se realizaron al respecto fue en 1637 donde Marin Mersenne, un físico matemático francés, estudió las vibraciones en las cuerdas creando la base de la acústica musical en su obra *Harmonie Universelle*, el cual brindó aportes significativos para las leyes de vibración de cuerdas, en donde establece que la frecuencia del sonido producido por una cuerda que vibra depende de características como la longitud, tensión y densidad (Espinoza & Vergara, 2023).

Posteriormente, Torricelli (1643) midió la presión atmosférica a través de un experimento con mercurio, y su trabajo fue ampliado por Pascal (1648), sentando las bases para la comprensión de la presión en los fluidos. Más adelante, los experimentos de Boyle (1660), el cual utilizó una bomba de vacío para demostrar que el sonido requiere un medio material, principalmente el aire, para propagarse, a diferencia de la luz, que puede viajar en el vacío. Estos hallazgos fueron fundamentales para el desarrollo de la acústica y el estudio de las propiedades del sonido, las cuales se presentarán a continuación (Stolik, 2005).

Pérez (2005) menciona que Boyle colocó una campana o un reloj dentro de un recipiente del cual extrajo progresivamente el aire. A medida que el vacío se intensificaba, el sonido emitido por

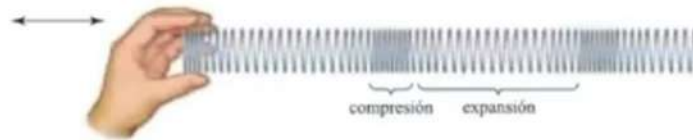
el objeto se volvía cada vez más tenue hasta desaparecer por completo. A partir de este experimento, Boyle concluyó que el sonido requiere un medio material para propagarse.

El sonido, como fenómeno físico se encuentra presente en el diario vivir del ser humano, y posee unas cualidades específicas. Por eso, dentro del marco teórico se abordará la naturaleza, sus características y cómo se relaciona con los términos de frecuencia y tono para encontrar la relación de estos fundamentos físicos.

El sonido es una onda mecánica, la cual es generada por una fuente vibratoria que necesita de un medio para propagarse. Según Serway y Jewett (2018), una onda mecánica es una perturbación que se transmite a través de un medio, transportando energía sin trasladar materia. El medio más común en el que se presenta la propagación del sonido es el aire, aunque también se puede evidenciar en medios líquidos y sólidos. Cuando se emite un sonido (sea una nota musical, el habla de una persona, ruido, entre otras), se genera una perturbación en el medio en forma de onda, es decir, se produce un cambio de presión en el aire.

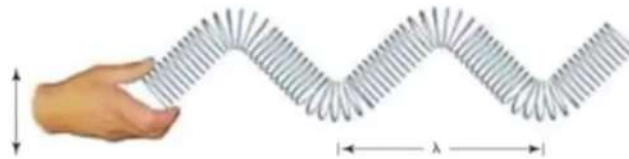
Tipler y Mosca (2021) mencionan que existen dos tipos principales de ondas, las cuales se consideran relevantes mencionar en este trabajo por el tema a abordar. La onda longitudinal es aquella que se caracteriza porque las partículas del medio vibran en una misma dirección en la que se propaga la onda, donde va a presentar dos secciones, compresión, (las partículas se agrupan) y rarefacción, (las partículas se separan), esta es la onda que se presenta cuando se emite un sonido de una fuente. Por otro lado, una onda transversal es aquella en la que las partículas se mueven de forma perpendicular a la dirección de la propagación de la onda, tal como se muestra en la figura 1.

Longitudinales



Paralelas

Transversales



Perpendiculares

Ilustración 1 Representación de una onda transversal y una onda longitudinal.

Tomado de: <https://surl.li/zviusd>

Este fenómeno puede presentarse como evento sonoro y/o evento auditivo. Cuando se habla de evento sonoro, se refiere al fenómeno psico acústico, haciendo referencia a la onda mecánica que se propaga por un medio elástico y denso a través de sus partículas, y cuando se habla del evento auditivo se hace referencia a la sensación auditiva que esta produce. Por lo general, existen ambos eventos durante la propagación del sonido. (Jaramillo, 2007).

Como ya se mencionó, el sonido necesita viajar a través de un medio, como el aire, el agua o incluso el metal, ya que depende de la vibración de las moléculas para propagarse. La velocidad a la que viaja el sonido la determinan las propiedades del medio en el que se propaga, y así lo que

se percibe como sonido no es más que energía generada por vibraciones que se desplazan a través del aire u otro medio, que es captada y escuchada al llegar al oído (Marvin Acústica, 2024).

La percepción del sonido se basa en cuatro cualidades fundamentales que permiten diferenciar distintos tipos de sonidos y comprender su naturaleza. La intensidad se percibe como la fuerza o volumen con el que un sonido es emitido y recibido, y está directamente relacionada con la amplitud de la onda sonora. Cuanto mayor es la amplitud, más fuerte será el sonido percibido, mientras que una menor amplitud genera sonidos más suaves. La percepción de la intensidad también depende del entorno, ya que en ambientes ruidosos los sonidos débiles pueden pasar desapercibidos, mientras que en lugares silenciosos hasta los sonidos más tenues pueden ser detectados con facilidad (Serway & Jewett, 2018).

La duración de un sonido se refiere al tiempo en el que las vibraciones se mantienen audibles, lo que influye en la percepción temporal de los sonidos y su estructura rítmica. La duración puede ser breve, como en un golpe de percusión, o prolongada, como en una nota sostenida en un instrumento de cuerda o viento. En la música, esta cualidad es esencial para la organización de ritmos y melodías, ya que la combinación de sonidos cortos y largos genera patrones que estructuran una composición. El timbre es la cualidad que permite diferenciar dos sonidos con la misma intensidad y frecuencia pero que provienen de fuentes distintas (Howard & Angus, 2017).

Las ondas sonoras, al ser un tipo de onda mecánica longitudinal, tienen varias características que las distinguen y que son fundamentales para comprender su comportamiento y su impacto en la percepción auditiva. Entre estas características principales se encuentran la frecuencia, la longitud de onda, la amplitud, la velocidad de propagación y la dirección de propagación.

En términos de sonido, la frecuencia determina la altura tonal, es decir, si el sonido será agudo o grave. La unidad de medida de la frecuencia son los hercios (Hz), cada hercio hace referencia a un ciclo por segundo. Cada onda tiene una longitud de onda que es la distancia entre dos crestas o dos valles seguidos, la cual se puede explicar de forma matemática con la siguiente ecuación.

$$f = \frac{1}{T}$$

(ecuación 1)

donde:

- f = frecuencia (en Hz)
- T = período de la onda, es decir, el tiempo que tarda en completarse un ciclo (en segundos)

El tono y la frecuencia son conceptos fundamentales en el estudio del sonido dentro de la física, cuya relación determina la percepción auditiva de los seres humanos. La frecuencia es una magnitud física que representa el número de oscilaciones o ciclos completos que realiza una onda en un segundo (Serway & Jewett, 2018). En el caso del sonido, la frecuencia de una onda sonora indica la rapidez con la que las partículas del medio, como el aire, vibran en respuesta a la propagación de la onda.

Helmholtz (1863) definió el tono como la cualidad del sonido que permite distinguir sonidos más graves de más agudos, lo cual está directamente relacionado con la frecuencia de la vibración de la fuente sonora. Según sus estudios, el tono percibido por el oído humano depende de la cantidad de oscilaciones por segundo que realiza la onda sonora, medida en hercios (Hz). El oído humano es capaz de percibir frecuencias en un rango aproximado de 20 Hz a 20,000 Hz,

aunque con la edad o la exposición prolongada a ruidos intensos esta capacidad puede reducirse. A su vez menciona la característica del timbre como la cualidad del sonido que permite diferenciar dos sonidos con la misma frecuencia fundamental pero provenientes de diferentes fuentes. Según Helmholtz, el timbre de un sonido está determinado por la combinación de armónicos que acompañan al tono fundamental y por su respectiva intensidad. Esto explica por qué un mismo tono puede sonar distinto en un piano, una guitarra o un violín, ya que cada instrumento genera un patrón de armónicos único debido a su estructura y mecanismo de producción del sonido.

A pesar de su estrecha relación, la frecuencia es una propiedad la cual se puede medir y representar, mientras que el tono es una percepción subjetiva que puede verse influenciada por factores adicionales, como la intensidad del sonido y la capacidad auditiva del receptor (Rossing, Moore & Wheeler, 2014). Fenómenos como el efecto Doppler también afectan la percepción del tono, ya que la variación en la velocidad relativa entre la fuente sonora y el oyente puede generar un cambio aparente en la frecuencia percibida (Tipler & Mosca, 2016).

El estudio realizado por Rico et al (2021) se enfocó en comprender el aprendizaje de los modelos de sonido, bajo un esquema del cual se estudian todas las características de este, resaltando por ejemplo la dirección de propagación, la velocidad en la que ocurre este fenómeno, y como se manifiesta con base en la fuerza que se le imprima al momento de generarlo, como la fuerza de un golpe, o la presión con la que se tense una cuerda para generar música. En el estudio, se resalta que la intensidad se correlaciona con el volumen del sonido, por otro lado, la altura del sonido, también conocida como tono, se relaciona con la frecuencia de la onda sonora, cuando se tenga una frecuencia baja se obtendrá un tono grave, mientras que con una frecuencia alta se tiene un tono agudo.

Romero et al (2022) analizan todos los umbrales auditivos en una exposición sonora, donde analizan la orquesta sinfónica de la Universidad Nacional de Córdoba, entre los resultados, los autores determinaron que la intensidad varía según la sección de la orquesta que toca en un momento dado, resaltando qué, cuando la orquesta llega al punto máximo de efusión, donde se define como la intensidad es alta y el volumen aumenta, es producto de sonidos emitidos de los instrumentos que alcanzan una manipulación profesional, pero las partes donde la intensidad disminuye y las notas tienen mayor tiempo de duración, generan un volumen más bajo. En lo que respecta la altura del tono, dependerá de los instrumentos y las notas que estén tocando, de hecho, en la orquesta analizada, los violines al estar tocando notas agudas tienen una altura más baja que los violonchelos, los cuales tocan notas más graves, y este efecto crea una variedad de alturas tonales en la música que le dan un sentido a quién está escuchando, como es un bajo, un sonido de fondo, o una prelación a que el violín sea el protagonista central antes que el mismo violonchelo.

Para mostrar esto, la figura 2 presenta la relación de agudez entre estos dos instrumentos de la orquesta al mismo nivel de altura de tono, donde se evidencia una relación clara a que el violín es mucho más agudo que el violonchelo.

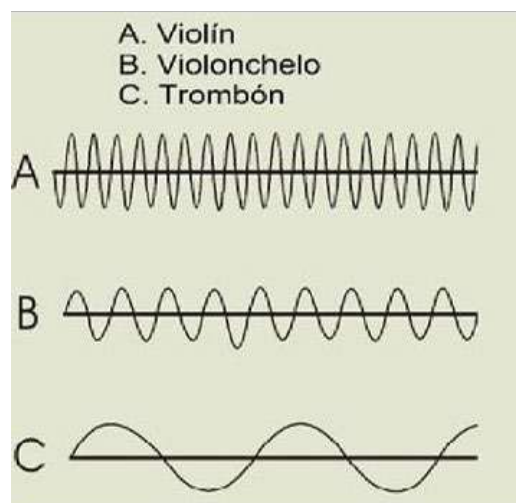


Ilustración 2 . Relación entre agudeza de tres instrumentos.

Tomado de: <https://images.app.goo.gl/btLjJhrZ7KKS2tMw7>

Ahora bien, este esquema de la figura 2 muestra que los tres instrumentos tienen igual amplitud, lo que representa que ninguno es protagonista, todos pueden estar al fondo de la orquesta como complemento a la misma, ya que el volumen que emiten (altura) es igual, pero las frecuencias cambian, donde el violín es el más agudo de los tres, el trombón es más suave o lento, percibirlo como instrumento de apoyo. Para comprender los conceptos, se presenta la figura 3 que resume estos dos parámetros del sonido.

