

**La Propagación del Sonido en el Aire: Reflexiones sobre los aspectos termodinámicos para
la enseñanza de la física**

DANIEL ERNESTO VILLALBA GARCIA

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA PERSPECTIVA CULTURAL

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTÁ, 2021.**

**La Propagación del Sonido en el Aire: Reflexiones sobre los aspectos termodinámicos para
la enseñanza de la física**

DANIEL ERNESTO VILLALBA GARCIA

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO 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, 2021.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que me ha acompañado a lo largo de mi vida y en gran parte determinan lo que soy.

A Isabella, mi hija, que fue la inspiración para adentrarme en la vida académica.

Al profesor Juan Carlos Castillo por su guía, su paciencia y su enseñanza.

A mí por decidir trabajar esta temática desde hace tanto tiempo.

A todos, mil gracias.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos Específicos	11
JUSTIFICACION	12
ANTECEDENTES	13
MARCO TEÓRICO	18
METODOLOGÍA	19
CAPITULO II	21
DESCRIPCIÓN DEL SONIDO	21
ASPECTOS TERMODINÁMICOS INVOLUCRADOS EN EL SONIDO	25
CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL SONIDO COMO ADIABÁTICO O ISOTÉRMICO	28
DESCRIPCION DE LA VELOCIDAD DE ONDA	32
CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MEDIO AL VARIAR LA TEMPERATURA	37
CAPITULO III	46
REFLEXIONES SOBRE LA ENSEÑANZA	46
CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFIA	52

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1. <i>Propagación de una onda de presión en una columna de gas.</i>	22
FIGURA 2. <i>Diferentes zonas encerradas en la columna de gas.</i>	30
FIGURA 3. <i>Superficie de propagación esférica de forma radial.</i>	37
FIGURA 4. <i>Expansión del elemento de volumen encerrado.</i>	38
FIGURA 5. <i>Compresión del elemento de volumen encerrado.</i>	38
FIGURA 6. <i>Propagación de onda esférica que se desplaza desde a hasta a'.</i>	40
FIGURA 7. <i>Refracción de onda con índice de refracción mayor a 1.</i>	41
FIGURA 8. <i>Refracción de onda con índice de refracción menor a 1.</i>	42
FIGURA 9. <i>Propagación de onda esférica, vista de perfil.</i>	43
FIGURA 10. <i>Propagación de la onda sonora en un medio no homogéneo o isotópico.</i>	43

INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de la física una de las temáticas fundamentales es el estudio de las ondas, en este, se presentan algunos fenómenos como lo es el sonido, tener conocimiento de estas fenomenologías hace parte importante del proceso de aprendizaje que tiene el estudiante, en este mismo sentido el conocimiento acerca de la termodinámica y los fenómenos relacionados con el calor y la temperatura también representan una base para los contenidos que el estudio de la física ofrece. Es por esta razón que el estudio de este trabajo se enfoca en ampliar la visión que se tiene del sonido y sus relaciones con otros fenómenos de la física, en especial con los aspectos termodinámicos.

En la enseñanza tradicional, que considera el conocimiento como una suma de productos acabados por la ciencia y se enfoca en la transmisión de conceptos, se evidencia que a pesar de que estas temáticas sean tan fundamentales en el aula existen aun, relaciones poco conocidas entre estos fenómenos, cosa que representa una limitación en las explicaciones que describen el fenómeno en su totalidad. El desconocimiento por parte del docente de las relaciones y los conceptos implicados en algunos fenómenos de la física, como lo son los aspectos termodinámicos de la propagación del sonido, dan paso a que su labor carezca de criterios en cuanto a la enseñanza de estas temáticas. Esto pone en evidencia la necesidad de dotar al docente con explicaciones, herramientas de enseñanza y reflexiones sobre el fenómeno, que le permitan dialogar con los problemas de aprendizaje que se presentan en el aula.

Teniendo en cuenta esto, se realizó un estudio de corte conceptual, ya que es una herramienta muy útil para seleccionar conceptos y generar situaciones de estudio que ayudan a formar estos criterios tan necesarios para el docente en su practica; consecuente con esto, el trabajo plantea algunas reflexiones que permitirán conocer distintos aspectos del fenómeno que no son suficientemente descritos en los libros de texto, se presentan algunas de las condiciones que permiten considerar a la propagación del sonido como un proceso termodinámico, en estas se

evidencia que la velocidad del sonido se relaciona con una variable de estado característica de la termodinámica y se plantean desarrollos matemáticos que fundamentan dichas afirmaciones.

