

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Educación



"Diseño de un curso básico sobre elementos de la ciencia de la física aplicados a la música como fundamento para el aprendizaje de lenguajes musicales"

Trabajo de graduación como Modelo de Trabajo Profesional,  
presentado por Alejandro José Donis Molina para optar al grado académico  
de Licenciado en Educación con Especialización en Música.

Guatemala,

2023



# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Educación



"Diseño de un curso básico sobre elementos de la ciencia de la física aplicados a la música como fundamento para el aprendizaje de lenguajes musicales"

Trabajo de graduación como Modelo de Trabajo Profesional,  
presentado por Alejandro José Donis Molina para optar al grado académico  
de Licenciado en Educación con Especialización en Música.

Guatemala,

2023

Vo. Bo.

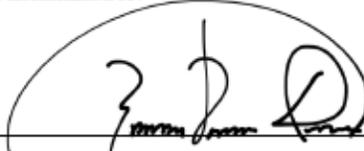
(firma)



Lic. Ludwyn Anibal Diaz Morales.

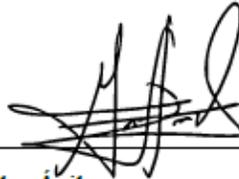
Tribunal Examinador:

(firma)



Lic. Ricardo Alberto Velásquez Dávila.

(firma)



Lic. Gerson David Hernández Ávila

(firma)



Lic. Ludwyn Anibal Diaz Morales.

Fecha de aprobación del examen de graduación:

(Guatemala, 14 de Junio de 2023)

## **Prefacio**

El presente trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de las personas que me han acompañado durante mi educación musical y crecimiento personal. Le agradezco, ante todo, a Dios por permitirme culminar esta etapa importante en mi educación musical y por haberme permitido recibir y compartir conocimiento durante toda mi vida. Le agradezco a mis padres, mi hermano y demás familia por el apoyo que siempre me han brindado durante todos mis años de estudio. Agradezco a mi esposa María José, porque siempre me apoyó en las noches de desvelo y los fines de semana que estuve ausente estudiando. A mis profesores de música, especialmente a Gudelia de Wantland, quien desde pequeño formó parte importante en desarrollar en mí ese amor a la música. Al profesor Morel Andrino, quien compartió conmigo su conocimiento de percusión y me abrió un mundo de posibilidades en la música a través de la percusión. A ArteCentro Graciela Andrade de Paiz por brindarme la mejor educación musical por darme la oportunidad de expresarme a través de la música. A fundación Paiz por el apoyo brindado durante mis años en el profesorado. A mis amigos del profesorado y la licenciatura, en especial a Eva Rosas, Astrid Escalante, Karen Morales y Daniela Caal, quienes hicieron de esta carrera la mejor de todas y que sin su apoyo nunca hubiera llegado a este punto. Al cuerpo docente de la Universidad del Valle de Guatemala, quienes semana a semana compartieron su conocimiento conmigo e hicieron de mí un músico y docente más completo. Finalmente agradezco a mi asesor de trabajo de graduación Ludwyn Díaz, quien semana a semana compartió conmigo su conocimiento y enriqueció el presente trabajo de una manera invaluable.

# Contenido

Prefacio .....	v
Contenido .....	vi
Lista de figuras .....	ix
Lista de tablas .....	x
Resumen .....	xi
Abstract .....	xii
1. Introducción .....	1
2. Descripción general de la investigación y del modelo de trabajo profesional. ....	3
2.1 Investigación teórica y contextual .....	3
2.2 La propuesta .....	4
3. Definición del problema/situación. ....	5
4. Justificación .....	6
5. Objetivos.....	7
5.1 Objetivo general .....	7
5.2 Objetivos específicos .....	7
6. Marco contextual.....	8
7. Marco teórico.....	9
7.2 ¿Qué es el sonido? .....	9
7.3 Movimiento ondulatorio .....	9
7.3.1 Ondas transversales.....	10
7.3.2 Ondas longitudinales.....	11
7.3.3 Propagación de una perturbación.....	11
7.3.4 Frecuencia .....	12
7.3.5 Período .....	12
7.3.6 Amplitud.....	13
7.3.7 Longitud de onda .....	14
7.3.8 Modelo matemático de una onda .....	14
7.3.9 Rapidez de propagación de una onda en una cuerda.....	15

7.4	Ondas sonoras .....	17
7.4.1	Velocidad del sonido.....	22
7.4.2	Reflexión y transmisión.....	25
7.4.3	Ondas estacionarias.....	27
7.4.4	Ondas estacionarias en una cuerda que se encuentra fija en ambos extremos:.....	29
7.4.5	Ondas estacionarias en columnas de aire .....	32
7.4.6	Ondas estacionarias en barras y membranas.....	34
7.4.7	Una nota sobre Pitágoras y el sistema tonal. ....	35
7.5	Sobreposición e interferencia .....	38
7.5.1	Principio de sobreposición .....	38
7.5.2	Interferencia de ondas sonoras.....	40
7.5.3	Batimiento .....	41
7.6	Propagación del sonido en un recinto cerrado.....	42
7.7	Patrones de ondas no sinusoidales.....	43
7.8	Intensidad del sonido .....	47
7.8.1	La escala de decibeles. ....	48
7.9	Resonancia .....	51
7.9.1	Oscilaciones amortiguadas .....	51
7.9.2	Oscilaciones forzadas:.....	53
7.10	Efecto Doppler .....	53
7.11	Ecuación .....	58
7.11.1	Creando agujeros con la ecuación .....	66
7.12	Síntesis.....	67
7.12.1	Síntesis analógica .....	67
7.12.2	Envolventes .....	68
7.12.3	Osciladores .....	69
7.12.4	Análogo y digital .....	69
7.12.5	Contenido armónico de las distintas formas de ondas .....	70
7.12.6	Modificadores .....	75
7.12.7	Síntesis aditiva.....	75

7.12.8	Análisis armónico .....	75
8	Marco metodológico para el modelo de trabajo profesional.....	76
8.1	Investigación .....	76
8.2	Validación de la propuesta de modelo de trabajo profesional.....	77
9	Resultados.....	78
10	Análisis de resultados y discusión.....	79
11	Conclusiones.....	80
12	Recomendaciones.....	81
13	Referencias bibliográficas .....	82
14	Anexos.....	84
14.1	Diseño del curso .....	84
14.2	Planificación de cada unidad.....	128
14.3	Manual de laboratorio.....	161
14.3.1	Hoja de trabajo número 1 .....	161
14.3.2	Hoja de trabajo número 2 .....	165
14.3.3	Hoja de trabajo número 3 .....	167
14.3.4	Hoja de trabajo número 4 .....	170
14.3.5	Hoja de trabajo número 5 .....	172
14.3.6	Hoja de trabajo número 6 .....	174
14.3.7	Hoja de trabajo número 7 .....	176
14.3.8	Hoja de trabajo clase número 8.....	178
15	Glosario .....	180

## Lista de figuras

Figura 1. Sistema auditivo.....	17
Figura 2. Modelo de onda longitudinal dentro de un pistón.....	19
Figura 3: Desplazamiento de una partícula en una onda longitudinal.....	20
Figura 4: Gráfica de posición de una partícula de aire y de presión del aire dentro de un pistón al crearse una onda longitudinal. ....	21
Figura 5: Reflexión de pulso transversal en una cuerda fija en un extremo.....	26
Figura 6: Reflexión de un pulso transversal en una cuerda con extremo móvil.....	27
Figura 7: Pulso en un medio con distintas densidades.....	27
Figura 8: Partes de una onda estacionaria.....	28
Figura 9: Modos normales de una cuerda que vibra.....	29
Figura 10: Notas de los armónicos de Do.....	31
Figura 11: Ondas estacionarias en una columna de aire.....	33
Figura 12: Ondas estacionarias en barras.....	34
Figura 13: Sobreposición de pulsos transversales.....	38
Figura 14: Gráficas de distintas ondas superpuestas.....	39
Figura 15: Dispositivo para experimentar con interferencias de ondas.....	41
Figura 16: Rebote del sonido en un recinto.....	42
Figura 17: Reflexión del sonido en un auditorio.....	43
Figura 18: Patrones de onda para distintas fuentes.....	44
Figura 19: Intensidades de distintos armónicos según la fuente de emisión.....	45
Figura 20: Forma de onda creadas por la suma de varios armónicos.....	46
Figura 21: Onda amortiguada generada al pulsar una cuerda en el ukulele.....	51
Figura 22: Velocidad de una onda relativa a la velocidad de un cuerpo.....	54
Figura 23: Ecualizador con un nivel Q de 0.7.....	60
Figura 24: Ecualizador con un nivel Q de 1.4.....	60
Figura 25: Ecualizador con un nivel Q de 2.8.....	61
Figura 26: Partes en inglés de la envolvente de un sonido.....	69
Figura 27: Contenido armónico de distintas ondas.....	71
Figura 28: Onda triangular.....	71
Figura 29: Onda cuadrada.....	72
Figura 30: Onda de diente de sierra.....	73
Figura 31 Ondas varias.....	74

## Lista de tablas

Tabla 1: Valores representativos para módulos elásticos.....	24
Tabla 2: Rapidez del sonido en diferentes medios.....	24
Tabla 3: Comparación entre sistema de Pitágoras y sistema bien temperado. ....	37
Tabla 4: Niveles de intensidades del sonido de distintas fuentes.....	49
Tabla 5: Equivales en dB a distintas presiones.....	50

## **Resumen**

El propósito del presente trabajo fue el de diseñar un curso a nivel universitario con el nombre: “Física del sonido y su aplicación en la música”, el cual se planificó para una duración de un semestre. Tras una evaluación del currículum actual de la carrera de profesorado en música y licenciatura en educación de la Universidad del Valle de Guatemala, se identificó la falta de un curso que explique los principios físicos involucrados en el funcionamiento del sonido. Para los músicos en general, el funcionamiento del sonido puede llegar a ser un misterio. El propósito del curso es poner al alcance del músico en general, la mecánica del sonido y la explicación de su funcionamiento desde un punto de vista científico. El comprender cómo funciona el sonido, les permitirá a los estudiantes de las distintas carreras en música que ofrece la universidad, explicar de manera más profunda el funcionamiento de sus instrumentos musicales, manipular el sonido, crear nuevos sonidos para sus productos musicales y crear de nuevos útiles sonoros que podrán utilizar durante su trabajo como docente de música. El diseño del curso incluye la planificación de cada clase junto con el material a utilizar como presentaciones, actividades de gamificación y un manual de laboratorio que le permitirá a los estudiantes experimentar con los conceptos vistos en clase. En el curso, se tocan distintos temas de mecánica clásica y se finaliza con una introducción a la sintetización de sonido y uso de software para producción de audio. Debido al avance tecnológico de la carrera en música, se recomienda que se implementen cursos de este tipo en las universidades del país que ofrecen carreras en música, ya que los mismos enriquecen el aprendizaje y permiten que la formación de los estudiantes de música sea más integral.

## **Abstract**

The purpose of this paper is to design a university level course named: “Sound Physics and its application in music”, which was planned to have a duration of one semester. After evaluating the current curriculum of the professorate in music and the bachelor’s degree in music education on “Universidad del Valle de Guatemala”, the lack of a course that explains the principles of physics involved in sound workings was identified. For the musician in general, how the sound works might be a mystery. The purpose of the course is to put the mechanics of the sound and the explanation of its workings from a scientific point of view to the reach of the musicians in general. Understanding how sound works, will allow the students from the different careers in music that the university offers, explain in a deeper manner how their musical instruments work, manipulate sound, create new sounds for their musical productions and create new instruments that they can use while teaching music. The design of the course includes the planification of each class together with the material to be used, like slides, gamification activities and a laboratory manual that will allow the students experiment with the various concepts that will be seen in class. The course includes different classical mechanics topics and an introduction to sound synthesis and the use of software for audio production. Because of technological advances in the different music careers, it is recommended that this type of courses is implemented in the universities al around the country that offer careers in music, since these courses complement the curriculum and help making the music students education a more integral one.

# 1. Introducción

Tras un análisis del currículum actual de la carrera del Profesorado de Enseñanza Media en Música y la Licenciatura en Educación con Especialidad en Música, se identificó la falta de un curso que explique el sonido y la música desde un punto de vista físico. Para suplir la carencia de este tipo de cursos en la carrera, se procedió a diseñar un curso a nivel universitario el cual lleva por nombre: “Física del sonido y su aplicación en la música”. Este curso se diseñó de tal manera que incluya los conceptos físicos que explican el funcionamiento del sonido, sus características, funcionamiento físico de varios instrumentos musicales y otros fenómenos físicos que están involucrados en la producción del sonido. Debido al avance tecnológico en el campo de la música, también se incluye una introducción al uso de software para la producción de audio y una introducción a la sintetización de sonido. El producto que se presenta con este trabajo es la planificación del curso en general y de cada clase de este. En la planificación se incluye material didáctico como: presentaciones, actividades de gamificación, actividades para activación de conocimiento previo y un manual de laboratorio que le permita a los estudiantes experimentar directamente con las propiedades del sonido. El propósito del curso es poner al alcance de los estudiantes de música conceptos tratados únicamente en carreras científicas en la que se involucran cursos de física. El curso se enfoca mayormente en las aplicaciones que estos conceptos tienen en el quehacer del músico.

Para el diseño del curso, se realizó una investigación de fuentes secundarias. Se investigaron temas como: Ondas mecánicas, ondas transversales, ondas longitudinales, características del sonido, amplitud, frecuencia, longitud de onda, resonancia, efecto Doppler, etc. Tras realizada la investigación de cada tema incluido en el curso, se procedió al diseño de distintas actividades tanto sincrónicas como asincrónicas que le permitan al estudiante experimentar de primera mano los conceptos vistos durante cada clase. Estas

actividades se encuentran incluidas en un manual de laboratorio desarrollado para esta misma clase.

Se propone que este tipo de cursos sean implementados en las universidades a nivel nacional que ofrezcan carreras en música, para impulsar la innovación musical en el aula y para que los estudiantes de música posean una educación más integral.

## **2. Descripción general de la investigación y del modelo de trabajo profesional.**

### **2.1 Investigación teórica y contextual**

Durante la realización del trabajo profesional, se investigaron algunos de los principios físicos que explican la naturaleza del sonido y su aplicación en la música. Temas como:

- Ondas y su relación con el sonido: Las ondas longitudinales y cómo se transmite el sonido por distintos medios.
- Energía del movimiento ondulatorio: Transmisión de energía a través de ondas en el sonido y su efecto sobre la emisión de sonido de distintos instrumentos musicales.
- Interferencia de ondas y su efecto en el sonido percibido.
- Armónicos, su efecto sobre el timbre del sonido y cómo esto nos ayuda a distinguir un sonido de otro. ¿Por qué los instrumentos musicales suenan diferentes unos de otros?
- Amplitud de las ondas transversales, su efecto sobre la intensidad del sonido y la dinámica en la interpretación musical.

- Resonancia y su efecto sobre la calidad del sonido al interpretar varios instrumentos musicales.
- Efecto Doppler y cómo se puede utilizar para la creación de efectos en composición musical.
- Aplicación de frecuencias en ecualización y su uso en la producción musical.
- Sintetización de sonidos: tipos de ondas y su utilización para la creación de sonidos nuevos.

Se diseñaron también posibles prácticas de laboratorio a ser realizadas por cada tema desarrollado.

## **2.2 La propuesta**

Se realizó la planificación del curso que tiene duración de un semestre. Dentro del diseño del curso a nivel universitario, se desarrolló un manual de laboratorio, el cual contiene tanto la teoría estudiada como las prácticas de laboratorio a ser realizadas durante el semestre. Este es un folleto que se le podrá entregar a los estudiantes de manera física o digital, el cual podrán ir llenando con las observaciones realizadas durante las distintas actividades en donde se relacionarán los distintos conceptos físicos aprendidos con su quehacer musical.

### **3. Definición del problema/situación.**

Al analizar el p nsu m de la carrera de educación en música, se observa que se les da mayor énfasis a los conocimientos correspondientes a la teoría musical. Escalas, intervalos, lectura rítmica, solfeo, etc. Sin embargo, se dejan muchas veces de lado los principios físicos que hacen que el sonido funcione. Se mencionan de vez en cuando pero no a mucha profundidad. Para la mayoría de los músicos, el funcionamiento físico del sonido es un misterio. Por lo que se dise n  un curso que llene este vacío en el currículum actual, que el estudiante conozca sobre el funcionamiento de su instrumento musical y cómo el sonido puede ser manipulado haciendo uso de los distintos principios físicos aprendidos en el curso. Esto con el afán de que apliquen los conocimientos adquiridos en sus creaciones musicales.

## **4. Justificación**

Para el músico moderno, es importante contar con distintas herramientas que le permitan explorar el mundo sonoramente y que puedan utilizar para explotar su creatividad. Con el presente trabajo de graduación, se desea aportar a la educación del músico universitario, ampliando su conocimiento en lo que respecta a la física del sonido. Esto es importante, ya que explica cómo es que sus instrumentos suenan. Además, se desea que los músicos tengan un conocimiento más profundo de la materia prima de su trabajo, el sonido. La aplicación del conocimiento adquirido durante el curso les permitirá a los egresados innovar en la creación de nuevos sonidos y dispositivos que puedan ser utilizados en sus creaciones musicales. Se desea que el estudiante pueda manipular los sonidos de su entorno modificando las características del sonido a través de su amplitud, frecuencia y duración haciendo uso de los distintos recursos que estén al alcance de éste.

## **5. Objetivos**

### **5.1 Objetivo general**

Diseñar un curso, a nivel universitario, de un semestre de duración sobre los principios físicos del sonido y su relación con la música.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Proponer un p nsum a seguir durante el curso.
- Diseñar un manual de laboratorio a seguir durante el curso.
- Proponer prácticas de laboratorio sonoro y musical.

## 6. Marco contextual

El diseño del curso de “Física del sonido y su aplicación en la música” está pensado para ser implementado en la Universidad del Valle de Guatemala en la carrera de Licenciatura en Educación Musical. La Universidad del Valle de Guatemala está ubicada en 18 av. 11-95, zona 15, Vista Hermosa III, en la ciudad de Guatemala.

Misión: Desarrollar agentes de cambio que impacten a la sociedad, mediante experiencias educativas y de investigación centradas en las ciencias y tecnologías.

Visión: Entregar a Guatemala y el mundo personas ingeniosas y comprometidas.

Valores: Ética, excelencia, responsabilidad, respeto, pensamiento crítico, compromiso, innovación y emprendimiento.

Estrategia: Ofrecer experiencias educativas innovadoras y flexibles, brindando así un servicio de docencia, investigación y extensión de excelencia que permitan ampliar la cobertura e impacto en la sociedad.

## **7. Marco teórico**

### **7.2 ¿Qué es el sonido?**

En el presente curso se pretende dar una explicación desde el punto de vista de la física de lo que es el sonido y su relación con la música. Al ser la materia prima del músico, es importante para el mismo conocer el funcionamiento del sonido y cuáles son los factores que afectan directamente las cualidades del sonido. El sonido puede ser transmitido por el aire o por algún otro medio, como el agua, sólidos, etc. El sonido cuenta con cuatro características: Timbre, duración, intensidad y altura. Cada una de estas características pueden ser modeladas matemáticamente y explicadas gracias a la física. Para entender bien lo que es el sonido, debemos empezar sabiendo lo que es una onda y cómo una modificación en sus características afecta directamente al sonido mismo.

### **7.3 Movimiento ondulatorio**

En la vida diaria estamos acostumbrados a observar el movimiento ondulatorio. Por ejemplo, en las olas del mar, la vibración de las cuerdas de una guitarra, o cuando soltamos una piedra en un cuerpo de agua y vemos cómo se forman anillos alrededor del punto en donde cayó la piedra. Otros ejemplos de ondas que no son tan evidentes, pero que interactuamos con ellos son los terremotos o la misma luz que estamos utilizando para leer este texto.

En la naturaleza podemos encontrar distintos tipos de ondas:

- Ondas mecánicas: Como las olas del mar, el sonido, los terremotos, etc.

- Ondas electromagnéticas: Como la luz, la señal de radio y televisión, los rayos x, etc.

En una onda, la energía se transfiere a través de una cierta distancia mientras que la materia permanece oscilando alrededor de un punto.

Todas las ondas mecánicas requieren:

- Alguna fuente de perturbación: Esta es la fuente de energía que crea la onda. Por ejemplo, en los equipos de audio caseros, la fuente de perturbación son las bocinas, ya que estas hacen que el aire vibre y que transmita la energía que nuestros cerebros interpretan como sonido.
- Un medio que contenga elementos que sean factibles de perturbación. En el caso del sonido, el medio más familiar para nosotros es el aire. Las moléculas de aire se ven perturbadas y esta energía se transfiere desde la fuente hasta nuestros oídos. Este medio también podría ser algún objeto sólido como un pedazo de madera, una cuerda o el agua.
- Algún mecanismo físico a partir del cual los elementos del medio puedan influirse mutuamente. Por ejemplo, con el aire, las moléculas del mismo interactúan entre sí en un efecto dominó que permite que la energía se transmita. En medios como el agua u objetos sólidos, son las uniones entre moléculas las cuales permiten esta transmisión de energía.

Dentro de las ondas mecánicas existen dos tipos de ondas:

- Ondas transversales.
- Ondas longitudinales.

### **7.3.1 Ondas transversales**

Para explicar el funcionamiento de una onda transversal, podemos pensar en una cuerda, como la de la guitarra. Al perturbar la cuerda con un movimiento oscilatorio,

podemos observar que los elementos de la cuerda se van a mover de arriba para abajo. Sin embargo, los componentes de la cuerda, nunca se van a mover de izquierda a derecha. Es este movimiento oscilatorio de cada punto en la cuerda consecutivo lo que permite que la energía se transfiera a través de esta. Se dice que la perturbación se propaga a través de la cuerda.

### **7.3.2 Ondas longitudinales**

Para explicar el funcionamiento de una onda longitudinal, podemos pensar en un resorte, como el juguete clásico Slinky. Podemos estirar y encoger el resorte rápidamente y podremos observar cómo las perturbaciones hacen que las espiras del resorte se muevan de izquierda a derecha. En este tipo de onda, los elementos del medio no presentan movimiento transversal como en la cuerda. Este tipo de ondas es de especial interés en el estudio del sonido, ya que el sonido mismo es una onda longitudinal. Las bocinas en los equipos de sonido crean ondas longitudinales al moverse de atrás hacia adelante gracias al efecto de electroimanes y una membrana que hace que las moléculas de aire se muevan de manera longitudinal.

### **7.3.3 Propagación de una perturbación**

Tomemos la cuerda del ejemplo de onda transversal, como la de una guitarra. Si sujetamos la cuerda por un extremo y la movemos de arriba hacia abajo una sola vez, estaremos creando una perturbación que viajará de un extremo al otro de la cuerda con una cierta velocidad. A esta perturbación se le conoce como pulso. La velocidad a la que viaja este pulso se le conoce como “Velocidad de propagación” y está dada en unidades de longitud sobre tiempo.

$$\text{velocidad de propagación} = \frac{\text{Distancia recorrida por el pulso}}{\text{tiempo}}$$

Si la perturbación del ejemplo anterior se repite continuamente, esto es, si la cuerda se mueve de arriba abajo una y otra vez se crearán varios pulsos consecutivos. A esta sucesión de pulsos es a lo que le llamamos onda.

El mismo principio funciona para ondas transversales. Si tomamos el resorte del ejemplo de las ondas transversales y realizamos varias perturbaciones continuas de izquierda a derecha, estaremos creando una onda transversal. Esta es la forma en la que las bocinas crean el sonido. Crean perturbaciones continuas en el aire a distintas frecuencias y amplitudes para emitir ondas transversales que nuestro cerebro interpreta como sonido.

#### **7.3.4 Frecuencia**

Al número de pulsos que se crean por unidad de tiempo se le conoce como frecuencia.

$$frecuencia = \frac{\text{número de pulsos}}{\text{tiempo}}$$

La unidad de medida de la frecuencia es el Hertz o Hertzio. Un Hertz representa un pulso cada segundo.

$$1\text{Hz} = \frac{1 \text{ pulso}}{1 \text{ segundo}}$$

Por ejemplo, en música, cuando se dice que la nota “La” está a 440Hz, estamos diciendo que la onda longitudinal que llega a nuestros oídos está compuesta por 440 pulsos cada segundo.

#### **7.3.5 Período**

De igual manera, existe una magnitud física que representa el tiempo que tarda cada pulso en realizarse. A este tiempo se le conoce como período:

$$\text{Período} = \frac{\text{tiempo}}{\text{número de pulsaciones}}$$

Por definición, el período es el recíproco de la frecuencia:

$$\text{frecuencia} = \frac{1}{\text{período}}$$

La unidad de medida del Período son los segundos. Volviendo al ejemplo de los 440Hz de la nota La. Esta nota tiene un período de 1/440 s.

### **7.3.6 Amplitud**

La amplitud nos da una medida de qué tanto se mueven las partículas del medio perturbado. En una onda transversal, la amplitud nos dice la distancia que se mueve una partícula desde un punto neutro hacia arriba o hacia abajo. La amplitud se mide en unidades de longitud, ya sea en metros, centímetros, milímetros, pulgadas, pies, etc.

En una onda longitudinal, la amplitud nos dice que tanto se mueve una partícula de izquierda a derecha partiendo de una posición neutral. En términos del sonido, la amplitud es la que determina si un sonido es fuerte o débil. La amplitud está directamente relacionada con la intensidad del sonido. Por ejemplo, cuando un músico interpreta su música con dinámicas (piano, forte, fortísimo, etc.) está modificando la amplitud del sonido que emite su instrumento. Mientras mayor amplitud, mayor será la intensidad del sonido y mientras menor sea la amplitud, menor será la intensidad de éste.

### 7.3.7 Longitud de onda

La longitud de onda nos dice la distancia en unidades de longitud que existe entre pulsos dentro de una onda. En una onda sinusoidal, se puede interpretar como la distancia que existe entre crestas de esta. La longitud de onda tiene un efecto directo sobre la absorción del sonido en los materiales acústicos. Es de vital importancia cuando se habla de acondicionamiento sonoro en un estudio de grabación.

### 7.3.8 Modelo matemático de una onda

Con los conceptos anteriormente expuestos podemos crear un modelo matemático que represente a las ondas tanto transversales como longitudinales. En matemáticas, un movimiento recíprocante, como el movimiento de una rueda o en nuestro caso el movimiento de una onda, se representa haciendo uso de funciones trigonométricas. Para facilitar a la hora de representar la onda gráficamente se utiliza la función seno, ya que esta función comienza en el origen de un eje de coordenadas generando así una gráfica conocida como onda sinusoidal. La función en términos de la posición de una partícula en el medio perturbado y el tiempo es la siguiente:

$$y(x, t) = A \operatorname{sen} \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right]$$

Donde

A=Amplitud

$\lambda$ = Longitud de onda

x = posición de la partícula analizada

v = velocidad de propagación de la onda

t = tiempo

Una onda también puede ser modelada matemáticamente en términos de su frecuencia, de la siguiente manera:

$$y = A \sin(kx - \omega t)$$

Donde:

y= Posición vertical de la partícula que estamos analizando.

