

**DIMENSIÓN DEL TONO: UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA ACERCA DEL
TONO COMO CUALIDAD DEL SONIDO EN RELACIÓN CON LAS
DIMENSIONES DE LAS FUENTES SONORAS**

JULIANA JANNER BLANCO

**LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA PERSPECTIVA CULTURAL**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTÁ, 2020.**

**DIMENSIÓN DEL TONO: UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA ACERCA DEL
TONO COMO CUALIDAD DEL SONIDO EN RELACIÓN CON LAS
DIMENSIONES DE LAS FUENTES SONORAS**

JULIANA JANNER BLANCO

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

ASESOR

JUAN CARLOS CASTILLO AYALA

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA PERSPECTIVA CULTURAL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ, 2020.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por acompañarme en este proceso, especialmente a mi mamá y mis hermanas, sin ellas, nada sería posible.

Al profesor Juan Carlos Castillo, por seguirme la idea, escucharme, asesorarme y estar presente.

A Anyely Vega, a Cristhian Castro, a Daniela Camargo y a Camilo Avendaño por escucharme, acompañarme, apoyarme y ayudarme cada uno desde su posición, desde su experiencia.

A todos, gracias.

Tabla de contenido.

INTRODUCCIÓN.....	7
PROBLEMÁTICA.....	8
OBJETIVOS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
JUSTIFICACIÓN.....	10
ANTECEDENTES.....	11
ENFOQUE METODOLOGICO	14
Fases.....	15
SEGUNDO APARTADO	16
Fundamentación física	16
Resonancia y geometría.....	18
Ejemplo de violín y contrabajo y otros instrumentos.....	18
Ondas estacionarias y relación con las dimensiones.....	19
Cuerdas.....	23
Tubos.....	25
Membranas.....	30
Placas.....	33
TERCER APARTADO	36
PROPUESTA DE ENSEÑANZA:	36
ACTIVIDAD I: el tono en el salón.....	38
ACTIVIDAD II: Sopla y escucha.....	40
ACTIVIDAD III: Xilófonos.....	41
ACTIVIDAD IV: tambores.....	44
ACTIVIDAD V: kalimbas	48
ACTIVIDAD VI: flauta de pan.....	51
CUARTO APARTADO.....	54
REFLEXIONES FINALES Y CONCLUSIONES.....	54
Bibliografía.....	55
ANEXO 1	57

Ilustraciones.

Ilustración 1. Ondas estacionarias en una cuerda fija en ambos extremos.....	23
Ilustración 2. Ondas estacionarias en tubos.....	30
Ilustración 3. Modos de vibración de una membrana circular	32
Ilustración 4. Organización esperada propuesta por los niños	40
Ilustración 5. Disposición de la plastilina en el tubo.....	41
Ilustración 6. Perforaciones en los tubos	42
Ilustración 7. Modelo de soporte	42
Ilustración 8. Representación disposición del agua en las botellas.	43
Ilustración 9. Organización final de los tubos.	44
Ilustración 10. Organización esperada propuesta por los niños (vista superior).....	45
Ilustración 11. Creación de baquetas.....	46
Ilustración 12. Corte de las bombas.....	46
Ilustración 13. Montaje instrumento de percusión.	47
Ilustración 14. Organización esperada dada por los niños para los instrumentos de percusión.....	47
Ilustración 15. Organización esperada propuesta por los niños para la kalimba.....	48
Ilustración 16. Ensamble palos de paleta.....	49
Ilustración 17. Horquillas encajadas en los palos de paleta	49
Ilustración 18. Montaje de la kalimba.	50
Ilustración 19. Organización esperada propuesta por los niños para la flauta de pan.	51
Ilustración 20. Tapones de plastilina en los tubos.	53

Tablas.

Tabla 1. Antecedentes.....	14
Tabla 2. Relaciones entre longitud de la cuerda, longitud de onda, frecuencia y número de armónico en una cuerda fija en ambos extremos.....	25
Tabla 3. Relaciones entre longitud de un tubo abierto, longitud de onda, frecuencia y número de armónico en un tubo abiertos en ambos extremos.....	27
Tabla 4. Relaciones entre longitud, longitud de onda, frecuencia y número de armónicos en un tubo cerrado en un extremo.	29
Tabla 5. Medidas propuestas para la elaboración de la flauta de pan.	52

INTRODUCCIÓN

En el paso por la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, se evidenció el interés por desarrollar diferentes investigaciones en las ramas de la física relacionadas con la enseñanza de la física, cada una con implicaciones e intenciones pedagógicas diferentes, una de las ramas es la física del sonido y su problematización en el aula en el caso de la línea de investigación Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural, pero pocas relacionan la física del sonido con la música y la educación primaria; la mayoría de la problematización en torno a los fenómenos físicos se encuentran enfocados en educación media y superior, además, las relaciones entre la física del sonido y la música son dirigidas a grupos que estudia y comprende la teoría musical en su totalidad.

Gracias a esto y a las prácticas pedagógicas realizadas en el ciclo de profundización en diferentes instituciones y proyectos, junto con los seminarios y tópicos tomados, se plantea un trabajo enfocado en las relaciones particulares entre la física y la música, particularmente el tono y las dimensiones de los objetos y cómo estas relaciones pueden ser tratadas en la escuela mediante una propuesta de enseñanza.

El documento se encuentra organizado en cuatro apartados; en el primero: se expone la problemática de la cual surge el interés de realizar el trabajo, la justificación de dicha problemática, los objetivos y los antecedentes del trabajo junto con el enfoque metodológico y las fases en las que se desarrolló. Seguido, en el segundo apartado: fundamentación física, se encuentra la revisión de los conceptos desde la física y la música que permiten hallar las relaciones entre el tono y las dimensiones de las fuentes sonoras. El tercer apartado: Propuesta de enseñanza: Dimensión del tono, se encuentra la elaboración de una propuesta de enseñanza desde criterios definidos desde los diferentes ejes del trabajo. Finalmente, el cuarto apartado: reflexiones finales y conclusiones, se encuentran expuestas las reflexiones finales que surgen gracias al desarrollo del trabajo.

PROBLEMÁTICA

Según los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales para grados primero a tercero, los estudiantes mediante el entorno físico identifican y comparan “fuentes de luz, calor y sonido y sus efecto sobre los diferentes seres vivos” también se espera que los estudiantes lleguen a clasificar los sonidos según su tono, volumen y fuente, adicional a esto, se espera que los estudiantes propongan experiencias para comprobar la propagación del sonido. Por otro lado, en los grados octavo y noveno, proponen un primer acercamiento a las ondas, relación entre frecuencia, amplitud, velocidad de propagación y longitud de onda en diferentes tipos de ondas mecánicas, entre las cuales se incluyen las ondas sonoras. En este punto los estudiantes también deben tener una idea clara acerca de las aplicaciones de las ondas estacionarias en el funcionamiento interno de los instrumentos musicales (Ministerio de Educación Nacional, 2006). En el caso de los Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales, para grado tercero se espera que el estudiante “comprenda la naturaleza (fenómeno de la vibración) y las características del sonido (altura, timbre, intensidad)...” para evidenciar lo anterior se espera que el estudiante “demuestre que el sonido es una vibración mediante el uso de fuentes para producirlo: cuerdas (guitarra), parches (tambor) y tubos de aire (flauta), identificando en cada una el elemento que vibra”, “describe y compara sonidos según su altura (grave o agudo) y su intensidad (fuerte o débil)” y para grado once se espera que el estudiante “comprende la naturaleza de la propagación del sonido y de la luz como fenómenos ondulatorios (ondas mecánicas y ondas electromagnéticas, respectivamente” para evidenciar lo anterior se espera que el estudiante “clasifica las ondas de luz y sonido según el medio de propagación (mecánicas y electromagnéticas) y la dirección de la oscilación (longitudinales y transversales)”, “explica las cualidades del sonido (tono, intensidad, audibilidad) ... a partir de las características del fenómeno ondulatorio (longitud de onda, frecuencia, amplitud)” (Ministerio de Educación Nacional, 2016). Además, según la Serie de Lineamientos Curriculares de Educación Artística el sonido hace parte de las competencias claves del desarrollo cognitivo mediante la percepción de relaciones, ya que todas las acciones de labor artística pueden ser explicadas por medio de interacciones que realiza el ser humano con los elementos y el espacio. Los años de la educación primaria, según el Ministerio de Educación, son los más propicios para la

enseñanza del solfeo, con el fin de establecer relaciones entre altura, duración e intensidad de los sonidos, las cuales dependen de la forma característica de los instrumentos. Metodológicamente hablando, aconsejan dar la oportunidad a los estudiantes de jugar rítmicamente, lo que implica improvisación e imitación de sonidos empezando con los de la naturaleza dándole, posteriormente en los años de educación media y secundario, un papel importante al silencio para aprender a escuchar y al movimiento o reacción del cuerpo cuando escucha una melodía o un sonido en particular, posteriormente, se sugieren, algunas interpretaciones de melodías básicas con algún instrumento y así enseñar sobre la calidad del sonido (Ministerio de Educación Nacional, 1997).

Resulta clara la desvinculación que existe entre los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales junto con los Derechos Básicos de Aprendizaje en Ciencias Naturales y la Serie de Lineamientos Curriculares de Educación Artística, a lo largo de ambos documentos no se encuentra ningún tipo de relación o posible diálogo entre la ciencia y el arte; en este en particular el sonido y el estudio de sus cualidades y el funcionamiento de instrumentos musicales utilizados para la enseñanza de la calidad del sonido, en este caso particular el tono. El presente trabajo pretende ampliar la variedad de trabajos que presenta la línea de profundización respecto al estudio acerca del sonido al poner en diálogo dos disciplinas en un aula de educación primaria, por lo que cabe preguntarse:

¿Qué criterios posibilitan la creación de una propuesta de enseñanza que posibilite el diálogo entre la física del sonido y la música, en particular la relación entre el tono y las dimensiones de las fuentes sonoras?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar qué criterios están a la base de los factores que posibilitan la enseñanza de algunos aspectos de la física del sonido, particularmente el tono, mediante la integración de conocimientos físicos y la música por medio de una propuesta de enseñanza.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

De acuerdo con la metodología y el objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la problemática de enseñanza en torno a las relaciones entre la física y el sonido, partiendo de una de las cualidades del sonido mediante una búsqueda de bibliografía.
- Construir un marco conceptual y pedagógico sobre las cualidades del sonido y su enseñanza, en particular el tono y su relación con la geometría de la fuente sonora a partir de las ondas estacionarias, que posibiliten producir criterios para el diseño de una propuesta de enseñanza para dar cuenta de la integración de conocimientos físicos y musicales.
- Diseñar actividades que componen la propuesta de enseñanza que vinculen las idea del tono con la geometría de las fuentes sonoras con el fin de que los estudiantes elaboren explicaciones acerca de su idea de tono en relación con la fuente sonora.

JUSTIFICACIÓN

La educación en Colombia está dividida en disciplinas, como lo muestran los diferentes documentos del Ministerio de Educación Nacional bajo los cuales se rigen los colegios y demás instituciones educativas de la nación. A los maestros les resulta poco viable realizar proyectos interdisciplinarios, lo cual evidencie a lo largo de las prácticas pedagógicas, y más si los temas no son de la misma rama de conocimiento, como en este caso, ciencia y música; dividiendo y fraccionando el conocimiento: las temáticas trabajadas en ciencias no se relacionan con otras áreas y en muchos casos dichas temáticas no tienen relación alguna con la cotidianidad, reconociendo que esta articulación no es responsabilidad de los maestros desde su individualidad. Abordar el estudio de aspectos de la física referentes al sonido en una clase música, posibilita una integración de saberes de igual forma que el uso de la música en una clase de física, ya que permite relacionar dos áreas de conocimiento. La interdisciplinariedad se refiere a las posibles relaciones que se pueden establecer gracias a la

interacción de disciplinas o áreas de conocimiento, en relación con la solución de un problema, la comprensión o la explicación de algún fenómeno (Tamayo y Tamayo, 1995).

Gracias a la enriquecedora experiencia adquirida a lo largo de las prácticas pedagógicas realizadas y experiencia propia en aulas de música, considero que, para los maestros de ciencias, particularmente de física, resulta especialmente enriquecedor abordar los conceptos y fenómenos de la física en diálogo con otras disciplinas, ya que esto aporta al espectro de fenómenos a los que se hace una aproximación desde la física, además de dotar de mucho más sentido las propuestas de enseñanza de la física. El uso de la música en la clase de ciencias puede llegar a ser un recurso que favorece el aprendizaje debido al alto impacto que tiene la música en nuestra cotidianidad y puede contribuir a atraer el interés o la atención de los estudiantes y hasta la integración de un grupo de estudiantes, un ejemplo claro de esto se ve en la educación inicial donde se utiliza de forma frecuente con el fin de crear conciencia corporal, ejercitar la concentración y la memoria utilizando métodos como el propuesto por Emile J. Dalcroze (Bachmann, 1996). El presente trabajo pretende aportar a la construcción de alternativas que aporten a la enseñanza de la física en las aulas de primaria, además de contribuir a la forma en la que los niños comprenden los fenómenos relacionados con el sonido.