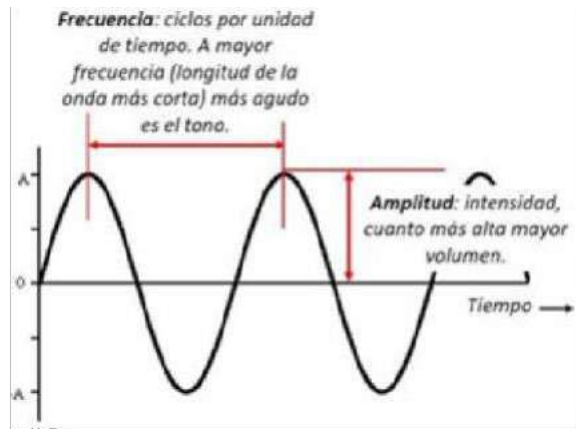


Ilustración 3 . Generalidades de Frecuencia y Amplitud de onda Sonora.

Tomado de: <https://images.app.goo.gl/6ziLEFDMKd87gNZQ8>

En la Academia Svanteck (s.f) mencionan la frecuencia y la amplitud como dos características fundamentales que definen las ondas sonoras y su percepción en el ámbito acústico. La frecuencia, medida en hertzios (Hz), se refiere al número de oscilaciones o ciclos que una onda completa en un segundo; esta propiedad determina el tono o la altura del sonido, siendo frecuencias más altas asociadas a notas más agudas y frecuencias más bajas a sonidos más graves. Por otro lado, la amplitud está relacionada con la energía de la onda y se mide en unidades de presión sonora, como los decibelios (dB).

Marvin acústica (2023), menciona que la amplitud influye en la percepción del volumen; a mayor amplitud, mayor será el nivel sonoro percibido. En términos físicos, la amplitud se puede entender como la distancia entre el eje horizontal y el punto más alto del pico de la onda o el punto más bajo de su depresión. Juntas, estas características permiten comprender cómo las ondas sonoras interactúan con el entorno y cómo son interpretadas por el oído humano, constituyendo así un aspecto esencial en el estudio de la acústica y sus aplicaciones en diversas disciplinas.

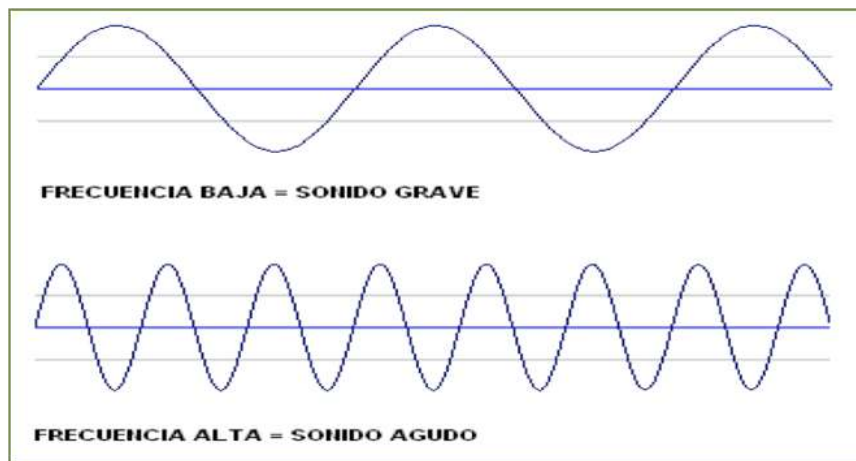


Ilustración 4 Protagonismo de Volumen en Instrumento de Frecuencia alta

Tomado de: <https://surl.li/rtzoca>

Con la figura 4 se presenta un caso diferente, donde el instrumento de frecuencia alta, que puede ser el violín, pero con una agudeza menor con las cuerdas más gruesas y recitarse de forma más suave, tiene un volumen mucho mayor que la frecuencia baja, podría ser un complemento de fondo como un trombón, que se toca a un volumen mucho menor, y da todo el protagonismo al primer nivel para el violín.

En lo que respecta a la duración del sonido, Romero et al. (2022) explican que está determinada por la duración de las notas en la partitura, por ejemplo, una nota larga sostenida por los violines durante varios compases tendrá una duración mayor que una serie rápida de notas

cortas interpretadas por la sección de vientos. El timbre distingue entre los instrumentos de la orquesta, aunque dos secciones tocan la misma nota con la misma intensidad y duración, como un acorde sostenido, aún podemos distinguir entre violines y clarinetes por las diferencias en el timbre de cada instrumento.

VIBRACIONES DE CUERDAS TENSAS:

Es importante empezar comprendiendo que una cuerda tensa es un objeto largo ya sea grueso o delgado que está sometido bajo cierta tensión. Al realizar una perturbación a ese estado de la cuerda, ya sea un golpe o un rozamiento se produce lo que conocemos como sonido. El sonido que se produzca puede afectarse por ciertas condiciones como el material de la cuerda, tan tensionada, y la intensidad de la perturbación. Por eso se puede encontrar en instrumentos musicales como el piano, la guitarra, el violín, etc.

La ecuación que se presenta a continuación expresa que una cuerda tensa, la cual tiene una masa m , se encuentra sujeta en dos puntos A y B, lo cual está a una distancia L , sometida a una tensión T , cuando oscila libremente esto representa la frecuencia f a la que está. Se debe tener en cuenta el factor n , el cual hace referencia al número de armónico que se presenta.

$$f = n \frac{\sqrt{\frac{T}{m/L}}}{2L} \quad (\text{ecuación 2})$$

La relación existente entre la frecuencia de oscilación de la cuerda y la tensión sometida permite que toda magnitud que influya sobre la tensión T pueda medirse mediante el conocimiento de la citada frecuencia, y el tono (grave o agudo) depende del diámetro de la cuerda, donde, independiente a la fuerza imprimida, este estará definido por el grosor de esta.

LA FÍSICA DEL SONIDO: VIBRACIÓN DE CUERDAS Y SU RELACIÓN CON LA MÚSICA

Se han encontrado algunas diferencias de lenguaje entre los músicos y los físicos a la hora de hablar de música. Los físicos se enfocan en términos de frecuencia, potencia y descomposición en frecuencias de los sonidos, mientras que para los músicos es más común hablar de la altura, intensidad y timbre de las notas musicales. Estas últimas son definidas también como sensaciones subjetivas, mientras que la frecuencia, la potencia o la descomposición de frecuencias se puede medir con instrumentos tecnológicos. Sin embargo, ambos se encuentran estrechamente conectados. (Luzuriaga, 2022).

Cuando una cuerda se tensa y se pone en vibración, se generan ondas estacionarias que producen sonido. La longitud, densidad y tensión de la cuerda influyen en la frecuencia fundamental y los armónicos del sonido producido. Si se tiene una cuerda larga se producen frecuencias bajas así que entre más corta sea la cuerda puede que se generen frecuencias altas. De igual forma, al tener mayor densidad la cuerda se producirán frecuencias más bajas, sin embargo, es importante recordar que, como ya se mencionó anteriormente, existen demasiados factores que pueden afectar la onda producida.

Las ondas estacionarias, definidas por Fisicalab (2023), son fundamentales para entender la forma en que las cuerdas tensas producen sonido. Debido a las vibraciones en las cuerdas, se generan nodos (puntos no vibrantes) y antinodos (puntos máximos de vibración). Todo esto aporta a diversos patrones de vibración, todos vinculados con distintas frecuencias. Los armónicos son múltiples enteros de la frecuencia esencial. Es vital dado que ayuda a construir la riqueza del timbre producido por cualquier instrumento. Entender el funcionamiento efectivo de las cuerdas tensadas deposita este saber en los hombros de los músicos que, alterando la longitud o la densidad de las

cuerdas y la tensión, generan diversos tonos. Por ejemplo, un violinista afloja a propósito las cuerdas para obtener una tonalidad diferente. Además, las influencias pueden representar el logro musical. En consecuencia, un músico que comprenda el fenómeno de la física podrá aplicarlo para potenciar la creatividad en su arte. En este contexto, la relación entre la física y la música no es simplemente una teoría, sino un entendimiento práctico del fenómeno musical.

La relación entre la física y la música, especialmente en lo que respecta a la vibración de las cuerdas tensas, ha sido objeto de estudio durante siglos. Comprender cómo se produce el sonido en los instrumentos de cuerda es fundamental tanto para los físicos como para los músicos, ya que implica una combinación de principios científicos y conceptos musicales.

El sonido en los instrumentos de cuerda se origina a partir de la vibración de las cuerdas cuando estas son puestas en movimiento. Al estar tensadas entre dos extremos fijos y recibir una perturbación, entran en un estado de oscilación periódica, lo que genera ondas mecánicas que se propagan a través del aire y son percibidas como sonido, principalmente como nota musical, por el oído humano (Curso de Acústica Musical, 2015).

La frecuencia de vibración de una cuerda, y por lo tanto el tono que produce, depende de tres factores fundamentales. En primer lugar, la tensión de la cuerda influye directamente en su frecuencia de vibración, de manera que una mayor tensión genera una vibración más rápida y, en consecuencia, un tono más agudo. En segundo lugar, la longitud vibrante de la cuerda también afecta el sonido, ya que una mayor longitud reduce la frecuencia de vibración y produce un tono más grave. Finalmente, la masa por unidad de longitud juega un papel crucial, pues las cuerdas más gruesas y pesadas vibran más lentamente, originando sonidos más graves, mientras que las cuerdas más livianas vibran más rápido y generan tonos más agudos (Curso de Acústica Musical, 2015).

Además de la frecuencia fundamental, las cuerdas también generan armónicos, que son múltiplos de la frecuencia base y contribuyen a la riqueza del sonido. Estos armónicos dependen de la forma en que la cuerda vibra y de los puntos en los que se presiona o se toca, lo que explica las variaciones tonales entre diferentes técnicas de interpretación musical. Los nodos en una cuerda vibrante son puntos fijos donde no se produce desplazamiento durante la oscilación. Estos aparecen en intervalos regulares a lo largo de la cuerda y dividen la onda en secciones donde la amplitud de vibración es máxima. La posición y cantidad de nodos determinan los armónicos que se generan, lo que influye en el timbre y la calidad del sonido producido por el instrumento (Cabrera, s.f).

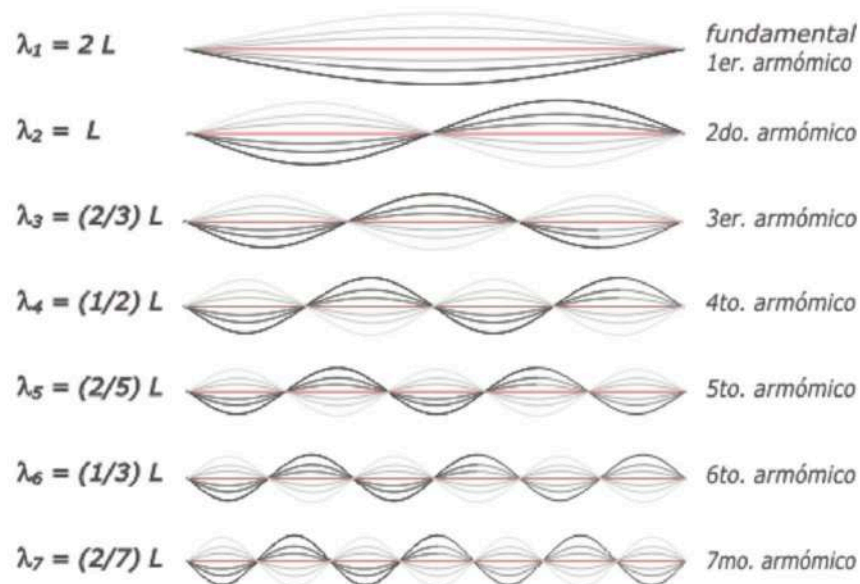


Ilustración 5 : Modos de vibración y armónicos en una cuerda fija en sus extremos

Tomado de: <https://n9.cl/do625>

Por lo tanto, al analizar la figura 5, se puede simplificar la expresión considerando que n representa el número de armónico, L es la longitud de la cuerda y λ depende directamente de n ,

estableciendo así una relación matemática entre estos valores. La cual se representa en la siguiente ecuación (ecuación 3).