A = Amplitud de la onda.

k = número de onda angular.

x = posición horizontal de la partícula analizada.

$\omega$  = frecuencia angular.

t = tiempo

En este caso, el número de onda angular y la frecuencia angular están definidos como:

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

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

En esta ecuación podemos ver cómo todos los conceptos vistos anteriormente interactúan entre sí para crear una onda con características diferentes según la magnitud de cada uno de sus componentes. Esta ecuación modela una onda pura, por lo que en términos musicales, es la ecuación que se utiliza para analizar el comportamiento de un tono puro.

### **7.3.9 Rapidez de propagación de una onda en una cuerda**

La rapidez con la que viaja una onda en una cuerda dependerá de la tensión de la cuerda y de la masa por unidad de longitud de la misma. Estas se relacionan con la siguiente ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Donde:

$v$  = rapidez de onda [m/s]

$T$  = Tensión [N]

$\mu$  = masa por unidad de longitud. [kg/m]

Al analizar esta fórmula, podemos determinar que a mayor tensión, mayor rapidez de onda y a mayor masa de la cuerda, menor va a ser la rapidez de onda.

La rapidez de onda está directamente relacionada con la frecuencia y la longitud de onda en que la rapidez de onda se puede encontrar con el producto de estas dos magnitudes:

$$v = f * \lambda$$

Por lo que a mayor frecuencia, mayor será la velocidad de propagación de la onda y a menor frecuencia, menor será la velocidad de propagación de la onda. Esto explica en parte el funcionamiento de la guitarra. Mientras más gruesas sean las cuerdas, menor será la velocidad de propagación y menor será la frecuencia dando tonos más graves. Mientras más delgadas sean las cuerdas, mayor será la velocidad de propagación y mayor será la frecuencia, dando tonos más agudos.

Al afinar la guitarra, cambiamos la tensión de las cuerdas. A mayor tensión, mayor velocidad de propagación y por ende mayor frecuencia, lo que nos da tonos más agudos. A

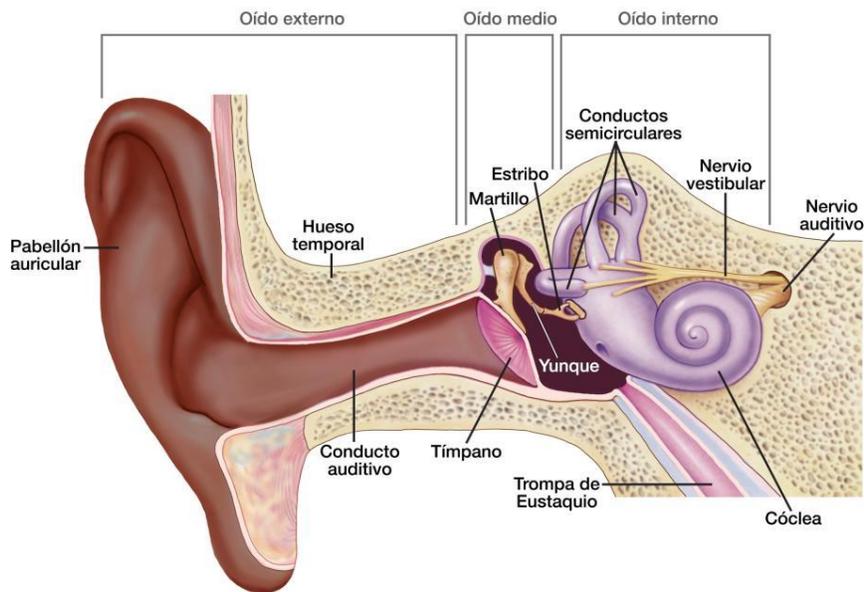
menor tensión, menor velocidad de propagación y por ende menor frecuencia, lo que nos da tonos más graves.

## 7.4 Ondas sonoras

Los seres humanos estamos familiarizados con las ondas sonoras gracias a nuestros oídos. Una onda sonora, cuando viaja por el aire, puede ser entendida como una variación en la presión del medio, la cual es percibida por nuestros tímpanos. Podemos pensar en nuestros tímpanos como sensores de presión que le envían información a nuestro cerebro sobre estas variaciones, las cuales son interpretadas como sonido.

**Figura 1:**

*Sistema auditivo.*



Fuente: Tomado de *¿Cómo oímos?* (n.d.). NIDCD.

<https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/como-oimos>

La audición humana funciona de la siguiente manera. Un sonido se genera en la fuente; ya sea de una radio, de un instrumento musical o la misma voz humana; y viaja a través del aire gracias a las ondas longitudinales. Estas ondas atraviesan el conducto auditivo y llegan hasta una membrana conocida como tímpano. Las ondas sonoras hacen que el tímpano vibre y esta vibración es transmitida a unos pequeños huesos en el oído medio llamados martillo, yunque y estribo. Estos huesos amplifican el sonido y es transmitido a la cóclea, la cual tiene forma de caracol y está llena de líquido. Cuando las vibraciones llegan a este líquido, se forman ondas, las cuales son recogidas por las células ciliadas. Luego, estas vibraciones se convierten en señales eléctricas que son transmitidas por el nervio auditivo hacia el cerebro el cual las interpreta como sonido.

Las ondas sonoras son ondas longitudinales que viajan a través de un medio elástico. Estamos acostumbrados a percibir los sonidos que se transmiten a través del aire, pero estos pueden transmitirse a través de otros fluidos como el agua o a través de materiales sólidos, como la madera. Es por esto que si nuestro vecino tiene la música muy alta, podemos percibirla en nuestras casas, ya que el sonido se transmite también a través de las paredes.

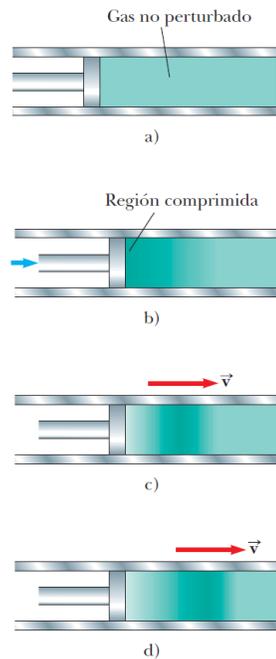
El aire es un gas, las ondas longitudinales se pueden visualizar con el siguiente experimento. Supongamos que tenemos aire dentro de un pistón. Este está herméticamente sellado. Al darle un empujón al pistón, estamos creando un pulso debido a las diferencias de presiones entre las moléculas. Este pulso viaja a través del volumen de aire hasta llegar al extremo final del compartimento que contiene al sistema aire-pistón.

Esto se puede observar también en la forma en la que las bocinas crean sonido. Tenemos una membrana que va creando diferencias de presiones en el aire que la rodea, lo cual crea pulsos de manera repetida. Estos pulsos repetidos crean una onda, la cual viaja hasta nuestros oídos.

Cuando las ondas sonoras viajan por la atmósfera, estas pueden representarse como esferas concéntricas, cuyo centro se encuentra en la fuente emisora del sonido.

**Figura 2.**

*Modelo de onda longitudinal dentro de un pistón.*



Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 475), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

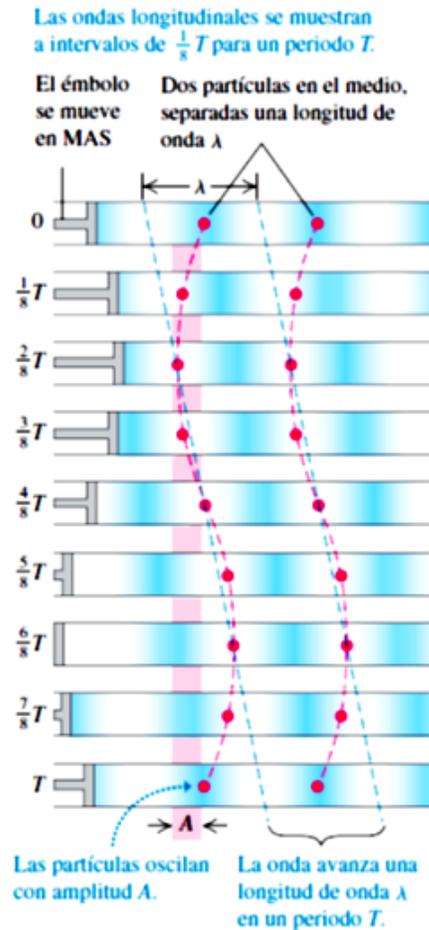
En el experimento anterior, al mover un pistón repetidamente dentro de un cilindro lleno de aire, estamos creando una onda longitudinal, la cual consiste en regiones de alta presión y regiones de baja presión. Al empujar el pistón dentro del cilindro, estamos aumentando la presión del aire dentro del mismo y al retirar el pistón, estamos disminuyendo la presión de aire. Hemos creado una onda sonora.

Si tomamos una molécula de aire dentro del pistón, podemos observar que el movimiento de esta molécula está desfasada con respecto a los pulsos de alta y baja presión. Esto quiere decir que en el momento en el que la presión sobre la molécula es máxima o mínima, esta se encontrará en una posición de equilibrio, mientras que en el momento en el que la presión sobre la molécula es cero, la molécula de aire se habrá desplazado hacia la derecha (presión mínima) o hacia la izquierda (presión máxima). La molécula de aire se

estará desplazando de una manera recíproca, por lo cual puede ser representada como una onda sinusoidal.

**Figura 3**

*Desplazamiento de una partícula en una onda longitudinal.*

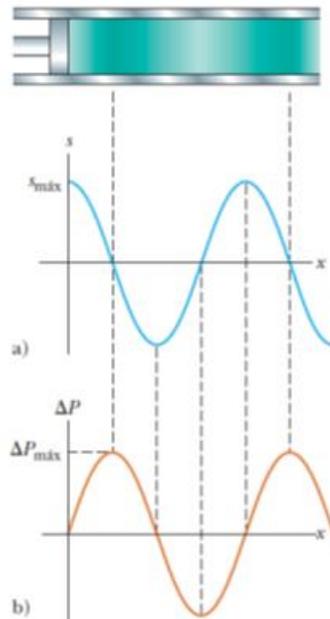


Fuente: Tomado de Young, H. D., & A, F. R. (2009). *Física universitaria 01* (p. 528) (12a ed., Vol. 1). Addison - Wesley.

En la siguiente gráfica, podemos observar una comparación entre las presiones del aire y el desplazamiento de las moléculas de aire.

**Figura 4**

*Gráfica de posición de una partícula de aire y de presión del aire dentro de un pistón al crearse una onda longitudinal.*



Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 477), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

En conclusión, una onda sonora que viaja a través del aire puede ser modelada como un desplazamiento recíprocante de las moléculas del aire o como una onda compuesta por presiones altas y bajas de aire.

“Las ondas sonoras también pueden describirse en términos de variaciones de presión en diversos puntos. En una onda senoidal en aire, la presión fluctúa por arriba y por debajo de la presión atmosférica en forma senoidal con la misma frecuencia que los movimientos de las partículas de aire. El oído humano funciona detectando tales variaciones de presión. Una onda sonora que entra en el canal auditivo ejerce una presión fluctuante sobre un lado del tímpano; el aire del otro lado, comunicado con el exterior por la trompa de Eustaquio, está a presión atmosférica. La diferencia de presión entre ambos lados del tímpano lo pone en movimiento. Los micrófonos y dispositivos similares por lo regular también detectan

diferencias de presión, no desplazamientos, así que resulta muy útil establecer una relación entre las dos descripciones.” (Young, Freedman, 2009, p. 528)

### 7.4.1 Velocidad del sonido

Las ondas sonoras viajan a través de un medio elástico a una cierta velocidad. La velocidad del sonido va a variar dependiendo de las propiedades físicas del medio. En gases, la velocidad del sonido está dada por la siguiente ecuación:

$$v_{gases} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Donde

$\rho$ = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

B= Módulo volumétrico dado por la siguiente fórmula:

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V} V_1$$

Donde:

P=presión (N/m<sup>2</sup>)

V= volumen (m<sup>3</sup>)

La velocidad en sólidos está dada por la siguiente fórmula:

$$v_{sólidos} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Donde:

E=módulo de Young (Propiedad de la materia que ayuda a describir qué tan elástico es un material.) (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = densidad del material. (kg/m<sup>3</sup>).

Cuando hablamos del aire, la velocidad del sonido también está determinada por la temperatura. Podemos utilizar la siguiente fórmula para calcular la velocidad del sonido en el aire según su temperatura:

$$v = (331\text{m/s}) \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^\circ\text{C}}}$$

Donde la rapidez del sonido a 0°C es de 331 m/s y T<sub>c</sub> es la temperatura del aire.

A partir de estas fórmulas, podemos decir que la velocidad del sonido dependerá de las propiedades elásticas de la materia (qué tan fácil se puede estirar o encoger), las propiedades inerciales (que tanta masa tiene) y la temperatura (qué tan rápido se mueven las moléculas del material).

A partir de la ecuación de temperatura, podemos determinar que la velocidad del sonido en el aire a unos 20°C (temperatura ambiente) es de aproximadamente 343m/s. Por lo que, en un día de lluvia, podemos determinar la distancia a la que cayó un rayo si contamos el número de segundos entre el relámpago y el trueno y dividimos esos segundos dentro de 3. Esto nos dará la distancia aproximada en kilómetros. Si dividimos el tiempo dentro de 5, nos dará la distancia aproximada en millas.

**Tabla 1**

Valores representativos para módulos elásticos.

<b>Valores representativos para módulos elásticos</b>			
<b>Sustancia</b>	<b>Módulo de Young (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de corte (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo volumétrico (N/m<sup>2</sup>)</b>
Tungsteno	$35 \times 10^{10}$	$14 \times 10^{10}$	$20 \times 10^{10}$
Acero	$20 \times 10^{10}$	$8.4 \times 10^{10}$	$6 \times 10^{10}$
Cobre	$11 \times 10^{10}$	$4.2 \times 10^{10}$	$14 \times 10^{10}$
Latón	$9.5 \times 10^{10}$	$3.5 \times 10^{10}$	$6.1 \times 10^{10}$
Aluminio	$7.0 \times 10^{10}$	$2.5 \times 10^{10}$	$7.0 \times 10^{10}$
Vidrio	$6.5\text{--}7.8 \times 10^{10}$	$2.6\text{--}3.2 \times 10^{10}$	$5.0\text{--}5.5 \times 10^{10}$
Cuarzo	$5.6 \times 10^{10}$	$2.6 \times 10^{10}$	$2.7 \times 10^{10}$
Agua	—	—	$0.21 \times 10^{10}$
Mercurio	—	—	$2.8 \times 10^{10}$

Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 348), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

**Tabla 2**

*Rapidez del sonido en diferentes medios*

<b>Rapidez del sonido en diferentes medios</b>					
<b>Medio</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>Medio</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>Medio</b>	<b>v (m/s)</b>
<b>Gases</b>		<b>Líquidos a 25°C</b>		<b>Sólidos*</b>	
Hidrógeno (0°C)	1 286	Glicerol	1 904	Vidrio Pyrex	5 640
Helio (0°C)	972	Agua de mar	1 533	Hierro	5 950
Aire (20°C)	343	Agua	1 493	Aluminio	6 420
Aire (0°C)	331	Mercurio	1 450	Latón	4 700
Oxígeno (0°C)	317	Queroseno	1 324	Cobre	5 010
		Alcohol metílico	1 143	Oro	3 240
		Tetracloruro de carbono	926	Lucita	2 680
				Plomo	1 960
				Caucho	1 600

\* Los valores conocidos son para propagación de ondas longitudinales en medios volumétricos. Las magnitudes de velocidad para ondas longitudinales en barras delgadas son menores, y las magnitudes de velocidad de ondas transversales en volumen son aún más pequeñas.

Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 476), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

## 7.4.2 Reflexión y transmisión

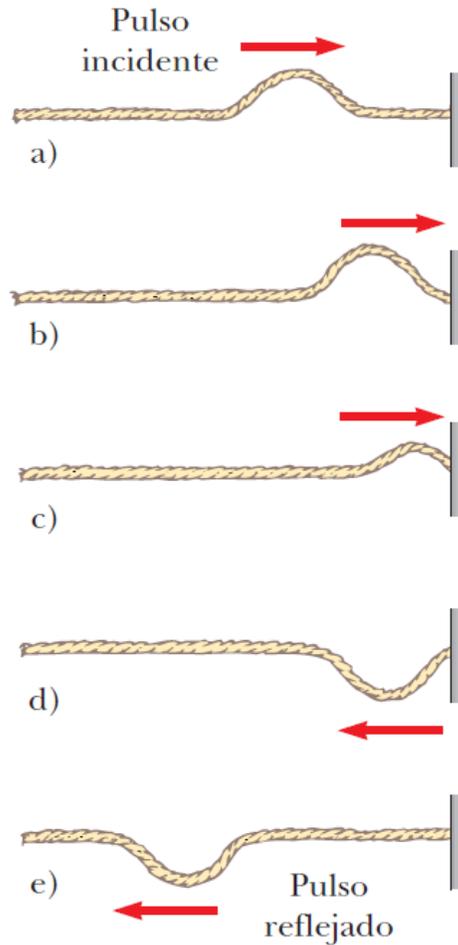
Hasta el momento hemos visto cómo funciona un pulso y una onda cuando viajan libremente a través de algún medio. Pero ¿qué sucede cuando la onda llega a un tope? Tomemos en cuenta una cuerda que se encuentra fija a una pared en uno de sus extremos, como en la Figura 5, y creemos un pulso. Este pulso viajará por la cuerda hasta llegar a la pared. En el momento de alcanzar el extremo fijo, el pulso rebotará y viajará en la dirección contraria, pero en lugar de viajar sobre la cuerda, este se creará en la parte inferior de la cuerda. Esto se puede explicar porque al llegar al extremo fijo, la pared ejerce una fuerza hacia abajo sobre la cuerda, haciendo que el pulso que rebota vaya hacia abajo. En este caso ideal, suponemos que la pared no absorbe ningún tipo de energía del pulso.

Ahora bien, ¿qué sucede si se permite que el extremo de la cuerda se mueva libremente de arriba hacia abajo? El pulso se verá reflejado de igual manera, pero en esta ocasión, el pulso se mantendrá sobre la cuerda como se muestra en la figura 6. Esto es debido a que el mismo peso de la cuerda es el que crea el reflejo.

Ahora bien, recordemos que la amplitud de un pulso dependerá de varios factores como lo son: La tensión, la masa y la propiedad elástica del medio. Si unimos en sus extremos dos cuerdas con distintas características físicas, el comportamiento del pulso variará según la forma en la que se conecten los medios. En la figura 7, podemos observar que si el pulso comienza por una cuerda delgada y se transmite a una cuerda gruesa, debido a la inercia (su masa), una parte del pulso se verá reflejado hacia abajo, mientras que la otra se transmitirá por la cuerda gruesa. En cambio, si el pulso comienza por la cuerda gruesa, de igual manera una parte del pulso se transmitirá a la cuerda delgada mientras que la otra parte se verá reflejada hacia arriba de la cuerda gruesa.

**Figura 5**

*Reflexión de pulso transversal en una cuerda fija en un extremo*

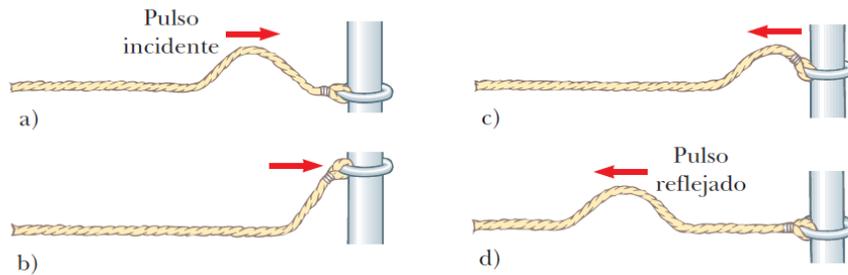


Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 461), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

Así como los pulsos se ven reflejados en una cuerda que se encuentra fija en uno de sus extremos, las ondas también pueden reflejarse de la misma manera, ya que las ondas no son más que una colección de pulsos consecutivos.

**Figura 6**

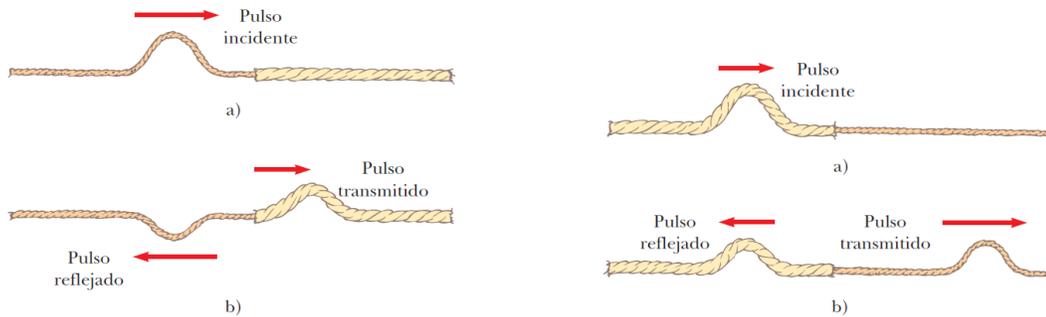
*Reflexión de un pulso transversal en una cuerda con extremo móvil*



Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 462), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

**Figura 7**

*Pulso en un medio con distintas densidades.*



Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 462), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

### 7.4.3 Ondas estacionarias

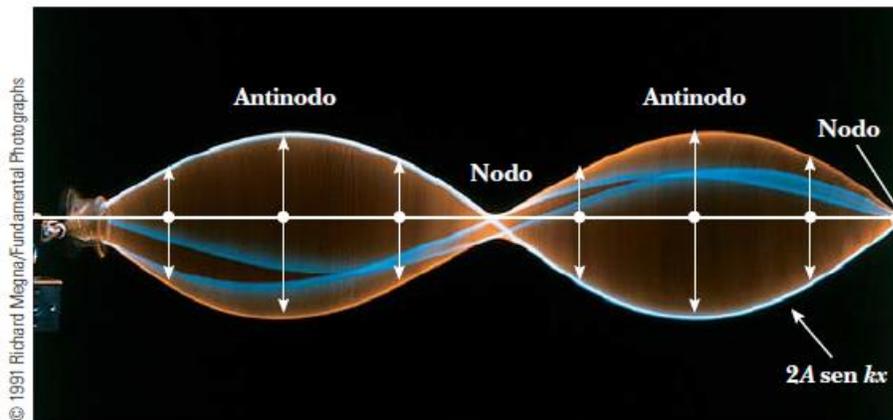
Supongamos que creamos una onda tal que la onda de la fuente tenga las mismas características (Amplitud, frecuencia, longitud de onda) que la onda de reflexión. Las ondas

se van a mezclar o se van a “superponer” de tal manera que formen un fenómeno conocido como onda estacionaria. En una onda estacionaria, tanto la onda proveniente de una fuente de energía como la onda reflejada compartirán su frecuencia y sumarán sus respectivas amplitudes.

“Una onda estacionaria, es un patrón de oscilación con un contorno estacionario que resulta de la superposición de dos ondas idénticas que viajan en direcciones opuestas.” (Serway, Jewett, 2008, p. 505)

**Figura 8**

*Partes de una onda estacionaria.*



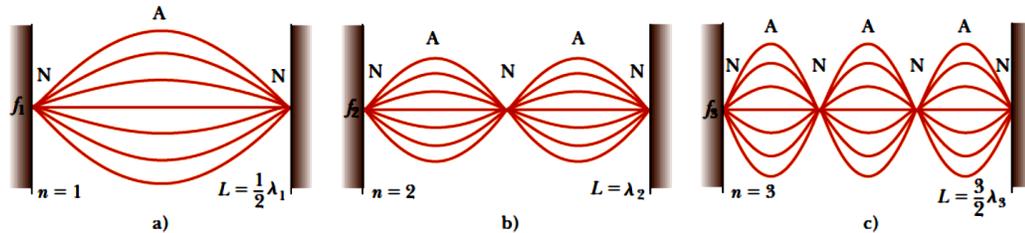
Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 505), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

En la figura podemos observar algunas partes importantes de una onda estacionaria. Los nodos, son los puntos de la onda en donde la amplitud es cero, mientras que los antinodos son las partes en donde la amplitud es máxima. En este caso, la amplitud es dos veces la amplitud de la onda original, ya que esta se suma a la amplitud de la onda reflejada por superposición.

#### 7.4.4 Ondas estacionarias en una cuerda que se encuentra fija en ambos extremos:

Figura 9

*Modos normales de una cuerda que vibra.*



Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 508), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

Supongamos que tomamos una cuerda y la fijamos en sus dos extremos. De esta manera, se pueden modelar las cuerdas de instrumentos musicales como la guitarra, el violín, el piano, etc. Al fijar una cuerda en ambos extremos estamos creando restricciones para el movimiento de esta. En otras palabras, estamos forzando a que los extremos de la cuerda sean los nodos en una onda estacionaria. En este caso, la longitud de onda de la onda estacionaria se ve cuantizada. En otras palabras, los patrones de oscilación de la onda serán discretos. A estos patrones discretos se les conoce como **modos normales**. Cada uno de los modos normales cuenta con una frecuencia característica.

A la región de la onda estacionaria que se encuentra entre dos nodos se le llama bucle. La longitud de onda (y la frecuencia) de la onda estacionaria dependerá del número de bucles que esté presente. El primer modo normal tiene únicamente un bucle, por lo que su longitud de onda será de dos veces la longitud de la cuerda. En el segundo modo normal, la longitud de onda será igual a la longitud de la cuerda. En el tercer modo normal, la longitud de onda será  $2/3$  de la longitud de la cuerda. Podemos observar una relación directa entre los modos normales y el número de bucles, por lo que podemos crear una fórmula para calcular la longitud de onda según el número de bucles y la longitud de la cuerda.

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

Donde:

L=longitud de la cuerda

n = número de bucles en la onda estacionaria.

Así mismo, la frecuencia de la onda estacionaria puede calcularse en términos de la longitud de la cuerda y el número de bucles:

$$f = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$$

Podemos expandir esta fórmula de tal manera que relacionemos la frecuencia con la tensión de la cuerda:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Donde  $\mu$  es la densidad de masa lineal. A partir de esta ecuación podemos deducir que la frecuencia de la cuerda puede ser modificada a partir de su tensión y de la longitud de la misma. Al afinar instrumentos de cuerda modificamos su tensión hasta que se obtiene la frecuencia deseada y al interpretarlos, modificamos la longitud de las cuerdas para obtener distintas frecuencias o notas.

A la frecuencia obtenida del primer modo normal se le conoce como frecuencia fundamental. Las frecuencias del primer modo normal serán múltiplos de este creando una serie armónica. A los modos normales se les llama armónicos.