ANTECEDENTES

A continuación, en la tabla 1, se describen trabajos de grado relacionados con la enseñanza algunos aspectos de la física del sonido, los cuales fueron desarrollados e implementados en diversos contextos y bajo diferentes miradas y metodologías que permiten encaminar el presente trabajo. Las investigaciones mencionadas fueron desarrolladas con el fin de obtener el título de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. En la tabla se encuentra presente el nombre del trabajo, autor, año de aprobación junto con el aporte que realizan al presente trabajo con una particularidad en común: todas configuran un ejemplo de cómo es posible relacionar la física y la música en el aula.

TRABAJO	AUTOR	AÑO	APORTE
Descripción física de la armonía clásica. Tesis de pregrado.	Ismael F. Rodríguez B.	2013	Aportó a la enseñanza de la física en relación con otras con disciplinas, en este caso la música y por ende a este trabajo ya que una de sus conclusiones muestra que es posible integrar varias áreas de conocimiento, reconociendo que si bien cada una de las disciplinas se enseña de forma independiente, el conocimiento no es fragmentado lo que posibilita establecer relaciones para mejorar la comprensión de los fenómenos por parte de los estudiantes. mediante la descripción de la relación entre conceptos físicos, teoría musical y principios de la armonía, toma como base los conceptos sobre ondas estacionarias y modos de vibración en cuerdas además del trabajo realizado por Pitágoras. Centra el trabajo en la descripción del timbre como cualidad del sonido empleando el análisis de Fourier.
La caracterización de sonido: un estudio alrededor del tono. Tesis de pregrado.	Estefanía Gómez B.	2017	Aporta a este trabajo gracias al reconocimiento de los instrumentos musicales como herramientas didácticas las cuales posibilitan que los estudiantes creen y organicen sus ideas para referirse al sonido ya que el fenómeno sonoro lo evidencian en su cotidianidad. Además, La autora, usa la metodología cualitativa con el fin de hacer descripciones de las situaciones que tuvieron lugar en el aula y reconoce que el lenguaje que utilizan los estudiantes para comunicar su experiencia es efectivo y claro, presentando una ruta de aula

			implementada en un aula regular con estudiantes de octavo grado, las cuales posibilitaron la interpretación de las relaciones que existen entre las diferentes cualidades de las cuerdas vibrantes y otros instrumentos musicales configurados por tubos, acompañada de un marco teórico y conceptual tomando como referente principal el trabajo de cuerdas vibrantes realizado por Pitágoras.
La caracterización del sonido como onda mecánica: una propuesta para la enseñanza en la escuela. Tesis de pregrado.	Sarah A. Bermúdez M.	2016	Gracias a que muestra claramente que el uso de situaciones reales hace que los estudiantes reflexionen y modifiquen sus ideas previas confirmando que las prácticas de laboratorio son experiencias positivas para el aprendizaje ya que, según la autora y recopilando los datos obtenidos de la implementación, ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades correspondientes al nivel de formación, contribuye a este trabajo. Propone una forma de ahondar las características que permiten la propagación del sonido relacionando el medio de transmisión; la temperatura y la presión, poniendo en discusión conceptos como propagación del sonido, relación emisor-receptor, fuentes sonoras y medios de propagación mediante una implementación en el aula.
¡Física Maestro! De la sensación del tono al saxofón.	Lina M. Puentes E.	2018	Este trabajo logró generar una propuesta de aula que permite entablar un diálogo de saberes, partiendo de la reflexión en torno a cómo los sujetos construyen conocimiento

Tesis de pregrado.		bajo diferentes perspectivas y su reflejo en el quehacer de los sujetos, lo cual confirma que si es posible un pensar en la música desde los fenómenos del sonido, describiendo el comportamiento acústico de los tubos sonoros a partir de la caracterización del saxofón y su tono mostrando un diálogo de saberes entre la física y la música mediante la experiencia de la autora y alumnos del maestro Lin Zheng.
--------------------	--	--

Tabla 1. Antecedentes

ENFOQUE METODOLOGICO

La investigación presente se enmarca en la metodología cualitativa y el análisis conceptual-teórico desde la perspectiva de recontextualización de saberes. La metodología cualitativa, a grandes rasgos, se refiere a “la investigación que produce datos descriptivos” recopila el cómo hablan las personas y cómo se comportan en diferentes situaciones (Taylor & Bogdan, 2000) , en este caso particular, el uso de diferentes objetos para posteriormente establecer las relaciones que posibilitan caracterizar los sonidos, particularmente el tono en relación con la frecuencia. Esta metodología permite al investigador estudiar a las personas en un contexto específico estando inmerso en este y las situaciones que allí se muestran, sin convertir a los sujetos en variables para una medición numérica o para posteriores estudios estadísticos ya que los datos son “sensibles al contexto en el que se producen” (Vasilachis de Gialdino, 2006), bajo las condiciones actuales el investigador no puede encontrarse inmerso en el contexto en su totalidad puesto que la interacción entre los sujetos se encuentra limitada por la virtualidad. En este enfoque el conocimiento es un producto social y su proceso de producción al ser colectivo se encuentra marcado por valores, percepciones y significados que dan los sujetos que se ven envueltos en el desarrollo de este, permitiendo que lo considerado cotidiano sea un espacio de comprensión de la realidad. Gracias a la inmersión y la interacción del investigador, es posible llegar a procesos de organización de información, interpretación, reflexión en torno a esta y puede llegar a orientar el comportamiento, para que

esto sea posible el investigador parte de alguna categoría teórica o conceptos generadores que doten de sentido y orienten los procesos que se desean investigar (Galeano, 2003).

El análisis conceptual-teórico, enmarcado en el paradigma cualitativo, está enfocado en realizar estudios sistematizados de conceptos y teorías como su nombre lo indica, el estudio de los conceptos o teorías puede ser aplicado a si mismo o a algún objeto de estudio determinado, en este caso, teniendo como intención pedagógica la enseñanza de la física en relación con la música, específicamente, la relación entre las dimensiones de una fuente sonora y el tono desde el punto de vista físico, es decir, la frecuencia. Además, la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza y en particular la enseñanza de la física, no entendida desde la historia (Castillo, 2008), sino entendida desde el diálogo de saberes en la escuela y el diálogo entre diferentes disciplinas y como este diálogo se muestra en el aula, como el maestro lo adecua a las condiciones y al grupo al que se está presentando teniendo en cuenta sus particularidades.

Fases

El desarrollo de la investigación se planteó en tres fases: la primera fase se enfocó en la determinación de la problemática de enseñanza acerca de la relación de la física del sonido, bajo las particularidades del tono y su relación con la frecuencia, y la música, en esta también se encuentra la búsqueda de referencias, autores, artículos y demás textos que contribuyen a la elaboración de este. Seguido se encuentra la fase de revisión y análisis desde la comprensión y la síntesis de los textos y como se presentan los fenómenos relacionados con el sonido en los diferentes documentos relacionados con el fenómeno físico tratado, para hallar las relaciones entre tono y dimensión del objeto que emite el sonido, además de documentos acerca de la enseñanza de la música y su aplicación en Colombia. Finalmente, la tercera fase se centra en el diseño de la propuesta de enseñanza partiendo de la identificación de los criterios para su elaboración enmarcados en el marco pedagógico y la planeación de las actividades que la componen.

SEGUNDO APARTADO

Fundamentación física

El sonido puede ser definido como una “ruptura en el equilibrio del aire” donde las partículas del medio se mueven en relación con las partículas próximas a la fuente sonora (Gallardo, 2015), además el sonido ha estado presente desde los inicios de las comunidades ya que posibilita la comunicación. En el caso de la física, los estudios acerca del sonido se desarrollaron desde los griegos donde se destacan los trabajos realizados por Pitágoras sobre cuerdas vibrantes, Arquitas sobre acústica y Ptolomeo sobre sistemas musicales, los cuales sirvieron para el posterior desarrollo de la teoría de consonancias en la edad media. Gracias a todo el desarrollo entorno al estudio del sonido, podemos caracterizarlo mediante ondas sonoras que se propagan en un medio elástico generando una variación en la presión del medio circundante, por ejemplo, la voz humana se puede definir como un conjunto de ondas sonoras las cuales tienen su origen en las cuerdas vocales y son transmitidas por el aire (medio circundante) del cual depende la conducción de los sonidos emitidos. Las ondas, desplazan las moléculas del medio en forma radial lo que genera cambios de presión en el medio circundante, posibilitando el avance de las ondas en dicho medio; las ondas pueden caracterizarse de múltiples maneras: longitud de onda, velocidad de propagación y frecuencia. La frecuencia es la cantidad de ondas emitidas por segundo. Mayor frecuencia se traduce en un sonido más agudo, menor frecuencia se traduce en sonidos más graves. Otra forma de mostrar lo anterior es mediante las constantes del sonido, la frecuencia y la longitud de onda que a su vez están relacionadas con la velocidad de propagación del sonido en un medio homogéneo:

$$v = f\lambda_{Ecuación 1.}$$

Considerado la velocidad como constante. El tono es la característica del sonido que nos permite diferenciar o catalogar un sonido como agudo o grave, para el oído humano el umbral de percepción va desde 20 Hz hasta 20.000 Hz, los Hercios equivalen a número de ciclos u oscilaciones por segundo, las frecuencias que no se encuentran en este rango, mayores de 20.000 Hz y menores de 20 Hz son catalogados como ultrasonidos o infrasonidos

respectivamente (Merino de la Fuente & Muñoz-Repiso, 2013). Así mismo la frecuencia y la longitud de onda se encuentran relacionadas con la siguiente expresión:

$$f = \frac{v}{\lambda} \text{ Ecuación 2.}$$

Reconociendo que la longitud de onda es la distancia que existe entre dos crestas o dos valles consecutivos además de ser inversamente proporcional a la frecuencia de la onda; en otros términos, una longitud de onda grande corresponde a una frecuencia baja y una longitud de onda corta corresponde a una frecuencia alta.

El sonido como onda responde a las características de las ondas mecánicas, ondas esféricas y ondas longitudinales, puesto que requiere de un medio material elástico para su desplazamiento, son ondas que se desplazan en tres dimensiones y el movimiento de las partículas del medio que transportan la onda se desplazan en la misma dirección de propagación de la onda.

Relacionando la física y el lenguaje musical es posible obtener que la longitud de onda es la altura tonal, lo que se refiere a la clasificación de sonidos graves y agudos, en el caso de la intensidad o la amplitud de la onda se traduce en música a los sonidos fuertes o suaves, es decir, a los matices o a la dinámica de la música. Además, se pueden dividir sonidos entre largos y cortos; es posible observar esto en la escritura en el pentagrama donde las figuras más simples tienen asignado un tiempo más largo y las figuras más elaboradas visualmente son de menor duración temporal. Según la clasificación Sachs- Hornbostel de instrumentos musicales¹ existen cinco grupos grandes, que a su vez se dividen en subgrupos, de instrumentos: aerófonos cuyo sonido se produce al vibrar una columna de aire, cordófonos cuyo sonido se produce al someter una cuerda tensa a vibración, ideófonos cuyo sonido es producido por la vibración de propio cuerpo del instrumento, membranófonos cuyo sonido se produce mediante la vibración de una membrana y finalmente electrófonos cuyo sonido

¹ Es posible definir un instrumento como cualquier objeto que es utilizado por el ser humano con un fin particular, pero la definición de instrumento musical no radica en que las propiedades de estos no son características propias del objeto sino que es dada por el ser humano al darle un uso específico y funcional. De este modo cualquier instrumento musical puede ser cualquier objeto que sea usado por el ser humano con el fin de producir sonidos siempre y cuando este inmerso en el marco de una creación musical. Un instrumento musical puede ser considerado un sistema compuesto por una estructura y un principio de organización compuestos por al menos un oscilador y en algunas ocasiones un resonador y una forma particular de excitar el oscilador.

es producido por medios electrónicos (Pérez de Arce, 2013). La frecuencia de una onda es una definición física cuantitativa, es medible y no necesita ser audible, es decir, no necesariamente es un sonido, mientras que el tono o elevación es una valoración subjetiva de la frecuencia del sonido; esta valoración puede variar según las condiciones para una misma frecuencia, es decir, depende de las condiciones del ambiente y de quien este percibiendo el estímulo.