Además de esto, y en la búsqueda de describir ampliamente la propagación del sonido, se mostrarán los cambios que puede tener el sonido no solamente si se considera como proceso adiabático o isotérmico, sino que se profundizará en estos estudios y se presentan otros fenómenos asociados al sonido como por ejemplo, la refracción de onda, en estas explicaciones se muestran las implicaciones asociadas al fenómeno, entre las cuales se incluyen: cambios en la velocidad de propagación, variaciones en la densidad del medio, cambios direccionales en la superficie de onda y la transformación en la geometría de la onda sonora causada por cambios en la temperatura del medio.

Para finalizar se ofrecen algunas reflexiones que se obtuvieron a lo largo de la investigación sobre la enseñanza de la física del sonido y las relaciones que tiene este fenómeno con la termodinámica. Estas reflexiones aportan a la enseñanza de la ciencia y a la formación de maestros en el sentido que le permiten al docente desarrollar diversos criterios necesarios para su actividad en el aula, también le permite docente adoptar un perfil en la escuela como agente generador de conocimiento, haciendo parte activa del proceso de aprendizaje en los estudiantes y dejando a un lado una perspectiva tradicionalista que considera al conocimiento como un conjunto de productos terminados.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la educación media, generalmente es poco usual que se aborden los temas relacionados con la termodinámica, a pesar de que los estándares curriculares plantean que deben enseñarse en los diferentes niveles de educación media. El énfasis que se hace en estos niveles se basa principalmente en la mecánica, además de esto, las temáticas que se enseñan de la termodinámica, se reducen casi exclusivamente a definiciones de calor y temperatura y en algunos pocos casos a la ecuación del gas ideal (Quintero, 2017); en general estas temáticas de la termodinámica que se enseñan en la educación media no suelen relacionarse con otros campos fenomenológicos, como por ejemplo la acústica; ahora bien, en algunos textos (Serway, Jewtt, 1997), (Tipler, 1995) de física se presentan relaciones entre la velocidad del sonido y la temperatura, las cuales en general no son explicadas suficientemente y sólo se dejan mencionadas, lo cual pone de manifiesto que los aspectos termodinámicos de la propagación del sonido no son suficientemente descritos. (Niño, 2009)

Al hacer una indagación breve acerca de lo que se presenta en algunos libros de texto de física, se observan 2 cosas:

En primer lugar la enseñanza de la termodinámica se centra en contenidos que se exponen de manera secuencial (Serway, Jewtt, 1997), (Tipler, 1995), estos se presentan primero comentando el desarrollo histórico de la termodinámica seguido de definiciones como: Temperatura, Calor, Calor específico, Etc. También se habla de las descripciones macroscópicas y microscópicas de un gas ideal y la teoría cinética de los gases, luego de esto se presentan las leyes de la termodinámica, y por último se dan algunos problemas y ejercicios para que el estudiante desarrolle a través del curso.

Por otra parte, la termodinámica y sus relaciones con otros campos fenomenológicos resultan especialmente significativas para las propuestas de enseñanza de la física en educación básica y media, puesto que los estudiantes están más familiarizados con la termodinámica, ya que los fenómenos son más fáciles de visualizar (Mäntylä, 2011), y en general han tenido por lo menos una experiencia que los acerca más a este tipo de fenómenos, también podemos ver que la formalización que describe estos fenómenos es sencilla y no requiere un nivel avanzado para la resolución de problemas, esto muestra que el estudio de estos temas se puede desarrollar con una estructura sencilla. Si bien se hace notoria la falta de propuestas para la enseñanza de la física en cuanto a las relaciones que existen entre la termodinámica y otros campos fenomenológicos, el abordaje de problemáticas de estudio que impliquen un análisis termodinámico de fenómenos como los acústicos puede ser de especial interés para plantear propuestas de enseñanza de la física en la educación básica y media. (Contreras, 2006)(Niño, 2009)

En segundo lugar se observa que en los contenidos de acústica de los textos, la propagación del sonido es uno de los temas de estudio a desarrollar (Alonso y Acosta, 1984), esto puede estar relacionado con la importancia que tienen estas explicaciones en la física, ya que son fenómenos de naturaleza ondulatoria. En algunos textos la acústica y su estudio, se presenta la velocidad del sonido de diferentes formas: como un valor constante de 340 m/s, como una relación entre la elasticidad y la densidad del medio de propagación $V=\sqrt{k/p}$ (Alonso y Acosta, 1984), como una ecuación de la forma $V= 331m/s+(0.6m/s*^{\circ}C)Tc$. (Serway y Jewett, 1997), como una relación entre la presión y la densidad $V=\sqrt{\gamma p/d}$ (Alonso y Acosta, 1984) y otra que relaciona la velocidad del sonido con la temperatura $V=V_0\sqrt{T/273}$ (Alonso y Acosta, 1984). En algunas se muestra que la propagación del sonido en el aire implica aspectos termodinámicos; generalmente, se presentan las ecuaciones que describen estos aspectos termodinámicos, pero no se explica suficientemente tal relación, aspecto que no permite comprender cómo intervienen los procesos termodinámicos en la propagación del sonido y de donde proviene la dependencia de la velocidad del sonido con la temperatura; en este sentido, se hace pertinente plantear propuestas para la enseñanza del sonido y sus aspectos termodinámicos, lo cual implica hacer análisis acerca