“Para excitar únicamente un solo armónico, la cuerda se debe distorsionar en una forma que corresponda a la del armónico deseado. Después de liberarse, la cuerda vibra a la frecuencia de dicho armónico. Sin embargo, esta maniobra es difícil de realizar y no es como se excita la cuerda de un instrumento musical. Si la cuerda se distorsiona de tal modo que su forma no sea sólo de un armónico, la vibración resultante incluye una combinación de diferentes armónicos. Tal distorsión se presenta en instrumentos musicales cuando la cuerda se puntea (como en una guitarra), se arquea (como en un chelo) o se golpea (como en un piano). Cuando la cuerda se distorsiona en una forma no sinusoidal, sólo las ondas que satisfacen las condiciones de frontera pueden persistir en la cuerda. Estas ondas son los armónicos.” (Serway, Jewett, 2008, p. 509)

Para visualizar de mejor manera los armónicos de la nota Do, podemos tomar como referencia el siguiente pentagrama:

**Figura 10**

*Notas de los armónicos*

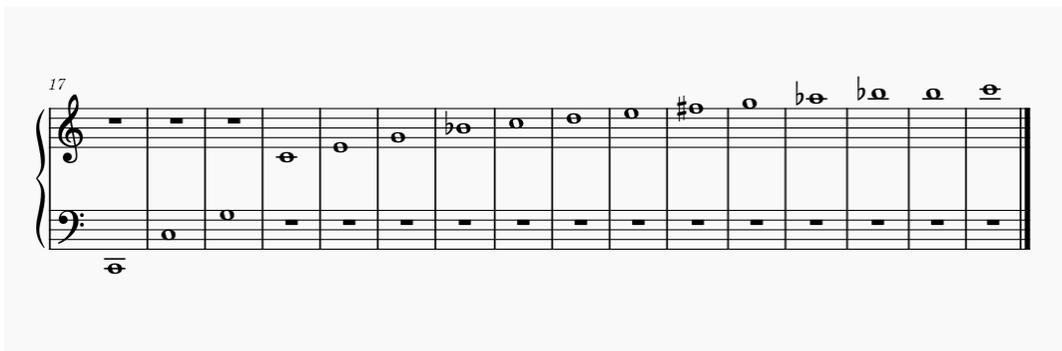


Figura: Figura de creación propia.

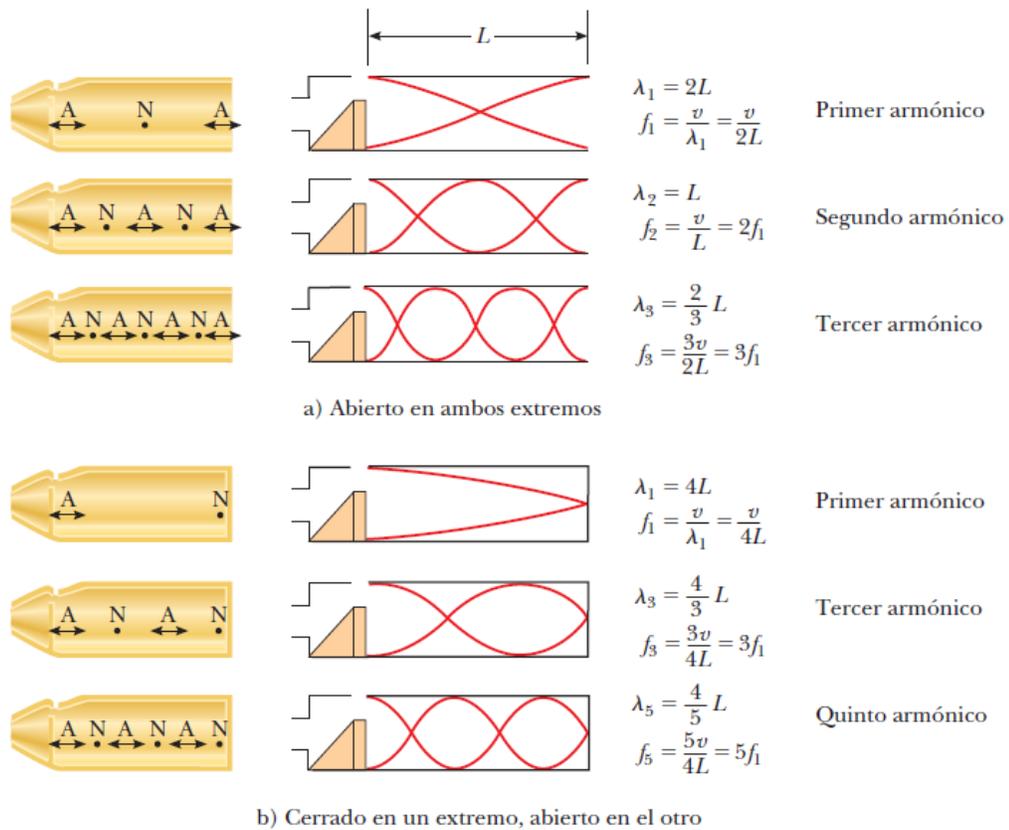
<<La frecuencia de una cuerda que define la nota musical que se toca es la fundamental. La frecuencia de la cuerda se varía al cambiar la tensión de la cuerda o su longitud. Por ejemplo, la tensión en las cuerdas de guitarra y violín se varía mediante un mecanismo de ajuste de tornillo o clavijas de afinación ubicadas en el diapasón del instrumento. A medida que aumenta la tensión, la frecuencia de los modos normales aumenta. Una vez que el instrumento se “afina”, los intérpretes varían la frecuencia al mover sus dedos a lo largo del diapasón, lo que por tanto cambia la longitud de la porción

oscilatoria de la cuerda. A medida que la longitud se acorta, la frecuencia aumenta porque, las frecuencias de modo normal son inversamente proporcionales a la longitud de la cuerda.>> (Serway, Jewett, 2008, p. 509).

### 7.4.5 Ondas estacionarias en columnas de aire

**Figura 11**

*Ondas estacionarias en una columna de aire. a) en un tubo abierto, b) en un tubo cerrado.*



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 513), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

Así como las ondas estacionarias existen en cuerdas (ondas transversales), estas también se pueden dar en columnas de aire (ondas longitudinales). Las ondas longitudinales también pueden rebotar y si se logra que la onda fuente sea igual a la onda de rebote, entonces obtendremos una onda longitudinal estacionaria. Es bajo este principio que funcionan los instrumentos de viento como flautas, clarinetes, trompetas, órganos de tubos, etc.

Los instrumentos de viento consisten en tubos o cilindros que contienen columnas de aire. Estos tubos pueden estar tapados en uno de sus extremos o descubiertos. En ambos casos se pueden crear ondas estacionarias pues la columna de aire se ve restringida. En el caso de los instrumentos que tienen uno de sus extremos tapados, la pared del fondo del tubo crea un nodo de desplazamiento y un antinodo de presión en la onda sonora que se crea dentro del mismo. En el caso de los instrumentos en los que sus extremos se encuentran destapados, se crea un antinodo de desplazamiento y un nodo de presión en estos puntos, ya que la presión del aire se ve liberada al ambiente creando un punto de presión cero.

En el caso de los instrumentos de viento que tienen uno de sus extremos destapados, se puede crear un rebote de la onda sonora debido a que la apertura en su extremo crea una caída de presión, la cual permite que el aire rebote dentro de la frontera creada por el tubo. Se puede interpretar como que a la salida del tubo hay fricción, la cual permite que el aire rebote.

Al haber restricciones (condiciones de frontera) en las ondas estacionarias, se crean frecuencias cuantizadas, lo cual nos permite crear notas al modificar la longitud de la columna de aire.

$$f_n = \frac{nv}{2L}$$

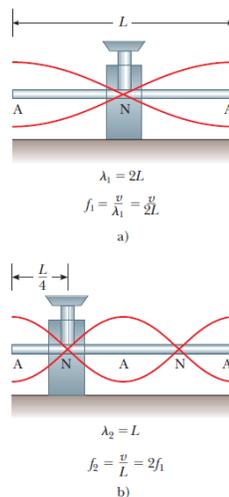
En donde  $v$  es la velocidad del sonido en el aire.

“En muchos instrumentos de viento hechos con madera, el rico sonido inicial lo proporciona una lengüeta que vibra. En los instrumentos metálicos, dicha excitación la proporciona el sonido proveniente de la vibración de los labios del intérprete. En una flauta, la excitación inicial proviene de soplar sobre un borde en la boca del instrumento, en forma similar a soplar a través de la abertura de una botella con un cuello estrecho. El sonido del aire que corre a través del borde tiene muchas frecuencias, incluida una que pone en resonancia la cavidad de aire en la botella.” (Serway, Jewett, 2008, p. 514).

#### 7.4.6 Ondas estacionarias en barras y membranas

**Figura 12**

*Ondas estacionarias en barras.*



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 516), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

En instrumentos que consisten en barras y membranas, también se pueden crear ondas estacionarias. Este es el principio con el cual funcionan instrumentos de percusión como la marimba, el xilófono, el triángulo, etc. Al sujetar la barra o membrana en un punto, estamos

creando un nodo de desplazamiento en el mismo y la deformación de la barra al ser golpeada es la que crea una onda estacionaria transversal cuantizada. La frecuencia en este tipo de instrumentos se controla al manipular la longitud de la barra.

#### **7.4.7 Una nota sobre Pitágoras y el sistema tonal.**

Pitágoras (570-490 a.C) fue un filósofo griego famoso por su trabajo en distintas áreas de la ciencia, entre ellas la geometría, trigonometría y la música. De hecho, el sistema tonal de la música occidental se basa en el trabajo de Pitágoras.

Pitágoras contaba con un taller sonoro en donde realizó distintos experimentos con los sonidos emitidos por varios objetos. Entre su equipo, se encontraba el monocordio, el cual consiste en una caja de resonancia con una cuerda a la cual se le modifica su longitud por medio de un puente movable. Este es el mismo principio de las cuerdas de una guitarra y sus trastes.

Pitágoras descubrió que los sonidos consonantes se emitían cuando la cuerda se recortaba a distancias dictadas por razones exactas. Si la cuerda se reducía a la mitad de su longitud, se emitía el mismo sonido, pero más agudo. Hoy en día a esto se le conoce como una octava. Descubrió también que si se tomaba una segunda cuerda con una longitud de  $\frac{2}{3}$  de la cuerda original y se hacían vibrar al mismo tiempo, el sonido resultante era un sonido agradable al oído. Pitágoras había descubierto la relación perfecta para generar una quinta.

Entonces, por ejemplo. Tomemos una nota Do4 a 261.626Hz y dividámosla dentro de la proporción descubierta por Pitágoras de  $\frac{2}{3}$ , obtenemos la frecuencia para Sol4 que es 392.439Hz.

$$Sol4 = \frac{Do4}{\frac{2}{3}} = 261.626Hz * \frac{3}{2} = 392.439 Hz$$

Ahora tomemos la frecuencia de la nota Sol4 y repitamos el mismo procedimiento. Obtendremos entonces la frecuencia para la nota Re5:

$$Re5 = \frac{Sol4}{2/3} = 392.439Hz * \frac{3}{2} = 588.66 Hz$$

Si queremos mantenernos en la misma escala, simplemente debemos de dividir la nota Re5/2 para obtener la nota Re4, lo cual nos da:

$$Re4 = \frac{Re5}{2} = \frac{588.66Hz}{2} = 294.33Hz$$

Podemos seguir este mismo procedimiento para obtener las 12 notas en el siguiente orden:

Do, Sol, Re, La, Mi, Si, Fa#, Do#, Sol#, Re#, La#, Fa. Dando paso a lo que se conoce como el círculo de quintas.

Sin embargo, este sistema no era perfecto, pues al llegar de regreso a la nota Do, pasaba algo curioso. La teoría determinada por los mismos experimentos de Pitágoras nos dice que Do5 debería de ser el doble de la frecuencia de Do4. Sin embargo, al pasar de Fa a Do utilizando la relación 3/2 llegamos a una frecuencia de 530.391Hz, cuando la verdadera frecuencia debió de ser de 261.63Hz\*2=523.26Hz. Había una pequeña diferencia en el sonido esperado.

Si dividimos la frecuencia obtenida dentro de la frecuencia esperada obtenemos la siguiente relación:

$$\frac{530.39Hz}{523.26Hz} = 1.014$$

A esta relación se le conoce como coma Pitagórica. Durante mucho tiempo, la coma Pitagórica ocasionó que al tocar piezas en distintas tonalidades, se tuviera que afinar los instrumentos para que la pieza sonara bien. Fue hasta la llegada del Clave bien temperado que esta reafinación ya no tuvo que hacerse. Hoy en día, en un sistema bien temperado, la distancia entre los semitonos es exactamente la misma. Esta está dada por potencias de  $\sqrt[12]{2}$  permitiéndole a los músicos transportar las piezas de una tonalidad a otra sin ningún problema de afinación. En la siguiente tabla se resume la diferencia de frecuencias entre los dos sistemas.

**Tabla 3**

*Comparación entre sistema de Pitágoras y sistema bien temperado.*

	Frecuencia según lo predicho por Pitágoras (Hz)	Frecuencia en un instrumento bien temperado (Hz)
Do	261.626	261.626
Do#	279.383	277.18
Re	294.329	293.67
Re#	314.306	311.13
Mi	331.120	329.63
Fa	353.594	349.23
Fa#	372.510	370.00
Sol	392.439	392.00
Sol#	419.074	415.31
La	441.494	440.00
La#	471.459	466.16
Si	496.681	493.88
Do	265.195	261.63

Coma pitagórica	1.014
-----------------	-------

*Fuente: Tabla de creación propia.*

## 7.5 Sobreposición e interferencia

### 7.5.1 Principio de sobreposición

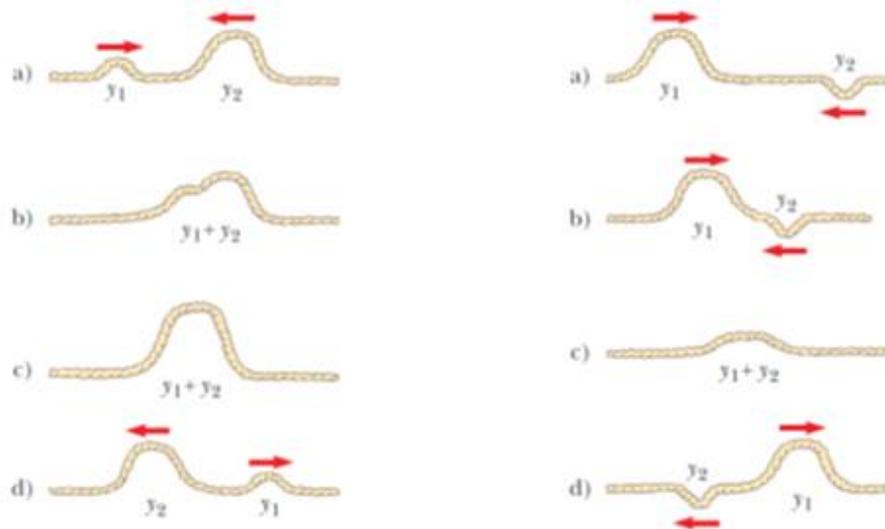
“Si dos o más ondas progresivas se mueven a través de un medio, el valor resultante de la función de onda en cualquier punto es la suma algebraica de los valores de las funciones de onda de las ondas individuales” (Serway, Jewett, 2008, p. 501).

A las ondas que obedecen este principio se les conoce como ondas lineales. En las ondas lineales, su amplitud es mucho menor que su longitud de onda.

“Una consecuencia del principio de sobreposición es que dos ondas progresivas pueden pasar una a través de la otra sin destruirse o alterarse.” (Serway, Jewett, 2008, p. 501)

**Figura 13**

Sobreposición de pulsos transversales.

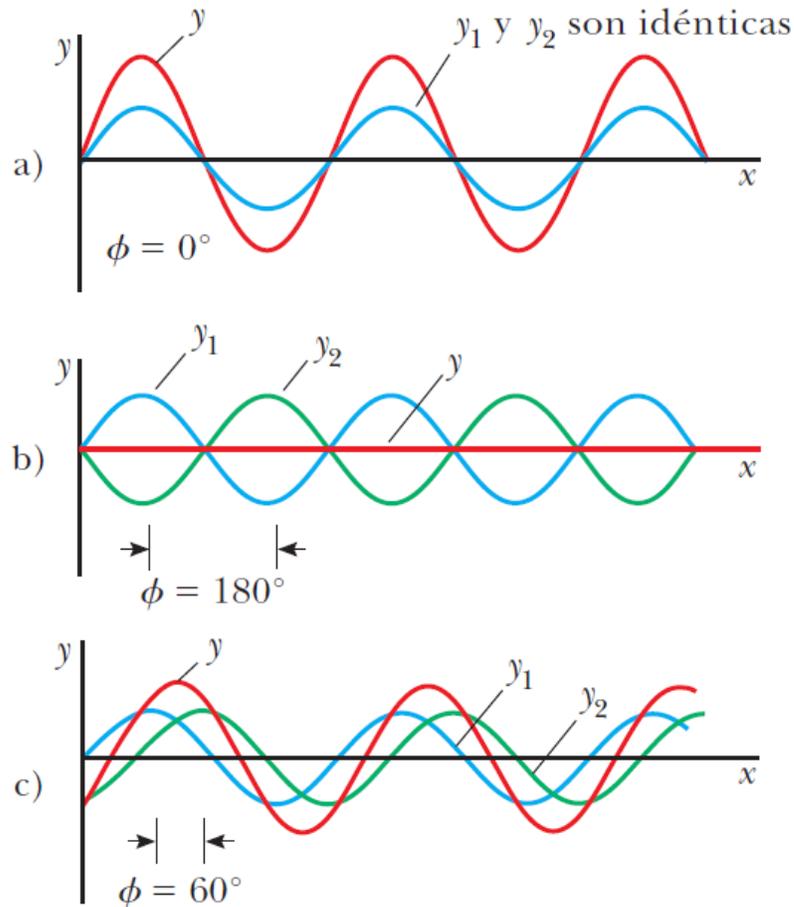


Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 502), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

Supongamos que lanzamos dos piedras en un lago. Al analizar el patrón formado por estas piedras, podemos observar que las ondas circulares se mantienen a pesar de que las ondas se cruzan entre sí.

**Figura 14**

Gráficas de distintas ondas superpuestas.



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 503), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

A la interacción de dos ondas distintas en el mismo espacio se le llama interferencia. Este fenómeno tiene aplicaciones prácticas tanto en óptica como en acústica. Este

fenómeno es el que explica por qué podemos escuchar dos instrumentos que suenan al mismo tiempo, así como también explica por qué dependiendo del lugar en donde estemos en un concierto, la experiencia sonora será distinta.

Si tenemos dos ondas que son exactamente iguales y viajan en el mismo medio mientras están en fase (suceden al mismo tiempo), entonces las amplitudes de las ondas se sumarán, brindando el doble de la amplitud de la onda resultante.

Sin embargo, si las ondas están desfasadas  $180^\circ$  (O sea, una sucede antes que la otra de tal manera que los valles de la primera coincidan con las montañas de la segunda), las ondas se cancelarán la una a la otra, causando que la onda resultante tenga una amplitud de cero.

Cuando las ondas tienen una fase distinta de  $0$  o  $180^\circ$ , entonces la amplitud de la onda resultante se encontrará en algún valor entre  $0$  y  $2A$ .

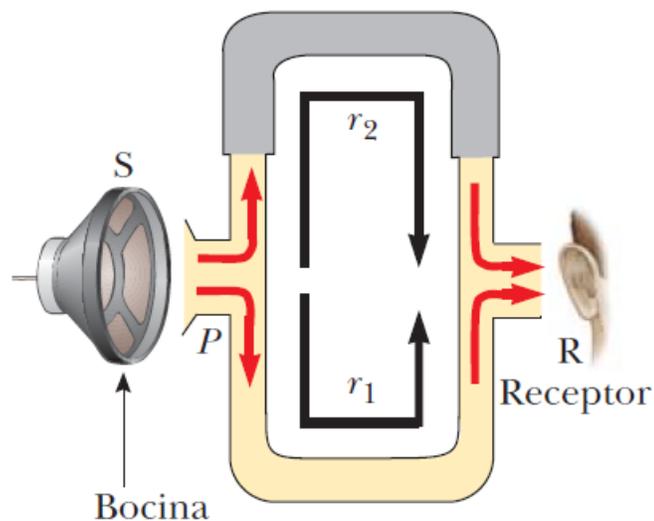
### **7.5.2 Interferencia de ondas sonoras**

El dispositivo de la Figura 15 consiste en una bocina que emite sonido a un tubo que eventualmente tiene una división en forma de T. La mitad del sonido viaja en una dirección y la otra mitad viaja en la otra dirección. El sonido que viaja hacia abajo siempre tendrá que viajar la misma longitud, pero el sonido que viaja hacia arriba podrá variar la longitud que debe de viajar gracias a un tubo móvil, el cual varía dicha longitud.

A la longitud que viaja el sonido que se dirige hacia abajo le llamaremos  $r_1$  y a la longitud que viaja el sonido que se dirige hacia arriba le llamaremos  $r_2$ . Si  $r_1$  es igual a  $r_2$ , entonces el sonido estará en fase y al llegar al oído del receptor, llegará con la máxima intensidad, pues ambas ondas sonoras suceden al mismo tiempo y están en fase. Si  $r_2$  tiene una longitud mayor que  $r_1$  equivalente a la mitad de la longitud de onda del sonido, entonces los dos sonidos estarán desfasados por  $180^\circ$ , lo que significará que ambos sonidos se cancelan y el receptor no percibirá ningún sonido.

**Figura 15**

Dispositivo para experimentar con interferencias de ondas.



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 503), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

Es por esto que en los equipos de sonido se especifica que las bocinas sean conectadas adecuadamente. Si los cables de las bocinas se conectan al revés, entonces las bocinas estarán fuera de fase y la calidad del sonido se verá afectada. Debido a que en audio en estéreo los sonidos que salen en cada bocina son distintos, el sonido no se eliminará por completo, pero algunas frecuencias si se verán canceladas.

### 7.5.3 Batimiento

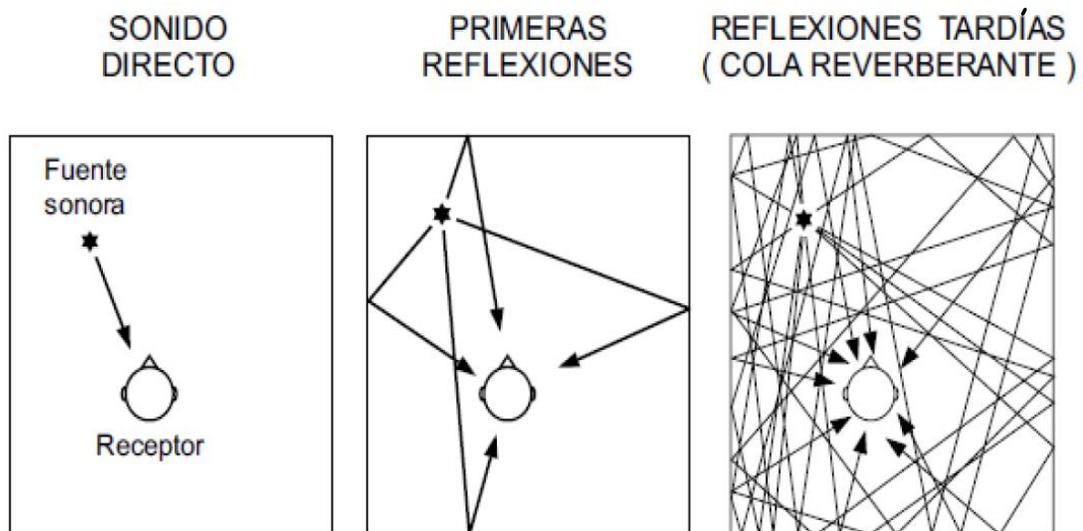
“El batimiento, es la variación periódica en amplitud en un punto dado debido a la superposición de dos ondas que tienen frecuencias ligeramente diferentes.” (Serway, Jewett, 2008, p. 517)

## 7.6 Propagación del sonido en un recinto cerrado

En un recinto cerrado, el sonido llega al oyente de dos formas: De forma directa (proveniente de la fuente del sonido) y de forma reflejada (el sonido rebota en las paredes del recinto y llega de esta manera al oyente). La cantidad de sonido reflejado dependerá de los materiales con los que estén forrados los muros y de los objetos que se encuentren en la habitación.

**Figura 16:**

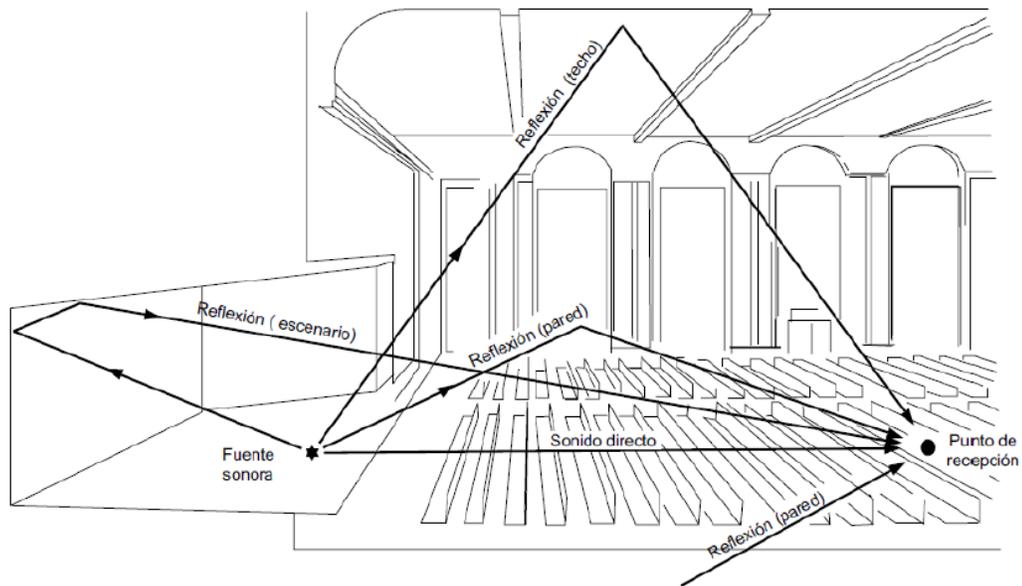
Rebote del sonido en un recinto.



*Fuente: Tomado de Castellanos, Alfonso, 2014, Tesis Acústica Arquitectónica: Acondicionamiento Acústico de Recintos (p. 29).*

**Figura 17**

Reflexión del sonido en un auditorio.



*Fuente: Tomado de Castellanos, Alfonso, 2014, Tesis Acústica Arquitectónica: Acondicionamiento Acústico de Recintos (p. 30).*

## **7.7 Patrones de ondas no sinusoidales**

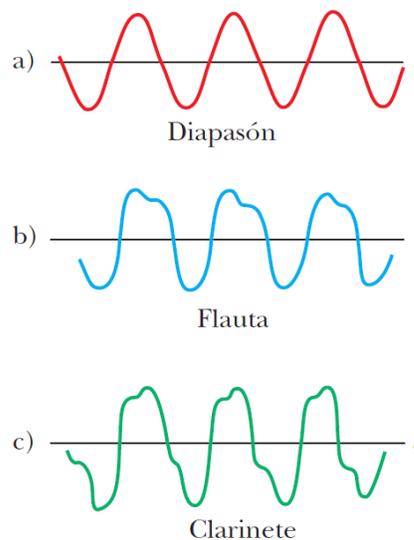
¿Por qué es que somos capaces de distinguir el sonido proveniente de un piano del sonido proveniente de un violín?