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

Este fenómeno es clave en la afinación de los instrumentos de cuerda, ya que los músicos pueden modificar la tensión y la longitud vibrante de las cuerdas para ajustar el tono de las notas. Por ejemplo, en una guitarra, al presionar una cuerda en un traste se acorta su longitud vibrante, elevando la frecuencia y produciendo un tono más alto.

El análisis de cómo se afinan los instrumentos de cuerda revela aún más la interconexión entre la física y la música. La afinación de un instrumento está determinada por sus características físicas, como la tensión aplicada a las cuerdas y la longitud vibrante de las mismas. Ajustar la tensión de una cuerda altera su frecuencia de vibración, lo que a su vez afecta al tono producido por el instrumento.

Además, la longitud vibrante de la cuerda también es un factor importante en la afinación. Cambiar la longitud vibrante de una cuerda, como hacerlo al presionar una cuerda en un traste de la guitarra, modifica su frecuencia de vibración y, por lo tanto, el tono producido. Esta capacidad de ajustar la longitud vibrante de las cuerdas permite a los músicos afinar sus instrumentos según sea necesario para producir los tonos deseados. (Luzuriaga, 2022).

INSTRUMENTOS DE CUERDA Y SU RELACIÓN CON LA FÍSICA

La interacción entre la física del sonido y los instrumentos de cuerda, como la guitarra, el violín y el piano, es un campo de estudio fundamental que combina principios científicos y prácticas musicales. Estos instrumentos, conocidos como instrumentos de cuerda, se basan en el principio de la vibración de cuerdas tensas para producir sonido. Para comprender completamente

este fenómeno, es crucial examinar cómo se ajustan las cuerdas para lograr diferentes notas musicales y cómo se relaciona esto con los principios físicos de las vibraciones.

Una cuerda tensa actúa como un oscilador en el contexto de la física del sonido. Cuando una cuerda está en reposo, está en equilibrio, pero al ser perturbada, comienza a vibrar. Esta vibración se da por la interacción entre dos fuerzas principales: la fuerza que busca devolver la cuerda a su posición de equilibrio, y la inercia, que mantiene en movimiento a la cuerda cuando se la perturba. Estas fuerzas interactúan para producir un patrón de vibración en la cuerda, generando así sonido.

La frecuencia con la que una cuerda vibra está determinada por la tensión aplicada a la cuerda, su masa por unidad de longitud y la longitud total de la parte vibrante de la cuerda. Aumentar la tensión de una cuerda aumenta su frecuencia de vibración, lo que resulta en una nota más aguda, mientras que disminuir la tensión produce una frecuencia más baja, generando una nota más grave. Del mismo modo, variar la longitud de la parte vibrante de la cuerda, como hacen los guitarristas al presionar las cuerdas en diferentes trastes, también afecta la frecuencia de vibración y, por lo tanto, el tono producido.

Es importante destacar que una cuerda puede vibrar de diferentes maneras, lo que resulta en la producción de múltiples frecuencias armónicas. Al tocar una cuerda, se superponen estas frecuencias armónicas, lo que contribuye al timbre característico del instrumento. Por ejemplo, pulsar la cuerda en diferentes puntos puede enfatizar ciertos armónicos, lo que afecta la calidad del sonido producido.

Además, para aumentar la eficacia de la producción de sonido, se utilizan cajas de resonancia en instrumentos de cuerda. Estas cajas amplifican el sonido al vibrar en respuesta a la vibración de las cuerdas. La tapa de instrumentos como la guitarra, el violín y la lira es

especialmente importante en este proceso, ya que transmite la vibración de las cuerdas a la caja de resonancia, aumentando así la amplitud del sonido producido. (Luzuriaga, 2022).

La exploración de la armonía, la cual se entiende como la combinación de diferentes notas o acordes que se tocan simultáneamente, creando un efecto sonoro agradable y cohesivo; y la acústica, la cual se encarga de estudiar estas composiciones, en este caso de las cuerdas tensas revela cómo se construyen los acordes y se genera armonía en la música a partir de las relaciones de frecuencia entre las cuerdas. Estos principios físicos también tienen una aplicación directa en la composición musical y la interpretación, ofreciendo ejemplos concretos de cómo los músicos aprovechan estas leyes naturales para crear piezas musicales coherentes y expresivas.

Además de la frecuencia fundamental, las cuerdas pueden vibrar en armónicos, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Estos armónicos influyen en el timbre del sonido producido por la cuerda. Los músicos pueden controlar la forma en que se excitan estos armónicos al tocar la cuerda en diferentes puntos, como el centro o los extremos, lo que afecta la calidad tonal y el carácter del sonido resultante.



Ilustración 6: Elaboración de un acorde en instrumento de cuerda

Tomado de: <https://n9.cl/usfuod>

En la composición musical, los principios físicos de las cuerdas tensas se aplican de diversas maneras. Los compositores utilizan la relación entre las frecuencias de las cuerdas para construir acordes que suenan armónicos entre sí. Por ejemplo, un acorde de do mayor se compone de las notas do, mi y sol, cuyas frecuencias están relacionadas de manera específica y producen un sonido consonante cuando se tocan juntas.

En la interpretación musical, los músicos aprovechan estas relaciones de frecuencia para expresar emociones y transmitir intenciones artísticas. Variando la manera en que tocan las cuerdas, pueden crear efectos tonales distintos y dar forma al carácter musical de una pieza. Por ejemplo, pulsar la cuerda en el extremo produce un sonido más metálico, mientras que hacerlo en el centro produce un sonido más puro y suave (Luzuriaga, 2022).

Cesar Sancho (2011) en su artículo “Faraday y la guitarra eléctrica”, explica como la construcción de la guitarra eléctrica implica la utilización de materiales específicos, como cuerdas de acero ferromagnético, bobinas e imanes. La colocación precisa de estos componentes asegura que las vibraciones de las cuerdas se traducen en señales eléctricas que puedan amplificarse y reproducirse como sonido audible. En acústica, la guitarra eléctrica permite explorar diversos conceptos, como modos propios de vibración de una cuerda tensa. Estos modos propios se refieren a las diferentes formas en que una cuerda puede vibrar, cada una correspondiente a una frecuencia específica. Al variar la longitud o la tensión de la cuerda, se pueden cambiar estas frecuencias, lo que afecta las notas musicales producidas.

LA MÚSICA Y LA EXPERIMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Los beneficios de enseñar física a través de la música son diversos y significativos. Este enfoque interdisciplinario de la enseñanza con la música puede permitir a los estudiantes comprender conceptos físicos abstractos mediante ejemplos concretos y experienciales, lo que

facilita su comprensión y retención. Además, la música puede servir como una poderosa herramienta motivadora, especialmente para aquellos estudiantes que pueden encontrar la física desafiante o aburrida. En un texto de la Universidad Internacional de La Rioja (2020), titulado “La música en la educación: un impacto positivo en el aprendizaje de los niños”, señalan que la música crea un ambiente de aprendizaje estimulante y atractivo, lo que fomenta la participación activa y el interés en la materia. Además, la música como herramienta didáctica promueve el desarrollo de habilidades cognitivas y emocionales en los estudiantes. Participar en actividades musicales que implican contar pulsos, calcular momentos o identificar cualidades de sonido fomenta el pensamiento crítico y la resolución de problemas. El mismo texto señala que la música puede usarse como terapia para ayudar a los estudiantes a gestionar el estrés, mejorar su concentración y fomentar un ambiente de calma y relajación propicio para el aprendizaje.

Para la elaboración de este trabajo, se ha considerado fundamental la didáctica, un campo interdisciplinario el cual busca diseñar e implementar estrategias que favorezcan el aprendizaje. La didáctica no solo se enfoca en la transmisión de conocimientos, sino que también busca generar experiencias significativas que promuevan una comprensión profunda de los conceptos abordados. En este contexto, la didáctica adquiere un papel clave dentro del presente trabajo, ya que su objetivo principal es facilitar la transmisión del conocimiento de manera efectiva, adaptándose a las necesidades, características y contextos de los estudiantes (Universidad de los Andes, 2023).

Uno de los principales desafíos identificados en este estudio es que los estudiantes del Instituto Pedagógico Nacional con énfasis en música tienen dificultades para encontrar una relación directa entre los contenidos de la clase de física y su formación artística. Esta desconexión puede generar desinterés y dificultar la apropiación del conocimiento científico. Por esta razón, la

didáctica se convierte en una herramienta esencial para vincular el aprendizaje de la física con su campo de interés, en este caso, la música.

A través de ciertas actividades, es posible presentar la física de una manera más atractiva y contextualizada para estos estudiantes, utilizando ejemplos relacionados con el sonido, el tono y la frecuencia. Además, la experimentación como metodología didáctica se convierte en un recurso clave para reforzar estos conceptos, ya que permite a los estudiantes visualizar y experimentar fenómenos físicos en situaciones cercanas a su realidad artística. En el artículo Didáctica: concepto, objeto y finalidades, Navarra, (2001) facilitan la definición de diferentes investigadores del tema de la didáctica resumido en un cuadro:

Aspectos	Descriptorios en la definición de Didáctica
Carácter	disciplina subordinada a la Pedagogía teoría, práctica ciencia, arte, tecnología
Objeto	proceso de enseñanza-aprendizaje enseñanza aprendizaje instrucción formación
Contenido	normativa comunicación alumnado profesorado metodología
Finalidad	formación intelectual optimización del aprendizaje integración de la cultura desarrollo personal

Ilustración 7: Definiciones de la didáctica de diferentes personas que se enfocaron en su estudio

Tomado de: <https://n9.cl/177vq5>

“La Didáctica es una ciencia práctica, de intervención y transformadora de la realidad. Hemos comprobado en los elementos comunes a las definiciones de la mayoría de los autores de

nuestro país, que la consideran como una ciencia o una tecnología y algunos, como un arte. Y es que algo tiene de cada uno de estos puntos de vista.” (Navarra, 2001).

La didáctica se refiere al estudio y aplicación de métodos y estrategias para enseñar. En el contexto de la física, esto implica diseñar experiencias educativas que no solo transmitan información, sino que también promuevan una comprensión profunda de los conceptos. Según Longa Martínez (2015), la enseñanza de la física a menudo se enfrenta al reto del aprendizaje mecánico, donde los estudiantes memorizan fórmulas sin comprender su significado o aplicación. Para contrarrestar esto, es fundamental implementar estrategias que hagan el aprendizaje significativo, conectando los nuevos conocimientos con experiencias previas y contextos reales.

Es por esto que la evaluación en el contexto didáctico debe ser continua y formativa. Es crucial que los docentes no solo evalúen el conocimiento teórico adquirido, sino también cómo los estudiantes aplican esos conocimientos en situaciones prácticas. Esto implica observar cómo los alumnos resuelven problemas físicos y cómo integran nuevos conceptos en su estructura cognitiva existente (Campelo, 2003).