Resonancia y geometría

El tono en los instrumentos musicales además de la frecuencia, puede determinarse por sus características dimensionales y de constitución para el correcto uso de los instrumentos: en el caso del tamaño general del instrumento entre más grande sea un instrumentos musical, más grave es el tono emitido (menor frecuencia) y en caso contrario, cuando el instrumento es más pequeño, el tono emitido es más agudo (mayor frecuencia). En el caso de las cuerdas, entre más larga es una cuerda, más grave es el tono emitido y por el contrario, si la cuerda es corta, el tono emitido es más agudo. Para el caso de la tensión se encuentra que entre menor tensa se encuentre una cuerda, más grave es el tono emitido y en el caso contrario, a mayor tensión se obtiene un tono más agudo. Finalmente para el caso de la presión, mientras mayor sea la presión del aire, más agudo es el tono emitido y en el caso contrario, a menor presión del aire, más grave es el tono emitido lo cual también se encuentra relacionado con la longitud del tubo.

Ejemplo de violín y contrabajo y otros instrumentos

De este modo, para que el fenómeno de resonancia, en cualquier caso, necesita tener condiciones que lo permitan: un sistema elástico² con frecuencias naturales³ de vibración, una fuerza periódica externa que actúe sobre el sistema y una coincidencia entre las frecuencias del sistema y de la fuerza (Peralta, Reyes, & Godínez, 2009). Partiendo de estas

² Teniendo en cuenta que la elasticidad es una propiedad de los cuerpos que les permite deformarse bajo la acción de alguna fuerza externa aplicada y de recuperar su forma original una vez dichas fuerzas dejen de aplicarse sobre él.

³ Cuando los cuerpos son deformados, generan un número de oscilaciones que dependen de su forma, material y condiciones, para regresar a su estado de equilibrio, estas oscilaciones son propias de cada cuerpo y por tanto son oscilaciones con frecuencias propias y son denominadas frecuencias naturales.

condiciones, la totalidad del instrumento se considera el sistema elástico y la fuerza periódica externa es el modo en el que es posible excitar el instrumento.

Un ejemplo claro de lo anteriormente mencionado, es la comparación entre un violín y un contrabajo, instrumentos que en obras musicales se complementan de forma poderosa, el contrabajo produce sonidos con longitudes de onda muy grandes y por ende frecuencias muy bajas, en cambio los violines producen sonidos con longitud de onda pequeña y por ende frecuencias muy altas; todo esto se encuentra directamente relacionado con el tamaño y las dimensiones del instrumento y las necesidades específicas de funcionamiento musicalmente hablando. En el violín y el contrabajo, la caja de resonancia debe ser fuerte para soportar la tensión de las cuerdas, pero al mismo tiempo delgada para que vibre de la manera correcta y así sea posible amplificar el sonido. De igual forma un bombo y unos timbales, una guitarra y un ukelele, una trompeta y una tuba; cada uno tiene relaciones específicas en cuanto a las dimensiones y el tono que emiten.

Ondas estacionarias y relación con las dimensiones

Las ondas estacionarias pueden considerarse un caso particular de interferencia, la cual se produce cuando se superponen dos ondas que se mueven en la misma dirección, misma amplitud y frecuencia pero en sentido opuesto. En este tipo de ondas, los puntos que la configuran oscilan en torno a la posición de equilibrio a medida que pasa el tiempo, sin embargo, el patrón que describe la onda, no varía. Una de las condiciones para que las ondas estacionarias se propaguen es que el medio en el que se encuentren sea un medio cerrado, es decir, que las ondas encuentren en su trayectoria obstáculos que les permitan reflejarse, aunque existen otros sistemas que permiten producir ondas estacionarias como los instrumentos de viento o una cuerda fija por sus dos extremos.

Partiendo del caso en el que la onda inicial y la reflejada tienen igual valor de amplitud, frecuencia y longitud de onda y, además, se transportan en sentidos opuestos, la ecuación de la onda estacionaria de manera general está dada por:

$$y = 2A \sin(kx) \cos(\omega t) \text{Ecuación 3.}$$

Teniendo en cuenta las relaciones del número de onda k y la frecuencia angular ω :

$$y = 2A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cos(2\pi ft) \text{ Ecuación 4.}$$

O de manera simplificada:

$$y = A_T \cos(\omega t) \text{ Ecuación 5.}$$

Donde y representa la distancia respecto a la posición de equilibrio, x representa la coordenada x del punto considerado para el estudio, A la amplitud de la onda inicial, k el número de onda el cual coincide con el de la onda inicial y se relaciona con la longitud de onda ($k = \frac{2\pi}{\lambda}$), ω la frecuencia angular que coincide con la frecuencia angular de la onda inicial y se relaciona con la frecuencia ($\omega = 2\pi f$).

Las ecuaciones descritas anteriormente se obtienen gracias a un sistema de ecuaciones conformado por dos ecuaciones de onda con consideraciones particulares:

Considerando dos ondas y_1 y y_2 con valor de amplitud, frecuencia y longitud de onda igual, pero en sentido opuesto:

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t) \text{ Ecuación 6.}$$

$$y_2 = A \sin(kx + \omega t) \text{ Ecuación 7.}$$

Sumando y_1 y y_2

$$y = y_1 + y_2 \text{ Ecuación 8.}$$

$$y = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t) \text{ Ecuación 9.}$$

$$y = A (\sin(kx - \omega t) + \sin(kx + \omega t)) \text{ Ecuación 10.}$$

Tomando en consideración que:

$$\sin(a) + \sin(b) = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \text{ Ecuación 11.}$$

$$\cos(-a) = \cos(a) \text{ Ecuación 12.}$$

Se obtiene:

$$y = 2A \sin\left(\frac{(kx - \omega t) + (kx + \omega t)}{2}\right) \cos\left(\frac{(kx - \omega t) - (kx + \omega t)}{2}\right) \text{ Ecuación 13.}$$

$$y = 2A \sin(kx) \cos(\omega t) \text{ Ecuación 14.}$$

Reemplazando las relaciones del número de onda k y la frecuencia angular ω , se obtiene que:

$$y = 2A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cos(2\pi ft) \text{ Ecuación 15.}$$

Considerando

$$2A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) = 2A \sin(kx) = A_T \text{ Ecuación 16.}$$

Finalmente se obtiene que:

$$y = A_T \cos(\omega t) \text{ Ecuación 17.}$$

La variación de y en la ecuación de onda estacionaria depende la variable de posición en el eje x (x) y esta a su vez se encuentra operada por un seno, lo que significa que se encontraran puntos donde la variación de y sea mínima (0) conocidos como nodos, así como puntos de variación máxima ($2A$) conocidos como valles o antinodos.

En los nodos se cumple que:

$$\begin{aligned} \sin(kx) &= \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \text{ Ecuación 18.} \\ \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) &= 0 \rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} x = n\pi \\ x &= n \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 19.} \end{aligned}$$

Tomando $n = 0,1,2,3 \dots$ que representa número de nodos.

En el caso de los valles se cumple que:

$$\begin{aligned} \sin(kx) &= \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \text{ Ecuación 20.} \\ \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) &= \pm 1 \rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} x = (2n + 1) \frac{\pi}{2} \\ x &= (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \text{ Ecuación 21.} \end{aligned}$$

Tomando $n = 0,1,2,3 \dots$, como en el caso de los nodos.

La distancia entre dos nodos de una onda estacionaria es la mitad de la longitud de onda (λ) y se encuentra restando las posiciones de dos nodos consecutivos:

Partiendo de $x = n \frac{\lambda}{2}$, tomando $n = 1; n = 2$, se obtiene que:

$$x_{1nodo} = \frac{\lambda}{2}$$

$$x_{2nodo} = 2 \frac{\lambda}{2}$$

Restando $x_2 - x_1$

$$x_{2nodo} - x_{1nodo} = 2\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 22.}$$

Se obtiene que:

$$x_{2nodo} - x_{1nodo} = \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 23.}$$

La distancia entre dos valles de una onda estacionaria es la mitad de la longitud de onda (λ) y se encuentra restando las posiciones de dos valles consecutivos de igual forma que la distancia entre dos nodos consecutivos:

Partiendo de $x = n\frac{\lambda}{2}$, tomando $n = 1; n = 2$, se obtiene que:

$$x_{1valle} = \frac{\lambda}{2}$$

$$x_{2valle} = 2\frac{\lambda}{2}$$

Restando $x_2 - x_1$

$$x_{2valle} - x_{1valle} = 2\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 24.}$$

Se obtiene que:

$$x_{2valle} - x_{1valle} = \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 25}$$

La distancia entre dos valles consecutivos es igual a la distancia entre dos nodos consecutivos, por lo que la distancia entre un valle y un nodo es igual a un cuarto de la longitud de onda $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$.

Cuerdas

Las ondas estacionarias en el caso de una cuerda fija por ambos extremos se dan cuando la cuerda es excitada a una frecuencia determinada. Al tener la cuerda de longitud L fija en ambos extremos, los puntos $x = 0$ y $x = L$ son nodos, puesto que en estos puntos no hay variación en y :

$$y(0, t) = 0 \text{ Ecuación 26.}$$

$$y(L, t) = 0 \text{ Ecuación 27.}$$

Conociendo que los nodos se encuentran a una distancia igual a media longitud de onda, en la onda estacionaria también se encuentran números enteros de semilongitudes de onda como se muestra en la ilustración 1, que se ajustan a la longitud L de la cuerda:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 28.}$$

Lo que significa que la longitud de una cuerda fija a ambos extremos, debe cumplir con la relación de la ecuación anterior, que a su vez cumplen con las relaciones de longitud de onda, para que se generen ondas estacionarias en ella, como se muestra gráficamente en la Ilustración 1⁴:

$$L_1 = \frac{\lambda}{2}, L_2 = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda, L_3 = \frac{3\lambda}{2}, \dots, L_n = n \frac{\lambda}{2}$$

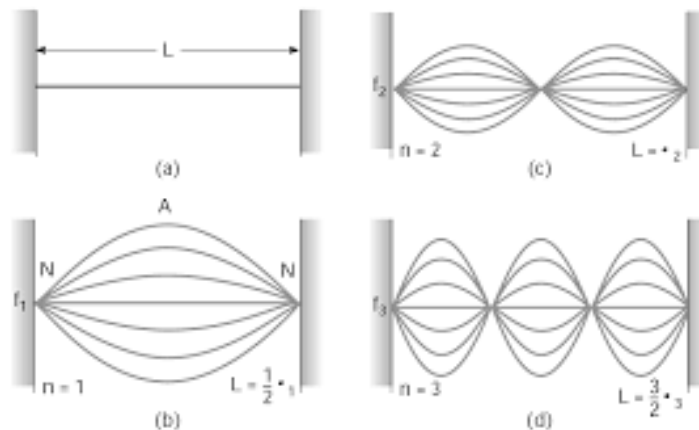


Ilustración 1. Ondas estacionarias en una cuerda fija en ambos extremos

⁴ Tomada de Google:

Si se asocia la longitud de onda a n nombrándola como λ_n y se despeja de la ecuación anterior se obtiene que:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \text{ Ecuación 29.}$$

Lo que significa que las ondas estacionarias que son generadas en una cuerda de longitud L fija por ambos extremos solo deben tener valores de longitud de onda que cumplan la relación de la ecuación anterior:

$$\lambda_1 = 2L, \lambda_2 = \frac{2L}{2} = L, \lambda_3 = \frac{2L}{3}, \dots, \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

Como la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) están relacionadas a través de la velocidad $v = \lambda f$ de la onda, relacionando la frecuencia a un número entero (n), como en el caso de la longitud de onda, y despejándola se obtiene que:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \text{ Ecuación 30.}$$

Reemplazando λ_n

$$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right) \text{ Ecuación 31.}$$

De modo similar a la longitud de onda, las ondas estacionarias que son generadas en una cuerda de longitud L fija por ambos extremos solo pueden tener valores de frecuencia que cumplan con la relación dada en la ecuación anterior. Estos valores de frecuencia se denominan armónicos o frecuencias naturales, cuando $n=1$ se obtiene la frecuencia fundamental de la onda estacionaria generada en la cuerda:

$$f_1 = \frac{v}{2L}, f_2 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}, f_3 = \frac{3v}{2L}, \dots, f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$$

En la tabla 2⁵, se encuentra la relación entre la longitud de la cuerda, la longitud de onda, la frecuencia y en número de armónico correspondiente a cada caso:

n	Longitud (L)	Longitud de onda (λ)	Frecuencia (f)	Armónico

⁵ Elaboración propia.