“Cuando las frecuencias que son múltiplos enteros de una frecuencia fundamental se combinan para hacer un sonido, el resultado es un sonido musical.” (Serway, Jewett, 2008, p. 519).

Según la frecuencia fundamental que un instrumento esté ejecutando, un escucha puede asignarle un tono determinado. Si junto con la frecuencia fundamental suenan otras frecuencias que no son múltiplos de estas, entonces lo que se escucha es ruido y será más difícil establecer un tono para ese sonido. La mezcla de estas frecuencias a distintos volúmenes es lo que le da a cada instrumento su sonido característico o su timbre. Aunque un piano toque exactamente la misma nota que una guitarra, sus sonidos van a ser distintos debido a este fenómeno.

**Figura 18**

Patrones de onda para distintas fuentes.



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 520), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

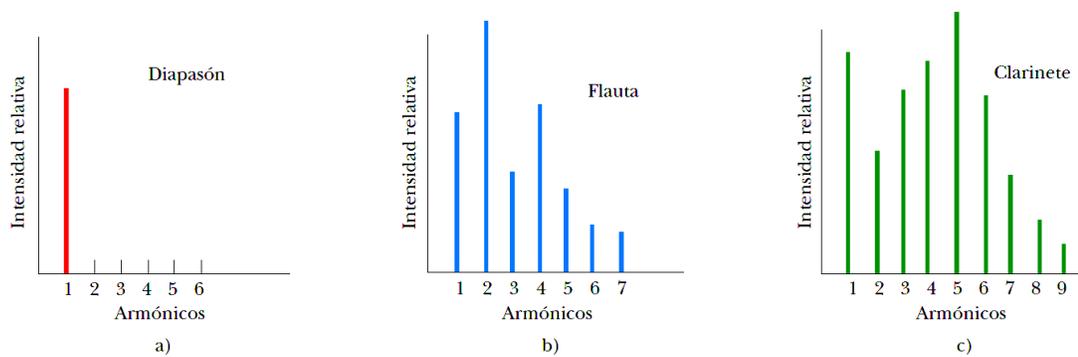
Los sonidos que la mayoría de los instrumentos musicales emiten no son ondas puras, estos son ondas no sinusoidales. Sin embargo, estas ondas se repiten periódicamente, lo cual nos permite distinguir las alturas del sonido cuando se interpretan. En la figura 18, podemos observar los patrones sonoros de distintos instrumentos que interpretan la misma nota.

Los patrones de onda sonora irregulares periódicos pueden ser representados en términos de las funciones seno y coseno haciendo uso de las series de Fourier, las cuales tienen la siguiente forma:

$$y(t) = \sum (A_n \text{sen } 2\pi f_n t + B_n \text{cos } 2\pi f_n t)$$

**Figura 19**

Intensidades de distintos armónicos según la fuente de emisión.



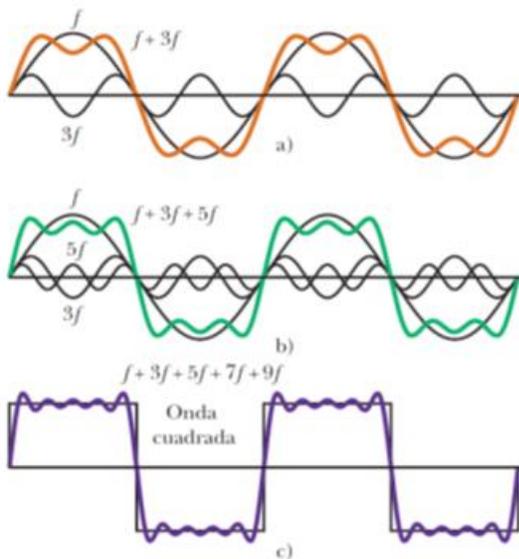
*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 520), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

Lo que esta función representa es que básicamente el timbre con el que suena un instrumento consiste en la suma de los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental a distintas amplitudes. En la siguiente figura 19, podemos observar el análisis de las distintas frecuencias y sus amplitudes para distintos instrumentos musicales:

Este principio puede ser utilizado para la sintetización de sonidos. Por ejemplo, si sumamos las frecuencias con múltiplos impares de la frecuencia fundamental, podemos construir lo que se conoce como una onda cuadrada, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 20**

Forma de onda creadas por la suma de varios armónicos.



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 521), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

Si las amplitudes de las distintas frecuencias se modifican, se pueden sintetizar una gran cantidad de sonidos. Este es el principio que se utiliza en instrumentos musicales electrónicos.

## 7.8 Intensidad del sonido

Una onda transporta energía por un medio con una potencia determinada. A la potencia que se transporta por unidad de área se le llama intensidad de la onda  $I$ . La intensidad del sonido se expresa en términos de la amplitud de la onda  $A$  o de su amplitud de presión  $p$ . La intensidad de la onda es la que determina el volumen al que se escuchan los sonidos. Por ejemplo, en un piano, mientras más fuerte se golpean las teclas, más alto será el volumen que se escucha. Mientras más suave se golpeen las teclas, más bajo será el volumen. Esto es porque se le está dando más o menos energía al sonido, traduciéndose esto en una mayor o menor intensidad.

La intensidad de una onda sonora está dada por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\rho B} \omega^2 A^2$$

Donde:

$I$  = Intensidad del sonido

$\rho$  = densidad del medio donde se propaga el sonido.

$B$  = Módulo del volumen de un gas.

$\omega$  = velocidad angular dada por la fórmula  $\omega = 2\pi f$

$A$  = amplitud de la onda.

A partir de esta fórmula podemos observar que la intensidad del sonido depende de la amplitud de la onda y de su frecuencia. Por lo que un instrumento que emite un sonido más agudo debe de vibrar a menor amplitud que un instrumento que emite un sonido grave para dar la misma intensidad.

La intensidad también puede ser expresada en términos de la presión con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{p_{máx}^2}{2\sqrt{\rho B}}$$

### 7.8.1 La escala de decibeles.

La escala de medición de la intensidad sonora son los decibeles, los cuales se basan en el rango de frecuencias que puede percibir el sonido. Esta es una escala logarítmica y está definida por la siguiente fórmula:

$$\beta = (10dB) \log \frac{I}{I_0}$$

Donde:

Log= logaritmo base 10

I = Intensidad del sonido

I<sub>0</sub> = Intensidad del sonido mínima que puede percibir el oído humano.

Utilizando las ecuaciones anteriores, podemos encontrar una relación directa entre la amplitud del sonido o su presión:

$$\beta = (10dB) \log \frac{A^2}{A_0^2}$$

$$\beta = (10dB) \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

En este caso  $I_0$  se toma como  $10^{-12} \text{W/m}^2$ , el cual es aproximadamente el umbral de la audición humana a 1000Hz. “Los niveles de intensidad del sonido se expresan en decibeles, cuya abreviatura es dB. Un decibel es 1/10 de un bel, unidad llamada así en honor de Alexander Graham Bell.” (Young, Freedman, 2009, p. 539)

En la siguiente tabla podemos encontrar distintos ejemplos de sonidos con sus decibeles respectivos.

**Tabla 4**

Niveles de intensidades del sonido de distintas fuentes.

<b>Fuente o descripción del sonido</b>	<b>Nivel de intensidad del sonido, <math>\beta</math> (dB)</b>	<b>Intensidad, <math>I</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>
Avión militar a reacción a 30 m	140	$10^2$
Umbral del dolor	120	1
Remachador	95	$3.2 \times 10^{-3}$
Tren elevado	90	$10^{-3}$
Tráfico urbano intenso	70	$10^{-5}$
Conversación ordinaria	65	$3.2 \times 10^{-6}$
Automóvil silencioso	50	$10^{-7}$
Radio con volumen bajo en el hogar	40	$10^{-8}$
Murmullo normal	20	$10^{-10}$
Susurro de hojas	10	$10^{-11}$
Umbral del oído a 1000 Hz	0	$10^{-12}$

Fuente: Tomado de Young, H. D., & A, F. R. (2009). *Física universitaria 01* (p. 540) (12a ed., Vol. 1). Addison - Wesley.

“En todas las fases de tecnología de audio, el decibel es usado para expresar niveles de señal y las diferencias de niveles en la presión sonora, potencia, voltaje, y corriente.” (Eargle, 1989, p. 13)

Muchas veces, los equipos de sonido están especificados en términos de su potencia (Watts) por lo que es útil relacionar los decibeles con su potencia. Haciendo que  $P_0 = 1\text{watt}$ :

**Tabla 5**

Equivalentes en dB a distintas presiones.

<u><math>P_1</math> (watts)</u>	<u>Nivel en dB</u>
1	0
10	10
100	20
1000	30
10,000	40
20,000	43

Fuente: Tomado de Eargle, J. (1989). *Handbook of Sound System Design*. (p. 13) Elar Publishing Company.

Ahora bien, la intensidad del sonido percibida va a depender de la distancia a la que la persona se encuentre de la fuente del sonido. En un espacio abierto, en donde el sonido se expande en todas direcciones, la intensidad del sonido disminuirá proporcionalmente con el cuadrado de la distancia. Esto no sucede en lugares cerrados, en donde el sonido rebota en las paredes y las personas reciben el sonido tanto de la fuente principal como de el reflejo de las distintas superficies en el recinto.

## 7.9 Resonancia

Cuando hay un grupo de músicos tocando al mismo tiempo, en ocasiones se puede percibir cómo el redoblante de la batería empieza a sonar a pesar de que nadie lo esté tocando. Lo mismo sucede con los instrumentos acústicos. Por el mismo fenómeno es que los vidrios de una habitación comienzan a vibrar cuando pasa un automóvil que lleva la música a alto volumen. El fenómeno en cuestión es la resonancia.

Para comprender la resonancia, debemos de comenzar entendiendo que cada cuerpo en el universo cuenta con una frecuencia natural. Esta frecuencia se puede determinar al golpear dicho objeto y medir la frecuencia con la que este vibra. Por ejemplo, la frecuencia con la que vibran las cuerdas de una guitarra al ser pulsadas es la frecuencia natural de dichas cuerdas. Al golpear una copa, esta vibrará a su frecuencia natural.

### 7.9.1 Oscilaciones amortiguadas

Tomemos por ejemplo las vibraciones ocasionadas al pulsar la cuerda de una guitarra. La gráfica de esas vibraciones se ve de la siguiente manera:

**Figura 21**

Onda amortiguada generada al pulsar una cuerda en el ukulele.



Fuente: Figura de creación propia.

En esta gráfica podemos observar como la vibración alcanza un pico máximo al ser pulsada la cuerda y poco a poco la vibración va disminuyendo hasta que desaparece por completo. A este tipo de vibración se le conoce como oscilaciones amortiguadas. Las oscilaciones amortiguadas son aquellas en las cuales una fuerza externa hace que el movimiento se detenga.

La frecuencia con la que un cuerpo vibra con oscilación amortiguada se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{b}{2m}\right)^2}$$

Donde

$\omega$  = frecuencia angular con la que vibra el objeto.

$\omega_0$  = frecuencia natural del objeto

$b$  = coeficiente de amortiguamiento

$m$  = masa del objeto.

En este caso, la frecuencia natural del objeto está dada por la fórmula:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

En donde  $k$  es la constante de restitución y  $m$  es la masa del cuerpo.

### **7.9.2 Oscilaciones forzadas:**

Cuando un objeto experimenta una fuerza externa en intervalos de tiempo iguales a su frecuencia natural, la amplitud con la que el cuerpo vibra aumenta. A este fenómeno se le conoce como resonancia. Un ejemplo común que se utiliza para describir a la resonancia es el de un niño sobre un columpio. Para que el niño se pueda columpiar este tiene que experimentar una fuerza periódica que logre vencer la fricción y que permita que el movimiento se mantenga en el tiempo. Si la fuerza se realizara con una frecuencia distinta a la frecuencia con la que el niño se columpia, el niño simplemente no se movería.

Lo mismo sucede con los instrumentos musicales. En el caso de la cuerda de una guitarra, si una onda sonora con frecuencia igual a la frecuencia natural de la cuerda, choca contra el instrumento, la cuerda comenzará a vibrar sola por el efecto de la resonancia. Lo mismo sucede con cualquier instrumento acústico que cuente con una caja de resonancia. Por lo que si una copa de cristal es sometida a un sonido con la misma frecuencia se rompe, al aumentar paulatinamente su frecuencia de vibración.

En sistemas de onda estacionaria, como la cuerda de una guitarra, existen muchas frecuencias de resonancia dadas por los armónicos de la misma. Por lo que la cuerda vibrará con sonidos externos que tengan cualquiera de estas frecuencias.

El efecto de resonancia puede encontrarse en muchos fenómenos de la naturaleza, como, por ejemplo, el sonido, la luz, circuitos eléctricos con corriente alterna y hasta explica por qué los edificios se caen con los terremotos.

## **7.10 Efecto Doppler**

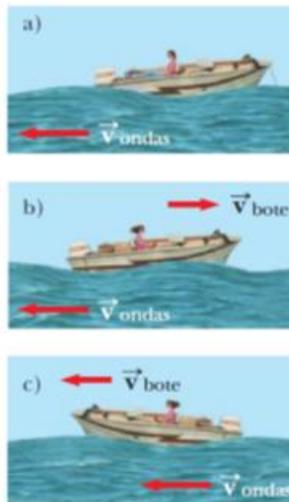
El efecto Doppler se puede escuchar al pasar un carro a alta velocidad cerca de donde nos encontremos. Si ponemos atención, el sonido del motor, de la música o hasta de la

bocina del carro cambiará de tono al pasar cerca de nosotros. Pero ¿cómo funciona el efecto Doppler?

Supongamos que estamos navegando en el mar sobre una lancha. En un momento determinado, la lancha se mantiene estática y únicamente las ondas del mar hacen que la lancha se mueva. Si medimos el tiempo que tarda entre cresta y cresta las ondas del agua podemos determinar su frecuencia. Supongamos que la frecuencia es de 3 ondas cada minuto. La frecuencia de las ondas será entonces de  $3/60$  Hertz o 0.05 Hertz. Ahora bien, supongamos que comenzamos a remar en la misma dirección de donde provienen las olas. Podremos notar que vamos a encontrarnos con una ola con mayor frecuencia. A pesar de que las olas tienen la misma frecuencia, nosotros percibimos una frecuencia relativa mayor debido a este movimiento. El efecto opuesto se percibiría al navegar en la dirección contraria. Si navegamos en la misma dirección de las olas, entonces la frecuencia relativa sería menor. Este cambio de frecuencia es lo que se conoce como Efecto Doppler.

**Figura 22**

Velocidad de una onda relativa a la velocidad de un cuerpo



Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (p. 483), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.

El mismo fenómeno ocurre tanto con el sonido como con la luz. Supongamos ahora que hay un guitarrista sobre el escenario y este guitarrista toca la nota Do. Sabemos que el sonido viaja en aire quieto a una velocidad de aproximadamente 343 m/s. Ahora bien, imaginemos que nos dirigimos hacia el guitarrista a una velocidad de 20 m/s. Como vamos hacia el guitarrista, la velocidad relativa entre el sonido y mi persona es de:  $v = v_{sonido} + v_{persona} = 343 \frac{m}{s} + 20 \frac{m}{s} = 363 \frac{m}{s}$ . Esta es la velocidad que tiene el sonido para nosotros.

Recordemos que la velocidad del sonido se puede determinar a partir de la frecuencia y la longitud de onda:

$$v_{sonido} = f\lambda$$

Entonces, si despejamos esta ecuación nos daremos cuenta de que la frecuencia del sonido va a depender de la velocidad del mismo en el medio y su longitud de onda:

$$f = \frac{v_{sonido}}{\lambda}$$

Ahora bien, si quisiéramos determinar la frecuencia del sonido conforme nos acercamos al guitarrista, entonces deberíamos de calcular:

$$f_{persona} = \frac{v_{sonido} + v_{persona}}{\lambda}$$

La longitud de onda se mantiene constante, por lo que si despejamos la ecuación de la velocidad del sonido con respecto de la longitud de onda obtenemos que:

$$\lambda = \frac{v_{sonido}}{f}$$

Combinando ambas ecuaciones obtenemos que la frecuencia percibida por la persona está dada por la siguiente fórmula:

$$f_{persona} = \frac{v_{sonido} + v_{persona}}{v_{sonido}} f$$

Ahora bien, supongamos que el guitarrista emite la nota La a 440Hz cuando comenzamos a correr hacia el guitarrista. Entonces, por el efecto Doppler, la frecuencia que nosotros percibimos sería de:

$$f_{persona} = \frac{363 \frac{m}{s}}{343 \frac{m}{s}} (440 \text{ Hz})$$

$$f_{persona} = 466 \text{ Hz Aproximadamente.}$$

Esto quiere decir que, si el guitarrista está interpretando la nota “La”, nosotros estaríamos percibiendo un “La sostenido”.

El efecto sería el contrario si nos alejamos del guitarrista, en ese caso, la fórmula cambiaría por:

$$f_{persona} = \frac{v_{sonido} - v_{persona}}{v_{sonido}} f$$

Lo que quiere decir que el tono que la persona escucharía sería más bajo. En el ejemplo específico que acabamos de analizar, el nuevo tono sería un “La bemol” aproximadamente.

Ahora bien, existe otro caso en el que la fuente de la onda se va acercando al observador. Esto se puede explicar con el siguiente experimento pensado. Supongamos que

una nave espacial envía señales a la tierra con una frecuencia de una señal cada año. La nave se encuentra a 5 años luz e imaginemos que viaja a 0.5 años luz por año. Al partir envía la primera señal que tarda 5 años en llegar a la tierra. Luego del primer año, la nave se encuentra a 4.5 años luz y vuelve a enviar la señal, la cual ahora tarda 4.5 años en llegar a la tierra.

Para un observador en la tierra, la primera señal llegó en el año 5, pero la segunda señal llegó en el año 5.5. Mientras que, para la nave espacial, la frecuencia de las señales era de una señal cada año. Para las personas en la tierra, la frecuencia era de 2 señales cada año.

En el caso del sonido, al estar cada vez más cerca la fuente de sonido, su longitud de onda va a cambiar:

$$\Delta\lambda = \lambda_{fuente} - \lambda_{observador}$$

Entonces la longitud de onda del observador será:

$$\lambda_{observador} = \lambda_{fuente} - \Delta\lambda$$

Podemos sustituir el cambio de la longitud de onda para obtener:

$$\lambda_{observador} = \lambda_{fuente} - \frac{v_{fuente}}{f_{fuente}}$$

Tenemos también que:

$$f_{observador} = \frac{v_{sonido}}{\lambda_{observador}}$$

$$f_{\text{observador}} = \frac{v_{\text{sonido}}}{\lambda_{\text{fuente}} - \frac{v_{\text{fuente}}}{f_{\text{fuente}}}}$$

$$f_{\text{observador}} = \frac{v_{\text{sonido}}}{\frac{v_{\text{sonido}}}{f_{\text{fuente}}} - \frac{v_{\text{fuente}}}{f_{\text{fuente}}}}$$

$$f_{\text{observador}} = \frac{v_{\text{sonido}}}{v_{\text{sonido}} - v_{\text{fuente}}} f_{\text{fuente}}$$

Esta fórmula nos dice que, si la fuente de sonido se acerca al observador, entonces la frecuencia aumenta y si la fuente de sonido se aleja del observador, entonces la frecuencia disminuye.

Finalmente, si tanto el observador como la fuente de sonido se aproximan con una cierta velocidad, la frecuencia que percibe el observador se obtiene con la siguiente fórmula:

$$f_{\text{observador}} = \frac{v_{\text{sonido}} + v_{\text{observador}}}{v_{\text{sonido}} - v_{\text{fuente}}} f_{\text{fuente}}$$

## 7.11 Ecualización

“El sonido de un instrumento o una voz está compuesto por una gran banda de frecuencia. Aún si un cantante emite una nota en específico en una frecuencia específica, esa nota está matizada por armónicos y sonidos resonantes que existen en otras frecuencias.” (Miller, 2016, p.348)

En una grabación cuando un instrumento o voz no suenan según lo deseado, se aplica un proceso conocido como ecualización, en donde se aumenta o disminuye el volumen de algunas frecuencias en el sonido. Por ejemplo, mediante la ecualización se puede aclarar el sonido de un bajo, se puede hacer que una voz suene más cálida o se puede hacer que una guitarra sobresalga.

Al aplicar la ecualización a una grabación, se puede ajustar el timbre de los instrumentos para que resalten sobre otros instrumentos que suenen similar, que tengan más presencia o, en general, para que suenen mejor según la pieza musical.

“Ecualización, es el proceso de ajustar el balance entre las diferentes frecuencias de una señal de audio. Un ecualizador paramétrico es un tipo de ecualizador en el que el rango de frecuencias es ajustable” (Miller, 2016, p. 350).

“Muchos ecualizadores proveen tres configuraciones que se pueden ajustar:

- La frecuencia que se desea subir o bajar.
- La cantidad que se desee subir o bajar de esa frecuencia.
- El nivel “Q” (Miller, 2016, p. 125)

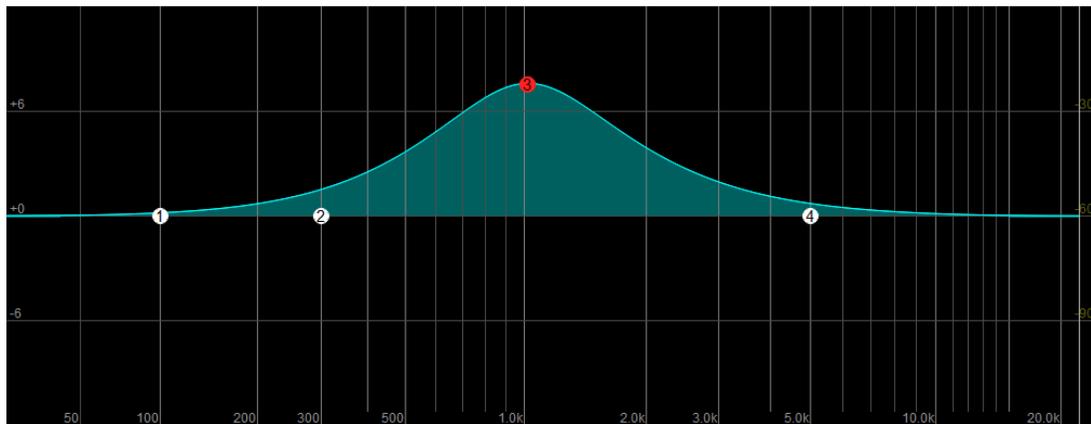
La frecuencia: El ecualizador nos permite elegir entre una o varias frecuencias en el rango de los 20 a los 20,000 Hz.

Boost/cut: Las perillas del ecualizador nos permiten aumentar o disminuir la intensidad de la/s frecuencia/s elegida/s.

Q: “El nivel Q especifica el ancho del rango de frecuencias que es afectado por las perillas de intensidad. Un nivel Q alto permite que únicamente una frecuencia sea modificada, mientras que un nivel Q bajo ensancha las frecuencias a ser modificadas. El nivel Q corresponde a un número de octavas a ser afectadas por el ecualizador. Por ejemplo, un Q de 0.7 afecta un ancho de banda de dos octavas, una Q de 1.4 afecta una octava y un Q de 2.8 afecta media octava.” (Miller, 2016, p. 345).

**Figura 23**

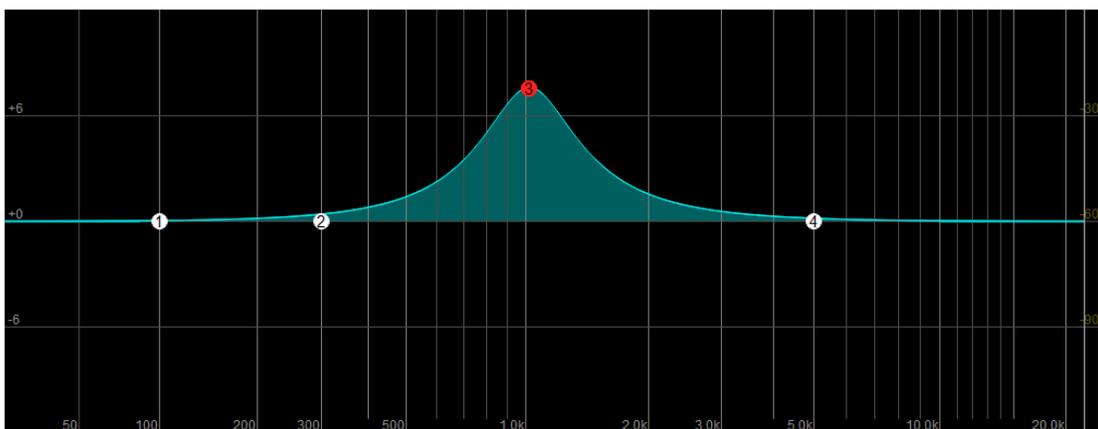
Ecualizador con un nivel Q de 0.7



Fuente: Figura de creación propia

**Figura 24**

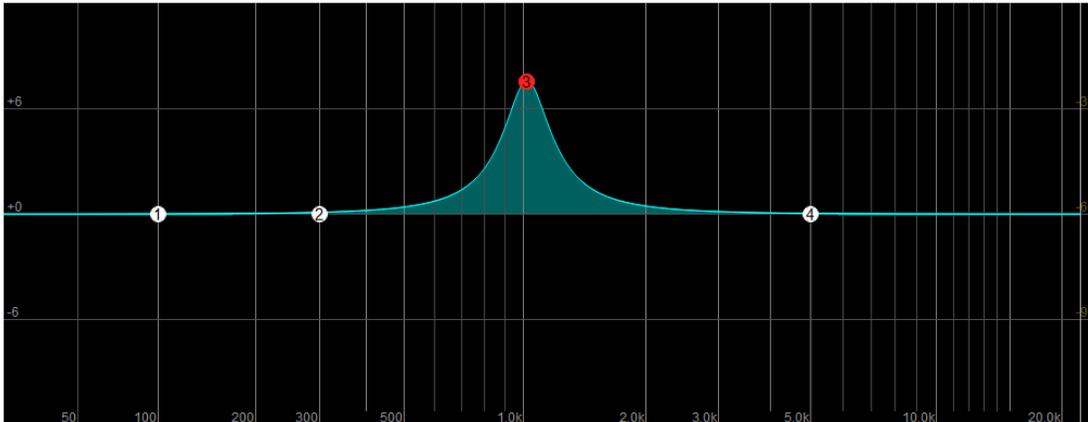
Ecualizador con un nivel Q de 1.4



Fuente: Figura de creación propia.

## Figura 25

Ecualizador con un nivel Q de 2.8



Fuente: Figura de creación propia.

Existen distintos tipos de ecualizadores en el mercado. El número de bandas nos dicen el número de frecuencias que podemos modificar. Por ejemplo, algunos ecualizadores únicamente pueden modificar 3 bandas. Estas están separadas en frecuencias bajas, medias y altas. Generalmente estos no permiten modificar el factor Q. Hoy en día los DAW vienen con ecualizadores que nos dan gran versatilidad a la hora de ecualizar un archivo de audio. Estos se pueden descargar de forma gratuita o pagando, dependiendo de la empresa que creó el plugin.