de los aspectos termodinámicos presentes en la propagación del sonido con el fin de aportar elementos conceptuales y fenomenológicos para la configuración de dichas propuestas.

Por otro lado la enseñanza de la física se puede considerar como procesos de producción de conocimiento y no solamente un proceso de transmisión de teorías, ideas y conceptos que ya están establecidos *“la enseñanza puede entenderse como una actividad y un proceso de producción de conocimiento en el cual se formulan problemas, se estructuran fenómenos, se construyen explicaciones...”* (Castillo, 2004) ; así un punto de partida es la configuración de problemas de conocimiento alrededor de algunos fenómenos que sean significativos, como puede ser la propagación del sonido y su relación con la termodinámica, de tal manera que se pueda configurar una imagen del sonido como un fenómeno que no se reduce a lo ondulatorio sino que también implica aspectos termodinámicos en relación con la manera en la que se propaga la onda sonora.

Teniendo en cuenta la reflexión anterior surge la siguiente pregunta que orienta el desarrollo del presente trabajo de grado:

¿Mediante qué situaciones de estudio es posible configurar explicaciones que permitan hacer un análisis de los aspectos termodinámicos que están presentes en la propagación del sonido, con el fin de aportar elementos para la enseñanza del sonido, en cursos de básica y media?

OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Hacer un estudio de corte conceptual acerca de los aspectos termodinámicos de la propagación del sonido con el fin de aportar elementos conceptuales y fenomenológicos para la configuración de propuestas de enseñanza de la física en cursos de básica y media.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Realizar una indagación, en algunos textos de física, acerca los aspectos termodinámicos en la propagación del sonido, con el fin de establecer fuentes y referentes para el estudio del mismo, de tal manera que aporten a la comprensión del fenómeno de la propagación del sonido

2.2.2 Hacer un análisis acerca de los aspectos termodinámicos presentes en la propagación del sonido con el fin de configurar posibles problemáticas y situaciones de estudio, que posibiliten establecer elementos conceptuales y fenomenológicos para la Enseñanza del sonido en el niveles de básica y media.

2.2.3 Aportar, desde el análisis de los aspectos termodinámicos presentes en la propagación del sonido, elementos conceptuales y situaciones de estudio para la configuración de propuestas de enseñanza en la educación básica y media.

JUSTIFICACION

Para esta investigación se tiene en cuenta que en cursos de básica y media generalmente la enseñanza de la física está orientada por los libros de texto como guía (Quintero, 2017), es importante ver que las temáticas se presentan con las mismas estructuras, los mismos problemas y casi que de la misma forma, esto se relaciona con el hecho de cómo aprenden los maestros; como lo muestra Maria Mercedes Ayala “*los cursos de ciencia a través de las cuales los maestros aprenden los contenidos disciplinares ha sufrido muy poca transformación...*” (Ayala, 2006). Esto pone en evidencia entonces, que en el campo de investigaciones sobre la enseñanza de la física es importante generar aportes para la configuración de propuestas para el estudio de los fenómenos, como puede ser, la relación que existe entre la propagación del sonido y los aspectos termodinámicos que están inmersos en éste, que permitan un cambio de lo que se enseña y la forma en la que se enseña.

También se puede ver que los temas relacionados con la termodinámica son más cercanos al estudiante ya que cada uno ha tenido por lo menos una experiencia con estos fenómenos en la vida cotidiana (Mäntylä, 2011), sin embargo al adentrarse en el estudio de la misma no es posible establecer rutas que permitan comprender algunos conceptos; es por esto que se realiza este trabajo como un análisis de corte conceptual, ya que se pretende hacer una reflexión y dar algunos aportes para la configuración de posibles propuestas de enseñanza relacionadas con el sonido y sus aspectos termodinámicos ampliando entonces, el campo de estudio de los fenómenos físicos en la escuela.