1	$L_1 = \frac{\lambda}{2}$	$\lambda_1 = 2L$	$f_1 = \frac{v}{2L}$	Primer armónico
2	$L_2 = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda_2$	$\lambda_2 = \frac{2L}{2} = L$	$f_2 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}$	Segundo armónico
3	$L_3 = \frac{3\lambda}{2}$	$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$	$f_3 = \frac{3v}{2L}$	Tercer armónico
n	$L_n = n \frac{\lambda}{2}$	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$	$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$	Enésimo armónico

Tabla 2. Relaciones entre longitud de la cuerda, longitud de onda, frecuencia y número de armónico en una cuerda fija en ambos extremos.

En el caso de los instrumentos de cuerda se encuentra que la o las cuerdas se encuentran fijas en dos extremos considerando estos puntos como puntos nodales, la onda que se produce es transversal y la frecuencia fundamental que se produce en una onda es directamente proporcional a la tensión (T) a la que se encuentre sometida la cuerda e inversamente proporcional a la longitud (L) y la densidad lineal de la cuerda (μ).

$$f \propto T \text{ Ecuación 32.}$$

$$f \propto \frac{1}{L} \text{ Ecuación 33.}$$

$$f \propto \frac{1}{\mu} \text{ Ecuación 34.}$$

El modo de excitación de este tipo de osciladores es por pulsación en el caso de instrumentos como la guitarra, percusión en el caso del piano o frotado en el caso de instrumentos como el violín.

Tubos

Para caracterizar las ondas estacionarias en un tubo debe ser tenido en cuenta que existen tubos cerrados y abiertos.

Si un tubo es abierto en ambos extremos, la amplitud máxima de vibración se encuentra en los extremos del tubo de longitud L . Las ondas estacionarias en el caso de un tubo abierto se dan cuando el tubo es excitado a una frecuencia determinada. Al tener un tubo de longitud L , los puntos $x = 0$ y $x = L$ son nodos, puesto que en estos puntos no hay variación en y :

$$y(0, t) = 0 \text{ Ecuación 35.}$$

$$y(L, t) = 0 \text{ Ecuación 36.}$$

Y como la distancia entre dos nodos es igual a media longitud de onda, como en el caso de las cuerdas, se obtiene que:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \text{ Ecuación 28.}$$

Asociando la longitud del tubo L y al valor de n , se obtiene que:

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

Lo que significa que la longitud del tubo debe cumplir con la relación de la ecuación anterior, que a su vez cumplen con las relaciones de longitud de onda, para que se generen ondas estacionarias en el:

$$L_1 = \frac{\lambda}{2}, L_2 = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda, L_3 = \frac{3\lambda}{2}, \dots, L_n = n \frac{\lambda}{2}$$

Asociando la longitud de onda a n nombrando λ como λ_n , como en el caso de una cuerda fija en ambos extremos, y se despeja de la ecuación anterior se obtiene que:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \text{ Ecuación 29.}$$

Lo que significa que las ondas estacionarias que son generadas en un tubo abierto de longitud L solo deben tener valores de longitud de onda que cumplan la relación de la ecuación anterior:

$$\lambda_1 = 2L, \lambda_2 = \frac{2L}{2} = L, \lambda_3 = \frac{2L}{3}, \dots, \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

Como la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) están relacionadas a través de la velocidad $v = \lambda f$ de la onda, relacionando la frecuencia a un número entero (n), como en el caso de la longitud de onda, y despejándola se obtiene que:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \text{ Ecuación 30.}$$

Reemplazando λ_n

$$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right) \text{ Ecuación 31.}$$

De modo similar a la longitud de onda, y de igual forma a una cuerda fija en sus extremos, las ondas estacionarias que son generadas en un tubo abierto de longitud L , solo pueden tener valores de frecuencia que cumplan con la relación dada en la ecuación anterior. Estos valores de frecuencia se denominan armónicos o frecuencias naturales, cuando $n=1$ se obtiene la frecuencia fundamental de la onda estacionaria generada en un tubo abierto:

$$f_1 = \frac{v}{2L}, f_2 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}, f_3 = \frac{3v}{2L}, \dots, f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$$

En la tabla 3⁶, se encuentra la relación entre la longitud del tubo abierto en ambos extremos, la longitud de onda, la frecuencia y en número de armónico correspondiente a cada caso que es igual a las relaciones correspondientes a una cuerda fija en ambos extremos de longitud L :

n	Longitud (L)	Longitud de onda (λ)	Frecuencia (f)	Armónico
1	$L_1 = \frac{\lambda}{2}$	$\lambda_1 = 2L$	$f_1 = \frac{v}{2L}$	Primer armónico
2	$L_2 = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda_2$	$\lambda_2 = \frac{2L}{2} = L$	$f_2 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}$	Segundo armónico
3	$L_3 = \frac{3\lambda}{2}$	$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$	$f_3 = \frac{3v}{2L}$	Tercer armónico
n	$L_n = n \frac{\lambda}{2}$	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$	$f_n = n \left(\frac{v}{2L} \right)$	Enésimo armónico

Tabla 3. Relaciones entre longitud de un tubo abierto, longitud de onda, frecuencia y número de armónico en un tubo abiertos en ambos extremos.

En el caso de un tubo cerrado en un extremo: en el extremo por donde ingresa el aire se origina un valle y en el extremo cerrado se genera un nodo. El punto $x = 0$ es un valle y el punto $x = L$ es un nodo, puesto que en el extremo por el cual ingresa el aire si hay variación de y .

$$y(0, t) \neq 0 \text{ Ecuación 37.}$$

$$y(L, t) = 0 \text{ Ecuación 38.}$$

Teniendo en cuenta que la distancia entre un nodo y un valle consecutivos es $\frac{\lambda}{4}$, la longitud L del tubo debe responder a dicha relación para que se generen ondas estacionarias:

⁶ Elaboración propia

$$L_n = \frac{\lambda}{4}(2n + 1) \text{ Ecuación 39.}$$

Tomando $n = 1, 2, 3 \dots$, de esta forma se encuentra que la longitud del tubo debe corresponder a:

$$L_1 = \frac{\lambda}{4}(2(1) + 1) = \frac{3\lambda}{4}, L_2 = \frac{\lambda}{4}(2(2) + 1) = \frac{5\lambda}{4}, L_3 = \frac{\lambda}{4}(2(3) + 1) = \frac{7\lambda}{4}, \dots, L_n = \frac{\lambda}{4}(2n + 1)$$

Asociando la longitud de onda a n nombrándola como λ_n , y se despeja de la ecuación anterior se obtiene que:

$$\lambda_n = \frac{4L}{(2n+1)} \text{ Ecuación 40.}$$

Lo que significa que las ondas estacionarias que son generadas en un tubo abierto de longitud L solo deben tener valores de longitud de onda que cumplan la relación de la ecuación anterior:

$$\lambda_1 = \frac{4L}{(2(1) + 1)} = \frac{4L}{3}, \lambda_2 = \frac{4L}{(2(2) + 1)} = \frac{4L}{5}, \lambda_3 = \frac{4L}{(2(3) + 1)} = \frac{4L}{7}, \dots, \lambda_n = \frac{4L}{(2n + 1)}$$

Como la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) están relacionadas a través de la velocidad $v = \lambda f$ de la onda, relacionando la frecuencia a un número entero (n), como en el caso de la longitud de onda, y despejándola se obtiene que:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \text{ Ecuación 41.}$$

Reemplazando λ_n

$$f_n = \frac{v(2n+1)}{4L} \text{ Ecuación 42.}$$

De modo similar a la longitud de onda, las ondas estacionarias que son generadas en un tubo cerrado de longitud L , solo pueden tener valores de frecuencia que cumplan con la relación dada en la ecuación anterior. Estos valores de frecuencia se denominan armónicos o frecuencias naturales, cuando $n=1$ se obtiene la frecuencia fundamental de la onda estacionaria generada en la cuerda:

$$f_1 = \frac{v(2(1) + 1)}{4L} = \frac{3v}{4L}, f_2 = \frac{v(2(2) + 1)}{4L} = \frac{5v}{4L}, f_3 = \frac{v(2(3) + 1)}{4L} = \frac{7v}{4L}, \dots, f_n = \frac{v(2n + 1)}{4L}$$

En la tabla 4⁷, se encuentra la relación entre la longitud del tubo cerrado en un extremo, la longitud de onda, la frecuencia y en número de armónico correspondiente a cada caso mostrando una progresión impar:

n	Longitud (L)	Longitud de onda (λ)	Frecuencia (f)	Armónico
1	$L_1 = \frac{\lambda}{4}(2(1) + 1)$ $= \frac{3\lambda}{4}$	$\lambda_1 = \frac{4L}{(2(1) + 1)}$ $= \frac{4L}{3}$	$f_1 = \frac{v(2(1) + 1)}{4L}$ $= \frac{3v}{4L}$	Primer armónico
2	$L_2 = \frac{\lambda}{4}(2(2) + 1)$ $= \frac{5\lambda}{4}$	$\lambda_2 = \frac{4L}{(2(2) + 1)}$ $= \frac{4L}{5}$	$f_2 = \frac{v(2(2) + 1)}{4L}$ $= \frac{5v}{4L}$	Segundo armónico
3	$L_3 = \frac{\lambda}{4}(2(3) + 1)$ $= \frac{7\lambda}{4}$	$\lambda_3 = \frac{4L}{(2(3) + 1)}$ $= \frac{4L}{7}$	$f_3 = \frac{v(2(3) + 1)}{4L}$ $= \frac{7v}{4L}$	Tercer armónico
n	$L_n = \frac{\lambda}{4}(2n + 1)$	$\lambda_n = \frac{4L}{(2n + 1)}$	$f_n = \frac{v(2n + 1)}{4L}$	Enésimo armónico

Tabla 4. Relaciones entre longitud, longitud de onda, frecuencia y número de armónicos en un tubo cerrado en un extremo.

⁷ Elaboración propia.

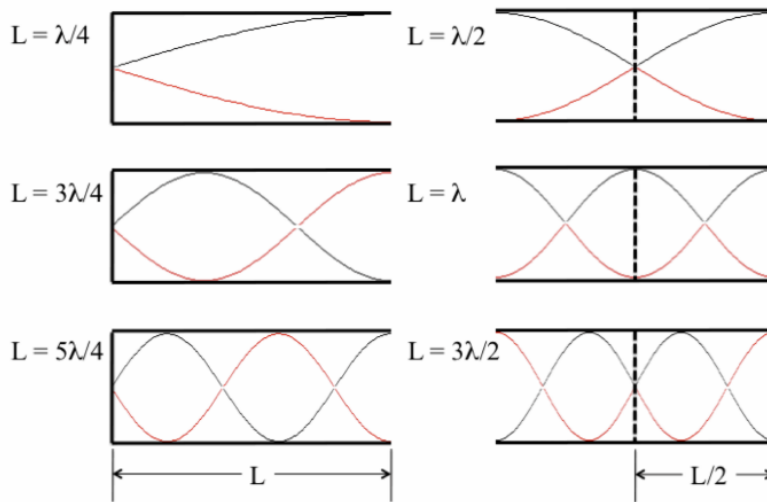


Ilustración 2. Ondas estacionarias en tubos.

La ilustración 2⁸, muestra la diferencia de los modos de vibración de un tubo cerrado y un tubo abierto; la ubicación de un nodo en el extremo cerrado y el valle ubicado en el extremo abierto en el tubo considerado cerrado y los nodos ubicados en ambos extremos en el caso del tubo abierto.

La onda que se produce es longitudinal y la frecuencia fundamental en este caso, es inversamente proporcional al largo del tubo, con la diferencia de que en el tubo cerrado en un extremo se produce una frecuencia fundamental de la mitad que la que produce un tubo abierto en ambos extremos si estos dos tubos son del mismo largo.

$$2f \propto \frac{1}{L} \text{ en el caso de un tubo abierto Ecuación 43.}$$

$$f \propto \frac{1}{L} \text{ en el caso de un tubo cerrado Ecuación 44.}$$

El modo de excitación de este tipo de osciladores es por los cambios en la presión en el gas (aire) que se encuentra dentro del tubo.

Membranas

⁸ Mora M. (2016) Fundamentos organológicos, históricos y acústicos del instrumento. Recuperado de <https://miguelmorateorganologia.wordpress.com/vibraciones-de-los-tubos-sonoros/>

Las membranas⁹ circulares utilizadas en tambores de diferentes tipos, es decir, membranas que se encuentran fijadas en su perímetro sometidas a una tensión dada por esta condición, no producen nodos en puntos específicos de la superficie, sino líneas de puntos donde la vibración varía poco denominadas líneas nodales que a su vez se encuentran rodeadas de zonas ventrales, que son partes de la superficie en las que la vibración alcanza amplitudes máximas (Arango, Escobar, & Reyes, 2012) y esto se conoce gracias a los estudios realizados por Ernst Chladni¹⁰ acerca de vibraciones en superficies; sobre una superficie se dispone algún material fino, como la arena, posteriormente la superficie es excitada a una frecuencia determinada y se ve una reorganización en la disposición de la arena. En el caso de las membranas, el material dispuesto se organiza si la frecuencia a la que se excita la membrana corresponde a uno de sus modos de vibración, que pueden ser circulares o radiales como lo indica la ilustración 3¹¹; la nominación de los modos de vibración cuenta con dos dígitos m y n : m indica el número de líneas nodales radiales y n indica el número de líneas nodales circulares.