A continuación, se mencionarán algunos consejos para la ecualización de archivos de audio. Por supuesto la ecualización dependerá del proyecto en el que se esté trabajando por lo que estas son únicamente guías para tomar en cuenta.

### Voces

Generalmente no se desea aplicar mucha ecualización a las voces humanas a menos que se desee modificar ciertos defectos de la grabación, efectos especiales a la voz o si los instrumentos la opacan mucho y se desea que sobresalga. En este caso debe de utilizarse

un factor Q alto, para que se modifiquen únicamente algunas frecuencias y no un amplio rango de estas. Esto, para mantener la voz lo más pura posible.

“

- Si se puede escuchar ruido de baja frecuencia en la grabación, se pueden bajar todas las frecuencias por debajo de los 100Hz.

- Si el vocalista tiene un sonido suave y tenue, se puede disminuir la frecuencia de 100Hz.

- Para que la pista vocal sea más cálida y llena, intente aumentar las bandas de entre los 100 y 200Hz.

- Para reducir la nasalidad en la voz, disminuya las frecuencias en el rango de los 1000 a los 2000Hz.

- Para reducir la aspereza de la voz, disminuya el rango de frecuencias de los 2500 a los 4000Hz.

- Para mejorar la proyección y para ayudar a que la voz sobresalga en la mezcla, agregue un poco de intensidad a las frecuencias entre 2500 y 3000 Hz (Para los hombres) o 3000 a 3500 Hz (Para las mujeres). También intente aumentar las frecuencias cercanas a 500Hz (hombres) o 1000 Hz (mujeres).

- Para agregar presencia a una pista vocal y para ayudarla a sobresalir en la mezcla, aumente moderadamente alrededor de los 5000 Hz.

- Para que las voces suenen más brillantes, aplique un aumento moderado a las frecuencias por encima de los 6000Hz.

- Para reducir el sonido de s o sh, disminuya en el rango de los 4000 a los 8000 Hz.

- Para agregarle algo de “aire” a las voces, aumente la intensidad en un rango de frecuencias amplio entre los 14000 y los 16000 Hz.

## **Piano acústico**

Un piano bien grabado no debería de necesitar mayor modificación en la ecualización. Si embargo, si se desea que tenga más presencia se pueden considerar los siguientes cambios:

- Para que el piano suene más lleno, aumente las frecuencias entre 60 y 120Hz.
- Para agregar calidez, aumente el rango de entre 100 y 200Hz.
- Para mejorar la claridad, aumente los 2500Hz.
- Para agregarle “aire” aumente la intensidad en el rango de los 8000 a los 15000Hz.

## **Guitarra acústica**

Al igual que con los pianos acústicos, una guitarra bien grabada debería de mantenerse sin cambio en la ecualización. Sin embargo, si su guitarra acústica se pierde en la mezcla, considere los siguientes cambios:

- Para reducir la fricción de las cuerdas, reduzca las frecuencias por debajo de los 60Hz.
- Para reducir alguna distorsión, reduzca las frecuencias de entre 80 y 150 Hz.
- Para reducir asperezas, reduzca las frecuencias entre los 1000 y los 3000 Hz.
- Para agregar calidez y cuerpo durante los solos, aumente un poco las frecuencias entre los 120 y los 200 Hz.
- Para agregarle definición al sonido, aumente alrededor de los 2000Hz. Tenga cuidado, demasiado aumento aquí hace que el instrumento suene áspero.
- Para agregarle un poco de brillo al sonido, aumente las frecuencias entre los 5000 y los 10000Hz.

### **Pistas de guitarra eléctrica**

- Remueva el sonido de baja frecuencia quitando todas las frecuencias debajo de los 100Hz.
- Mejore el sonido de guitarras rítmicas aumentando las frecuencias de entre 3,000 y 6,000 Hz.
- Reduzca el sonido retumbante al remover las frecuencias de entre 100 y 250Hz.
- Cree un sonido más lleno al aumentar el rango de entre 150 y 400 Hz.
- Reduzca el sonido encajonado al cortar las frecuencias en el rango de entre 250 y 500Hz.
- Mejore la claridad al incrementar el rango de entre 900 y 3500 Hz.
- Agréguele presencia a la guitarra principal aumentando las frecuencias de entre 2000 y 6000 Hz.
- Remuévale el silbido de alta frecuencia disminuyendo todas las frecuencias por encima de 4000 Hz.
- Para separar dos guitarras rítmicas en su mezcla, aumente los 3,000Hz en una y los 4,000Hz en la otra, lo cual, debería de darle a cada una una textura tonal ligeramente diferente.

### **Pistas de bajo**

- Remueva el sonido retumbante al disminuir las frecuencias en el rango de entre los 40 y los 80Hz.
- Si el bajo es muy retumbante, disminuya las frecuencias de entre los 180 y los 200Hz.
- Si el bajo no tiene presencia en la mezcla, aumente los armónicos superiores del instrumento entre los 200 y los 600 Hz.
- Mejore la articulación y agregue el sonido de los trastes al aumentarle en el rango de los 1,000 a los 12,000Hz.

- Cree un sonido más cálido al quitarle el rango entre los 12,000 y los 18,000Hz.

- Para las baladas, intente aumentarle las frecuencias de 100 y 500Hz y quitarle las frecuencias de 300 y 12000 Hz.

- Para un sonido más agresivo, aumente el rango de entre los 1000 y los 2000 Hz y aplique una disminución a los 200Hz.

- Para un sonido similar al de los Beatles, agréguele un aumento leve a los 100Hz.

- Para un sonido de tipo western, aplíqueles un aumento a las frecuencias de 100 y 1000Hz y disminuya las frecuencias de entre 200 y 250Hz.

- Para un sonido de tipo Motown, aplíquele un aumento leve a los 100 y 200Hz y disminuya los 5000Hz.

### **Pista de batería**

En lo que respecta a la batería, el secreto es ecualizar cada tambor por separado, ya que cada tipo de tambor y plato tienen distintas características sonoras y necesidades de ecualización.

- Para el bombo, aplíqueles un leve aumento a las frecuencias entre los 80 y los 100Hz y remueva las frecuencias de entre 200 y 500Hz, y aplíquele un aumento leve a los 2500Hz. Mientras más se le aumente al rango de entre los 80 y los 100Hz, mayor presencia tendrá el bombo.

- Si lo que desea es que el bombo tenga más ataque, aumente las frecuencias en el rango de entre los 2000 y los 4000 Hz.

- Si el bombo suena con demasiado turbio, disminuya el rango de entre los 200 y los 2000Hz.

- Para música de tipo dance, agréguele un aumento adicional a los 4000Hz.

- Para metal y estilos similares, agréguele bastante volumen a los 10000Hz.

- Para el redoblante, agrégueles un aumento leve a las frecuencias entre 100 y 300Hz, 1000 y 3000Hz, 5000 y 8000Hz y 9000 y 15000Hz.

- Para un sonido más pesado, aumente aún más entre los 100 y los 200Hz.

- Para eliminar sonido indeseado del redoblante, disminuya el rango de entre los 400 y los 800Hz. Note, que, si la disminución es demasiada, el redoblante perderá presencia y comenzará a sonar muerto.

- Para los toms, agréguele un poco a las frecuencias entre 800 y 100Hz, y disminuya de entre los 300 y los 500Hz, y aumente las frecuencias entre 5000 y 8000hz y entre 9000 y 12500Hz.

- Para un sonido más explosivo de los toms, aumente en algún lugar entre los 100 y los 300Hz, dependiendo del tom.

- Para el hi-hat, disminuya entre los 60 y los 120Hz y aumentele un poco a los 7000 y los 10000Hz y entre los 200 y 300Hz.

- Si los hi-hats son demasiado brillantes, disminuya los 9000Hz.

- Para agregarle un poco de vida y aire al ride y el crash, aplíquele un poco de aumento a las frecuencias por encima de los 6000Hz.

En general, cuando se desea que un instrumento sea absorbido por la mezcla, se le deben de bajar las frecuencias superiores un poco. Si se desea que un instrumento sobresalte, disminuya las frecuencias más bajas.” (Miller 2016, pp. 3581- 3653)

### **7.11.1 Creando agujeros con la ecualización**

Con la ecualización podemos ajustar el timbre de un sonido y para abrirle paso a ciertos instrumentos o voces en la mezcla. El uso más común es para hacer que las voces sobresalgan. Debido a que la inteligibilidad de las voces yace en el rango de entre los 1000 y los 4000Hz, si se le baja este rango a los demás instrumentos, como las guitarras y los teclados, se reducirá el traslape con las voces. Esto hace que las voces sean más fáciles de escuchar y entender en la mezcla.

La ecualización también se utiliza para reducir la competencia entre dos instrumentos similares.

## 7.12 Síntesis

“La síntesis sonora es el proceso de producción de sonido. Puede utilizar sonidos existentes al procesarlos o puede generar sonido electrónica o mecánicamente. Puede utilizar matemática, física o hasta la biología; e involucra al arte y la ciencia en una mezcla de habilidad musical y conocimiento técnico.” (Russ, 2009, p.4)

Se puede considerar como “sintetizador” todos aquellos medios que producen sonido de manera sintética. Bajo este concepto, cualquier instrumento musical puede considerarse un sintetizador, hasta la voz humana se puede considerar un sintetizador sonoro. Sin embargo, en la gran mayoría de casos, se piensa como sintetizadores a los equipos electrónicos que se utilizan para la generación de sonidos “artificiales”.

Los sonidos sintetizados pueden dividirse en dos grandes categorías: Los sonidos imitativos y los sonidos sintéticos. Los sonidos imitativos son aquellos que tratan de emular el sonido de un instrumento real, mientras que los sonidos sintéticos, son aquellos que no se parecen a ningún sonido que se encuentre en la naturaleza o que se puedan producir con algún otro tipo de instrumento. Esta clasificación de sonidos se puede observar en los teclados comerciales, en donde encontramos sonidos con el nombre de: piano, violín, flauta, etc, que suenan muy similares a los instrumentos reales. Encontramos también sonidos con el nombre de synth, en donde se reproducen sonidos de carácter electrónico y artificial.

### 7.12.1 Síntesis análoga

Según Russ, 2009, “Análogo” se refiere al uso de señales de audio para la generación de sonidos. Para esto se utilizan dispositivos tales como osciladores, filtros y amplificadores. Los métodos de síntesis análoga pueden dividirse en tres áreas básicas:

1. Sustractiva.
2. Aditiva.
3. Tabla de ondas.

### **7.12.1.1 Síntesis sustractiva**

“La síntesis sustractiva toma un sonido crudo, el cual usualmente contiene muchos armónicos y los filtra para remover algo del contenido armónico. Los sonidos crudos son tradicionalmente ondas matemáticas simples: Cuadrados, dientes de sierra, triángulo y sinusoidales.” (Russ, 2009, p. 8)

### **7.12.1.2 Aditiva**

“La síntesis aditiva junta muchas ondas sinusoidales con diferentes frecuencias para producir el timbre final. El problema principal con este método es la complejidad de contralar un gran número de ondas sinusoidales.” (Russ, 2009, p. 9)

## **7.12.2 Envolventes**

Los envolventes son los tiempos que tardan las etapas de un sonido en realizarse. Básicamente dictan la forma que tendrá el volumen en un sonido. Existen 4 tipos de envolventes:

Attack (Ataque): Es el tiempo que tarda el sonido en alcanzar su volumen máximo.

Decay (Decaimiento): Es el tiempo que tarda el sonido en decaer a un estado estable.

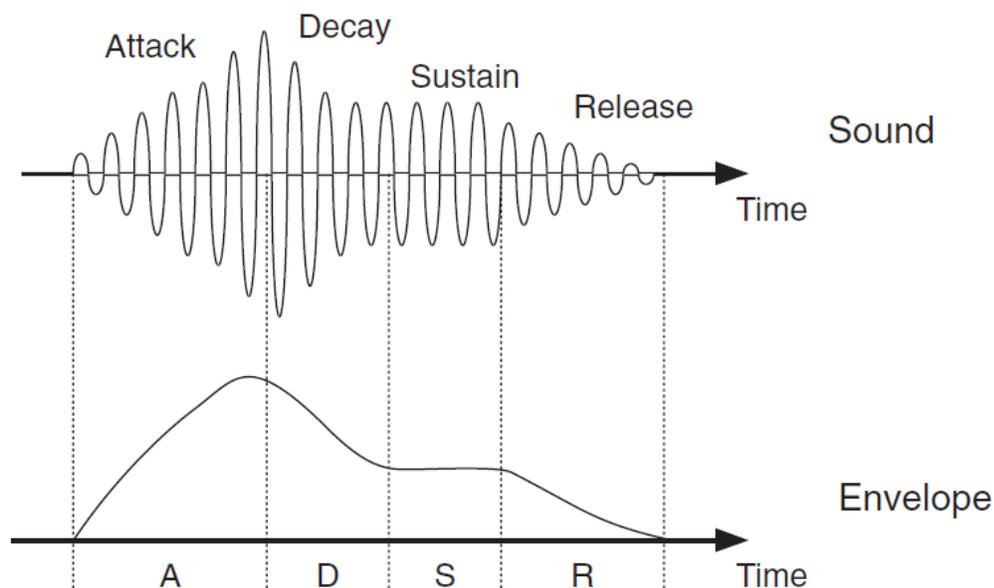
Sustain (Sostén): Es el tiempo que el sonido se mantiene estable.

Release (Liberación): Es el tiempo que tarda el sonido en apagarse.

Instrumentos como los violines, violas y cellos tienen envolventes de larga duración, mientras instrumentos pulsados, como la guitarra, tienen un ataque corto.

**Figura 26**

Partes en inglés de la envolvente de un sonido.



Fuente: Tomado de *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). (p.44) (2009). Focal Press.

### 7.12.3 Osciladores

Los osciladores son equipos de laboratorio que crean ondas sinusoidales. Estos se utilizaban para crear efectos de sonido antes de la creación de los sintetizadores, pero eran muy sensibles a cambios de temperatura y otras condiciones ambientales, por lo que era muy difícil utilizarlos para la creación de música.

### 7.12.4 Análogo y digital

“La palabra ‘análogo’ se refiere a que un rango de valores es presentado de una forma continua en lugar de una forma discreta. La palabra ‘Discreto’ significa que se utilizan

valores finitos tomados en intervalos regulares. La síntesis digital utiliza valores discretos.” (Russ, 2009 p. 9).

Los sintetizadores análogos entonces son aquellos que utilizan voltajes y corrientes para la creación de señales de audio continuas. La electrónica análoga es muy útil para la producción de sonido. Por ejemplo, en un disco de vinil, el movimiento mecánico causado por la fricción entre la aguja y el disco se convierte en señales eléctricas que luego se amplifican para la reproducción de sonido. Un casete utiliza una cinta magnética la cual utiliza campos magnéticos variables para la producción de sonido.

Cuando se habla de sintetizadores análogos, generalmente se refiere a equipos que contienen osciladores controlados por voltaje (VCO) o filtros controlados por voltaje (VCF). Los sintetizadores análogos son especialmente útiles para la producción de sonidos artificiales como los relacionados comúnmente con instrumentos sintetizadores. Estos no son muy buenos reproduciendo sonidos “reales”.

Los sintetizadores digitales utilizan representaciones numéricas de las señales de audio y control. Estos pueden utilizar grabaciones de alta fidelidad para darle más realismo a los sonidos generados.

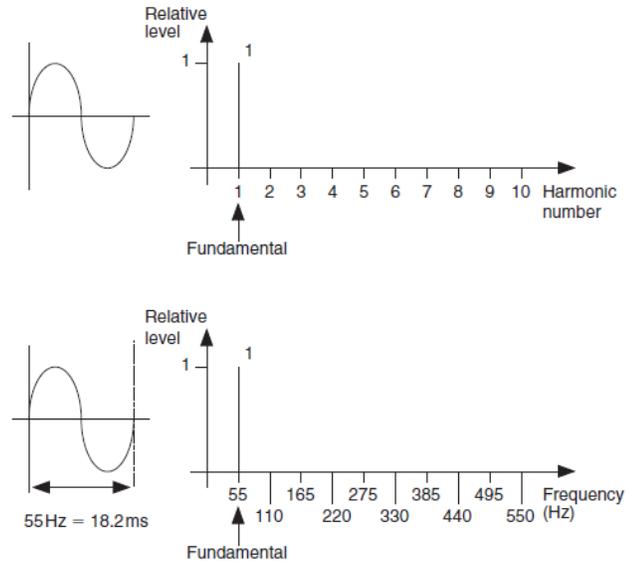
#### **7.12.5 Contenido armónico de las distintas formas de ondas**

La forma de onda más sencilla es la onda sinusoidal. Como se muestra en la figura 27, esta es una onda suave que tiene la forma de la gráfica de la función seno. Esta únicamente tendrá una frecuencia (la fundamental).

La forma de onda triangular tiene dos pendientes lineales. Esta se forma con pequeñas cantidades de armónicos impares, como se muestra en la figura 28.

**Figura 27**

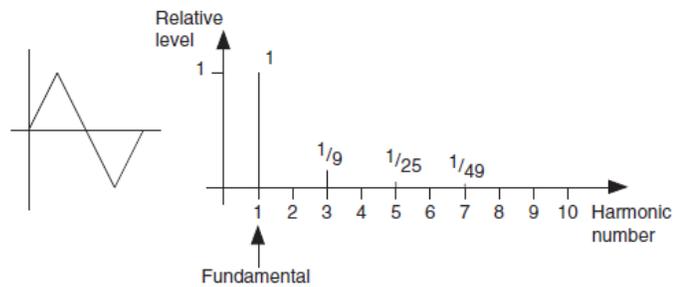
Contenido armónico de distintas ondas.



Fuente: Tomado de *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). (p.109) (2009). Focal Press.

**Figura 28**

Onda triangular.

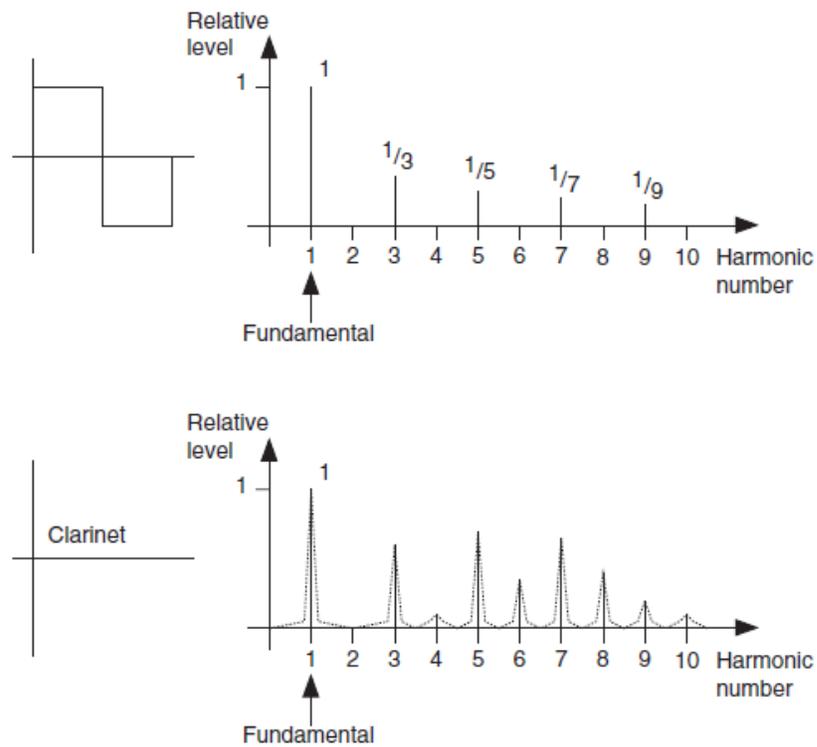


Fuente: Tomado de *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). (p.110) (2009). Focal Press.

La forma de onda cuadrada contiene únicamente armónicos impares.

**Figura 29**

Onda cuadrada.

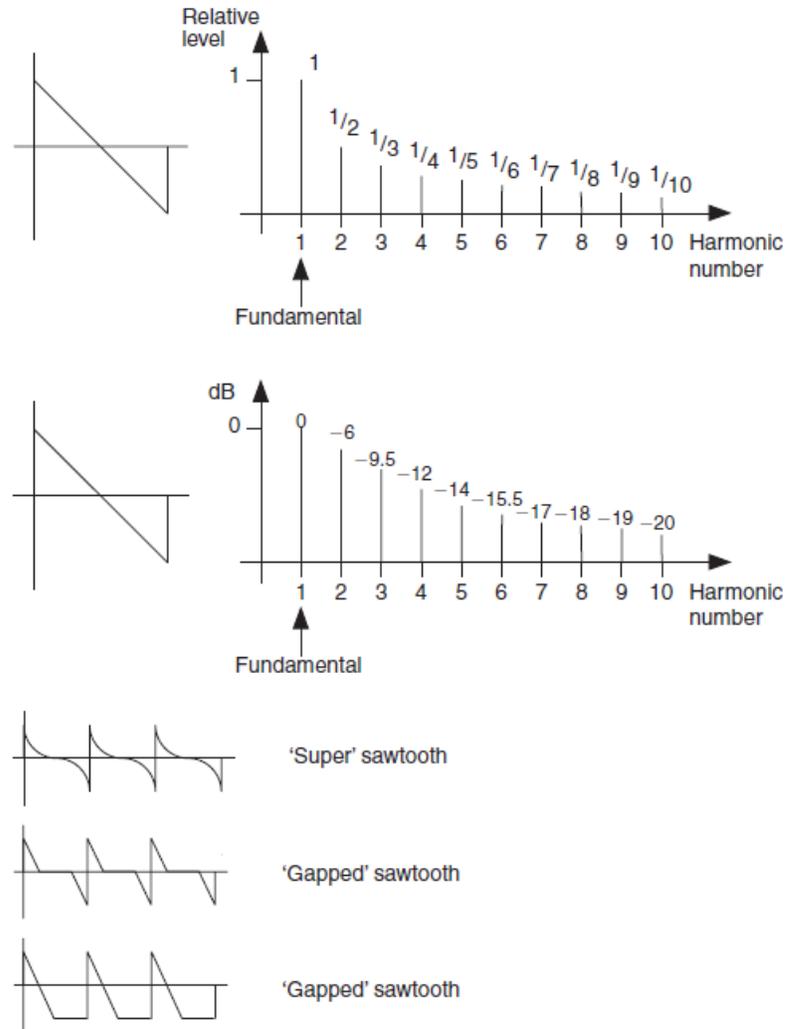


Fuente: Tomado de *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). (p.110) (2009). Focal Press.

La forma de onda de diente de sierra contiene los dos tipos de armónicos, impares y pares.

**Figura 30**

Onda de diente de sierra.

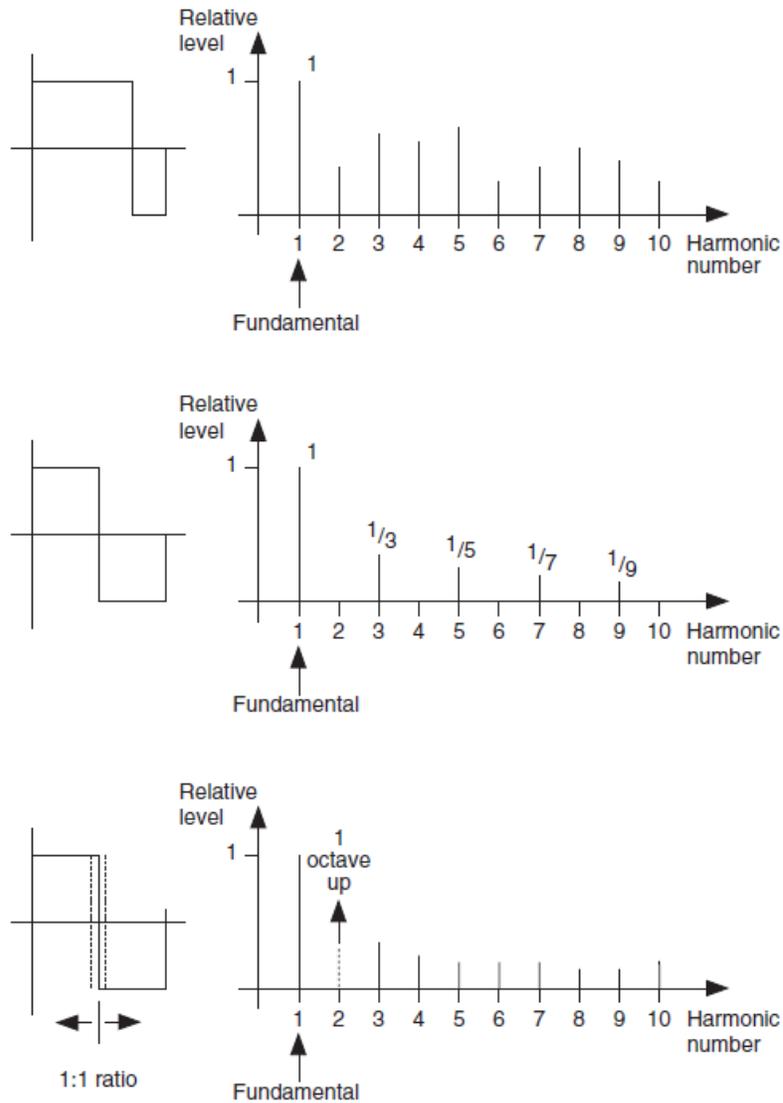


Fuente: Tomado de *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). (p.111) (2009). Focal Press.

Dependiendo de la razón entre las dos partes, las formas de onda de pulso pueden contener los dos tipos de armónicos, impares y pares, a pesar de que no todos los armónicos están presentes.

**Figura 31**

Ondas varias



Fuente: Tomado de *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). (p.112) (2009). Focal Press.

### **7.12.6 Modificadores**

Existen dos tipos de modificadores mayores, los filtros y los amplificadores. Los filtros se encargan de modificar el contenido armónico o el timbre del sonido. Los amplificadores se encargan de modificar el volumen del sonido. Entre los filtros podemos encontrar los filtros pasa bajas, pasa altas, pasa banda y notch.

Los filtros pasa-bajas atenúan las frecuencias altas del sonido, permitiendo únicamente que las frecuencias bajas suenen. Los filtros pasa-altas atenúan las frecuencias bajas del sonido, dejando que únicamente suenen las frecuencias altas. Los filtros pasa-banda permiten que pasen únicamente las frecuencias en un rango determinado. Los filtros notch, hacen lo opuesto a un filtro pasa-banda, estos atenúan las frecuencias en un rango determinado.

### **7.12.7 Síntesis aditiva**

Mientras en la síntesis sustractiva se toma un sonido armónicamente rico y se eliminan las frecuencias hasta quedar con una sola o con pocas, en la síntesis aditiva se hace lo opuesto. Se toman varias ondas sinusoidales y se crea un sonido final.

La síntesis aditiva surge con el trabajo de Fourier, quien fue el primero en indicar que una onda irregular repetitiva puede ser construida al sumar distintas ondas sinusoidales con distintas amplitudes. La manera más sencilla de hacer esto es mezclando ondas cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental.