El aprendizaje significativo se tiene en cuenta en este proceso ya que, es una teoría desarrollada por el psicólogo y pedagogo David Ausubel en el siglo XX, que se centra en la importancia de conectar los conocimientos previos de los estudiantes con nueva información. Esta conexión permite que el aprendizaje sea más duradero y relevante, ya que se basa en las experiencias y conocimientos acumulados a lo largo de la vida del aprendiz. Según Ausubel (1983), "si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente". Este enfoque subraya la necesidad de considerar el bagaje previo de los estudiantes al introducir nuevos conceptos.

La teoría del aprendizaje significativo resalta la importancia del material educativo, por lo que es crucial para facilitar la comprensión y aplicación de los conceptos en situaciones futuras. En este contexto, se propone explorar la relación entre elementos musicales, como la sensación de tono y frecuencia, y conceptos físicos. La música, como conocimiento previo, puede servir como un punto de anclaje para introducir temas físicos, dado que muchos estudiantes ya tienen una familiaridad con ella. En el Instituto Pedagógico Nacional, los alumnos pueden elegir su énfasis educativo, lo que les permite explorar áreas que les interesan, como la música, antes de abordar conceptos científicos. Por ejemplo, al estudiar fenómenos como la frecuencia y el tono, los estudiantes pueden relacionar estos conceptos con su experiencia musical previa. Esta conexión no solo hace que el aprendizaje sea más atractivo, sino que también ayuda a los estudiantes a entender cómo se aplican los principios físicos en contextos cotidianos para el grupo.

La importancia de esta relación radica en que los estudiantes no inician su proceso de aprendizaje desde cero, sino que traen consigo una serie de experiencias y conocimientos previos que pueden enriquecer su comprensión. Como se mencionó anteriormente, al desarrollar la cartilla, se consideraron los conceptos tratados por el docente de física, con el objetivo de que los estudiantes de grado once puedan generar nuevos conocimientos a partir de los temas abordados en el plan de estudios. Por lo tanto, es crucial tener en cuenta que, al momento de implementar la cartilla propuesta, se debe analizar cuidadosamente la continuidad de los contenidos dentro del plan de estudios. Esto implica que los temas previos a la implementación de la cartilla deben estar relacionados de manera coherente con los contenidos que se aborden en ella.

A su vez, se aborda el aprendizaje por descubrimiento, el cual promueve que los estudiantes adquieran conocimiento por sí mismos mediante la investigación, la experimentación e interactuando con problemas relacionados con el tema que se desea tratar. Este rompe el método

tradicional que se ha utilizado desde la antigüedad en donde los estudiantes reciben la información y trabajan con aquello que logran comprender.

El aprendizaje por descubrimiento se centra en intercambiar los roles en donde el estudiante es aquel que adquiere su propio conocimiento. “esto implica que el aprendizaje por descubrimiento no necesariamente es significativo y que el aprendizaje por recepción sea obligatoriamente mecánico. Tanto uno como el otro pueden ser significativo o mecánico, dependiendo de la manera como la nueva información es almacenada en la estructura cognitiva” (Ausubel, 1983).

El promover este espacio, por medio de la cartilla que se propone en este trabajo, se busca que los estudiantes utilicen en la mayor parte los recursos que le faciliten este proceso, es decir, que se vea impulsada la creatividad; se podría considerar que la motivación, desarrollar y fortalecer habilidades las cuales les permiten tener mayor comprensión sobre algo específico.

Para finalizar, la experimentación como estrategia didáctica es una práctica ampliamente utilizada en asignaturas relacionadas con las ciencias naturales. Su aplicación permite a los estudiantes desarrollar un método científico que incluye la observación, la formulación de preguntas, la generación de hipótesis, el análisis de resultados y la elaboración de conclusiones. Este enfoque no solo fortalece la capacidad de argumentación e interpretación de situaciones, sino que también potencia diversas habilidades que les permiten alcanzar los objetivos planteados (Alencastro, Rodríguez & Cabrera, 2020).

El estudio titulado *El Papel de la Experimentación en la Enseñanza de las Ciencias Naturales* de Ramírez (2023) destaca que la experimentación es un modelo didáctico que expone a los estudiantes a situaciones que fomentan la construcción de hábitos de pensamiento alineados con los modelos científicos. A través de esta estrategia, se busca que los estudiantes puedan

observar fenómenos sonoros en tiempo real, permitiéndoles comprender conceptos clave como la frecuencia y el tono.

Ángel Enrique Romero (2017), en su texto “La experimentación en la clase de ciencias”, resalta la importancia de la experimentación como una herramienta clave en la enseñanza de las ciencias. Según el autor, esta metodología permite a los estudiantes construir su conocimiento a partir de la observación, manipulación y análisis de fenómenos naturales, lo que contribuye a una comprensión más profunda de los conceptos científicos.

Romero señala que, para que la experimentación sea realmente efectiva, es fundamental que esté bien diseñada, con objetivos claros y materiales accesibles que faciliten la participación activa de los estudiantes. En este contexto, el papel del docente resulta crucial, ya que debe orientar el proceso de enseñanza desde un enfoque didáctico que promueva la exploración, la formulación de hipótesis y la reflexión sobre los resultados obtenidos, en lugar de limitarse a la simple transmisión de conocimientos teóricos.

Asimismo, el autor destaca que la experimentación en el aula permite a los estudiantes enfrentar desafíos reales, lo que contribuye al desarrollo de habilidades como la observación rigurosa, la toma de decisiones informadas y la argumentación basada en evidencias. Estas competencias no solo son esenciales para la formación científica, sino que también resultan valiosas en otros ámbitos del conocimiento y en la vida cotidiana.

Para los estudiantes de grado 11 con énfasis en artes del Instituto Pedagógico Nacional, la física puede parecer una materia poco interesante. Sin embargo, la experimentación en el aula permite vincularla con su formación artística, el cual es su principal interés, especialmente en lo relacionado con el sonido. Conceptos fundamentales como el tono y la frecuencia son esenciales en la música, ya que determinan la altura de los sonidos y la armonía en las composiciones. A

través de actividades experimentales, los estudiantes pueden explorar cómo la frecuencia de una onda sonora influye en el tono percibido, comprendiendo, por ejemplo, por qué una cuerda más tensa en un instrumento produce un sonido más agudo o cómo la vibración de diferentes materiales afecta la calidad del sonido. Además, la visualización de ondas sonoras mediante software o dispositivos simples puede ayudar a fortalecer la relación entre la ciencia y su práctica artística, promoviendo un aprendizaje significativo que integre la física de manera aplicada a sus intereses.

METODOLOGÍA

La metodología de esta tesis se centra en un enfoque descriptivo y documental, dado que la recolección de información se realiza exclusivamente a través de fuentes secundarias. Se lleva a cabo una revisión de la literatura existente, incluyendo libros, artículos académicos y tesis previas, para obtener un panorama completo sobre el tema de estudio (Reyes-Ruiz & Carmona Alvarado, 2020). Se consideran criterios específicos para la selección del material documental, tales como la inclusión de temáticas del sonido que aborden su caracterización con amplias descripciones del tono y/o la frecuencia, así como proyectos educativos enfocados en la enseñanza de la física y la música en el aula, especialmente dirigidos a adolescentes en básica secundaria.

Para la cartilla se tiene en cuenta diseñarla como una propuesta que vincule los conocimientos de física y música mediante actividades experimentales centradas en la relación entre el tono y la frecuencia del sonido. Aunque esta propuesta no se implementó debido a limitaciones de tiempo, el proceso metodológico se enfocó en garantizar que las actividades sean aplicables en el futuro y adecuadas para estudiantes de grado once con énfasis en artes del Instituto Pedagógico Nacional (IPN). Se considera la interdisciplinariedad, entendiendo esto como la combinación de diferentes áreas de conocimiento que permite una enseñanza más completa y conectada, promoviendo un aprendizaje significativo que relaciona conceptos teóricos y prácticos (Santos García, 2020). De esta manera, se busca no solo facilitar la retención de información, sino también crear un ambiente de aprendizaje donde los estudiantes puedan aplicar lo aprendido en situaciones reales. A continuación, se describen las etapas del trabajo:

1. Revisión teórica y análisis del contexto

Se realiza una revisión bibliográfica sobre las características del sonido y su enseñanza en contextos educativos, considerando estándares nacionales como los formulados por el

Ministerio de Educación Nacional (MEN). Además, se analizaron las observaciones recogidas durante la práctica docente, que evidenciaron una desconexión entre los conocimientos de física y las experiencias musicales de los estudiantes.

2. **Diseño de la cartilla educativa**

La propuesta se centró en la creación de una cartilla didáctica como herramienta principal para enseñar la relación entre el tono y la frecuencia. Este diseño incluyó:

2.1 Selección de actividades experimentales basadas en fenómenos físicos del sonido, como la vibración de cuerdas tensas, la resonancia y la propagación de ondas.

2.2 Materiales y explicaciones que conectaran la teoría física con ejemplos musicales cotidianos.

2.3 Preguntas guía y espacios para reflexiones personales.

3. **Actividades experimentales**

Las actividades son seleccionadas, con el fin de fomentar el descubrimiento y la construcción activa del conocimiento frente a los conceptos de tono y frecuencia.

4. Debido a las limitaciones de tiempo en la práctica docente, no fue posible llevar a cabo la implementación de la cartilla en el aula. Sin embargo, el diseño se estructuró para ser aplicado en un futuro

5. **Discusión y análisis del diseño**

Finalmente, se desarrolla una reflexión sobre el papel de la experimentación como estrategia didáctica en la enseñanza de la física del sonido. Se analiza cómo las actividades propuestas pueden transformar la percepción de los estudiantes, promoviendo un aprendizaje significativo que integre sus intereses musicales y experiencias previas con los conceptos físicos del sonido presentados.

MATERIAL DIDÁCTICO

DESCRIPCIÓN DE LA CARTILLA

Teniendo en cuenta el planteamiento del problema y la justificación de este trabajo de grado, se abordan aspectos relacionados con el material construido explicando cada componente y su producto final.

La comprensión de los conceptos de tono y frecuencia en fuentes sonoras se enriquece al explorar ejercicios prácticos que conectan la física con la música. A través de los experimentos que se presentan, se espera que los estudiantes puedan observar directamente cómo se generan y transmiten los sonidos. Estas actividades no solo ilustran los principios fundamentales detrás de las vibraciones y ondas sonoras, sino que también revelan la relación intrínseca entre las propiedades físicas del sonido y los fenómenos musicales cotidianos. Al combinar conceptos científicos con elementos familiares como instrumentos y resonancias, los estudiantes pueden establecer conexiones significativas que refuercen su aprendizaje y les permitan explorar el mundo sonoro desde una perspectiva analítica y creativa.

En el desarrollo de esta propuesta, se realizó una selección de los experimentos y actividades incluidos en la cartilla, con el objetivo de identificar aquellos que pudieran establecer una relación significativa entre la física del sonido y la música. Este proceso se fundamentó en un análisis reflexivo de los conceptos clave a abordar, como el tono y la frecuencia, y su vinculación con fenómenos musicales cotidianos. Adicionalmente, se tiene en cuenta los intereses de los estudiantes frente a la música para la selección de las actividades experimentales.

En el cuerpo de la cartilla no se incluirán los objetivos de cada una de las actividades experimentales, ya que se busca que los estudiantes exploren por sí mismos las conexiones entre

los conceptos presentados, evitando así sesgar su aprendizaje. Esto fomenta un ambiente donde pueden investigar y descubrir.

FRECUENCIAS QUE RESUENAN

La cartilla educativa titulada “Frecuencias que resuenan” ha sido elaborada con el objetivo de facilitar el desarrollo de experimentos relacionados con el tono y la frecuencia. Es relevante señalar que la implementación de esta cartilla no está restringida a un tiempo específico; por ende, el docente tiene la libertad de aplicarla según lo considere pertinente para el aprendizaje de sus estudiantes.

A través de una revisión de la literatura existente sobre trabajos de grado, tanto en el ámbito institucional como en otras universidades, se concluyó que esta cartilla representa la herramienta educativa que mejor se adapta para poder abordar lo que se desea en este trabajo.