⁹ Tomando membranas como superficies de gran diámetro en comparación con el grosor de estas, caracterizadas por la elasticidad.

¹⁰ Ernst Florenz Friedrich Chladni fue un físico alemán, realizó diferentes trabajos sobre las vibraciones y el cálculo de la velocidad del sonido para diferentes gases además de los patrones geométricos que aparecen en diferentes superficies, sobre las cuales se encuentra una capa fina de arena, al ser sometidas a vibraciones de diferentes frecuencias

¹¹ Franco A. (2016) Movimiento ondulatorio: Modos de vibración de una membrana circular. Recuperado de: <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica3/ondas/membrana/membrana.html>

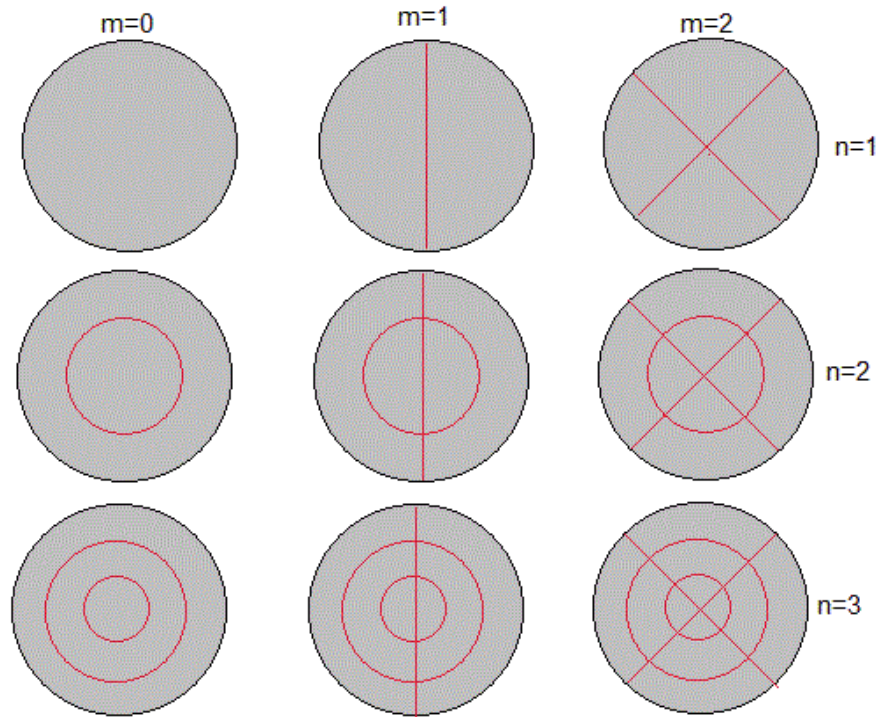


Ilustración 3. Modos de vibración de una membrana circular

Dicha reorganización se da alrededor de las líneas nodales donde la vibración es mínima, haciendo que estas sean visibles. Dada la geometría de las membranas, en el perímetro siempre se encontrará una línea nodal (Recuero, 1999). Los modos de vibración de una membrana circular no son armónicos de la frecuencia fundamental

En las membranas la frecuencia fundamental, al igual que en las cuerdas sujetas por ambos extremos, es directamente proporcional a la tensión (T) a la que se encuentra sometida e inversamente proporcional a su radio (r) y a la densidad de superficie (σ).

$$f \propto T \text{ Ecuación 45.}$$

$$f \propto \frac{1}{r} \text{ Ecuación 46.}$$

$$f \propto \frac{1}{\sigma} \text{ Ecuación 47.}$$

Este tipo de osciladores son excitados mediante percusión dada por la mano del intérprete¹² o baquetas¹³ utilizadas con el mismo.

Placas

Considerando placa como una pieza de un material elástico pero al mismo tiempo rígido como la madera o el acero en forma de barra, en la cual la longitud L es mucho mayor que sus otras dimensiones: ancho y grosor las cuales son constantes, mientras que la longitud varia. Las placas permiten transmitir ondas transversales que al ser reflejadas en un extremo dan origen a una onda estacionaria como en el caso de una cuerda fija a ambos extremos. A diferencia del caso de una cuerda, las placas presentan dispersión dadas por el módulo de Young¹⁴ que depende del material de la placa, la densidad volumétrica de la placa y una constante que depende del espesor y la dirección de la perturbación. En términos de la frecuencia fundamental y sus sobretonos ya no conforman la serie de armónicos como en los casos anteriores, puesto que las frecuencias relacionadas a n no son múltiplos de la frecuencia fundamental o del primer armónico.

En música: placas o instrumentos como el xilófono o la marimba. En este caso es posible encontrar una similitud con las cuerdas fijas a dos extremos donde la frecuencia fundamental depende de la tensión, el sonido que produce se debe al grosor y a la rigidez del material del que está constituida, de acuerdo con lo anterior, la frecuencia fundamental es directamente proporcional al grosor (g) e inversamente proporcional a la longitud (L) de la placa.

$$f \propto g \text{ Ecuación 48.}$$

$$f \propto \frac{1}{L} \text{ Ecuación 49.}$$

Las placas son excitadas, de manera similar a las membranas, por medio de percusión dada por las baquetas usadas por el intérprete.

¹² El intérprete es quien toca el instrumento musical.

¹³ Palos de diferentes materiales y diferentes longitudes que utiliza el intérprete para producir las excitaciones del instrumento musical.

¹⁴ El módulo de Young o módulo de elasticidad es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico que depende de la dirección en la que la fuerza es aplicada

Todo este estudio es posible gracias a que percibimos el tono de los sonidos en la cotidianidad, el tono es reflejado en la sensación, es una consideración subjetiva de la frecuencia de un sonido y esto puede explicarse mediante la teoría de la periodicidad que habla acerca de cómo percibimos el tono; cuando nuestro cerebro recibe sonidos con cierta regularidad extrae la sensación del tono y esta corresponde a la frecuencia con la que son percibidos dichos estímulos, esta teoría formula que el cerebro de alguna manera cuenta la cantidad de pulsos recibidos por segundo; para hacer una estimación del tono es necesario tener un número mínimo de “muestras” y puede sintetizarse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta f \cdot \Delta t \geq k$$

La expresión muestra que el producto de una variación en la frecuencia f de un sonido multiplicado por un lapso t no puede ser menor que cierta cantidad si es que se quiere percibir un sonido. De esta manera es posible identificar, gracias a que el resultado es un número de estímulos o pulsos de onda, la frecuencia que es tratada y en términos musicales la altura tonal (Merino de la Fuente, La percepción acústica: tono y timbre, 2013) lo cual resulta fundamental para el estudio de la música, puesto que el ritmo es una de las nociones fundamentales, es aquello que posibilita determinar la sucesión de las notas, los tiempos de duración y los armónicos que componen las obras de la mano con la melodía.

Todo lo anterior nos muestra como a través de analizar los armónicos, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, y las frecuencias asociados a ellos nos permiten encontrar las relaciones entre las dimensiones de la onda estacionaria que se produce en los diferentes casos, que a su vez se encuentran relacionadas con las dimensiones del objeto: las dimensiones del objeto se relacionan con las dimensiones del primer armónico, es decir, con la longitud de onda de este y la frecuencia determinada del primer armónico, dicha frecuencia determinada es reflejada en el tono, de esta manera se encuentra la relación tono- dimensión del objeto. Esta relación se puede encontrar tomando el n armónico y su longitud de onda y frecuencia correspondiente y las dimensiones del objeto. También resulta interesante ver las relaciones entre armónicos; el segundo armónico, en el caso de una cuerda, corresponde al primer armónico de una cuerda con las mismas características de grosor y tensión pero con la mitad de su longitud, lo cual también aplica para un tubo abierto por ambos extremos y las placas. En el caso de las membranas se reconocen los modos de vibración pero en música se

tiene en cuenta solo el primer armónico, ya que encontrar las relaciones entre los armónicos no es significativo en la interpretación de este tipo de instrumentos.

TERCER APARTADO

PROPUESTA DE ENSEÑANZA:

No resulta suficiente la física que se encuentra en los libros de texto para la enseñanza de la física, el maestro debe tener un conocimiento profundo acerca de las temáticas que se trabajan en el aula pues el maestro puede verse como quien se encuentra generando conocimiento para y desde el aula, este conocimiento es lo que le permite al maestro plantear experiencias, experimentos, rutas de aprendizaje y formulación de preguntas generadoras y el análisis realizado aporta a esto junto con el proceso de recontextualización de los saberes desde el diálogo de las disciplinas; permite poner de manera significativa el conocimiento en el aula teniendo en cuenta las características específicas del aula junto con el conocimiento que circula en ella. De tal manera que el conocimiento no solo entra en diálogo con el conocimiento que circula en el aula y la música, sino que se recontextualiza en medio de estas particularidades.

Para posibilitar esta propuesta de enseñanza es necesario tener en cuenta algunos aspectos y métodos de la enseñanza de la música que son el marco pedagógico; el método o visión Orff-Shulwerk y el método Dalcroze a grandes rasgos dotan sentido en cuanto a la musicalidad de cada una de las actividades propuestas: se toman estos dos métodos juntos puesto que en la experiencia se complementan, además esos métodos parten de la exploración del espacio, la corporalidad, la interacción con objetos y el hecho de que ninguno de los dos complejiza el aprendizaje de la música y la teoría musical puesto que van en contra de la teorización excesiva, teniendo en cuenta casos de éxito en la aplicación como por ejemplo, la escuela de música Rio Grande en la ciudad de Bogotá quienes pedagógicamente fusionan diferentes perspectivas de la enseñanza de la música dirigidas a sus objetivos específicos como escuela de música (Escobar, Salcedo, & Vásquez, 2016) .

La visión Orff-Shulwerk es un método activo para la enseñanza de la música en niños propuesto en 1930, siendo una alternativa para la enseñanza tradicional de la teoría musical, con un énfasis marcado en el ritmo y la percusión. Está basado en la relación lenguaje-ritmo lo que permite al maestro dar una orientación de múltiples posibilidades para la realización

de actividades. El lenguaje y el ritmo se encuentra relacionados de forma natural junto con los movimientos y posibles percusiones que surgen, dotando de elementos simples de ritmo a los niños gracias al acento del lenguaje y la improvisación. Lo que posibilita la enseñanza de diferentes elementos musicales son los instrumentos utilizados bajo esta mirada ya que no son instrumentos que requieran técnica específica como lo requiere instrumentos como la guitarra o el piano, los principales instrumentos son las manos, los pies, el cuerpo en general y su movimiento en un espacio determinado, elementos que se encuentran alrededor o instrumentos como el tambor, los cuales pueden ser explorados por los niños para desarrollar a su vez, destreza rítmica. A su vez, en el método Dalcroze se define rítmica como una disciplina muscular, además, los niños formados en esta disciplina tienen la capacidad de hacer organizaciones rítmicas de cualquier pieza de música, es un tipo de formación musical básica que posibilita el entendimiento de diferentes elementos musicales. El método se encarga de potencializar la percepción del sentido auditivo y la posterior expresión corporal de lo percibido, ya que el ritmo de cualquier canción que escuchamos es traducido por nuestro cuerpo de forma instintiva en gestos o movimientos o la interacción del cuerpo por objetos.

Gracias a las relaciones encontradas en el primer apartado se generan los criterios disciplinares, metodológicos y didácticos desde la perspectiva de la enseñanza de la música, para creación de las actividades que componen la propuesta didáctica que posibilitan la enseñanza de algunos aspectos de la física del sonido:

- Disciplinalmente se encuentra la relación entre las dimensiones de un objeto, la longitud de onda, la frecuencia y los armónicos con el tono en términos musicales, visibilizando el diálogo de saberes en torno a una temática específica.
- La recontextualización como forma de adecuar, resignificar, reinterpretar y reelaborar el conocimiento sobre aspectos de la física del sonido en relación con el contexto escolar: la población, los conocimientos en música, las condiciones en las que se encuentra la población. Lo que significa volver al conocimiento y reelaborarlo para la población, sus condiciones y necesidades particulares guardando relación con lo que se debe hacer según los documentos del Ministerio de Educación Nacional.
- El carácter experiencial que denota la totalidad del proceso, el hecho de no partir de la teoría de la música ni de la teoría de la física sino partir de la comprensión de la

música desde la interpretación, la corporalidad y su relación con los objetos y el espacio.