### **7.12.8 Análisis armónico**

Para conocer los niveles de cada armónico, se puede tomar la grabación de un instrumento musical y filtrar cada armónico mientras se miden los niveles del mismo. Por ejemplo, supongamos que tocamos una nota en el piano a 220Hz. Entonces medimos los armónicos a 440Hz, 660Hz, 880Hz, 1100Hz, 1320Hz, etc. Junto con sus niveles sonoros. Estos datos pueden después ser utilizados para sintetizar este sonido y manipularlo a voluntad. Es importante incluir los envolventes a este sonido para que suene más realista.

## **8 Marco metodológico para el modelo de trabajo profesional**

### **8.1 Investigación**

En el modelo de trabajo profesional se diseñó un curso a nivel universitario, de un semestre de duración, sobre los principios físicos del sonido y su aplicación en la música. También se propuso un pensum, diseñó un manual de laboratorio y se propusieron prácticas de laboratorio sonoro a realizar en el transcurso del curso.

Durante este trabajo se realizó una investigación de tipo cualitativo con un enfoque de fuentes secundarias. Se eligió este enfoque ya que se desea recopilar la información necesaria de libros de texto, manuales de laboratorio y experiencias previas en la enseñanza de la teoría del sonido aplicada a la música para la planificación del curso y elaboración de las prácticas de laboratorio.

Se utilizaron motores de búsqueda para la información a recopilar como Google Académico, EBSCO host, EBSCO Ebooks y RESEARCH4LIFE. Además de literatura publicada sobre física, manejo de Daws, creación de currículum y evaluación.

Se comenzó investigando la teoría que sustenta cada uno de los temas a dar durante el curso, para luego proceder a la planificación del curso. Cada sesión consistirá en tres etapas: Activación de presaberes, desarrollo del tema y evaluación. Dentro de la planificación se incluyó material de apoyo como: literatura, presentaciones, videos, gráficas y recursos digitales, además de una guía de las actividades a realizar durante el curso.

El presente trabajo se limitó a la creación de la planificación del curso junto con los distintos recursos didácticos a utilizar durante el mismo. También se incluyó un manual para realizar las distintas actividades de laboratorio que se planeen para el curso.

## **8.2 Validación de la propuesta de modelo de trabajo profesional**

La propuesta de modelo de trabajo profesional fue validada por pares y expertos. Durante el proceso de creación del trabajo se contó con la asistencia del asesor de trabajo de graduación y al finalizar fue presentado ante una terna de profesionales que validaron el mismo. Para reforzar los resultados, fue revisada por los licenciados: Ing. Erwin Haroldo Ramírez Castillo y Lic. Carlos Francisco Barrios Centeno, quienes son catedráticos de acústica y teoría musical de distintas universidades del país. Ellos propusieron algunos cambios y aspectos a agregar en el trabajo final.

## 9 Resultados

Durante la realización del presente trabajo, se diseñó un curso a nivel universitario de un semestre de duración sobre los principios físicos del sonido y su relación con la música. El nombre del curso es: “Física del Sonido y su Aplicación en la Música”. Como parte del diseño, se creó una guía didáctica en donde se propone un pensum a seguir e incluye aspectos como:

- El tiempo que dura cada unidad.
- Las metas de aprendizaje de la unidad.
- El temario de cada unidad.
- Las actividades de cada unidad.
- Recursos Web para el estudio del curso.
- Ponderación de las actividades.
- La carga académica.

Además, se realizó una planificación por clase en donde se incluyen presentaciones, material audiovisual y actividades de evaluación. Para casa sesión se preparó un mínimo de tres actividades de laboratorio de física del sonido a realizar: dos de tipo sincrónico y uno de tipo asincrónico.

Todas las actividades se resumen en un manual de laboratorio que está destinado a ser entregado a cada estudiante en el momento de llevar el curso. Todo este material puede ser encontrado en el área de anexos.

## **10 Análisis de resultados y discusión**

Después de presentar el producto diseñado durante el trabajo de graduación a las autoridades de la universidad, a docentes del área de música y a la terna evaluadora, se espera que el material sea aprovechado y que este curso o cursos similares sean implementados dentro del currículum de las distintas carreras en música ofrecidas tanto por la Universidad del Valle de Guatemala como por otras universidades que ofrezcan carreras en música. Esto, con el afán de brindar mayores oportunidades de entendimiento del funcionamiento del sonido al músico guatemalteco y de innovación sonora por parte de este. Estamos seguros de que el curso funcionará, que cursos de este tipo son necesarios para promover una educación integral a los músicos del país y que este curso les permitirá a los estudiantes experimentar con la ciencia detrás de la música al mismo tiempo que explotan su creatividad y crean productos nuevos e innovadores.

Se compartió con catedráticos del curso de acústica de otras instituciones para la revisión y comentarios del contenido de este trabajo, dando como resultado comentarios favorables para su aplicación en las carreras de música, tecnología acústica y producción.

Tras la revisión del curso, se observó que el curso está bien estructurado, dosificado y su planeación es lógica, de fácil asimilación para cualquier persona que esté iniciando en estudios musicales.

## 11 Conclusiones

- El curso: “Física del Sonido y su Aplicación en la Música” engloba de una manera accesible al músico promedio los temas físicos que explican el funcionamiento del sonido y sus cualidades.
- El curso le brinda a los estudiantes las herramientas necesarias para que puedan modificar el sonido a voluntad y que puedan explorar y modificar los distintos sonidos que pueden encontrar a su alrededor.
- El curso le permite al estudiante comprender de una manera más profunda el por qué del funcionamiento de los distintos instrumentos musicales y útiles sonoros.
- Al comprender los conceptos incluidos en el curso, el estudiante podrá crear instrumentos musicales y útiles sonoros con los materiales que tenga a su disposición, los cuales podrán ser utilizados durante su labor docente y en sus creaciones musicales.
- El manual de laboratorio está diseñado para que el estudiante de música pueda experimentar con materiales que están a su alcance los distintos principios físicos que explican el funcionamiento del sonido.
- Los temas incluidos en el curso “Física del Sonido y su Aplicación en la Música” está diseñado para cubrir algunos temas importantes en la formación de un músico que actualmente no están contemplados en el pensum de la carrera de Licenciatura en Educación Musical.

## 12 Recomendaciones

- ✓ Tomando en cuenta el avance en la tecnología disponible para los músicos actualmente, se recomienda que la implementación del curso “Física del Sonido y su Aplicación en la Música” en las carreras a nivel universitario de música en las distintas instituciones de educación superior del país. Esto debido a que el estudio de la música, al ser considerada un área humanista, pasa por alto los conceptos físicos que explican el funcionamiento del sonido. Es importante que los músicos estén conscientes del funcionamiento del sonido, ya que es la materia prima de la música en sí.
  
- ✓ Se recomienda diseñar más actividades de laboratorio, además de las propuestas en el presente trabajo, para enriquecer el curso y que los conceptos tratados en el mismo estén más al alcance de los estudiantes de música del país.
  
- ✓ Se recomienda el diseño e implementación de cursos a nivel universitario en donde se incite al estudiante a manipular los sonidos de su medio para su uso en la creación artística.

## 13 Referencias bibliográficas

- *¿Cómo oímos?* (n.d.). NIDCD.  
<https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/como-oimos>
- Eargle, J. (1989). *Handbook of Sound System Design*. Elar Publishing Company.
- Encuentro de Consejos Escolares Autonómicos y del Estado (18º.2008. Bilbao). (2008). *Las Competencias Educativas Básicas* (1a ed.). Vitoria-Gasteiz : Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2009.
- Gallardo, K. E. (2009). *La Nueva Taxonomía de Marzano y Kendall: una alternativa para enriquecer el trabajo educativo desde su planeación*.
- Gibson, D. I. (2005). *The Art of Mixing: A Visual Guide to Recording, Engineering, and Production*.  
[https://openlibrary.org/books/OL708727M/The\\_art\\_of\\_mixing](https://openlibrary.org/books/OL708727M/The_art_of_mixing)
- Gimeno Sacristán, J. (2007). *El Curriculum: Una Reflexión Sobre la Práctica* (9a ed.). Ediciones Morata, S.L.
- Miller, M. (2016). *Miller, 2016* (1a ed.). Dorling Kindersley Ltd.
- Ratto, M. C. (1999). *Teoría y diseño curricular* (2a ed.). Trillas.

- Russ, M. (2009). *Sound Synthesis and Sampling* (3rd ed.). Focal Press.
- Samplertini, J. (2009). *Grabando en Casa* (1st ed.). Editorial Dunken.
- Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Chapters 1-46*. Brooks/Cole Publishing Company.
- Tippens, P. E. (2011). *Física: conceptos y aplicaciones* (7a ed.). Mc. Graw Hill.
- Tobón, S., Pimienta, J. H., & García, J. A. (2010). *Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias* (1a ed.). Prentice Hall.
- Yela, S. J. (2011). *Herramientas de Evaluación En el Aula* (3a ed.). USAID y Ministerio de Educación de Guatemala.
- Young, H. D., & A, F. R. (2009). *Física universitaria 01* (12a ed., Vol. 1). Addison - Wesley.

## 14 Anexos

### 14.1 Diseño del curso

**Curso:** Física del sonido y su aplicación en la música

#### Fase de diseño

##### Selección, dosificación, secuenciación, evaluación

Defina contenido, estructura y secuencia de sus unidades, para ello llene las siguientes tablas.

Curso: Física del sonido y su aplicación en la música		
Unidad de presentación del curso		
¿Qué elementos incluirá su presentación del curso?	Tipo	<b>Por ejemplo:</b> Video de bienvenida al curso (video) Programa del curso (texto en plataforma y descargable en pdf) Metodología (animación)
<b>Presentación del curso.</b>	Presentación en línea alojada en plataforma CANVA	
<b>Kahoot</b>	Examen de tipo diagnóstico alojado en la	

	plataforma Kahoot	
<b>Video Introductorio</b>	Video alojado en youtube sobre física del sonido.	

Antes de llenar las tablas que corresponden a la Unidad 1 y Unidad 2. Observe el siguiente ejemplo:

<b>Curso: Introducción a la estadística</b> <b>Unidad 1: Fundamentos, comprendiendo la importancia de la estadística</b> <b>Duración: del ___ al ___ (1 semana)</b>					
Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y sub-temas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprender la importancia de la estadística, a través de preguntas de reflexión aplicadas al contexto empresarial</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Definición de Estadística               <ol style="list-style-type: none"> <li>Tres escenarios para entender la estadística.</li> </ol> </li> <li>Ejemplos de la estadística en la vida cotidiana Ejemplos de cómo las estadísticas pueden dar credibilidad a un argumento</li> <li>Definiciones y ejemplos de Estadística</li> <li>Descriptiva e inferencial</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Lectura del material en línea</li> <li>Actividad 1.1 Elaboración de un mapa conceptual, que represente los principales conceptos, estadísticos vistos en la unidad</li> <li>Solución de un caso</li> <li>Quiz</li> </ol>	<p><a href="#">¿Qué es un mapa conceptual?</a></p> <p>Para elaborar su mapa conceptual puede utilizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><a href="#">Mindmeister</a></li> <li><a href="#">Bubbl.us</a></li> <li><a href="#">Mindomo</a></li> <li><a href="#">Wisemapping</a></li> <li><a href="#">Mind42</a></li> </ul>	<p>Actividad 1.1 10 pts.</p> <p>Solución del caso 5 pts.</p> <p>Quiz 5 pts.</p> <p>15 pts. Para esta unidad de la nota total.</p>	<p><b>Lectura de la unidad = 1 ½ hora.</b></p> <p><b>Actividad 1.1 = 30 minutos</b></p> <p><b>Solución del caso = 1 hora.</b></p> <p><b>Quiz = 10 minutos</b></p> <p><b>3 hrs. Aproximado</b></p>

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música

**Unidad 1:** ¿Qué es el sonido?

**Duración:** 3 Sesiones de 90 minutos cada una

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	Explica el funcionamiento de la afinación de una guitarra haciendo uso de los conceptos básicos aprendidos en clase sobre ondas transversales y longitudinales	Conceptos básicos sobre qué es el sonido, movimiento ondulatorio, ondas transversales, ondas longitudinales, propagación de una perturbación, frecuencia, período, amplitud, longitud de onda, modelo matemático de una onda y rapidez de propagación de una onda.	-Saludo y activación de presaberes: Se discute brevemente el tema del sonido. Se le solicita a los estudiantes que guarden silencio y que describan lo que escuchan. ¿De donde proviene? ¿Qué características	<a href="#">Presentación</a>  <a href="#">Kahoot:</a> 	Evaluación Diagnóstica. Preguntas a los estudiantes sobre generalidades del sonido y funcionamiento de sus instrumentos musicales. (0 pts)	Saludo y activación de presaberes (30 min)  Desarrollo (60 min)  Actividad sincrónica (45 min)  Actividad asincrónica (30 min)

			<p><b>tienen los sonidos que escuchan?</b></p> <p><b>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre la naturaleza del sonido.</b></p> <p><b>Ejemplo: Para ustedes, ¿Qué es el sonido? ¿Qué saben sobre el funcionamiento de sus instrumentos? ¿Cómo piensan que viaja el sonido por el espacio?</b></p>			<p><b>Cierre y despedida (15 min)</b></p>
--	--	--	---	--	--	---

			<p><b>Desarrollo:</b></p> <p><b>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</b></p> <p><b>Actividad sincrónica: Ondas transversales y ondas longitudinales.</b></p>		<p><b>Evaluación formativa.</b></p> <p><b>Creación de ondas transversales haciendo uso de cuerda e identificación de las características físicas de la onda: Amplitud, frecuencia, etc. Creación de ondas longitudinales haciendo uso de un slinky e identificación de las características físicas de la</b></p>	
--	--	--	---	--	--	--

			<b>Actividad asincrónica: Afinación de la guitarra.</b>	<b>onda: Amplitud, frecuencia, etc. (5pts)</b>  <b>Actividad asincrónica en donde los estudiantes identifican el tipo de onda y observan las características de las ondas formadas al pulsar las cuerdas de una guitarra. (5pts)</b>  <b>Uso de un kahoot al final de la clase para recapitular los</b>	
--	--	--	---	---	--

			<b>Cierre:</b> <b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b>		<b>temas vistos durante la misma. (0pts)</b>	
--	--	--	---	--	--	--

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música

**Unidad 2:** Ondas y su relación con el sonido: Las ondas longitudinales y cómo se transmite el sonido por distintos medios.

**Duración:** 3 Sesiones de 90 minutos cada una

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	Explica el funcionamiento de instrumentos de cuerdas, de viento y de percusión a partir del concepto de ondas estacionarias.	El sonido como onda longitudinal, velocidad del sonido, reflexión y transmisión de pulsos y ondas, ondas estacionarias transversales, ondas estacionarias longitudinales, ondas estacionarias en barras y membranas.	<p>-Saludo y activación de presaberes: Se realiza un Genially sobre los temas de ondas y características de las ondas.</p> <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos</p>	<p><a href="#">Genially:</a></p>  <p><a href="#">Presentación:</a></p>	Evaluación formativa usando Genially. Preguntas a los estudiantes sobre funcionamiento de los instrumentos musicales de cuerdas, de	<p>Saludo y activación de presaberes (30 min)</p> <p>Desarrollo (60 min)</p> <p>Actividad sincrónica (45 min)</p> <p>Actividad asincrónica (30 min)</p>

			<p>previos con preguntas sobre el funcionamiento de los instrumentos de cuerdas, viento y percusión.</p> <p>Ejemplo: Describan, ¿cómo funciona una guitarra? ¿Por qué al presionar las cuerdas sobre los trastes cambia de tono? ¿Cómo funciona una flauta? ¿Por qué al tapar los agujeritos de la flauta cambia el sonido? ¿Cómo funciona una marimba?</p> <p><b>Desarrollo:</b></p>	 <p><a href="#">Simulador de ondas sonoras:</a></p>  <p><a href="#">Simulador 2:</a></p>  <p><a href="#">Video Demostrativo:</a></p>	<p>viento y percusión afinada. (0pts)</p> <p><b>Evaluación Formativa.</b></p>	<p>Cierre y despedida (15 min)</p>
--	--	--	---	---	---	------------------------------------

			<p>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</p> <p>Actividad sincrónica: Simulación Ondas sonoras, experimentación con ondas transversales y ondas estacionarias.</p> <p>Actividad asincrónica: Ondas estacionarias por columna de aire en una botella.</p> <p>Cierre:</p> <p>Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>	 <p><a href="#">Video Demostrativo 2</a></p>  <p><a href="#">Video Demostrativo 3</a></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de simulador en línea para experimentar con ondas sonoras. (5pts)</li> <li>- Creación de ondas estacionarias transversales utilizando una cuerda tensada. (5pts)</li> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular</li> </ul>	
--	--	--	---	---	---	--

					<p><b>los temas vistos durante la misma. (0 pts)</b></p> <p><b>Ejemplo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>¿Qué tipo de onda es el sonido?</b></li><li>- <b>¿De qué depende la velocidad a la cual viaja el sonido?</b></li><li>- <b>¿Cómo se crea una onda estacionaria?</b></li><li>- <b>¿Cómo funcionan los instrumentos de viento?</b></li></ul>	
--	--	--	--	--	--	--



			<p>Se realiza una demostración en clase sobre cómo dos bocinas que emiten el mismo sonido al mismo tiempo generan puntos muertos dependiendo de la posición en la que el escucha se encuentre y se le pregunta a los estudiantes sobre el porqué de este fenómeno.</p> <p>Para realizar este experimento, se pueden colocar las bocinas con 3 metros de separación usando el siguiente audio y colocando a los estudiantes a una</p>	 <p><a href="#">Presentación.</a></p>  <p><a href="#">Video Demostrativo</a></p> 		
--	--	--	--	--	--	--

			<p><b>distancia de 8m. (La configuración del experimento dependerá del espacio disponible en el salón de clases, medir previamente para realizar los cálculos correspondientes)</b></p> <p><b>Desarrollo:</b></p> <p><b>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en el experimento realizado al inicio de la clase.</b></p>		<p><b>Evaluación Formativa.</b></p> <p>- <b>Uso de un DAW como</b></p>	
--	--	--	--	--	--	--

			<p><b>Actividad sincrónica:</b> Experimentación con ondas sonoras cuya polaridad ha sido invertida, ondas constructivas y ondas destructivas.</p> <p><b>Actividad asincrónica:</b> Creación de un dispositivo para demostrar la interferencia de las ondas de sonido.</p>		<p><b>Reaper o Bandlab para experimentar con ondas constructivas y destructivas. (5pts)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Creación de un dispositivo para demostrar la interferencia de ondas sonoras (5pts)</li><li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li></ul>	
--	--	--	---	--	---	--

			<b>Cierre:</b>  <b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b>		<b>Ejemplo:</b>  - ¿Qué son ondas constructivas y destructivas?	
--	--	--	---	--	---	--

					<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Qué sucede cuando en una señal estéreo se cambia la polaridad de uno de los lados?</li><li>- ¿Qué pasa si en una señal estéreo el sonido viaja más espacio de un lado que del otro?</li><li>- ¿Cómo se aplica este concepto a la hora de escuchar un sonido en un salón?</li></ul>	
--	--	--	--	--	---	--

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música**Unidad 4:** Timbre e intensidad del sonido

Duración: 3 clases de 90 minutos

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	Explica el funcionamiento del timbre del sonido partiendo del concepto de ondas no sinusoidales y el efecto de la amplitud sobre la intensidad del sonido.	Ondas no sinusoidales, intensidad del sonido y decibeles.	<b>Actividad inicial:</b>  -Saludo y activación de presaberes: Se realiza una breve presentación de los proyectos realizados en casa durante la semana y se pregunta sobre el funcionamiento de los mismos.  -Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre el timbre de los distintos	<b><u>Presentación:</u></b>    <a href="#">Video</a> <a href="#">Desmostrativo.</a>  	Evaluación formativa presentando los proyectos realizados durante la semana anterior. Preguntas a los estudiantes sobre funcionamiento de los proyectos realizados anteriormente	Saludo y activación de presaberes (30 min)  Desarrollo (60 min)  Actividad sincrónica (45 min)  Actividad asincrónica (30 min)  Cierre y despedida (15 min)

			<p><b>instrumentos musicales.</b></p> <p><b>Ejemplo: Se hacen audiciones de sonidos emitidos por distintos instrumentos musicales y se les pide a los estudiantes que los identifiquen. Se les pregunta sobre qué es lo que hace que los distintos instrumentos suenen diferentes unos de otros. Se les pregunta sobre la diferencia entre un sonido coherente y un ruido.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Indagación sobre conocimiento previo del tema. Se les pregunta sobre las dinámicas en la</b></li> </ul>		<p><b>Evaluación formativa.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Uso de DAW para experimentar con distintas grabaciones de diferentes instrumentos musicales. (5pts)</b></li> <li>- <b>Grabación de ruidos como motores,</b></li> </ul>	
--	--	--	--	--	--	--

			<p><b>música y la técnica que utilizan para interpretarlas en sus propios instrumentos.</b></p> <p><b>Desarrollo:</b></p> <p><b>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</b></p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> Grabación de distintos sonidos provenientes de diferentes instrumentos musicales y de sonidos no considerados</p>		<p><b>conversaciones entre varias personas, etc. Y análisis de los mismos utilizando el DAW. (5pts)</b></p> <p>- <b>Evaluación formativa. Análisis de distintas dinámicas al interpretar un instrumento</b></p> <p>- <b>Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos</b></p>	
--	--	--	---	--	--	--

			<p>coherentes y análisis de los mismos.</p> <p><b>Actividad asincrónica:</b> Efecto de la amplitud en las dinámicas al interpretar música.</p> <p><b>Cierre:</b></p> <p><b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b></p>		<p><b>durante la misma.</b></p> <p><b>Ejemplo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Por qué los distintos instrumentos suenan diferentes?</li> <li>- ¿Por qué algunos sonidos suenan más fuertes que otros?</li> <li>- ¿Cuál es la diferencia entre un sonido coherente y un ruido?</li> </ul>	
--	--	--	---	--	---	--

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música

**Unidad 5:** Resonancia

Duración: 2 clases de 90 minutos

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	Explica el funcionamiento de la resonancia y su efecto sobre los instrumentos musicales.	Resonancia, oscilaciones amortiguadas y oscilaciones forzadas.	<b>Actividad inicial:</b>  -Saludo y activación de presaberes: Se lleva un redoblante a clase y se les pide a los alumnos que interpreten una nota específica que haga que el	<p><a href="#">Presentación:</a></p>  <p><a href="#">Video de Apoyo</a></p>	Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de resonancia.	Saludo y activación de presaberes (30 min)  Desarrollo (60 min)  Actividad sincrónica (45 min)  Actividad asincrónica (30 min)  Cierre y despedida (15 min)

			<p>redoblante vibre.</p> <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre el porqué del fenómeno de resonancia visto al principio.</p> <p>Ejemplo: Se les pregunta si alguna vez habían visto algo similar y en qué situaciones sucede esto.</p>	 <a href="#">Video demostrativo</a> 	<p>Evaluación Formativa.</p> <p>- Uso de guitarra o algún otro instrumento que cuenta con caja de resonancia para experimentar con la resonancia. (5pts)</p>	
--	--	--	---	--	--	--

			<p>Se les pregunta si el redoblante es el único instrumento que presenta este fenómeno.</p> <p><b>Desarrollo:</b></p> <p>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Grabación de pieza en guitarra para observar la vibración de las cuerdas por resonancia. (5pts)</b></li> <li>- <b>Creación de dispositivo de propulsión Acústica (5pts)</b></li> <li>- <b>Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</b></li> </ul>	
--	--	--	--	--	---	--

			<p><b>Actividad sincrónica:</b> Se toma la guitarra y se interpreta una nota determinada en la misma. Se observa como cuerdas adyacentes vibran según la nota interpretada.</p> <p><b>Actividad asincrónica:</b> Creación de dispositivo de propulsión acústica.</p> <p><b>Cierre:</b></p>		<p><b>Ejemplo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Por qué en el experimento inicial sonaba el redoblante, aun cuando nadie lo estaba tocando?</li><li>- ¿Por qué las cuerdas de la guitarra vibran únicamente con ciertas frecuencias?</li><li>- ¿Por qué la resonancia es importante en la interpretación de un instrumento?</li></ul>	
--	--	--	--	--	---	--

			<b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b>			
--	--	--	---	--	--	--

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música

**Unidad 6: Efecto Doppler**

Duración: 2 clases de 90 minutos

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	<p>Explica el funcionamiento del efecto Doppler.</p> <p>Utiliza el efecto Doppler para la creación de una composición musical.</p>	Efecto Doppler	<p>Actividad inicial:</p> <p>-Saludo y activación de presaberes: Se muestra un video en donde pasa un carro cercano a gran velocidad. Se les pide a los estudiantes que identifiquen si el sonido generado por el carro es constante.</p>	<p><u>Presentación:</u></p>  <p><u>Video explicativo</u></p> 	<p>Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de efecto Doppler.</p>	<p>Saludo y activación de presaberes (30 min)</p> <p>Desarrollo (60 min)</p> <p>Actividad sincrónica (45 min)</p> <p>Actividad asincrónica (30 min)</p> <p>Cierre y despedida (15 min)</p>

			<p><b>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre el porqué del fenómeno de efecto Doppler visto al principio.</b></p> <p><b>Ejemplo: ¿Pueden pensar en alguna otra situación de la vida diaria en donde podamos observar el efecto percibido en el video el inicio?</b></p>			
--	--	--	---	--	--	--

			<p><b>Desarrollo:</b></p> <p><b>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en el efecto Doppler.</b></p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> Se analiza el sonido del primer video utilizando un DAW y un plugin de identificación de tonos o un espectrómetro de frecuencias. Se le solicita a los estudiantes que traten de emular el sonido del automóvil utilizando sus</p>		<p><b>Evaluación formativa.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Uso de guitarra o algún otro instrumento que permita la interpretación de glizandos para la emulación del efecto Doppler. (5pts)</b></li> <li>- <b>Utilización de los materiales solicitados en clase para la creación de un dispositivo de efecto Doppler. (5pts)</b></li> <li>- <b>Uso de un plugin de efecto</b></li> </ul>	
--	--	--	--	--	--	--

		<p>instrumentos musicales. De ser instrumentos cuantizados, utilizar una guitarra por defecto.</p> <p><b>Actividad sincrónica:</b>  <b>Creación de dispositivo de efecto Doppler.</b></p> <p>Actividad asincrónica: Se utiliza un plugin de efecto Doppler para la creación de sonidos nuevos a partir de grabaciones creadas anteriormente y se solicita la</p>		<p><b>Doppler para la creación de una pieza musical. (5pts)</b></p> <p>- <b>Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</b></p> <p><b>Ejemplo:</b></p> <p>- <b>¿Por qué un tono emitido cambia al acercarse o alejarse de un observador?</b></p>	
--	--	--	--	---	--

			<p>creación de una pieza musical utilizando dicho sonido.</p> <p><b>Cierre:</b></p> <p><b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b></p>		<ul style="list-style-type: none"><li>- <b>¿Cómo podría aplicar el efecto Doppler en sus composiciones musicales?</b></li><li>- <b>¿Qué otra actividad se les ocurre para la experimentación con el efecto Doppler?</b></li></ul>	
--	--	--	--	--	---	--