Para aquellos docentes que deseen implementar esta cartilla en el aula, es fundamental tener en cuenta las siguientes recomendaciones que facilitarán su uso y maximizarán su efectividad:

1. **Rol Activo del Docente:** Es esencial que el docente asuma un papel activo durante todo el proceso de enseñanza-aprendizaje. Aunque la cartilla está diseñada para ser una herramienta útil, no puede considerarse completamente autónoma. Requiere intervenciones y explicaciones para asegurar que los estudiantes comprendan los conceptos y puedan aplicar lo aprendido de manera efectiva. La presencia del docente es clave para guiar a los estudiantes, resolver dudas y fomentar un ambiente de aprendizaje dinámico.

2. **Adaptaciones según las Necesidades del Grupo:** Cada grupo de estudiantes es único, por lo que es probable que el docente necesite realizar adaptaciones a la cartilla según los intereses y necesidades específicas de sus alumnos. Esta flexibilidad no solo permite una mejor

adecuación del contenido, sino que también otorga al docente una mayor libertad en la implementación.

3. Selección de Experimentos Sencillos y Accesibles: La cartilla incluye una selección de experimentos diseñados para ser sencillos y accesibles, lo que facilita su realización en el aula. Sin embargo, un desafío común puede ser la falta de recursos necesarios para llevar a cabo estas actividades. Es importante que los docentes evalúen con anticipación qué materiales están disponibles y busquen alternativas creativas o recursos comunitarios que puedan complementar lo requerido. La planificación adecuada puede ayudar a evitar frustraciones y asegurar que las actividades se realicen sin contratiempos.

4. Abordaje de Preguntas No Cubiertas por la Cartilla: Es natural que los estudiantes surjan con preguntas que no estén contempladas en la cartilla. Es por esto que, es crucial que el docente esté preparado para fomentar un diálogo abierto y responder a estas preguntas adicionales. Esta interacción no solo enriquecerá el aprendizaje, sino que también fortalecerá la relación entre el docente y los estudiantes.

COMPONENTES DE LA CARTILLA

PORTADA E INTRODUCCIÓN: Se diseñó una portada que lograr captar la atención de los estudiantes, pero buscando también un diseño hacia lo clásico. Se puede encontrar el título que tiene la intención ya mencionada. Como los estudiantes a los que va dirigida esta cartilla tienen interés o cercanía con la música, se usaron como complementos de decoración en toda la cartilla, instrumentos musicales. Luego, en la introducción se busca animar a los estudiantes de forma amena e intentar explicar que con esta actividad no se saca malas notas, sino dinamizar el proceso de aprendizaje abordando la relación entre tono y frecuencia. Es importante mencionar que la cartilla es un suministro directo para los estudiantes y tiene ciertas actividades que se podrían

considerar “abiertas” ya que buscan respetar y conocer las ideas de los estudiantes, pero esto se detallará más adelante.

EXPERIMENTO INTRODUCTORIO:

¿Las copas pueden cantar?

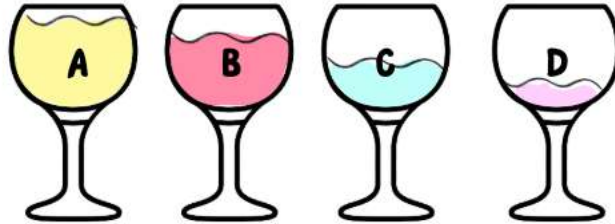


Ilustración 8 Representación del ejercicio de las copas.

Tomado de la cartilla elaborada (Autoría propia)

El objetivo principal de esta sección es mostrar como producir un sonido con unas copas y agua, algo que a simple vista parece fácil. Sin embargo, detrás de esto se encuentran distintos conceptos que es necesario entrar a profundizar para una mejor comprensión de la relación que existe entre el tono y la frecuencia. Para ello se enlistan los materiales necesarios y luego se empieza a explicar el procedimiento para la práctica experimental. Para finalizar se da un espacio para que el estudiante anote aquellas observaciones y conclusiones que pudo sacar durante el experimento. Buscando enlazar las conclusiones dadas por los estudiantes con el propósito de la cartilla, se da una pequeña explicación bastante general, sin embargo, esta tiene la función de producir confusión en los estudiantes ya que allí se usan términos que tal vez no conozcan, así que se busca crear curiosidad sobre entender a fondo el fenómeno presentado en el experimento, luego se da una explicación mucho más detallada en donde se busca abordar todos los conceptos relacionados. Teniendo en cuenta que es tanta información, se presenta como solución a esto una

pequeña sopa de letras. Se esperaría que el docente que realiza la implementación haga una pequeña pausa y un espacio abierto de preguntas para resolver las dudas de parte de los estudiantes y que la cartilla no cubra.

Para cerrar esta sección, se presentará un dato curioso: las copas de vidrio pueden romperse cuando se les expone a ciertas frecuencias sonoras, como las producidas por cantantes en una ópera, el cual se basa en un principio físico conocido como resonancia. Cada objeto tiene una frecuencia específica a la que tiende a vibrar. Cuando un cantante emite una nota que coincide con la frecuencia de resonancia de la copa, esta comienza a oscilar. Si la amplitud de estas oscilaciones se incrementa lo suficiente, puede superar el límite elástico del material, causando que la copa se rompa. Este proceso no requiere necesariamente que el sonido sea extremadamente fuerte; más bien, se trata de la coincidencia precisa entre la frecuencia del sonido y la frecuencia natural del objeto. Este fenómeno ocurre cuando un objeto es sometido a vibraciones que coinciden con su frecuencia natural de oscilación. Además, se dejan recursos adicionales (videos en YouTube que realizan este experimento) como apoyo de lo mencionado en la cartilla.

Se espera que los estudiantes realicen el experimento con el apoyo de la cartilla, pero es fundamental que el docente esté atento a cualquier duda o inquietud que pueda surgir antes, durante y después del experimento. La guía del docente no solo facilitará la comprensión del contenido, sino que también fomentará un ambiente de aprendizaje colaborativo y activo.

EXPERIMENTO GIRA Y ESCUCHA:

El experimento gira y escucha consiste en la construcción de la rueda que se logra ver en la figura 9.



Ilustración 9 Muestra del montaje a construir

Tomado de: <https://esmarket.towncabco.com/category?name=ruedas%20de%20>

Después de presentar los materiales necesarios, la única instrucción para la construcción del experimento es que los estudiantes lo elaboren lo más similar a la imagen proporcionada en la cartilla. Se le resalta a los estudiantes que tengan en cuenta una medida mínima para el montaje (diámetro de la rueda 15cm), asegurando que la estructura sea funcional y segura.

Una vez que los estudiantes hayan construido su rueda, se les pedirá que utilicen un metro para medir cada uno de los tramos de la rueda, asegurándose de que la distancia entre ellos sea uniforme o lo más aproximada posible. Este paso es crucial, ya que la precisión en las medidas influirá en el resultado del experimento.

A continuación, los estudiantes deberán girar la rueda a diferentes velocidades, desde su perspectiva, clasificando las velocidades como "lento" y "rápido", deben aproximar la regla a los trastes de la rueda y describir lo que logran percibir en el ejercicio. El resultado esperado es que noten que cuando la rueda gira más rápido, el sonido producido es más constante y alto, mientras que, al girar más lento, el sonido se vuelve más pausado y grave. Esta observación es fundamental para introducir el concepto de frecuencia y sus características.

Es esencial que el docente esté preparado para recibir preguntas durante este ejercicio. La disposición del docente para responder a las inquietudes de los estudiantes será clave para orientar su comprensión hacia el concepto de frecuencia. Al fomentar un ambiente de diálogo abierto, el docente puede ayudar a los estudiantes a construir su entendimiento sobre cómo la velocidad de rotación afecta tanto el tono como la intensidad del sonido, en este caso el que genera la rueda al golpear con la regla.

Al finalizar el experimento, se recomienda llevar a cabo una discusión grupal donde los estudiantes compartan sus observaciones y reflexiones. Esto no solo permitirá consolidar su aprendizaje sobre la relación entre frecuencia y percepción sonora, sino que también fomentará habilidades críticas como el análisis y la argumentación. Además, se puede invitar a los estudiantes a formular preguntas adicionales sobre el fenómeno observado, promoviendo así un aprendizaje activo y participativo.

VOCES EN LÍNEA:

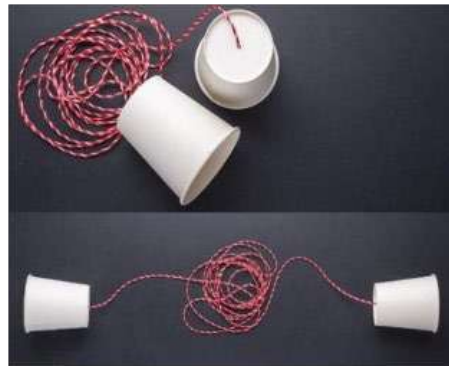


Ilustración 10 Representación del experimento casero del teléfono de lana.

Tomado de: <https://n9.cl/luvg8>

El objetivo de este experimento es que los estudiantes comprendan cómo se transmite el sonido a través de diferentes medios, utilizando un teléfono hecho con vasos de plástico y un hilo. A través de esta actividad, se explorarán conceptos relacionados con la física del sonido, como la vibración, la propagación de ondas sonoras y la importancia de la tensión en el medio de transmisión.

El funcionamiento del teléfono se basa en la transmisión de ondas sonoras a través de diferentes medios, inicialmente están las vibraciones, ya que cuando la persona habla dentro del vaso, las vibraciones de las cuerdas vocales, que generan una onda, tienen contacto con el vaso hacen que vibre y se transmiten por la lana para que la persona que se encuentra en el otro extremo pueda escuchar el sonido producido, las cuales se convierten en ondas mecánicas. En este experimento casero, la tensión tiene un papel fundamental, pues es quien permite que las ondas sonoras viajen en línea recta, pues al estar suelto, las vibraciones se dispersan y debilita al sonido.

Al finalizar el experimento, los estudiantes deben reflexionar sobre cómo las ondas sonoras pueden viajar a través de diferentes medios materiales y cómo factores como la tensión y la calidad del material afectan la claridad del sonido transmitido. Además, pueden experimentar con diferentes longitudes y materiales para ver cuáles funcionan mejor como transmisores del sonido, y realizar su respectivo análisis, enfocándolo en las diferencias que logran evidenciar en cada uno de los materiales.

LA VOZ EN EL VACÍO

El objetivo principal de esta sección es demostrar cómo la propagación del sonido está directamente relacionada con la presencia de un medio material y cómo esto influye en la voz. En este experimento, los estudiantes observarán cómo la ausencia de un medio adecuado afecta la percepción del sonido que producen.

Durante la actividad, los estudiantes compararán el sonido de su voz cuando el vaso está sellado herméticamente contra sus labios y cuando hay un pequeño espacio por donde el aire puede circular. Esto permitirá notar diferencias en el tono y la claridad del sonido. Se deja un espacio para que los estudiantes anoten sus observaciones y conclusiones, y posteriormente se presenta una explicación inicial con términos técnicos que pueden generar curiosidad sobre el fenómeno.

Más adelante, se ofrece una explicación detallada, en la que se abordan conceptos como la influencia del medio en la propagación del sonido y cómo la cantidad de aire disponible puede afectar la transmisión de frecuencias, alterando la percepción del tono de la voz.

Para cerrar esta sección, se presenta un dato curioso: en el espacio exterior, el sonido no puede viajar debido a la ausencia de aire u otro medio material. Esto significa que, aunque un astronauta grite dentro de su casco, nadie fuera podrá escucharlo. Es fundamental que el docente guíe la actividad, resolviendo inquietudes y asegurándose de que los estudiantes comprendan que el sonido no solo depende de la fuente emisora, sino también del medio a través del cual se propaga, lo que afecta directamente su tono y frecuencia.