Cada una de las actividades presenta un objetivo, cuenta con una lista de materiales requeridos además de cómo deben ser dispuestos en el espacio disponible, además de recomendación para la realización de las actividades y preguntas orientadoras que deben realizarse a lo largo o al final de cada actividad. Teniendo en cuenta la situación actual en la que los estudiantes no se encuentran en el aula, se presentan dos posibles escenarios para la realización de las actividades descritas: un espacio en casa y el espacio del aula dado el caso de implementar bajo normalidad y adecuación de condiciones.

ACTIVIDAD I: el tono en el salón

De acuerdo con las características mencionadas de los métodos Orff- Shulwerk y Dalcroze y los elementos que se encuentran en casa o en un salón de clase posibilitan, de manera introductoria, acercarse a las siguientes actividades propuestas, a la idea de tono y a la relación de este con las dimensiones; el aula, al igual que un espacio en casa, tiene elementos como mesas, sillas, paredes e incluso es suelo pueden utilizarse para generar sonido junto con otros objetos que generalmente tienen los estudiantes (lápices, esferos, cuadernos) o inclusive su propio cuerpo.

Objetivo

Mostrar a los niños que el sonido puede ser generado mediante golpes¹⁵, que el sonido que emiten los objetos depende de las dimensiones que este tiene, entre otras cosas. Además, romper con la rutina de la clase al usar dichos elementos para cosas diferentes a las que están destinadas. Se espera que los niños se acerquen a la idea de tono relacionado con el tamaño de los objetos.

Materiales y disposición

- Útiles escolares de uso diario: lápices, esferos, cuadernos.
- Mobiliario del espacio: mesas, sillas.

¹⁵ Entendiendo golpe como perturbación.

Sobre la mesa de cada estudiante debe encontrarse un cuaderno y dos lápices o esferos.

Para esta actividad es necesario un tiempo estimado de quince minutos a media hora. Los niños, guiados por los profesores acompañantes, deberán golpear con elementos de la siguiente manera, sin un orden específico¹⁶, además los profesores presentes deben orientar con su voz un ritmo sencillo con el fin de que la actividad tenga un orden y los niños puedan percibir el sonido de una forma regular; se propone usar *ta ca ta ca ta: ta* para el golpe, *ca* para silencio. En esta actividad los lápices harán las veces de baquetas:

- Golpear un lápiz contra otro lápiz: en cada mano se encuentra un lápiz tomado por un extremo, con el lápiz que se encuentra en la mano dominante golpear el lápiz que se encuentra en la otra mano.
- Golpear con el lápiz el cuaderno: en la mano dominante se encuentra un lápiz tomado por un extremo, en la otra mano se encuentra el cuaderno sujeto de cualquier forma que resulte cómoda; con el lápiz se debe golpear la superficie del cuaderno.
- Golpear con el lápiz la silla: dejando a un lado el cuaderno, los niños pueden tomar uno o dos lápices, con ellos deben golpear la superficie de la silla en diferentes puntos (los niños deben estar de pie para realizar estos golpes). En caso de que los niños utilicen dos lápices *ta* corresponderá al golpe con la mano no dominante y *ca* a la mano dominante, es recomendable que los puntos elegidos no varíen. Este ejercicio también puede realizarse con las manos, es decir, golpeando la superficie de la silla como si fuera un tambor, con las palmas de las manos.
- Golpear con el lápiz la mesa: dejando a un lado el cuaderno (preferiblemente), los niños, como en el caso de la silla, pueden tomar uno o dos lápices, con ellos deben golpear la superficie de la mesa en diferentes puntos (los niños pueden estar sentados o de pie). En caso de que los niños utilicen dos lápices, como en el caso de la silla, *ta* corresponderá al golpe con la mano no dominante y *ca* a la mano dominante, es recomendable que los puntos elegidos no varíen. Este ejercicio también puede realizarse con las manos, de igual forma que con la silla, golpeando la superficie de la mesa como si fuera un tambor, con las palmas de las manos.

¹⁶ Se recomienda dar cada una de las instrucciones varias veces y en diferente orden, además el profesor debe realizar los movimientos con el fin de guiar a los estudiantes.

Preguntas orientadoras:

- ¿Los sonidos son diferentes?
- ¿Porqué son diferentes?
- ¿El tamaño tiene algo que ver con que los sonidos sean diferentes?

ACTIVIDAD II: Sopla y escucha

Objetivo

Acercar a los niños a la idea de tono grave y tono agudo mediante la comparación de los sonidos emitidos por las fuentes (tubos) de diferentes longitudes mostrando la relación entre el tono y la longitud de los tubos. Se espera que los niños organicen los tubos desde el más largo (tono más grave) hasta el más corto (tono más agudo) como lo muestra la ilustración 4¹⁷, además de reconocer que es el aire, en un primer momento, el que produce el sonido:

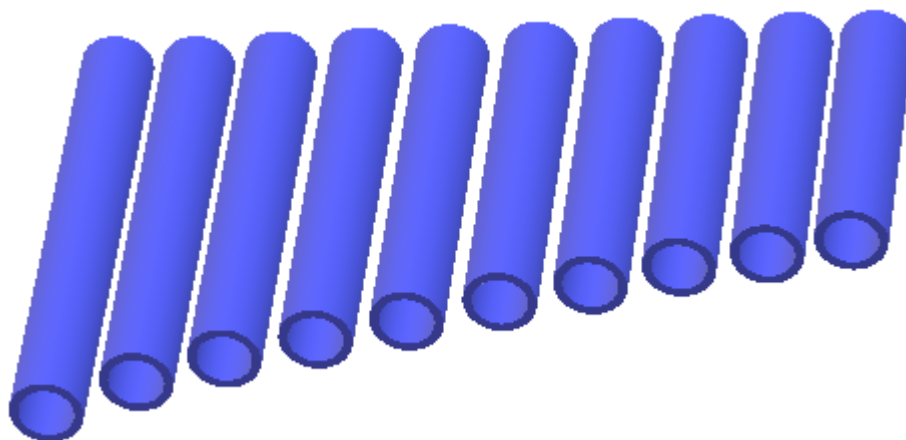


Ilustración 4. Organización esperada propuesta por los niños

Materiales y disposición:

- 10 tubos de PVC con diámetro aproximado de 4 cm con las siguientes longitudes (uno o dos juegos): 100 cm, 90 cm, 80 cm, 70 cm, 60 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 20 cm, 10 cm.
- Plastilina

¹⁷ Elaboración propia

- Cubrir con la plastilina, como se muestra a continuación, uno de los extremos del tubo de PVC de tal forma que el aire que ingrese por el extremo restante no salga (Ilustración 5¹⁸).

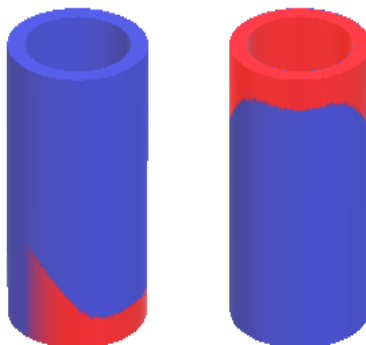


Ilustración 5. Disposición de la plastilina en el tubo

Para esta actividad es necesario un tiempo estimado de una hora. Los niños, guiados por los profesores presentes, deberán soplar los tubos, previamente ensamblados, y escuchar atentamente el sonido emitido para organizarlos.

Preguntas orientadoras:

- ¿Qué produce el sonido en los tubos?
- ¿Cómo suenan los tubos?
- ¿Qué es lo que hace que los tubos suenen diferente si están compuestos por lo mismo?
- ¿Qué características del tubo son las que determinan que suene diferente?

ACTIVIDAD III: Xilófonos

Objetivo: Reconocer y organizar las fuentes de sonido de acuerdo con el tono que emiten, teniendo en cuenta la longitud, en el caso de los tubos, y la cantidad de agua, en el caso de las botellas, considerando que la Actividad I concluyó con los conceptos de grave y agudo.

Materiales y disposición:

¹⁸ Elaboración propia.

- 10 tubos de PVC con diámetro aproximado de 4 cm con las siguientes longitudes perforados (ilustración 6¹⁹) (uno o dos juegos): 100 cm, 90 cm, 80 cm, 70 cm, 60 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 20 cm, 10 cm.
- Hilo caucho grueso.
- Soporte (Ilustración 7²⁰)
- Lápices o baquetas
- 10 botellas de vidrio de igual tamaño con agua, desde una parcialmente llena hasta una parcialmente vacía, pasando por todas las diferencias posibles (ilustración 8²¹) ubicadas en el suelo del espacio disponible. Se recomienda que las botellas sean transparentes y que el agua que contengan este mezclada con algún colorante para hacer que sea más visible.

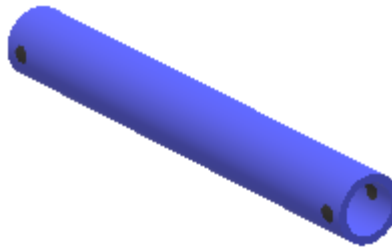


Ilustración 6. Perforaciones en los tubos

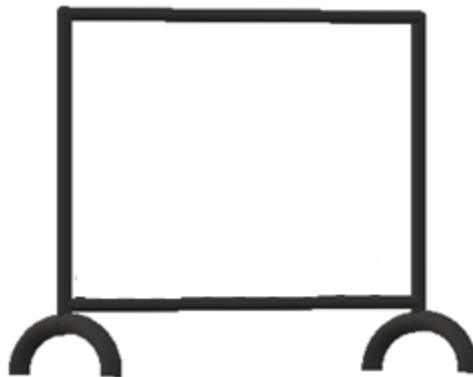


Ilustración 7. Modelo de soporte

¹⁹ Elaboración propia.

²⁰ Elaboración propia.

²¹ Alvares, C. (2016) Bienvenidos al Medio Ambiente, Botellas Musicales. Recuperado de <http://elmedioambientedecarmen.blogspot.com/2016/12/botellas-musicales.html>



Ilustración 8. Representación disposición del agua en las botellas.

El profesor/acompañante dispone de las botellas de vidrio en algún punto en el espacio disponible en el cual los niños tengan suficiente espacio para moverse y evitar algún accidente. El profesor debe acompañar permanentemente este espacio (recomendación). Esta actividad puede ser planteada para una sesión de aproximadamente una hora.

Los niños, con ayuda de los lápices o las baquetas deberán golpear los diferentes tubos que se encuentran sin ningún orden establecido, escuchando atentamente para poder diferenciar el sonido que emiten gracias al golpe y organizarlos en el suelo del salón, posteriormente los niños con ayuda de los lápices o las baquetas golpean suavemente las botellas de vidrio, las cuales se encuentran en el espacio sin ningún tipo de orden establecido, escuchando atentamente para diferenciar el sonido que emiten y organizarlas en el suelo. A los niños no se les menciona el orden en el que tienen que organizar ambas situaciones, pero se espera, como en la actividad anterior, que: los tubos los organicen de el más largo, menor frecuencia o sonido más grave, al más corto, mayor frecuencia o sonido más agudo y en el caso de las botellas se espera que las organicen de la que tienen mayor cantidad de agua a la que tiene menor cantidad de agua.

En un segundo momento, en un extremo del espacio se ubica el soporte y en el sujeta los tubos de PVC de acuerdo con la organización que propusieron los niños (ilustración 9²²); los tubos de PVC deben estar sujetos en ambos extremos al soporte, con el fin de que los niños vean claramente la diferencia entre las longitudes de los tubos, esta disposición es como la de un xilófono²³, pero vertical, para hacer clara esta similitud se recomienda mostrar la imagen de un xilófono. Seguido a esto, los niños se acuestan en el piso fijando su mirada

²² Elaboración propia.

²³ El xilófono es un instrumento musical de percusión, conformado por laminas afinadas de metales que no necesita caja de resonancia para amplificar su sonido.

hacia las botellas que se encuentran organizadas con el fin de que puedan observar claramente la organización de las botellas.