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música**Unidad 7:** Ecuación

Duración: 2 clases de 90 minutos

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	Aplica la ecualización en sus grabaciones.	Ecuación	-Se muestran el mismo audio dos veces, la primera vez, se muestra el audio original y la segunda vez se muestra un audio ecualizado. Se les pregunta a los estudiantes sobre cuál consideran que es la diferencia entre ambos audios y a qué se debe dicha diferencia.	<p><a href="#">Presentación:</a></p>  <p><a href="#">Video demostrativo</a></p> 	Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de ecualización.	Saludo y activación de presaberes (30 min) Desarrollo (60 min) Actividad sincrónica (45 min) Actividad asincrónica (30 min) Cierre y despedida (15 min)

			<p><b>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre la ecualización.</b></p> <p><b>Ejemplo: ¿Alguna vez han oído hablar de ecualización? ¿En qué consiste la ecualización? ¿Alguna vez han ecualizado un sonido en su vida diaria?</b></p>			
--	--	--	---	--	--	--

			<p><b>Desarrollo:</b></p> <p><b>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la ecualización de sonidos.</b></p> <p><b>Actividad sincrónica: Se les presenta a los estudiantes los distintos tipos de ecualizadores disponibles en el DAW de su preferencia y se les pide que los exploren haciendo uso de una grabación de su elección.</b></p>		<p><b>Evaluación formativa.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Uso de un DAW y una grabación de la elección de los estudiantes para la exploración de los distintos tipos de ecualizadores incluidos en el programa. (5pts)</b></li> <li>- <b>Utilización de los conceptos vistos en clase para la ecualización de un grupo de pistas con la guía del catedrático. (5pts)</b></li> <li>- <b>Ecualización de grabación</b></li> </ul>	
--	--	--	--	--	---	--

			<p><b>Actividad sincrónica:</b> Se le dan distintas pistas a los estudiantes y se les piden que las ecualicen según los principios presentados en clase.</p> <p><b>Actividad asincrónica:</b> Se les pide a los estudiantes que graben una canción con distintas pistas y que las ecualicen con los principios</p>		<p>propia de los estudiantes (5pts)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li> </ul> <p><b>Ejemplo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué es la ecualización?</li> <li>- ¿Qué usos le podría dar a la ecualización para sus composiciones musicales?</li> <li>- ¿Pueden pensar en algún</li> </ul>	
--	--	--	--	--	--	--

			<b>aprendidos en clase.</b>		<b>otro uso de la ecualización?</b>	
			<b>Cierre:</b>			
			<b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b>			

**Nombre del curso:** Física del sonido y su aplicación en la música**Unidad :** Sintetización

Duración: 2 clases de 90 minutos

	Metas de aprendizaje de la unidad	Temario de la unidad. (temas y subtemas)	Actividades de la unidad (incluir actividades de e-moderación, y herramientas en la nube)	Recursos Web	Ponderación de las actividades	Carga académica asociada a la unidad.
1	Aplica los conceptos de sintetización para la creación de sonidos.	Sintetización	<p><b>Actividad inicial:</b></p> <p>-Se muestran en clase un teclado electrónico y un sintetizador sencillo. Se les pide a los estudiantes que exploren los instrumentos y que experimenten con los mismos.</p> <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos</p>	<p><b>Presentación:</b></p>  <p><a href="#">Video sobre sintetización aditiva.</a></p> 	Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de Sintetización.	Saludo y activación de presaberes (30 min) Desarrollo (60 min) Actividad sincrónica (45 min) Actividad asincrónica (30 min) Cierre y despedida (15 min)

			<p>previos con preguntas sobre la sintetización.</p> <p>Ejemplo: ¿Cómo funciona el teclado electrónico? ¿Cómo funciona el sintetizador pequeño? ¿Cuál es la diferencia entre ambos? ¿Qué tan parecidos son los sonidos del teclado a los sonidos de los instrumentos reales?</p>			
--	--	--	--	--	--	--

			<p><b>Desarrollo:</b></p> <p><b>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la sintetización de sonidos.</b></p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> En el DAW de su preferencia, se le pide a los estudiantes que carguen un plugin de sintetización y que experimenten con los distintos sonidos que generan los distintos tipos de onda.</p>		<p><b>Evaluación formativa.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Uso de un DAW para la exploración de los distintos sonidos generados por cada tipo de onda mostrada en clase. (5pts)</b></li><li>- <b>Utilización de los conceptos vistos en clase para la sintetización de</b></li></ul>	
--	--	--	--	--	--	--

			<p>Actividad sincrónica: Se le pide a los estudiantes que utilicen equalización para la generación de un sonido puro a partir de una grabación.</p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> En el DAW de su preferencia, se les pide a los estudiantes que creen varias pistas. En cada pista se generará un tono puro distinto según lo indicado por el profesor. Se emulará el sonido de una campana.</p>		<p><b>un sonido de campana. (5pts)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Utilización de los sonidos vistos en clase para monitorear y sintetizar el sonido de un instrumento musical. (5pts)</b></li> <li>- <b>Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos</b></li> </ul>	
--	--	--	---	--	--	--

			<p><b>Actividad asincrónica:</b> Se le pide a los estudiantes que graben una nota en su instrumento principal. Luego que monitoreen los niveles de cada armónico para luego replicarlo utilizando tonos puros y envolventes.</p> <p><b>Cierre:</b></p> <p><b>Despedida y reafirmación de conocimientos.</b></p>		<p><b>durante la misma.</b></p> <p><b>Ejemplo:</b></p> <p><b>¿Qué relación existe entre la sintetización aditiva y el timbre de un instrumento? ¿Qué es sintetización sustractiva? ¿Qué es sintetización aditiva? ¿Qué son envolventes?</b></p>	
--	--	--	---	--	---	--

## Evaluación del curso

Observe el siguiente ejemplo

Curso			
Evaluación			
Unidad presentación	Evaluación de diagnóstico	10 pts	Google Form
Unidad 1	Quiz	20 pts	Plataforma (assessment)
	Actividades	20 pts	Plataforma (asignaciones)
Unidad 2	Quiz	20 pts	Plataforma (assessment)
	Actividades	20 pts	Plataforma (asignaciones)
	Examen final	10 pts	Plataforma (assessment)

Curso:			
Evaluación			
Unidad 1	Actividad sincrónica	5 pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5 pts	Plataforma (tareas)
Unidad 2	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
Unidad 3	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
Unidad 4	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
Unidad 5	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
Unidad 6	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)

	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
<b>Unidad 7</b>	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
<b>Unidad 8</b>	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad sincrónica	5pts	Plataforma (tareas)
	Actividad asincrónica	5pts	Plataforma (tareas)

## 14.2 Planificación de cada unidad

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

### Planificación de los aprendizajes

**Grado:** Segundo año Profesorado en Música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 1

<b>Competencia</b>	Explica el funcionamiento de la afinación de una guitarra haciendo uso de los conceptos básicos aprendidos en clase sobre ondas transversales y longitudinales.	
<b>Indicador de logro</b>	<b>Contenido</b>	
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla de la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.	Conceptos básicos sobre qué es el sonido, movimiento ondulatorio, ondas transversales, ondas longitudinales, propagación de una perturbación, frecuencia, período, amplitud, longitud de onda, modelo matemático de una onda y rapidez de propagación de una onda.	

Actividad de aprendizaje		Actividades de evaluación	Criterios de evaluación
<p><b>Actividad inicial:</b></p> <p>-Saludo y activación de presaberes: Se discute brevemente el tema del sonido. Se solicita a los estudiantes que guarden silencio y que describan lo que escuchan. ¿De donde proviene? ¿Qué características tienen los sonidos que escuchan?</p> <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre la naturaleza del sonido.</p> <p>Ejemplo: Para ustedes, ¿qué es el sonido? ¿Qué saben sobre el funcionamiento de sus instrumentos? ¿Cómo piensan que viaja el sonido por el espacio?</p>	<p>Tiempo</p> <p>15 min</p>	<p>Evaluación diagnóstica. Preguntas a los estudiantes sobre generalidades del sonido y funcionamiento de sus instrumentos musicales.</p>	<p><b>El estudiante comparte sus ideas sobre la naturaleza del sonido y construye sobre los aportes de sus compañeros.</b></p>
<p><b>Desarrollo:</b></p> <p>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</p> <p>Usar la siguiente presentación como referencia:</p>	<p>65 min</p>	<p>Evaluación formativa.</p> <p>- Creación de ondas transversales haciendo uso de cuerda e identificación de las</p>	<p>- <b>El estudiante crea una onda transversal haciendo uso de una cuerda.</b></p>



**Actividad sincrónica: Ondas transversales y ondas longitudinales.**

**Actividad asincrónica: Afinación de la guitarra.**

**Cierre:**

Despedida y reafirmación de conocimientos.

10 min

características físicas de la onda: Amplitud, frecuencia, etc.

- Creación de ondas longitudinales haciendo uso de un slinky e identificación de las características físicas de la onda: Amplitud, frecuencia, etc.

- Uso de un kahoot al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.

- **El estudiante crea una onda longitudinal haciendo uso de un slinky.**

- **El estudiante determina las frecuencias de las ondas creadas durante la práctica.**

- **El estudiante realiza la actividad asincrónica en donde describe los principios físicos involucrados en la afinación de una guitarra.**

			
--	--	---	--

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

**Planificación de los aprendizajes.**

**Grado:** Segundo año Profesorado en música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 2

<b>Competencia</b>	Explica el funcionamiento de instrumentos de cuerdas, de viento y de percusión a partir del concepto de ondas estacionarias.
<b>Indicador de logro</b>	<b>Contenido</b>
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla de la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.	El sonido como onda longitudinal, velocidad del sonido, reflexión y transmisión de pulsos y ondas, ondas estacionarias transversales, ondas estacionarias longitudinales, ondas estacionarias en barras y membranas.

Actividad de aprendizaje		Actividades de evaluación evaluación	Criterios de evaluación
<p><b>Actividad inicial:</b></p> <p>-Saludo y activación de presaberes: Se realiza un genially sobre los temas de ondas y características de las ondas.</p>  <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre el funcionamiento de los instrumentos de cuerdas, viento y percusión.</p> <p>Ejemplo: Describan, ¿cómo funciona una guitarra? ¿Por qué al presionar las cuerdas sobre los trastes cambia de tono? ¿Cómo funciona una flauta? ¿Por qué al tapar los agujeritos de la flauta cambia el sonido? ¿Cómo funciona una marimba?</p>	<p>Tiempo</p> <p>15 min</p>	<p>Evaluación formativa usando genially. Preguntas a los estudiantes sobre funcionamiento de los instrumentos musicales de cuerdas, de viento y percusión afinada.</p>	<p><b>El estudiante participa durante la realización del genially.</b></p> <p><b>El estudiante comparte sus ideas sobre el funcionamiento de los instrumentos de cuerdas, de viento y percusión afinada.</b></p>

<p><b>Desarrollo:</b></p> <p>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</p> <p>Usar la siguiente presentación como referencia:</p>  <p><b>Actividad sincrónica: Simulación ondas sonoras, experimentación con ondas transversales y ondas estacionarias.</b></p>	65 min		
	10 min	Evaluación formativa.	- <b>El estudiante explora el simulador en línea y expresa sus</b>

<p><b>Actividad asincrónica: Ondas estacionarias por columna de aire en una botella, lapicero o cualquier elemento tubular disponible.</b></p> <p><b>Cierre:</b> Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de simulador en línea para experimentar con ondas sonoras.</li> <li>- Creación de ondas estacionarias transversales utilizando una cuerda tensada.</li> <li>- Emisión de sonidos con los materiales disponibles.</li> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li> </ul>	<p><b>descubrimientos durante la experiencia.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>El estudiante crea una onda estacionaria transversal usando una cuerda tensada e identifica las características de esta.</b></li> <li>- <b>El estudiante realiza la actividad asincrónica en donde crea una onda estacionaria con una botella o cualquier otro material disponible.</b></li> </ul>
---	--	--	--

		<p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Qué tipo de onda es el sonido?</li><li>- ¿De qué depende la velocidad a la cual viaja el sonido?</li><li>- ¿Cómo se crea una onda estacionaria?</li><li>- ¿Cómo funcionan los instrumentos de viento?</li></ul>	
--	--	--	--

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

### Planificación de los aprendizajes

**Grado:** Segundo año Profesorado en música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 3

<b>Competencia</b>	Explica el porqué de los puntos sonoros muertos en un recinto haciendo uso de los conceptos de sobreposición e interferencia sonora.	
<b>Indicador de logro</b>	<b>Contenido</b>	
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla de la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.	Sobreposición e interferencia sonora.	

Actividad de aprendizaje	Actividades de evaluación	Criterios de evaluación
<p><b>Actividad inicial:</b></p> <p>-Saludo y activación de presaberes: Se realiza un Kahoot sobre ondas estacionarias.</p> <p><a href="https://create.kahoot.it/details/edb11961-682c-4612-b4d6-c30566110c3f">https://create.kahoot.it/details/edb11961-682c-4612-b4d6-c30566110c3f</a></p>  <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se realiza una demostración en clase sobre como dos bocinas que emiten el mismo sonido al mismo tiempo generan puntos muertos dependiendo de la posición en la que el escucha se encuentre y se le pregunta a los estudiantes sobre el porqué de este fenómeno.</p> <p>Para realizar este experimento, se pueden colocar las bocinas con 3 metros de separación usando el siguiente audio y colocando a los estudiantes a una distancia de</p>	<p>Tiempo</p> <p>15 min</p>	<p>Evaluación formativa usando Kahoot. Preguntas a los estudiantes sobre el fenómeno visto en el experimento inicial en clase.</p> <p><b>El estudiante participa durante la realización del Kahoot.</b></p> <p><b>El estudiante comparte sus ideas sobre el porqué del fenómeno visto en clase.</b></p>

8m. (La configuración del experimento dependerá del espacio disponible en el salón de clases, medir previamente para realizar los cálculos correspondientes)

<https://drive.google.com/file/d/1SBT96yXt-Ylrt7jhg903AxcEzrzACe4n/view?usp=sharing>



**Desarrollo:**

Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en el experimento realizado al inicio de la clase.

Usar la siguiente presentación como referencia:

[Presentación.](#)

65 min



**Actividad sincrónica:** Experimentación con ondas sonoras cuya polaridad ha sido invertida, ondas constructivas y ondas destructivas.

**Actividad asincrónica:** Creación de un dispositivo para demostrar la interferencia de las ondas de sonido.

10 min

Evaluación formativa.

- Uso de un DAW como Reaper o Bandlab para experimentar con ondas constructivas y destructivas.

- **El estudiante explora el DAW y expresa sus descubrimientos durante la experiencia.**

<p><b>Cierre:</b></p> <p>Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li> </ul> <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué son ondas constructivas y destructivas?</li> <li>- ¿Qué sucede cuando en una señal estéreo se cambia la polaridad de uno de los lados?</li> <li>- ¿Qué pasa si en una señal estéreo el sonido viaja más espacio de un lado que del otro?</li> <li>- ¿Cómo se aplica este concepto a la hora de escuchar un sonido en un salón?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>El estudiante utiliza un audio de su elección para comprobar la cancelación de sonidos al invertir la polaridad de un sonido en mono.</b></li> <li>- <b>El estudiante realiza la actividad asincrónica en donde crea un dispositivo simple para demostrar el principio de ondas destructivas y ondas constructivas.</b></li> <li>- <b>El estudiante comparte sus ideas y experiencias personales al final de la clase.</b></li> </ul>
---	--	--	---

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

### Planificación de los aprendizajes

**Grado:** Segundo año Profesorado en música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 4

<b>Competencia</b>	Explica el funcionamiento del timbre del sonido partiendo del concepto de ondas no sinusoidales y el efecto de la amplitud sobre la intensidad del sonido.
<b>Indicador de logro</b>	<b>Contenido</b>
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla de la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.	Ondas no sinusoidales, intensidad del sonido y decibeles.

Actividad de aprendizaje		Actividades de evaluación	Criterios de evaluación
<p><b>Actividad inicial:</b></p> <p>-Saludo y activación de presaberes: Se realiza una breve presentación de los proyectos realizados en casa durante la semana y se pregunta sobre el funcionamiento de estos.</p> <p>-Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre el timbre de los distintos instrumentos musicales.</p> <p>Ejemplo: Se hacen audiciones de sonidos emitidos por distintos instrumentos musicales y se les pide a los estudiantes que los identifiquen. Se les pregunta sobre qué es lo que hace que los distintos instrumentos suenen diferentes unos de otros. Se les pregunta sobre la diferencia entre un sonido coherente y un ruido.</p> <p>- Indagación sobre conocimiento previo del tema. Se les pregunta sobre las dinámicas en la música y la técnica que utilizan para interpretarlas en sus propios instrumentos.</p> <p><b>Desarrollo:</b></p> <p>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la concepción física del sonido.</p>	<p>Tiempo</p> <p>15 min</p>	<p>Evaluación formativa presentando los proyectos realizados durante la semana anterior. Preguntas a los estudiantes sobre funcionamiento de los proyectos realizados anteriormente</p>	<p><b>El estudiante participa durante la presentación de proyectos.</b></p> <p><b>El estudiante comparte sus ideas sobre el funcionamiento del timbre en los distintos instrumentos musicales.</b></p>



<p>Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>		<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Por qué algunos sonidos suenan más fuertes que otros?</li><li>- ¿Cuál es la diferencia entre un sonido coherente y un ruido?</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- <b>El estudiante realiza la actividad asincrónica en donde se graba tocando la misma nota con distintas intensidades y analizando la onda resultante.</b></li></ul>
---	--	---	---





<p>Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>		<p>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</p> <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Por qué en el experimento inicial sonaba el redoblante aun cuando nadie lo estaba tocando?</li><li>- ¿Por qué las cuerdas de la guitarra vibran únicamente con ciertas frecuencias?</li><li>- ¿Por qué la resonancia es importante en la interpretación de un instrumento?</li></ul>	<p><b>botellas de vidrio o de plástico.</b></p>
---	--	---	---

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

### Planificación de los Aprendizajes

**Grado:** Segundo año Profesorado en música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 6

Competencia		Explica el funcionamiento del efecto Doppler.	
Indicador de logro		Contenido	
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla de la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.		Efecto Doppler	
Actividad de aprendizaje		Actividades de evaluación	Criterios de evaluación
<b>Actividad inicial:</b>  -Saludo y activación de presaberes: Se muestra un video en donde pasa un carro cercano a gran velocidad. Se les pide a los estudiantes que identifiquen si el sonido generado por el carro es constante.  -Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre el porqué del fenómeno de efecto Doppler visto al principio.  Ejemplo: ¿Pueden pensar en alguna otra situación de la vida diaria en donde podamos observar el efecto percibido en el video el inicio?	Tiempo  15 min	Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de efecto Doppler.	<b>El estudiante comparte sus ideas sobre el fenómeno presentado en clase.</b>

<p><b>Desarrollo:</b></p> <p>Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en el efecto Doppler.</p> <p>Usar la siguiente presentación como referencia:</p> <p><a href="#">Presentación:</a></p>  <p><b>Actividad sincrónica:</b> Se analiza el sonido del primer video utilizando un DAW y un plugin de identificación de tonos o un espectrómetro de frecuencias. Se le solicita a los estudiantes que traten de emular el sonido del automóvil utilizando sus instrumentos musicales. De ser instrumentos cuantizados, utilizar una guitarra por defecto.</p>	<p>65 min</p>	<p>Evaluación formativa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de guitarra o algún otro instrumento que permita la interpretación de glizandos para la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>El estudiante realiza el experimento propuesto y emula el sonido de un automóvil que pasa a gran velocidad con su instrumento.</b></li> </ul>
--	---------------	--	---

<p><b>Actividad sincrónica: Creación de dispositivo de efecto Doppler.</b></p> <p><b>Actividad asincrónica: Se utiliza un plugin de efecto Doppler para la creación de sonidos nuevos a partir de grabaciones creadas anteriormente y se solicita la creación de una pieza musical utilizando dicho sonido.</b></p> <p><b>Cierre:</b></p> <p>Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>	<p>10 min</p>	<p>emulación del efecto Doppler.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de los materiales solicitados en clase para la creación de un dispositivo de efecto Doppler.</li> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li> </ul> <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Por qué un tono emitido cambia al acercarse o alejarse de un observador?</li> <li>- ¿Cómo podría aplicar el efecto Doppler en sus composiciones musicales?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>El estudiante participa en la segunda actividad y logra que el efecto Doppler se perciba durante su desarrollo.</b></li> <li>- <b>El estudiante realiza la actividad asincrónica en donde crea una composición musical utilizando el efecto Doppler.</b></li> </ul>
---	---------------	---	---

		<p>- ¿Qué otra actividad se les ocurre para la experimentación con el efecto Doppler?</p>	
--	--	---	--

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

### Planificación de los aprendizajes

**Grado:** Segundo año Profesorado en música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 7

<b>Competencia</b>		Aplica la ecualización en sus grabaciones.	
<b>Indicador de logro</b>		<b>Contenido</b>	
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.		Ecualización	
<b>Actividad de aprendizaje</b>		<b>Actividades de evaluación</b>	<b>Criterios de evaluación</b>
<b>Actividad inicial:</b>  -Se muestran el mismo audio dos veces, la primera vez, se muestra el audio original y la segunda vez se muestra un audio ecualizado. Se les pregunta a los estudiantes sobre cuál consideran es la diferencia entre ambos audios y a qué se debe dicha diferencia.  -Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre la ecualización.  Ejemplo: ¿Alguna vez han oído hablar de ecualización? ¿En qué consiste la ecualización? ¿Alguna vez han ecualizado un sonido en su vida diaria?	Tiempo  15 min	Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de Ecualización.	<b>El estudiante comparte sus ideas sobre el fenómeno presentado en clase.</b>

**Desarrollo:**

Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la ecualización de sonidos.

65 min

Usar la siguiente presentación como referencia:

[Presentación:](#)



<p><b>Actividad sincrónica:</b> Se les presenta a los estudiantes los distintos tipos de ecualizadores disponibles en el DAW de su preferencia y se les pide que los exploren haciendo uso de una grabación de su elección.</p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> Se les dan distintas pistas a los estudiantes y se les piden que las ecualicen según los principios presentados en clase.</p> <p><b>Actividad asincrónica:</b> Se les pide a los estudiantes que graben una canción con distintas pistas y que las ecualicen con los principios aprendidos en clase.</p> <p><b>Cierre:</b> Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>	<p>10 min</p>	<p>Evaluación formativa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de un DAW y una grabación de la elección de los estudiantes para la exploración de los distintos tipos de ecualizadores incluidos en el programa.</li> <li>- Utilización de los conceptos vistos en clase para la ecualización de un grupo de pistas con la guía del catedrático.</li> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li> </ul> <p>Ejemplo:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>El estudiante realiza el experimento propuesto y describe sus hallazgos durante la exploración de los distintos ecualizadores incluidos en el DAW de su elección.</b></li> <li>- <b>El estudiante ecualiza las distintas pistas provistas en clase siguiente los conceptos presentados.</b></li> <li>- <b>El estudiante realiza la actividad asincrónica en donde crea una grabación con varias pistas y le aplica ecualización a las mismas.</b></li> </ul>
---	---------------	--	--

		<ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Qué es la ecualización?</li><li>- ¿Qué usos le podría dar a la ecualización para sus composiciones musicales?</li><li>- ¿Pueden pensar en algún otro uso de la ecualización?</li></ul>	
--	--	---	--

Universidad del Valle de Guatemala

Catedrático: Alejandro José Donis Molina

### Planificación de los aprendizajes

**Grado:** Segundo año Profesorado en música

**Ciclo escolar:** 2023

**Área:** Educación

**Sub-área:** Educación Musical

**Unidad:** 8

Competencia		Aplica los conceptos de sintetización para la creación de sonidos.	
Indicador de logro		Contenido	
Realiza las actividades propuestas en la guía de trabajo y desarrolla de la pregunta generadora tomando como base los conceptos aprendidos en clase.		Sintetización	
Actividad de aprendizaje		Actividades de evaluación	Criterios de evaluación
<b>Actividad inicial:</b>  -Se muestran en clase un teclado electrónico y un sintetizador sencillo. Se les pide a los estudiantes que exploren los instrumentos y que experimenten con los mismos.  -Indagación sobre conocimiento previo del tema: Se evalúan los conocimientos previos con preguntas sobre la sintetización.  Ejemplo: ¿Cómo funciona el teclado electrónico? ¿Cómo funciona el sintetizador pequeño? ¿Cuál es la diferencia entre ambos? ¿Qué tan parecidos son los sonidos del teclado a los sonidos de los instrumentos reales?	Tiempo  15 min	Evaluación diagnóstica preguntándole a los estudiantes sobre sus conocimientos previos en el tema de Sintetización.	<b>El estudiante comparte sus ideas sobre el fenómeno presentado en clase.</b>

**Desarrollo:**

Explicación y ejemplificación de los distintos conceptos involucrados en la sintetización de sonidos.

Usar la siguiente presentación como referencia:

[Presentación:](#)



65 min

Evaluación formativa.

<p><b>Actividad sincrónica:</b> En el DAW de su preferencia, se le pide a los estudiantes que carguen un plugin de sintetización y que experimenten con los distintos sonidos que generan los distintos tipos de onda.</p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> Se le pide a los estudiantes que utilicen ecualización para la generación de un sonido puro a partir de una grabación.</p> <p><b>Actividad sincrónica:</b> En el DAW de su preferencia, se le pide a los estudiantes que creen varias pistas. En cada pista se generará un tono puro distinto según lo indicado por el profesor. Se emulará el sonido de una campana.</p> <p><b>Actividad asincrónica:</b> Se le pide a los estudiantes que graben una nota en su instrumento principal. Luego que monitoreen los niveles de cada armónico para luego replicarlo utilizando tonos puros y envolventes.</p> <p><b>Cierre:</b> Despedida y reafirmación de conocimientos.</p>	<p>10 min</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de un DAW para la exploración de los distintos sonidos generados por cada tipo de onda mostrada en clase.</li> <li>- Utilización de los conceptos vistos en clase para la sintetización de un sonido de campana.</li> <li>- Utilización de los sonidos vistos en clase para monitorear y sintetizar el sonido de un instrumento musical.</li> <li>- Preguntas al final de la clase para recapitular los temas vistos durante la misma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>El estudiante realiza el experimento propuesto y describe sus hallazgos durante la exploración de los distintos tipos de onda.</b></li> <li>- <b>El estudiante genera distintos tonos puros para la sintetización de un sonido de campana.</b></li> <li>- <b>El estudiante realiza la monitorización del sonido de su instrumento para la sintetización del mismo.</b></li> </ul>
--	---------------	--	---

		<p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Qué relación existe entre la sintetización aditiva y el timbre de un instrumento? ¿Qué es sintetización sustractiva? ¿Qué es sintetización aditiva? ¿Qué son envolventes?</li></ul>	
--	--	--	--

## 14.3 Manual de laboratorio

### 14.3.1 Hoja de trabajo número 1

Conceptos básicos sobre la física del sonido.