VIBRACIÓN EN LA CUERDA

El propósito de esta sección es que los estudiantes identifiquen la relación entre la frecuencia y el tono del sonido en una cuerda vibrante, analizando de manera experimental la formación de ondas transversales y su comportamiento al modificar distintos parámetros físicos. Para ello, se propone una actividad en la que los estudiantes deberán pulsar una cuerda y grabar su movimiento en cámara lenta, permitiendo visualizar con mayor claridad la propagación de la onda y los patrones generados.

A simple vista, la vibración de una cuerda parece un movimiento oscilatorio simple; sin embargo, al observarla detenidamente mediante una grabación en cámara lenta, se pueden evidenciar fenómenos como la formación de la onda transversal.

LABORATORIO VIRTUAL:

Teniendo en cuenta el interés y la habilidad que los estudiantes de las nuevas generaciones presentan en las tecnologías, se propone como actividad de cierre un laboratorio virtual con ayuda de el simulador que se muestra en la figura 11.

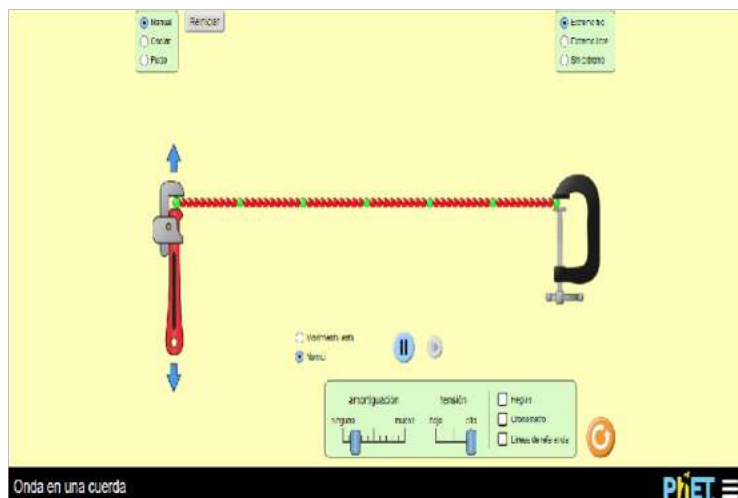


Ilustración 11 Laboratorio virtual de cuerdas tensas

Tomado de: <https://n9.cl/c8hwq>

Con el objetivo de estimular la curiosidad de los estudiantes, la primera indicación es que experimenten con cada herramienta que ofrece el simulador. Esta actividad les permitirá comprender la función de cada elemento y observar los efectos que producen en la cuerda. Al interactuar con el simulador, los estudiantes podrán relacionar los conceptos aprendidos hasta el momento con el comportamiento de las cuerdas tensas.

Una vez familiarizados con las herramientas del simulador, se les pedirá a los estudiantes que configuren cinco combinaciones distintas, variando la frecuencia, la amplitud y la tensión de

la cuerda. Para cada combinación, deberán describir qué efectos producen y cómo afectan en su comportamiento. Esta actividad está diseñada para fomentar un aprendizaje basado en el descubrimiento, permitiendo que los estudiantes exploren y comprendan cómo diferentes variables influyen en el comportamiento de las cuerdas. Se propone que los estudiantes comparen los resultados obtenidos en cada una de las configuraciones. A partir de esta comparación, deberán realizar distintas conclusiones sobre cómo las variaciones en las condiciones afectan a la cuerda.

Este ejercicio no solo les ayudará a consolidar su aprendizaje, estableciendo las relaciones que pueden encontrar en el comportamiento de la onda al variar su frecuencia y/o amplitud, estableciendo una relación de proporcionalidad, sino que también desarrollará habilidades analíticas y críticas al evaluar sus observaciones. Después de cada una de las actividades experimentales descritas se presenta una serie de datos curiosos y sus respectivas explicaciones relacionando la física y la música, buscando que tengan relación con el experimento desarrollado.

CONCLUSIONES

Se identificó la necesidad y se logró establecer problemáticas de estudio que vinculan la física y la música, específicamente en la relación entre el tono y la frecuencia de la onda sonora. Este vínculo se manifestó como fundamental dado que los estudiantes de énfasis en artes mostraron poco interés en la física tradicional, expresando desconexión entre la asignatura y sus intereses musicales.

La fundamentación conceptual desarrollada permitió superar la enseñanza de "verdades absolutas aisladas" al establecer conexiones claras entre el tono y la frecuencia de la onda sonora. Esta fundamentación integra las experiencias musicales de los estudiantes como base para la construcción de conocimiento, alejándose de la resolución mecánica de ejercicios y acercándose a una comprensión más significativa del fenómeno físico del sonido.

Se determinó que la actividad experimental juega un rol esencial como estrategia heurística en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física del sonido, permitiendo transformar la experiencia educativa desde un enfoque teórico hacia uno más experiencial. Esto responde directamente a la necesidad observada en el aula de superar los ejercicios estandarizados y facilitar el análisis de las relaciones entre las cualidades del sonido y las características de las ondas.

La cartilla diseñada integra actividades experimentales como herramienta didáctica, respondiendo a la necesidad identificada en el Instituto Pedagógico Nacional de contar con recursos que vinculen efectivamente los conocimientos de física y música. Esta herramienta se desarrolló considerando tanto las necesidades de los docentes como las experiencias previas de los estudiantes con el sonido y la música.

Aunque la implementación de la cartilla no forma parte del presente trabajo, el proceso de diseño y fundamentación reveló la importancia de transformar la enseñanza de la física hacia

modelos más integrados que conecten con los intereses de los estudiantes. La experiencia en el Instituto Pedagógico Nacional demostró que es posible y necesario crear puentes entre la física y la música para promover un aprendizaje significativo en estudiantes de énfasis artístico.

Referencias Bibliográficas

- Alencastro, Rodríguez, & Cabrera (2020). La experimentación en las ciencias naturales para el desarrollo de aprendizajes significativos. *Revista Científica Multidisciplinaria Yachasun*, 5(9 Ed. esp.), 2–15. <https://doi.org/10.46296/yc.v5i9edespsoct.0107>
- Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. Fascículos de CEIF, 1(1- 10), 1-10.
- Cabrera. R. (s.f). *Ondas estacionarias en una cuerda fija en sus extremos*. https://ricuti.com.ar/no_me_salén/ondas/Ap_ond_11.html.
- Campleo Arruda, J. R. (2003). Un modelo didáctico para enseñanza aprendizaje de la física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(1), 86–104. <https://doi.org/10.1590/s0102-47442003000100011>
- Curso de Acústica Musical. (2015). *Capítulo 3: Características de los sonidos musicales*. <https://cursodeacusticamusical.blogspot.com/2015/04/capitulo-3-caracteristicas-de-los.html>.
- Espinoza Ramírez, Lianggi, y Vergara Gómez, Andrea. (2023). « Enseñanza interdisciplinaria música-matemática: la guitarra y su rol protagónico en el desarrollo histórico de la música occidental ». *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 26(1), 13-46.
- Fisicalab. (2023). Ondas estacionarias. Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/ondas-estacionarias>.
- Frecuencia del sonido: ¿qué saber medir? | Academia Svantek. (2024, febrero 19). Svantek. Estas son las características del sonido y las ondas acústicas. (2023, septiembre 18).
- Fonseca, Y. L., & Castiblanco, O. L. (2020). Desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo a partir de la enseñanza del sonido. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (47), 111-126.
- Helmholtz, H. (1863). *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*.
- Howard, D. M., & Angus, J. A. S. (2017). *Acoustics and Psychoacoustics*. Routledge.

- Jaramillo, A. M. J. (2007). ACÚSTICA: la ciencia del sonido. In Google Books. ITM.
<https://books.google.com.au/books?hl=es&lr=&id=HMWtf1RTo4kC&oi=fnd>
- Longa Martínez, T. M. (2015). El aprendizaje significativo de la Física para estudiantes- atletas de las escuelas deportivas. *Rastros Rostros*, 17(31), 111-118
- López Aira, M. C. (2014). La ciencia a través de la música: el sonido.
- Luzuriaga, J. (2022). FÍSICA DE LOS INSTRUMENTOS DE CUERDA. Desde La Patagonia. *Difundiendo Saberes*, 3(4), 42–46. Recuperado a partir de <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/desdelapatagonia/article/view/4243>
- Marvin Acústica. (2024). Propagación del sonido: qué es y cómo funciona. Recuperado de <https://marvinacustica.es/propagacion-del-sonido-que-es-y-como-funciona/>
- Ministerio de Educación Nacional (2004). Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional (2016). Derechos básicos de aprendizaje. Ciencias Naturales (Vol.1) Colombia.
- Miyara, F. (2001). Paradigmas para la investigación de las molestias por ruido. Laboratorio de Acústica y Electroacústica Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
- Navarra, J. M. (2001). Didáctica: concepto, objeto y finalidades. Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED. Didáctica general para psicopedagogos.
- Pérez, J. U. (2005). *Robert Boyle: El químico escéptico*. Universidad de La Laguna.
<https://juperez.webs.ull.es/Boyle2005.pdf>
- Ramírez, G. E. R. (2023). El papel de la experimentación en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 632-652.

- Reyes-Ruiz, L. & Carmona Alvarado, F. A. (2020). La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio.
- Rico, A., Ruiz González, A., Azula, O., & Guisasola, J. (2021). Dificultades de aprendizaje del modelo de sonido: una revisión de la literatura. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(2), 5- 23, URI: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/216695>.
- Romero, L., Montenegro, B., Ferreira, J., Maggi, A., Gaetán, S., Pérez, S., & Hinalaf, M. (2022). Umbrales auditivos y exposición sonora en músicos Evangélicos y Orquesta Sinfónica de la Universidad Nacional de Córdoba en 2017. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de Córdoba*, 79(23), 104-117, URI: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/med/article/view/39100>
- Romero, Á. (2017). *La experimentación en la clase de ciencias: Aportes para una enseñanza contextualizada con reflexiones metacientíficas*.
- Rossing, T. D., Moore, F. R., & Wheeler, P. A. (2014). *The Science of Sound*. Pearson.
- Sancho, C. (2011). Faraday y la guitarra eléctrica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8, 404-408.
- Santos García, J. (2020). Propuesta interdisciplinar entre Educación Musical y Educación Física.
- Svantek. (s.f.). *Definición, características y uso de las ondas sonoras en acústica*. Recuperado de <https://svantek.com/es/academia/onda-de-sonido/>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Física para ciencias e ingeniería* (10ª ed.).
- Stolik, D. (2005). EL APORTE DE LOS FÍSICOS AL DESARROLLO DE LA MÚSICA [Review of EL APORTE DE LOS FÍSICOS AL DESARROLLO DE LA MÚSICA]. *REVISTA CUBANA de FÍSICA*, 22.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2021). *Física para la ciencia y la tecnología* (7ª ed.). Editorial Reverté.

- Universidad de los Andes. (2023, 21 de septiembre). *Un recorrido por la didáctica: significado, corrientes relevantes y estrategia.* Programas Uniandes. <https://programas.uniandes.edu.co/blog/didactica>
- Universidad Internacional de La Rioja. (2020). La música en la educación: un impacto positivo en el aprendizaje de los niños. Recuperado de <https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/musica-educacion/>



FRECUENCIAS QUE RESUENAN



¡LA CIENCIA QUE DA VIDA A LA MÚSICA!



DISEÑADA POR : LINA SANDOVAL

RESTREPO

1

¡ BIENVENIDOS !

¿Alguna vez te has puesto a pensar que detrás de cada ritmo de tu playlist, cada acorde de tu banda favorita, o cada nota que tocas hay una ciencia trabajando a toda máquina ? Y no cualquier ciencia...

¡hablamos de la FÍSICA!