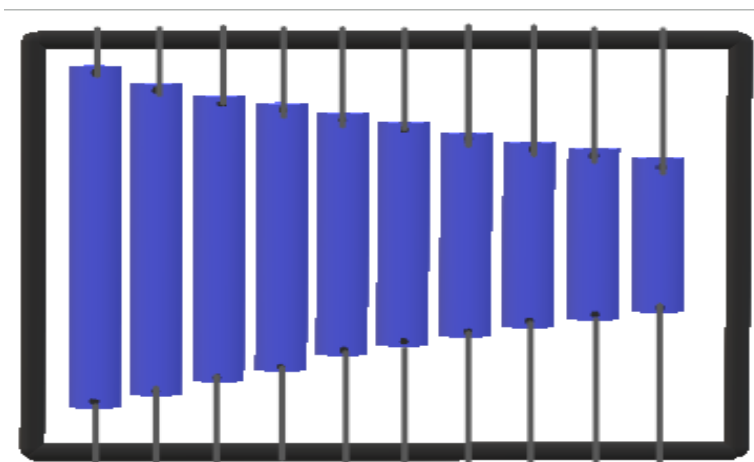


Ilustración 9. Organización final de los tubos.

Preguntas orientadoras:

- ¿Los sonidos de los tubos son diferentes? ¿Puedes organizarlos? ¿Cómo los vas a organizar?
- ¿Qué características del tubo puedes relacionar con el sonido que emiten al ser golpeados con el lápiz o la baqueta?
- ¿Los sonidos de las botellas son diferentes? ¿Puedes organizarlas? ¿Cómo las vas a organizar?
- ¿Los sonidos de los tubos y de las botellas son diferentes?
- ¿Qué relación encuentras entre la cantidad de agua de las botellas y la longitud de los tubos?
- ¿Se podría expresar lo anterior en términos de la cantidad de aire y no de la cantidad de agua que contienen las botellas?

ACTIVIDAD IV: tambores

Los instrumentos de percusión como los tambores y sus variaciones son los encargados de marcar el tiempo en muchos géneros musicales, son instrumentos de percusión compuestos por una membrana y algunas veces, una caja de resonancia cilíndrica. El sonido se obtiene

golpeando la membrana con las manos o baquetas. Esta actividad parte de que los niños ya diferencian que es un tono grave y un tono agudo gracias a las actividades anteriores.

Objetivo

Acercar a los niños a la idea de tono grave y tono agudo en relación con el diámetro, mediante la creación y posterior comparación de instrumentos musicales que se asemejen a un instrumento de percusión, con variaciones en las medidas de las membranas para mostrar la relación entre el diámetro de la membrana y el tono que emite. Se espera que los niños organicen los instrumentos creados del de mayor diámetro (tono más grave, menor frecuencia) hasta el de menor diámetro (tono más agudo, mayor frecuencia) como se muestra en la figura (ilustración 10²⁴).

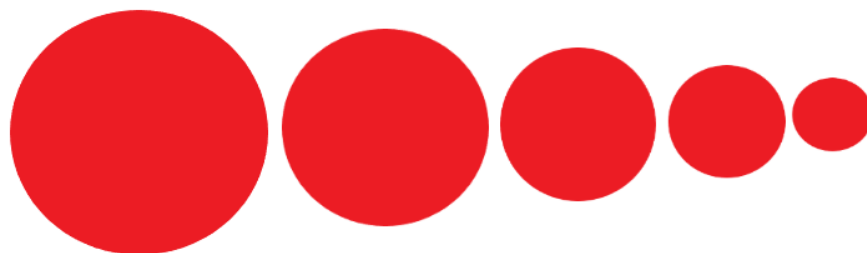


Ilustración 10. Organización esperada propuesta por los niños (vista superior)

Materiales y disposición

- Tubos de cualquier material de diferentes diámetros pero con la misma longitud.
- Bombas R12.
- Cauchos
- Palos de pincho
- Bolas de Icopor N3 o N4
- Tijeras

Se recomienda organizar a los niños en grupos de trabajo de cinco personas, a cada grupo deberá tener disponible cinco tubos de diferentes diámetros, cinco bombas, cinco cauchos, diez palos de pincho y 10 bolas de Icopor y tijeras para compartir. De esta forma a cada niño

²⁴ Elaboración propia.

le corresponde un tubo, una bomba, un caucho, dos palos de pincho y dos bolas de Icopor. El profesor debe dirigir la creación del instrumento de percusión:

- En un primer momento se insertan las bolas de Icopor en cada uno de los extremos del palo de pincho por el extremo que posee la punta para crear las baquetas, como lo indica la ilustración 11²⁵.

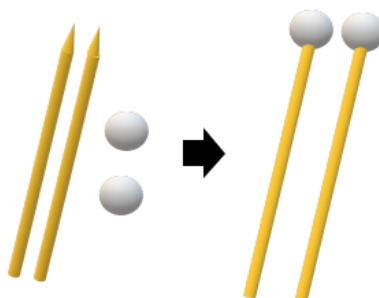


Ilustración 11. Creación de baquetas

- Posterior a esto, se corta la bomba como lo indica la ilustración 12²⁶, la bomba será la membrana del instrumento de percusión.

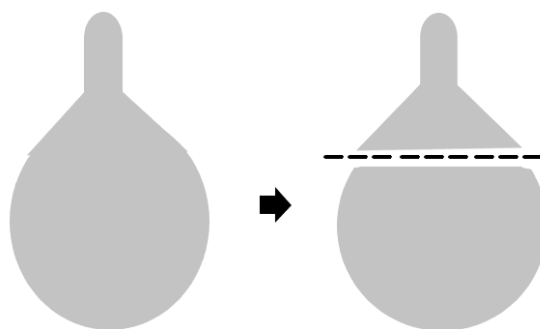


Ilustración 12. Corte de las bombas.

- Se estira la bomba hasta cubrir una de las caras del tubo y se asegura con el caucho como se muestra en la ilustración 13 para ensamblar en su totalidad el instrumento de percusión.

²⁵ Elaboración propia.

²⁶ Elaboración propia.

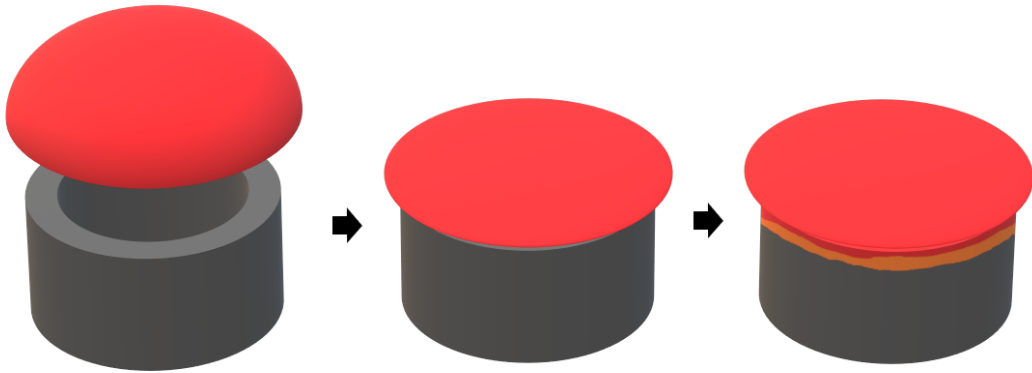


Ilustración 13. Montaje instrumento de percusión.

Al finalizar la elaboración de los instrumentos, los niños deberán golpear con las baquetas la membrana. Deben escuchar como suenan los instrumentos de cada uno de los integrantes del grupo. Posteriormente deben organizar los instrumentos del más grave al más agudo, se espera que realicen dicha organización como lo muestra la ilustración 14²⁷.

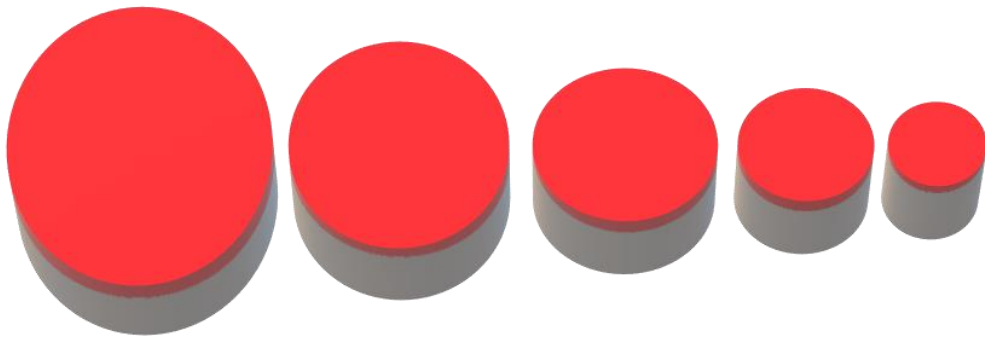


Ilustración 14. Organización esperada dada por los niños para los instrumentos de percusión.

Preguntas orientadoras:

- ¿Los sonidos de los instrumentos son diferentes?
- ¿Qué características del instrumento puedes relacionar con el sonido que emiten al ser golpeados con la baqueta?
- ¿Qué relación encuentras entre lo grande del tambor y el tono que emiten?

²⁷ Elaboración propia.

ACTIVIDAD V: kalimbas

Las ondas estacionarias que se producen en las placas están relacionadas con las que se producen en las cuerdas, de acuerdo con lo anterior la frecuencia de vibración de las placas y las cuerdas es bastante similar. Gracias esta relación es posible mostrar la relación entre la longitud y el tono con placas construyendo una kalimba²⁸. El sonido se obtiene presionando la placa con los dedos. Esta actividad parte de que los niños ya diferencian que es un tono grave y un tono agudo gracias a las actividades anteriores y tienen presente la relación de longitud-tono dada por las actividades realizadas con tubos. Recordando que la longitud se encuentra relacionada con la frecuencia de vibración de una placa. Para llevar a cabo estas actividades es necesario contar con un tiempo aproximado de una (1) hora.

Objetivo

Fortalecer la idea de tono grave y tono agudo en relación con la longitud del objeto, que poseen los niños, mediante la creación y posterior exploración de una kalimba. Se espera que los niños expliquen por qué suena como lo hace de acuerdo con la organización de las placas: menor longitud denota una frecuencia más alta y mayor longitud denota una frecuencia más baja, además de organizar las placas de la kalimba de acuerdo con el tono que emiten como se muestra en la ilustración 15²⁹.

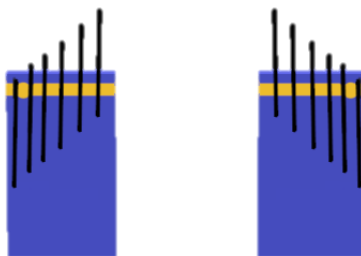


Ilustración 15. Organización esperada propuesta por los niños para la kalimba

Materiales y disposición

- 6 palos de paleta delgados

²⁸ También conocida como sanza o mambira compuesto por un grupo de láminas de metal ligados a un tablero y una caja de resonancia que se encarga de amplificar el sonido.

²⁹ Elaboración propia.

- 6 ganchos/horquillas/boby pins para el cabello
- 6 cauchos
- 1 botella de plástico pequeña
- Cartón gris (rectángulo 8 cm x 10 cm)
- Tijeras
- Pegamento o silicona líquida

Los materiales descritos anteriormente son los necesarios para la elaboración de una (1) kalimba. Se recomienda que cada niño realice su propia kalimba. Para la realización de este instrumento se debe:

- En un primer momento pegar los palos de paleta en dos grupos de tres, uno encima del otro como lo indica la ilustración 16³⁰, en grupos de tres palos.



Ilustración 16. Ensamble palos de paleta.

- Encajar cada una las horquillas en uno de los grupos de palos pegados, procurando guardar la misma distancia una de la otra como lo muestra la ilustración 17³¹, no es necesario poner ningún tipo de pegamento para esta acción.

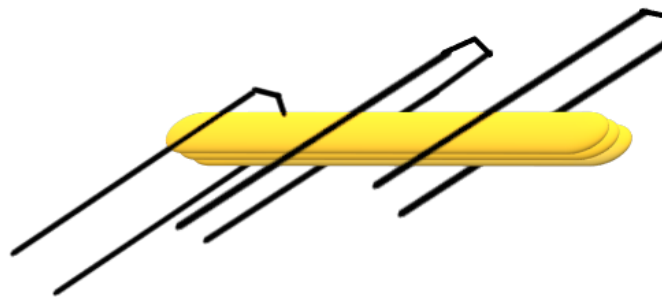


Ilustración 17. Horquillas encajadas en los palos de paleta

³⁰ Elaboración propia.

³¹ Elaboración propia.

- Teniendo los dos grupos de palos de paleta debidamente pegados y con las horquillas encajadas se procede a ensamblar el instrumento: los palos de paleta se ponen encima de la placa de cartón gris y por debajo el otro grupo de palos y se unen con los cauchos como lo muestra la ilustración 18³², a cada lado deben ir tres cauchos.