Actividad 1:

- En grupos de 3 personas, tomen la cuerda provista por su catedrático y creen un pulso.

Describa: ¿Qué observó?

- Ahora, cree varios pulsos consecutivos. Puede agitar la cuerda de arriba hacia abajo o de lado a lado.

Realice un dibujo de la forma que tomó la cuerda al moverla de esta manera.

¡Ha creado una onda transversal!

- Repita el ejercicio anterior, pero ahora con un reloj tome un tiempo de 10 segundos y cuente el número de veces que agitó la cuerda.

¿Cuál es la frecuencia de su onda transversal? Muestre los cálculos hechos.

Actividad 2:

- En grupos de 3 personas, tomen el resorte provisto por su catedrático y creen un pulso estirándolo y encogiéndolo rápidamente una sola vez.

Describa: ¿Qué observó?

- Ahora, cree varios pulsos consecutivos estirando y encogiendo el resorte distintas veces consecutivas sin parar.

Describa el comportamiento del resorte al hacer esto.

¡Ha creado una onda longitudinal!

- Repita el ejercicio anterior, pero ahora con un reloj tome un tiempo de 10 segundos y cuente el número de veces que estiró y comprimió el resorte.

¿Cuál es la frecuencia de su onda transversal? Muestre los cálculos hechos.

El sonido es una onda transversal. El comportamiento que observó en el resorte es justamente como se comporta el aire al transmitir el sonido.

Actividad asincrónica:

Antes de irse a casa, se solicita que los estudiantes realicen una grabación de una guitarra acústica desde dentro de la caja de resonancia. La grabación debe de realizarse mientras interpretan una pieza en la guitarra o tocan las cuerdas.

En casa, revisen la grabación y pónganle pausa en algún momento en el que estén sonando las cuerdas y responda las siguientes preguntas.

- ¿Qué observa?

- ¿Qué tipo de onda se crea al pulsar las cuerdas?

- ¿Qué diferencia puede percibir entre las ondas que se crean al tocar notas graves y notas agudas?

### **Rapidez de propagación de una onda en una cuerda:**

La rapidez con la que viaja una onda en una cuerda dependerá de la tensión de la cuerda y de la masa por unidad de longitud de la misma. Estas se relacionan con la siguiente ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Donde:

$v$  = rapidez de onda [m/s]

$T$  = Tensión [N]

$\mu$  = masa por unidad de longitud. [kg/m]

Al analizar esta fórmula, podemos determinar que a mayor tensión, mayor rapidez de onda y a mayor masa de la cuerda, menor va a ser la rapidez de onda.

La rapidez de onda está directamente relacionada con la frecuencia y la longitud de onda en que la rapidez de onda se puede encontrar con el producto de estas dos magnitudes:

$$v = f * \lambda$$

Por lo que a mayor frecuencia, mayor será la velocidad de y a menor frecuencia, menor será la velocidad de propagación de la onda.

- Analice los conceptos presentados en los párrafos anteriores y explique con sus propias palabras:

¿Qué sucede cuando se da vuelta a las clavijas al afinar la guitarra?

¿Por qué las cuerdas gruesas suenan más graves que las cuerdas delgadas?

¿Cómo afectan la tensión y el grosor de la cuerda a la frecuencia de la nota que se interpreta en la guitarra?

### 14.3.2 Hoja de trabajo número 2

Ondas sonoras.

Actividad 1:

- En su computadora o dispositivo electrónico ingrese al siguiente enlace:

<https://www.geogebra.org/m/AYGByu4P>

Explore los controles del simulador de ondas sonoras.

Describe: ¿Qué sucede cuando se cambia la frecuencia?

¿Qué sucede cuando se cambia la amplitud?

Actividad 2:

- En grupos de 3 personas, tomen una guitarra y vuelvan a grabar las cuerdas de las mismas. Ahora modifique la afinación de la cuerda moviéndole las clavijas mientras pulsa la cuerda.

Describe: ¿Qué observó?

Al rasgar las cuerdas de una guitarra estamos creando una onda estacionaria.

- Pause el video y tómese captura de pantalla. Identifique los nodos y antinodos de la onda estacionaria.

Repita el procedimiento con una cuerda diferente. ¿Qué relación existe entre los sonidos emitidos en ambas ocasiones y su respectivo número de nodos y antinodos?

Actividad asincrónica:

En casa, tome una botella de vidrio vacía y colóquela cerca de sus labios como se muestra en el video:

<https://www.youtube.com/watch?v=3nIOeHvoBpA>

experimente con distintas distancias entre sus labios y la botella así como con diferentes presiones del aire.

¿Qué está sucediendo? Explique sus resultados tomando en cuenta el concepto de onda estacionaria.

Agregue un poco de agua a la botella y repita el experimento.

¿Qué sucedió?

### 14.3.3 Hoja de trabajo número 3

Ondas sonoras.

Actividad 1:

- El catedrático reproducirá un sonido en el equipo de sonido. Manténgase en la misma posición durante la reproducción del mismo.

- La segunda vez que el catedrático reproduzca el sonido, camine alrededor del salón.

Describe: ¿Observó alguna diferencia en el sonido? ¿A qué se debe esto?

Actividad 2:

- En su computadora ingrese al DAW de su preferencia, si no cuenta con uno, puede ingresar a bandlab:

<https://www.geogebra.org/m/AYGByu4P>

Utilice el tono provisto en clase, lo puede descargar del siguiente enlace:

[https://drive.google.com/file/d/1SBT96yXt-Ylrt7jhg903AxcEzszACe4n/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1SBT96yXt-Ylrt7jhg903AxcEzszACe4n/view?usp=share_link)

Duplique el tono y cámbiele la fase a una de las pistas

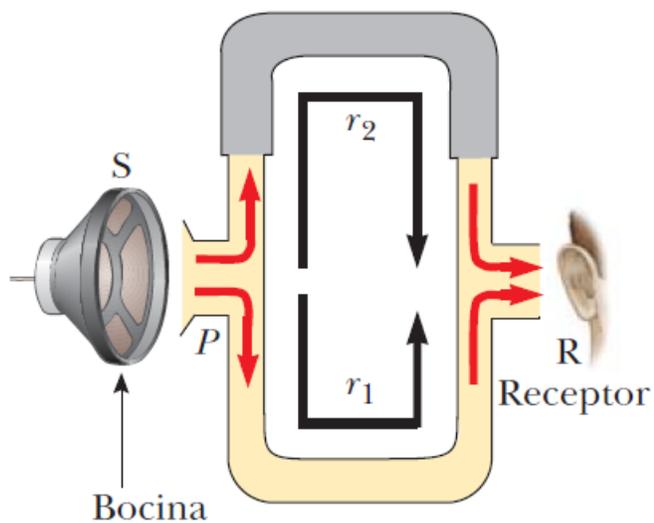
Describa: ¿Qué sucede cuando se cambia la fase de las pistas?

Ahora intente cambiar la fase manualmente

¿Qué sucede cuando realiza esta acción?

Actividad asincrónica:

En casa, trate de construir el dispositivo mostrado en el diagrama:



*Fuente: Tomado de Serway, Jewett, 2008, R., & Jewett, J. (2007). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (p. 503), Chapters 1-46. Brooks/Cole Publishing Company.*

Puede utilizar tubos de cartón o de PBC, use los materiales que tenga en casa. Coloque una bocina en un extremo del dispositivo y su oído en el otro. (Recuerde mantener el volumen de la bocina a un nivel agradable al oído.) Modifique la longitud del tubo moviendo de arriba hacia abajo el fuelle superior.

¿Qué diferencias percibe en el sonido al realizar esta acción?

¿Por qué es que sucede esto?

#### 14.3.4 Hoja de trabajo número 4

Timbre y decibeles.

Actividad 1:

- El catedrático le solicitó durante la semana que grabara una nota específica con su instrumento musical. Este se debió de subir a una carpeta compartida provista por el catedrático también.

- Tome todos los sonidos compartidos e inclúyalos en el DAW.

- Amplifique los sonidos de tal manera que pueda observar las ondas.

Describa: ¿Qué observa? ¿Es la onda de los sonidos una onda puramente senoidal? ¿Qué similitudes hay entre una onda pura y los sonidos grabados? ¿Qué diferencias hay entre una onda pura y los sonidos grabados?

Actividad 2:

- Durante un período de 15 minutos, salga del salón de clases y grabe los ruidos que puede percibir en el ambiente (gente platicando, motores de carros, perros ladrando, etc) y regrese clase.

Analice la grabación en el DAW de su preferencia.

Describe: ¿Qué forma tiene la onda de un ruido? ¿Qué diferencia existe entre un la onda de un ruido y una onda coherente como la que emite su instrumento?

Actividad asincrónica:

En casa, toque la nota la con su instrumento con distintas intensidades. Toque una nota pianissimo, piano, mezzoforte, forte y fortísimo. Grábelas en distintos audios y analícela en su DAW.

¿Qué diferencias encuentra entre las distintas grabaciones? ¿Qué cambia en las distintas ondas generadas?

### 14.3.5 Hoja de trabajo número 5

Resonancia.

Actividad 1:

- Tome su guitarra y reproduzca la nota La con la primera cuerda.
- Observe la segunda cuerda, ¿nota algo en esta?

Describa: ¿Qué efecto tuvo tocar la nota la en la primera cuerda sobre la segunda cuerda? ¿Se puede repetir el efecto con las demás cuerdas?

Actividad 2:

- Grabe una melodía con las cuerdas libres de la guitarra.
- Coloque la guitarra sobre la bocina.
- Reproduzca la grabación en la bocina.

Describa: ¿Qué sucede con las cuerdas de la guitarra cuando se reproduce el sonido?

Ahora intente cambiar tocar una melodía presionando las cuerdas sobre el cuello de la guitarra.

Repita el procedimiento anterior. ¿Nota algún cambio en el comportamiento de las cuerdas de la guitarra?

Actividad asincrónica:

En casa, trate de construir el dispositivo mostrado en el video:

<https://www.youtube.com/watch?v=SfYvi9DWtaM>

Puede utilizar botellas de vidrio o de plástico.

¿A qué se debe el movimiento de las botellas?

¿Qué sucede si se cambia el tono emitido por la bocina?

¿Cómo utilizaría este fenómeno en una composición musical?

### 14.3.6 Hoja de trabajo número 6

Efecto Doppler.

Actividad 1: En clase se hará el análisis de un video en donde un carro se mueve a alta velocidad y se determinarán las notas (frecuencias) emitidas por dicho carro.

- Tome su instrumento musical e intente emular el sonido emitido por el automóvil.

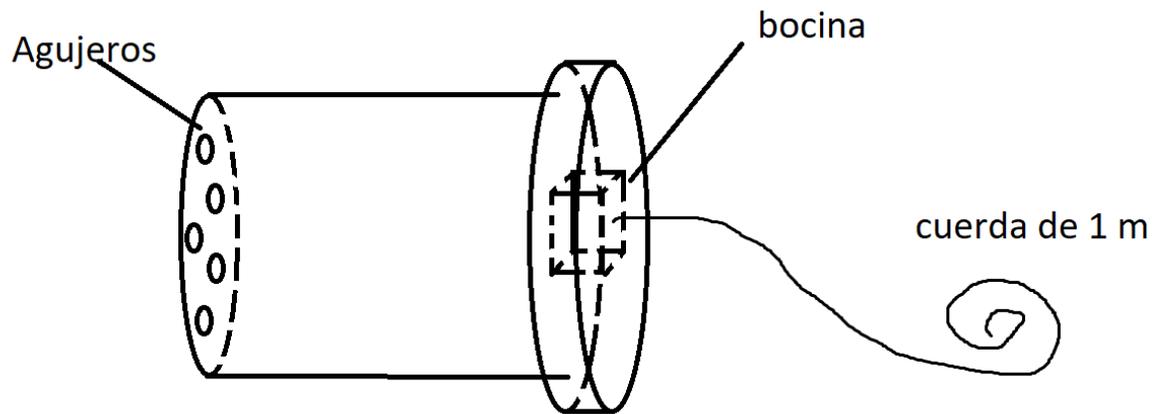
- ¿Qué tan parecido es el sonido que emite su instrumento? ¿Este sonido podría emitirse con un instrumento cuantizado? (Marimba, piano, xilófono, etc.)

Describa: ¿Por qué el sonido del automóvil cambia de esa manera conforme se acerca y aleja del observador?

Actividad 2:

- Durante la semana se le solicitó que se consiguiera una bocina bluetooth pequeña.

- En parejas, armen el dispositivo de efecto Doppler según el siguiente diagrama:



Recuerde seguir las instrucciones del profesor al pie de la letra.

- Una persona del grupo girará el dispositivo sobre su cabeza. Tomarán turnos para realizar este procedimiento.

Describe: ¿Qué sucede con el sonido emitido por la bocina? ¿Se mantiene igual todo el tiempo? ¿Cambia?

Actividad asincrónica:

En casa, utilice el DAW de su preferencia y descargue el plugin Doppler Dome.

<https://aegeanmusic.com/doppler-dome-specs>

Explórelo, utilícelo para experimentar con sonidos grabados en el ambiente, con su instrumento musical, etc. Use este sonido para crear una composición musical la cual deberá de entregar en la plataforma en el espacio indicado.

### 14.3.7 Hoja de trabajo número 7

Ecualización.

Actividad 1: En clase se solicitó que llevaran un sonido de su elección. Puede ser una grabación propia tocando su instrumento principal, una canción de su preferencia o un sonido cualquiera.

- Tome su grabación y cárguela en el DAW de su elección.
- Busque los distintos ecualizadores que vienen con su DAW.
- Aplíquelo los ecualizadores al sonido elegido.
- Explore las distintas opciones que los ecualizadores le presentan y escuche.

- ¿Qué diferencias percibe en el sonido tras aplicarle distintas modificaciones utilizando el ecualizador? Enumere por lo menos 5 modificaciones realizadas.

Describe: ¿Cómo le haría para que su audio suene a una grabación antigua?

Investigue sobre configuraciones de ecualización para “avejentar” una grabación.

Actividad 2:

- En clase se le compartirán distintas pistas de una canción.
- Utilice los consejos dados en clase para ecualizar las pistas.

Describe: ¿El sonido de la grabación mejoró o empeoró? ¿En qué sentido?

- Tras realizada esta actividad se escuchará el producto de todos los compañeros de clase.

Describe: ¿Todas las pistas escuchadas suenan igual? Si no suenan igual, ¿A qué se debe esta diferencia?

Actividad asincrónica:

En casa, grabe una canción por pistas, puede ser un cover o una canción propia y aplíquela ecualización a las mismas. Trate de crear un sonido único adicional utilizando ecualización. Ejemplo: Use el sonido de un motor para emular el sonido de un río usando ecualización. Inclúyalo en su proyecto.

Suba su grabación al espacio designado en el Canvas.

### 14.3.8 Hoja de trabajo clase número 8

Sintetización.

Actividad 1: En clase se presentaron los distintos de onda que se pueden generar artificialmente a través de osciladores.

- Cargue en el DAW de su elección un plugin de sintetización.
- Explore el plugin y determine como generar los distintos tipos de onda en el mismo.
- Experimente con los distintos tipos de onda.
  
- ¿Qué diferencias percibe en los sonidos generados por los distintos tipos de onda? Enumere por lo menos 3 características de cada uno de los sonidos generados.

Investigue sobre canciones populares que utilicen este tipo de sonidos sintetizados.

Actividad 2:

- En clase se le compartirán un audio.
- Utilice los conceptos vistos en clase para sintetización sustractiva y genere un tono puro a 440Hz.

Describe: ¿Qué diferencia hay entre el tono puro encontrado y el sonido original?

Actividad sincrónica:

- Tome el Daw de su preferencia y cargue un plugin de generador de tonos.
- Cree 24 pistas. En cada una de las pistas, genere tonos con las siguientes frecuencias:

200, 357, 400, 669, 870, 1000, 1100, 1360, 1780, 2200, 2500, 2800, 3400, 3500, 4025, 4850, 5300, 5800, 600, 6500, 7400, 8000, 8400, 8700. (Hz)

Estos son los armónicos de un sonido de campana. Al reproducirlos todos al mismo tiempo podemos observar que el sonido es bastante similar al del instrumento real.

- Aplíquelo envolventes a este sonido generado para que suene lo más parecido posible a una campana.

Actividad asincrónica:

En casa, grabe una nota de su instrumento principal. Analice las frecuencias de los armónicos y los niveles de los mismos utilizando un ecualizador gráfico. Trate de sintetizar el sonido de su instrumento según el procedimiento visto en clase.

¿Cómo se utiliza la sintetización aditiva para emular el timbre de un instrumento musical?

## 15 Glosario

### A

altura

Característica del sonido que nos permite saber si un sonido es grave o agudo., 6  
amplificadores

Dispositivos electrónicos o mecánicos que permiten la amplificación de las ondas sonoras, traduciéndose esto a un sonido con una mayor intensidad., 57, 64

amplitud

En movimiento ondulatorio, la amplitud representa la distancia entre el punto central de la onda y su nivel máximo. Este afecta directamente el volumen con el que se emiten los sonidos. Mientras mayor amplitud, mayor volumen., 4, 9, 10, 21, 23, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 43, 86, 120, 140

Análogo

Onda sonora creada de manera continua. Por ejemplo, todos los sonidos creados por instrumentos musicales acústicos son sonidos análogos., vii, 57, 60

antinodos

Son las partes de la onda en donde la amplitud es máxima., 23, 140, 141

armónicos

Modos normales del sonido creado al excitar algún objeto como la cuerda de una guitarra. Estos son distintos sonidos múltiples de la frecuencia normal del instrumento y la intensidad con la que estos se emiten determinan el timbre del sonido., ix, 25, 37, 44, 49, 57, 61, 62, 63, 65, 154

Attack (Ataque)

Tiempo que tarda el sonido en alcanzar su intensidad máxima., 58

### B

bandas

En ecualización, especifica el número de frecuencias que se pueden modificar., 51, 52

Batimiento

Es la variación periódica en amplitud en un punto dado debido a la sobreposición de dos ondas que tienen frecuencias ligeramente diferentes., vii, 33

bucle

Región de la onda estacionaria que se encuentra entre dos nodos., 24

### D

DAW

Digital Audio Workstation (Estación de trabajo de Audio Digital). Son programas de computadora que permiten la manipulación de sonidos de manera digital., 51, 80, 86, 94, 98, 103, 116, 118, 120, 121, 126, 129, 130, 132, 142, 145, 146, 150, 151, 153

Decay (Decaimiento)

Tiempo que tarda el sonido en decaer a un estado estable., 58

decibeles

Unidad de medida de la intensidad de un sonido., vii, 39, 40, 86, 120

densidad

En física, la densidad está definida como la cantidad de masa por unidad de volumen., 17, 25, 38

Digital

Son sonidos creados de manera cuantizada. Por ejemplo, el sonido creado por dispositivos electrónicos o computarizados son digitales porque a partir de señales discretas se va creando una onda sonora., vii, 60

duración

Característica del sonido que nos dice cuanto tiempo tarda el sonido en desvanecerse., 6

## E

### Ecualización

Proceso mediante el cual se modifican las distintas frecuencias de una grabación para que el sonido obtenga las características deseadas., vii, 49, 56, 98, 128, 129, 151

### Efecto Doppler

Efecto físico que describe como la frecuencia de una onda aumenta o disminuye conforme la fuente de la onda se acerca o se aleja de un observador., vii, 2, 44, 94, 126, 149

### El nivel "Q"

Configuración de algunos ecualizadores en donde se especifica que tan amplio se desea que sea el espectro de frecuencias a modificar., 49

### electroimanes

Dispositivos eléctricos que consisten en un embobinado a través del cual pasa energía eléctrica. Este flujo de energía eléctrica crea un campo magnético., 8

### energía

Cantidad de trabajo que se puede realizar., 6

### Envolventes

Características de sonidos sintetizados que permiten emular el comportamiento en el tiempo de los sonidos creados por instrumentos musicales reales., vii, 58

## F

### filtros

Dispositivos utilizados para discriminar frecuencias sonoras., 57, 60, 64, 65

### física

Ciencia que estudia a la materia, energía y los fenómenos naturales mientras establece las leyes que los explican., 6

Ciencia que estudia los fenómenos de la naturaleza y sus causas mientras crea modelos matemáticos que permiten predecirlos y explicarlos., 1, 3, 4, 6, 9, 56, 66, 67, 72, 73, 77, 86, 90, 109, 112, 120, 123

### fluidos

Materia que debido a sus enlaces moleculares permiten su libre flujo. Ejemplos de fluidos son el aire, el agua, la arena, etc., 13

### frecuencia

Número de pulsos que se crean por unidad de tiempo. La frecuencia se mide en Hz., 4, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 22, 24, 25, 29, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 60, 65, 73, 109, 136, 137, 139, 140

### frecuencia angular

Frecuencia expresada en radianes por segundo., 11, 43

### fuente de perturbación

Fuente de energía que crea la onda., 6

## H

### Hertz

Unidad de medida de la frecuencia, representa un pulso por segundo., 9, 44

## I

### intensidad

Característica del sonido que nos dice que tanta fuerza se emite un sonido., 6

### Intensidad del Sonido

Comunmente conocida como el volumen de un sonido. Es la cantidad de energía que transmite una onda sonora expresada en decibeles., vii, 38

## L

### La longitud de onda

Distancia que existe entre pulsos dentro de una onda., 10, 24, 46

## M

### modos normales

Patrones discretos de una onda estacionaria en donde las frecuencias son múltiplos de una frecuencia básica o principal, ix, 23, 24, 25

### módulo de Young

Propiedad de la materia que ayuda a describir qué tan elástico es un material., 17

### movimiento recíprocante

Tipo de movimiento que se repite periódicamente. Ejemplo el movimiento de un péndulo., 10

### música

Conjunto de sonidos ordenados de manera coherente., 6

## N

### nodo

Son los puntos de la onda en donde la amplitud es cero., 28, 29

## O

onda  
Pulsos continuos que permiten la transmisión de energía a través de un medio., 6

onda cuadrada  
Suma de frecuencias con múltiplos impares de la frecuencia fundamental. Esta suma crea una onda que tiene forma cuadrada., 37, 61

onda de diente de sierra  
Tipo de onda sintetizada que contiene armónicos pares e impares., 62

onda sinusoidal  
Tipo de onda que sigue la forma de la función seno., 10, 14, 60

onda triangular  
Tipo de onda sonora sintetizada en la cual se tienen dos pendientes lineales. Esta está formada por pequeñas cantidades de armónicos impares., 61

Ondas Electromagnéticas  
Ondas que viajan a través del espacio sin necesidad de contar con un medio elástico. La luz, las ondas de radio, rayos x, etc., 6

Ondas Estacionarias  
Tipo especial de onda en la que una onda choca con otra onda que viaja en la dirección contraria y sus frecuencias son exactamente las mismas., vii, 22, 26

Ondas longitudinales  
Uno de los tipos de ondas mecánicas que se dan de manera lineal a través del medio. Por ejemplo, el sonido. Una bocina crea ondas longitudinales al mover una membrana de adelante hacia atrás moviendo las moléculas del viento, creando así el sonido., vi, 7, 73, 109

Ondas Mecánicas  
Ondas que necesitan un medio para transmitirse como  
el sonido, las olas del mar, etc., 6

Ondas transversales  
Uno de los dos tipos de ondas. Estas se dan de manera transversal a través del medio. Por ejemplo  
las ondas en la cuerda de una guitarra., vi, 7, 73, 109

Osciladores  
Equipos de laboratorio que crean ondas sinusoidales., vii, 59

## P

Período

Tiempo que tarda un pulso en repetirse en una onda. La unidad de medida del período es el segundo., 9

Tiempo que tarda un pulso en repetirse. La unidad de medida del período es el segundo., vi, 9, 73, 109

plugin

En DAW's, el plugin es un pequeño programa que puede ser utilizado dentro del DAW para realizar distintas tareas de edición de audio., 51, 94, 103, 126, 132, 150, 153, 154

potencia

En física, potencia está definida por la cantidad de trabajo realizado en un tiempo determinado. Esta se mide en Watts., 38, 40

presión

Magnitud física definida como la cantidad de fuerza que se ejerce por unidad de area. Las unidades de medida de la presión son los Pascales, psi, bars, atmósferas, etc., ix, 13, 14, 16, 17, 28, 38, 39, 40

pulso

Perturbación de un medio que transmite energía a través del mismo. Una onda es una colección de pulsos consecutivos, ix, 8, 9, 13, 19, 20, 21, 63, 136, 137

## R

Reflexión

Fenómeno en el cual las ondas rebotan en una superficie, esto puede suceder con cualquier tipo de onda

Sonido, Luz, etc., vii, ix, 19, 20, 21, 35, 71

Release (Liberación)

Tiempo que tarda el sonido en apagarse., 58

Resonancia

Fenómeno físico en el cual un objeto vibra a su misma frecuencia natural., vii, 2, 41, 89, 90, 123, 147

## S

series de Fourier

Modelo matemático que representa la suma de los múltiplos de la frecuencia fundamental de un sonido emitido. Este modelo se utiliza para representar matemáticamente a los armónicos., 36

síntesis aditiva

Proceso mediante el cual se suman frecuencias puras a un sonido para emular un

sonido existente en la naturaleza o para la creación de un sonido nuevo., 57, 65

Síntesis sustractiva

Proceso mediante el cual se eliminan todas las frecuencias con excepción de una de un archivo de audio para la síntesis de un sonido puro., 57

sintetización de sonidos

Creación artificial de sonidos. Se utilizan distintos medios para emular un sonido de la naturaleza. La sintetización puede ir desde la creación de sonidos electrónicos hasta la manipulación de grabaciones para la creación de sonidos nuevos., 37, 103, 132

sintetizadores

Equipos utilizados para la sintetización de sonidos., 56, 59, 60

sonido

Ondas transversales que viajan a través de un medio, el cual podría ser cualquier material elástico siendo el más familiar el que viaja por el aire., vi, ix, x, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 17, 18, 19, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 72, 73, 76, 77, 80, 85, 86, 89, 90, 94, 98, 103, 109, 112, 116, 118, 120, 123, 126, 127, 129, 132, 134, 137, 142, 144, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154

superposición

Fenómeno mediante el cual dos ondas que se cruzan suman o restan sus amplitudes., 23

Sustain (Sostén)

Tiempo en el que el sonido se mantiene estable., 58

## T

tensión

En física, la tensión sucede cuando una fuerza jala un objeto. Por ejemplo, las cuerdas de una guitarra experimentan una fuerza de tensión que es la que se utiliza para modificar su afinación., 12, 13, 21, 24, 25, 138, 139

Timbre

Característica del sonido que permite distinguir un sonido del otro. Por ejemplo, es lo que nos permite distinguir si un sonido proviene de una guitarra, un violín, una flauta o un piano., 6

## U

umbral de la audición humana

Intervalo de frecuencias que el ser humano es capaz de distinguir., 40

## V

Velocidad de Propagación

Velocidad a la cual viaja un pulso, 8

velocidad del sonido

Velocidad a la cual viaja el sonido a través de un medio. La velocidad del sonido es de unos 343 m/s., 17

## W

Watts

Unidad de medida de potencia, este está definido como un Joule por cada segundo., 40