Esta guía no es un libro de texto aburrido. Es tu pase al detrás de cámaras **donde la física y la música se unen para crear magia.**

Aquí vas a descubrir cómo la frecuencia y el tono logran que cada canción suene justo como debe sonar, desde el trap hasta el jazz.

¿Tienes dudas? No te preocupes, **tu profe está para ayudarte** , no hay pregunta mala cuando se trata de descubrir cómo la ciencia hace sonar la música.

¡Empecemos!



El sonido está presente en cada aspecto de nuestra vida: en la música que disfrutamos, en las conversaciones que sostenemos y en los ruidos que nos rodean. Sin embargo, pocas veces nos detenemos a pensar en cómo se genera, cómo se propaga y qué factores influyen en su percepción.

El propósito de esta cartilla es brindarte una herramienta interactiva y práctica que te permita comprender la relación entre el tono y la frecuencia del sonido a través de experiencias reales y experimentos sencillos. A medida que avances, descubrirás que la física y la música están más conectadas de lo que imaginas.

Objetivo:

Mediante las actividades propuestas, esta cartilla busca que puedas explorar, observar y analizar cómo las vibraciones de diferentes objetos generan sonidos con distintas frecuencias, y cómo estos sonidos pueden ser modificados según el medio en el que se propagan.



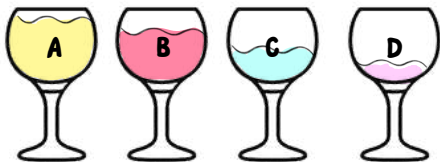
¿LAS COPAS PUEDEN CANTAR?

Materiales:

- Copas de vidrio (mismo tamaño y forma).
- Agua.
- Probeta o jeringa.
- Colorantes (opcional).

Procedimiento:

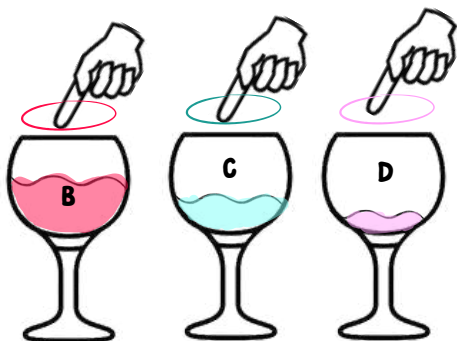
1. Ubica las 4 copas sobre una misma superficie, si deseas puedes agregar colorante a cada una de las copas para diferenciarlas. Ahora debes introducir agua a las copas en distintas medidas como se muestra en la imagen:



2. Humedece uno de tus dedos con el agua de una de las copas y frotalo en la boca de la copa formando círculos varias veces, como se muestra en la imagen:



3. Ahora repite este procedimiento con las otras 3 copas.



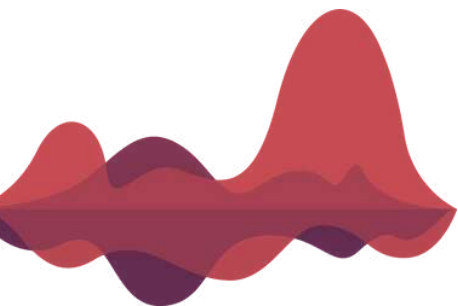
¿Qué pudiste notar?
¿Existen diferencia
entre lo que produce
cada una de las
copas?:

EXPLICACIÓN:

¿De dónde sale el sonido que se escucha al frotar un dedo húmedo en la boca de una copa con líquido?



es el resultado de la fricción que genera vibraciones en el cristal.



Estas vibraciones, al coincidir con la frecuencia de resonancia de la copa, se amplifican y producen un sonido armónico.

La presencia del líquido modifica esta frecuencia, alterando el tono del sonido producido.



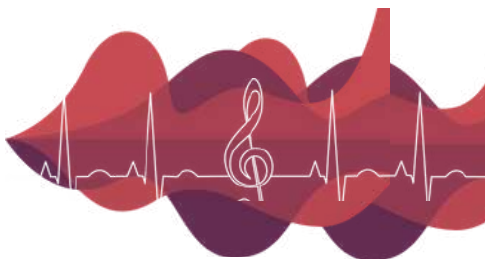
¿CÓMO ASÍ ?

Cuando estas vibraciones coinciden con la frecuencia natural de la copa (resonancia), se amplifican y producen un sonido claro y continuo.

El sonido que se produce al frotar un dedo húmedo alrededor del borde de una copa con líquido es un fenómeno interesante que involucra física y resonancia.

Al frotar un dedo húmedo sobre el borde de la copa, la fricción entre el dedo y el cristal genera una serie de deslizamientos y adherencias. Esta acción intermitente induce vibraciones en el cristal de la copa.

Las vibraciones generadas por la fricción del dedo se transmiten a lo largo de la copa, creando ondas sonoras. La forma y el material de la copa determinan su frecuencia de resonancia, que es la frecuencia a la cual el cristal vibra de manera natural.



EL PAPEL DE LA CANTIDAD DEL LÍQUIDO

El líquido dentro de la copa juega un papel crucial en este proceso. **La presencia del líquido modifica la frecuencia de resonancia de la copa, ya que cambia la masa del sistema vibrante.**

El nivel y el tipo de líquido afectan la frecuencia del sonido producido. A medida que se añade o se quita líquido, la frecuencia cambia, y se pueden escuchar diferentes tonos al frotar la copa.



Dentro de la copa se forman ondas estacionarias. Estas son patrones de vibración que se mantienen constantes en una posición fija. Las ondas estacionarias se producen debido a la interferencia de las ondas reflejadas en las paredes de la copa.



El líquido dentro de la copa también puede influir en la formación de estas ondas estacionarias, ajustando las frecuencias en las que ocurren.

El sonido que escuchamos es armónico porque las vibraciones del cristal son regulares y bien definidas, gracias a la resonancia.

Esta armonía es lo que produce el tono claro y puro característico **del "canto" de la copa.**



ENCUENTRA LAS PALABRAS CLAVES

Q	L	Z	G	I	Z	F	R	I	C	C	I	Ó	N
Y	G	X	R	Y	T	Y	X	Z	F	C	N	H	U
X	G	A	R	G	F	V	B	X	H	E	W	N	T
T	O	N	O	S	P	J	U	R	L	D	Y	F	T
H	N	O	N	D	A	S	S	O	N	O	R	A	S
G	C	U	R	S	Z	D	I	C	Z	T	V	L	P
D	I	N	T	E	R	F	E	R	E	N	C	I	A
X	T	D	Y	P	N	T	U	V	T	G	G	E	O
A	F	L	H	C	G	F	Í	S	I	C	A	J	G
E	B	V	I	B	R	A	C	I	O	N	E	S	M
Y	L	G	X	Q	J	C	G	Z	X	G	E	E	C
D	B	Z	F	R	E	C	U	E	N	C	I	A	U
B	N	C	W	R	E	S	O	N	A	N	C	I	A
S	O	N	I	D	O	I	Q	O	L	K	D	H	K

Frecuencia

Fricción

Física

Sonido

Tonos

Vibraciones

Interferencia

Ondas sonoras

Resonancia

DATO CURIOSO

En la ópera y en otros contextos musicales en ocasiones se rompen las copas de vidrio debido a la resonancia del sonido producido.

Esto sucede porque cada objeto tiene una frecuencia natural, esta depende de ciertas propiedades tales como su tamaño, forma y material.



OPERA CLOAK OF THE NEW MATERIAL.

Cuando una fuente de sonido (voz humana, instrumento, etc) produce una frecuencia que logra ser la misma que la frecuencia natural de un objeto cercano se genera una resonancia.



Una resonancia hace referencia a un aumento de amplitud en la onda del sonido, si esta aumenta lo suficiente, puede llegar a superar la resistencia del vidrio hasta llegar al punto de romper la copa.

GIRA Y ESCUCHA

Materiales:

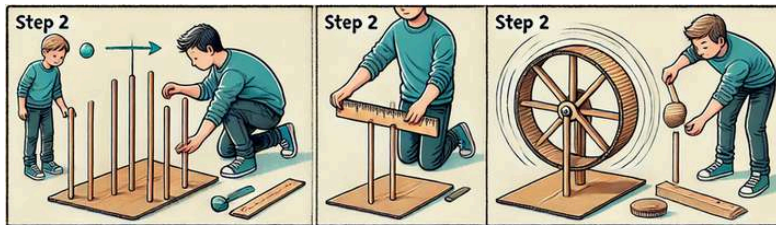
- Cartón.
- Tijeras.
- Silicona.
- Regla.
- Un palo de balsa redondo

Procedimiento:

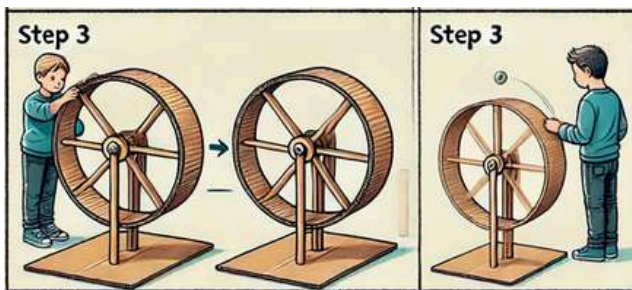
1. Con tu ingenio, construye el montaje que se muestra en la imagen (El diámetro de la circunferencia debe ser de mínimo 15 cm).



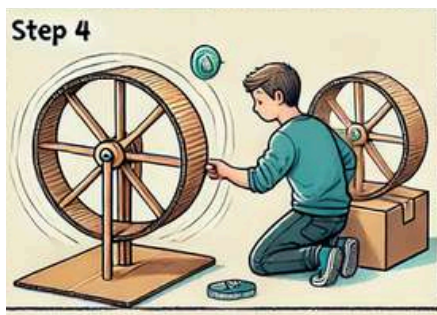
2. Luego de construir el montaje, es momento de ponerlo a prueba. Pide ayuda a un compañero para que sostenga la rueda desde el palo de balsa, la rueda debe girar de tal forma que no se frene tan rápido.



3. Ahora toma tu regla y acercala a la rueda de tal forma que se genere un pequeño rozamiento entre los cartones que sobresalen de la rueda



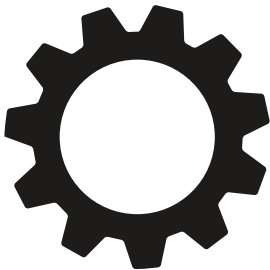
4. Realiza esto varias veces graduando la fuerza que le aplicas a la rueda para hacerla girar.



DATO CURIOSO

Un fenómeno interesante que puede ocurrir con una rueda de madera es la generación de sonidos armónicos. Cuando la rueda gira, los rayos o radios de la estructura vibran a diferentes frecuencias, produciendo sonidos musicales.

- El número de rayos en la rueda (más rayos = más tonos)
- La tensión y rigidez de los rayos
- La velocidad de rotación de la rueda



Esto se debe a que cuando la rueda gira, los rayos se mueven a través del aire, creando patrones de ondas de presión que nuestro oído percibe como sonido. La altura o tono de estos sonidos depende de factores como:

Algunos diseños de ruedas tradicionales incluso aprovechaban este efecto para producir melodías interesantes. Los ingenieros y luthieres aún estudian cómo la física del sonido interactúa con el diseño de las ruedas y otras estructuras giratorias.

VOCES EN LÍNEA

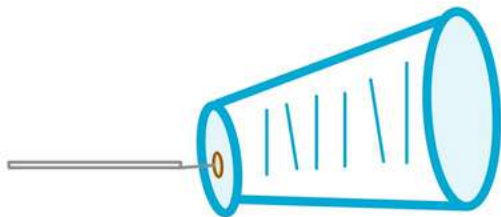
Materiales:

- 2 Vasos de plástico (pueden ser desechables).
- Un hilo largo (puede ser de lana o cuerda fina).
- Una aguja grande (para hacer los agujeros en los vasos).
- Tijeras (opcional, si necesitas ajustar la longitud del hilo)

Procedimiento:

1. Preparación de los Vasos:

Con la ayuda de la aguja, haz un pequeño agujero en el centro del fondo de cada vaso. Asegúrate de que el agujero sea lo suficientemente grande para que el hilo pase a través de él.