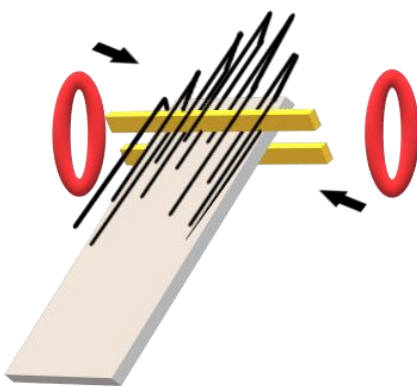


Ilustración 18. Montaje de la kalimba.

- Finalmente se recorta un agujero en la botella de tal forma que los extremos de los palos, sin permitir que la placa de cartón ingrese a la botella. Todo esto con el fin de ampliar el sonido del kalimba. (opcional)

Al finalizar la elaboración del instrumento los niños deben jugar con el instrumento y hacer modificaciones que consideren necesarias y pertinentes con el fin de optimizar el instrumento y organizarlo de tal forma que resulte cómodo para cada uno de ellos, de ahí se muestra la posible organización de las horquillas dadas por los niños en la ilustración 15 e incluso otras formas de organización. Si el niño presenta otra organización será totalmente válida, ya que el instrumento no perderá sus cualidades, solo reducirá la cantidad de tonos diferentes que se pueden obtener. Lo que se hace al encajar las horquillas de formas diferentes es variar su longitud, como cuando en una guitarra se pisa un traste.

Preguntas orientadoras

- ¿Por qué organizó las horquillas de esa manera?
- ¿Qué pasa si todas las horquillas se ponen igual?
- ¿Qué pasa si todas las horquillas se ponen diferente?

³² Elaboración propia.

- ¿Qué pasa si los grupos de palos de paleta no están bien sujetos?

ACTIVIDAD VI: flauta de pan

Objetivo

Fortalecer la idea de tono grave y tono agudo en relación con la longitud del objeto, que poseen los niños, mediante la creación y posterior exploración de una flauta de pan³³. Se espera que los niños organicen de forma independiente su propia flauta de pan de acuerdo con lo aprendido en las actividades anteriores; recordando las relaciones entre la longitud y el tono emitido por los tubos. Se espera que la organización de la flauta de pan sea como se ilustra en la ilustración 19³⁴, donde el tubo con mayor longitud corresponde a uno de los extremos de igual forma que el tubo de menor longitud, lo que significa el tono más grave y agudo encontrado en la totalidad de los tubos.



Ilustración 19. Organización esperada propuesta por los niños para la flauta de pan.

Materiales y disposición

- Pitillos (mínimo 8)
- Plastilina
- Tijeras

³³ La flauta de pan es un instrumento de viento, cerrado en un extremo, formado por tubos de madera o plástico.

³⁴ Elaboración propia.

- Regla
- Cinta adhesiva y pegamento
- Palo de pincho

Los materiales enlistados son los necesarios para la elaboración una (1) flauta de pan, pero con los trozos de pitillo sobrantes se puede realizar una segunda flauta de pan. Para esta actividad se debe contar con un tiempo aproximado de media hora (treinta minutos). Para la realización de este instrumento musical los profesores en el aula deben proveer a los niños las medidas de los tubos para la realización de este resumidos en la tabla 5³⁵, más no deben decirles el orden en el que deben disponer los pitillos para construir la flauta de pan:

Pitillo N°	Longitud (cm)
1	17.5
2	15.5
3	14
4	12.5
5	11
6	9.5
7	8.5
8	7.5

Tabla 5. Medidas propuestas para la elaboración de la flauta de pan.

Para el ensamble de la flauta de pan los niños deben medir y cortar los pitillos con las medidas mencionadas, aunque cabe aclarar que ellos mismos en medio del proceso pueden agregar más pitillos a su flauta. Cada uno de los pitillos cortados debe tener plastilina en uno de los extremos como se muestra en la ilustración 20³⁶, este tapón de plastilina no debe

³⁵ Elaboración propia. Ver Anexo 1.

³⁶ Elaboración propia.

ser muy grueso, ya que podría afectar la calidad del sonido que se emitirá.

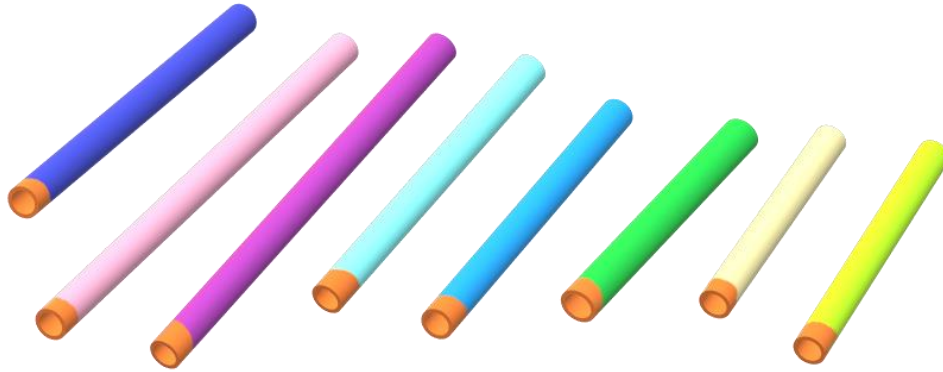


Ilustración 20. Tapones de plastilina en los tubos.

Con ayuda de la cinta adhesiva los estudiantes deben organizar los tubos como consideren correcto teniendo en cuenta las relaciones a las que se llegaron en las anteriores actividades y explicar el porqué de dicha organización especificando las relaciones entre el tono y la longitud de los tubos.

Preguntas orientadoras

- ¿Qué es lo que produce el sonido en los tubos? Recordando la actividad número II
- ¿Qué relación hay entre la longitud del tubo y el tono que emiten?
- ¿De acuerdo con esas relaciones es que construyo el instrumento de esta forma?

CUARTO APARTADO

REFLEXIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Este capítulo presenta las reflexiones finales y conclusiones del presente trabajo, teniendo en cuenta el análisis teórico, creación y desarrollo de la propuesta de enseñanza.

El desarrollo del trabajo permitió encontrar las relaciones entre el tono y la dimensión de la fuente sonora, mediante las bases teóricas y matemáticas que soportan la física del sonido: la dimensión de la fuente sonora se encuentra relacionada con las dimensiones de onda estacionaria que se genera, es decir, la longitud de onda, que a su vez se encuentra relacionada con la frecuencia, la frecuencia es relegada en el tono gracias a los armónicos, en términos musicales.

Esto muestra que el diálogo entre las disciplinas es posible, en el caso de la física y la música, reconociendo que cada una de las disciplinas es independiente de la otra, pero si es posible que mediante este tipo de relaciones se mejore la comprensión de fenómenos físicos; la música hace parte de la cotidianidad y el explicar fenómenos físicos desde esa perspectiva posibilita comprender dichos fenómenos con mayor facilidad, de manera más interesante, generando interés por este tipo de cuestiones, ampliando la forma en la que se ve y comprende el mundo teniendo en cuenta que la propuesta de enseñanza se encuentra enfocada a educación primaria.

Este trabajo puede ser guía de otros desarrollos en torno a la posibilidad de relacionar diferentes disciplinas y las problemáticas de la enseñanza propias de la física; este trabajo estudia solo una de las partes que componen la totalidad del estudio de la física del sonido.

Ver la recontextualización de saberes desde perspectivas no históricas permiten dotar de sentido las prácticas de los maestros en las aulas además de mostrar el constante crecimiento en cuanto a conocimiento que se obtiene al realizar este tipo de procesos con el fin de aportar de manera significativa al desarrollo de conocimiento de los niños.

Bibliografía

- Arango, J., Escobar, L., & Reyes, C. (2012). Figuras de Chladni en tambores. *Lecturas Matemáticas*, 33, 5-18.
- Bachmann, M. L. (Marzo de 1996). La rítmica Jaques- Dalcroze: su aplicación a los niños de edad preescolar y escolar. (F. Beaujon, & P. Cernik, Trads.) Atenas.
- Castillo, J. C. (Junio- Diciembre de 2008). La Historia de las ciencias y la formación de maestros: la recontextualización de saberes como herramienta para la enseñanza de las ciencias. *Nodos y Nudos*, 3(25), 73-80.
- Escobar, M. I., Salcedo, S., & Vásquez, M. (Mayo de 2016). Rio Grande Escuela de Música, Proyecto Musical. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Galeano, M. (2003). Diseño de proyectos en la investigación cualitativa. Antioquia, Colombia: Fondo editorial Universidad EAFIT.
- Gallardo, S. (Diciembre de 2015). Música y Ciencia: armonías y teoremas. *EXm: Exactamente; revista de divulgación científica*(59), 10-13.
- Jara H, O. (2011). Orientaciones teórico-prácticas para la sistematización de experiencias. San José, Costa Rica.
- Merino de la Fuente, J. (2013). La percepción acústica: tono y timbre. *Revista de Ciencias, Universidad de Valladolid*, 21-21.
- Merino de la Fuente, J., & Muñoz-Repiso, L. (2013). La percepción de la acústica: física de la audición. *Revista de ciencias, Universidad Valladolid*, 19-26.
- Ministerio de Educación Nacional. (1997). Serie delimitaciones. *educación Artística*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (Mayo de 2006). Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje, Ciencias Naturales* (Vol. I). Colombia .
- Peralta, J., Reyes, P., & Godínez, A. (Agosto de 2009). El fenómeno de la resonancia. México D.F, México.
- Pérez de Arce, J. (Enero-Junio de 2013). Clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales: una revisión y aplicación desde la perspectiva americana. *Revista Musical Chilena*(219), 42-80.
- Recuero, M. (1999). Instrumentos de percusión. *Ingeniería Acústica*. Editorial Paraninfo.
- Tamayo y Tamayo, M. (1995). *La interdisciplinariedad*. Cali: ICESI.

Taylor, S., & Bogdan, R. (2000). *Introducción a los métodos cualitativos, Tercera Edición* (Tercera ed.). Barcelona, España: Ediciones Paidós.

Vasilachis de Gialdino, I. (2006). Estrategias de investigación cualitativa. *La investigación cualitativa*. Barcelona, España: Gedisa Editorial.

ANEXO 1

A continuación se muestra el procedimiento para la obtención de la Tabla 5, correspondiente a las medidas de los pitillos para la elaboración de la Actividad VI: flauta de pan. Partiendo de la relación entre la frecuencia de la nota SI (485 Hz) y la longitud de onda con el fin de hallar la longitud del tubo. Para esta frecuencia, bajo las condiciones del tubo cerrado, la longitud de onda es de 70 cm. longitudes de los tubos que constituyen la flauta de pan en su totalidad se encuentran mediante una relación entre tonos gracias a un factor común α : entre dos notas musicales hay un tono con la excepción de MI a Fa y SI a Do de la siguiente escala; esto se encuentra directamente relacionado con la frecuencia e inversamente relacionado con la longitud, lo cual se ilustra en la siguiente tabla:

TONO	TONO	SEMITONO	TONO	TONO	TONO	SEMITONO	
DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI	DO
f	$f\alpha^2$	$f\alpha^4$	$f\alpha^5$	$f\alpha^7$	$f\alpha^9$	$f\alpha^{11}$	$2f$
λ	$\frac{\lambda}{\alpha^2}$	$\frac{\lambda}{\alpha^4}$	$\frac{\lambda}{\alpha^5}$	$\frac{\lambda}{\alpha^7}$	$\frac{\lambda}{\alpha^9}$	$\frac{\lambda}{\alpha^{11}}$	$\frac{\lambda}{2}$

El factor α corresponde a $\sqrt[12]{2}$; para pasar de la nota DO a la nota RE la frecuencia se multiplica por α^2 , en el caso de la longitud de onda; el factor α es divisor elevado al cuadrado.

Esta relación dada por el factor α , también se aplica a las longitudes de los tubos, recordando que la longitud de un tubo puede mostrarse gracias a la relación con la longitud de onda. Partiendo de una longitud inicial L equivalente a 17.5 cm se encuentran las longitudes de los demás tubos que componen la flauta de pan:

Tubo N°	$\frac{L}{\sqrt[12]{2}^2}$	Valor resultante L (cm)	Valor aproximado para aplicación (cm)
1	17.5	17.5	17.5
2	$\frac{17.5}{\sqrt[12]{2}^2}$	15.5	15.5
3	$\frac{15.5}{\sqrt[12]{2}^2}$	13.8	14
4	$\frac{13.8}{\sqrt[12]{2}^2}$	12.3	12.5
5	$\frac{12.3}{\sqrt[12]{2}^2}$	10.9	11
6	$\frac{10.9}{\sqrt[12]{2}^2}$	9.7	9.5
7	$\frac{9.7}{\sqrt[12]{2}^2}$	8.6	8.5
8	$\frac{8.6}{\sqrt[12]{2}^2}$	7.6	7.5