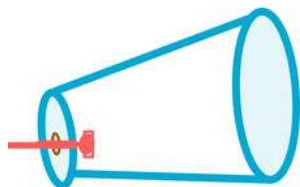
2. Enhebrar el Hilo:

Toma un extremo del hilo y pásalo a través del agujero de uno de los vasos. Luego, haz lo mismo con el otro extremo del hilo en el segundo vaso.



3. Asegurar el Hilo:

Haz un nudo en ambos extremos del hilo dentro de los vasos para que no se salga cuando se tire de él. Esto asegurará que el hilo esté bien sujeto.



4. Estirar el Hilo:

Coloca los vasos a una distancia considerable, asegurándote de que el hilo esté tenso entre ellos. Es importante que el hilo esté estirado para que se logre percibir el fenómeno.



5. Probar el Teléfono:

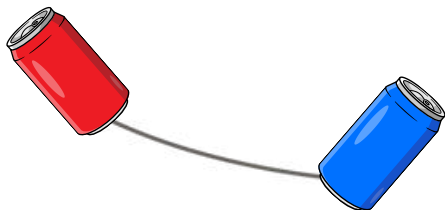
Junto con uno de tus compañeros, habla dentro de uno de los vasos mientras el otro escucha a través del segundo. No olviden alternar sus roles para experimentar ambos lados de la comunicación.



¿ QUÉ PUDISTE OBSERVAR ?

DATO CURIOSO

La técnica de comunicar a través de un "teléfono de hilo" o "teléfono de lata" ha sido utilizada por décadas, particularmente por niños, para transmitir sonidos a través de un hilo tenso o cuerda que conecta dos contenedores o vasos. Este sencillo dispositivo funciona como un resonador acústico.



Lo interesante científicamente es que este sistema de comunicación se basa en la propagación de ondas sonoras a través del hilo.

El hilo actúa como un medio de transmisión, permitiendo que las vibraciones producidas por el movimiento de un vaso se transfieran al otro extremo, donde se amplifican y se vuelven audibles.



Este principio de transmisión de sonido a través de medios sólidos fue investigado por científicos como Robert Hooke en el siglo XVII, y sigue siendo la base de diseños modernos de teléfonos y altavoces. Así, este sencillo experimento infantil ilustra conceptos fundamentales de acústica y telecomunicaciones.

LA VOZ EN EL VACÍO

Materiales:

- Un vaso de vidrio limpio y resistente
- Agua y jabón (opcional, para crear mejor sellado)
- Cronómetro (opcional)

Procedimiento:

1. Preparación de los Vasos:

1. Asegúrate de que el borde del vaso esté limpio y seco (o ligeramente humedecido con agua jabonosa para mejor sellado)



2. El sellado:

Coloca el vaso contra tus labios de manera firme, asegurándote de que quede perfectamente sellado sin dejar ningún espacio por donde pueda entrar aire. Mantén esta posición por unos segundos para asegurar un buen vacío.

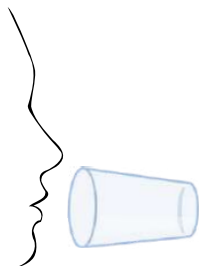


3. Primera Prueba - Sin Aire:

Con el vaso aún sellado contra tus labios, intenta hablar o decir cualquier palabra como "hola".

4. Segunda Prueba - Con Aire:

Ahora, separa un poco el vaso de tus labios dejando un pequeño espacio y vuelve a decir la misma palabra.



EXPLICACIÓN

El sonido es una onda mecánica que necesita un medio material, generalmente aire, para propagarse. Cuando sellas el vaso contra tus labios, creas un espacio con aire limitado donde las ondas sonoras tienen dificultad para transmitirse debido a la menor cantidad de moléculas de aire y la diferencia de presión con el exterior.



El vaso actúa como una cavidad resonante donde las ondas sonoras se reflejan e interfieren entre sí. La impedancia acústica (la resistencia del medio a la propagación del sonido) cambia bruscamente entre el aire confinado y el exterior, causando que gran parte de la energía sonora se pierda por reflexión.

El vaso actúa como una cavidad resonante donde las ondas sonoras se reflejan en las paredes e interfieren entre sí.

Cuando dejas un pequeño espacio, permites que el aire fluya libremente. En estas condiciones, la presión se equilibra con el exterior y las ondas sonoras pueden propagarse normalmente a través del aire sin restricciones, permitiendo que el sonido se escuche con claridad. Este experimento demuestra cómo las condiciones del medio afectan directamente la transmisión del sonido.



VIBRACIÓN EN LA CUERDA

Materiales:

- Una guitarra (acústica o eléctrica)
- Un teléfono celular con cámara
- Papel y lápiz para dibujar
- Buena iluminación

Procedimiento:

1. El Escenario Musical

Coloca la guitarra bajo buena luz y prepara el celular para grabar en cámara lenta. Con papel y lápiz a mano, asegúrate de que todo esté listo para observar y documentar el experimento.

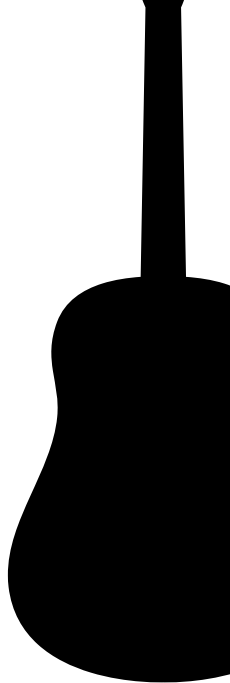
2. La Danza Suave:

Pulsa suavemente la cuerda más gruesa, observa dibuja y graba el movimiento.

3. Baile enérgico :

Pulsa la misma cuerda del paso anterior pero con más fuerza, observa dibuja y graba el movimiento, también en cámara lenta.

4. Repite el procedimiento con cada una de las cuerdas.



EXPLICACIÓN

Cuando pulsamos suavemente la cuerda, generamos una onda transversal relativamente simple. La energía que aplicamos hace que la cuerda vibre principalmente en su frecuencia fundamental, determinada por la longitud, tensión y masa de la cuerda.



Al pulsar con más fuerza, introducimos más energía al sistema, lo que genera no solo la frecuencia fundamental sino también armónicos superiores. Estos armónicos son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y son responsables del timbre rico y complejo que escuchamos. El movimiento más irregular que observamos visualmente es resultado de la superposición de estas múltiples frecuencias vibrando simultáneamente.

Este fenómeno se explica mediante el principio de superposición de ondas y la serie de Fourier, que establece que cualquier onda compleja puede descomponerse en una suma de ondas sinusoidales simples. Cuando pulsamos la cuerda con más fuerza, excitamos más componentes de esta serie, resultando en un movimiento más complejo y una mayor amplitud de vibración.

Además, la cuerda vibra no solo en el plano vertical sino que también puede presentar componentes de movimiento horizontal, especialmente cuando se pulsa con más fuerza. Esto crea un patrón de vibración tridimensional que podemos observar como un movimiento aparentemente caótico pero que en realidad está determinado por las leyes físicas de las ondas estacionarias en cuerdas tensas.

¿HAZ JUGADO CON UN LAZO?

Las ondas en un lazo son conocidas como ondas estacionarias. Un fenómeno común en sistemas físicos como cuerdas, tubos y otros medios restringidos

Se forman cuando dos ondas de igual frecuencia y amplitud se propagan en direcciones opuestas a lo largo del medio.

Si bien todos hemos jugado con lazos y cuerdas, no todos se han cuestionado sobre la ciencia que hay detrás de ello.

A continuación vas **a necesitar un computador** con acceso a internet para hacer uso de un simulador virtual que permitirá observar ciertos compartamientos de las ondas estacionarias.

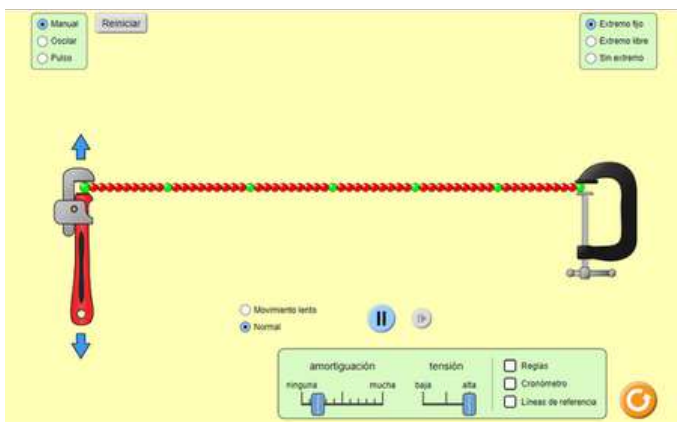


LABORATORIO VIRTUAL

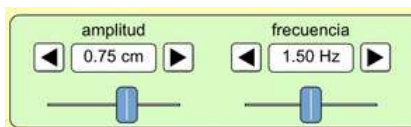
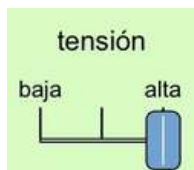
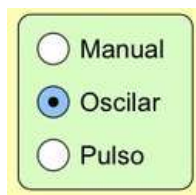
1. En tu computador accede al siguiente enlace.



https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale-es



2. Realiza 5 combinaciones entre las siguientes cajas de herramientas.



Las combinaciones deben ser distintas entre si , por lo tanto debes elegir una opción diferente para cada combinación eligiendo tensión , amplitud y frecuencia. Mantén siempre la opción "Oscilar".

COMBINACIONES

1. _____ + _____ + _____

2. _____ + _____ + _____

3. _____ + _____ + _____

4. _____ + _____ + _____

5. _____ + _____ + _____

COMBINACIÓN 1

1. _____ + _____ + _____



Dibuja la combinación

¿ QUÉ PUDISTE OBSERVAR ?

COMBINACIÓN 2

2 _____ + _____ + _____



Dibuja la combinación

¿ QUÉ PUDISTE OBSERVAR ?

COMBINACIÓN 3

3. _____ + _____ + _____



Dibuja la combinación

¿ QUÉ PUDISTE OBSERVAR ?

COMBINACIÓN 4

4. _____ + _____ + _____



Dibuja la combinación

¿ QUÉ PUDISTE OBSERVAR ?

COMBINACIÓN 5

5. _____ + _____ + _____



Dibuja la combinación

¿ QUÉ PUDISTE OBSERVAR ?

CONCLUSIONES

Compara las siguientes combinaciones y escribe dos diferencias y dos semejanzas entre cada una de ellas

1Y2	2Y3	4Y5	5Y1

HEMOS LLEGADO AL FINAL

De un detrás de cámaras lleno de vibraciones, ondas y frecuencias. Esperamos que hayas disfrutado explorar la manera en que los principios físicos del sonido se conectan con tu experiencia diaria, ya sea escuchando música, hablando por teléfono o simplemente observando los sonidos a tu alrededor.

Ahora que has descubierto la física que hay detrás de la sensación del tono, te invitamos a mantener esa mirada curiosa hacia los fenómenos que te rodean. Recuerda que la ciencia no es algo lejano, sino que está presente en cada una de nuestras vivencias cotidianas. Tú tienes el poder de ver el mundo con nuevos ojos, entendiendo cómo funciona realmente lo que percibimos con nuestros sentidos.

Sigue explorando, experimentando y cuestionando todo lo que te rodea. Tus profesores están aquí para guiarte y responder a tus inquietudes. ¡Que siga la vibra científica!