Además de esto se ve que la manera como se aproximan los estudiantes a la comprensión de los fenómenos físicos, está determinada, en gran parte por lo que se enseña y cómo se enseña en el aula (Ayala, 2006), por lo tanto es necesario que la formulación de problemas y la caracterización de algunos fenómenos esté a la base de la actividad de aula, actividad en donde participan estudiantes y maestros (Castillo, 2004), es así que es importante la configuración, por

parte del maestro, de problemáticas de estudio y reflexiones de corte conceptual acerca de un determinado ámbito fenomenológico, de tal manera que aporten conceptos e ideas para la consolidación de propuestas para la enseñanza de la física.

ANTECEDENTES

Para el presente trabajo se consideran antecedentes aquellos trabajos de grado y artículos acerca de la acústica y física que estén relacionados con el sonido, debido a que éste es el fenómeno fundamental de estudio, también se consideran algunos textos que estudien la termodinámica de los gases ya que el trabajo está relacionado con los aspectos termodinámicos implicados en la propagación del sonido en el aire. También se tomaron en cuenta algunos textos y artículos que describan en qué consiste el análisis de corte conceptual, además de aquellos que presentan aportes en relación con el uso de este análisis para la enseñanza de la física.

A continuación se presentan algunos trabajos que se constituyen como antecedentes para el presente trabajo, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se presentan primero los textos relacionados con el fenómeno de la propagación del sonido y su descripción, luego se dan los relacionados con la termodinámica, seguido de estos se presentan los relacionados con los aspectos de la enseñanza de la física y finalmente se muestran algunos en relación con los estudios de corte conceptual.

En el artículo “Are sound waves isothermal or adiabatic?” el profesor Junru Wu hace un recuento acerca de como se ha considerado la propagación del sonido como proceso termodinámico y se exponen los pensamientos de algunos que intentaron dar cuenta de esta idea, se parte de la discusión que tienen los pensamientos de Newton y Laplace debido a que Newton tenía la idea de que el sonido era un sistema termodinámico isotérmico, esto es, que no hay variaciones en la temperatura; Por otro lado Laplace en 1816 resuelve que las compresiones y expansiones son adiabáticas para explicar por qué experimentalmente la velocidad del sonido es mas o menos 20% mas rápido que el encontrado con las ecuaciones hechas con los cálculos de Newton, luego

se cita al profesor Robert Lindsay que en su libro da una ecuación para la velocidad del sonido y finalmente se llega a la conclusión que en el sonido, la frecuencia determina el tipo de proceso termodinámico que se puede dar. Sin embargo no se aclaran muchos aspectos del fenómeno de propagación y se deja un vacío en cuanto a lo conceptual.

En el trabajo de Carlos Niño llamado “Aspectos termodinámicos de la propagación del sonido” se presenta en primer lugar, un contexto problemático que muestra la necesidad de hacer énfasis en los trabajos en la escuela acerca de los aspectos termodinámicos que están implicados en la propagación del sonido, luego de esto, presenta conceptos acerca del sonido y da una explicación de algunos fenómenos presentes en la propagación del mismo, al final da unas consideraciones finales para la enseñanza de estas temáticas en el aula; no obstante hay muchas características del fenómeno de propagación que no se tocan, por ejemplo las variaciones en la temperatura que pueden existir si el sonido es adiabático o los flujos de calor que existen si es isotérmico, tampoco se tratan los cambios físicos en el medio ni la estructura geométrica que el sonido puede tomar al presentarse el fenómeno de refracción.

“Las Experiencias realizadas para determinar la velocidad del sonido en el aire” un trabajo del profesor Plá Cortés de la Universidad Nacional del Litoral Rosario, hace un recuento histórico acerca de los estudios hechos en la medición de la velocidad del sonido, en este se muestra qué personas tuvieron en cuenta la temperatura del medio para calcular la velocidad del sonido y cómo fueron sus resultados en comparación con personas que no lo tuvieron, también muestra que en algunas mediciones posteriores a las realizadas teniendo las consideraciones de la temperatura del medio igualmente muchos siguieron sin tenerla en cuenta, sin embargo no se explica por qué o se describen mayores cosas, solo se deja descrito en una tabla que muestra en que año se hizo, como se desarrollaron a groso modo y en que lugares se hicieron.

Estos trabajos aportan al desarrollo del presente trabajo, en cuanto a la descripción del sonido, su propagación, los contextos históricos y sociales de sus mediciones y su importancia de estudio,

algunos tocan aspectos que se relacionan con la termodinámica, a continuación se presentarán aquellos que se enfocaron más en estas miradas.

El artículo “Compleja historia de la formación de la ley de Boyle” de Luis Miralles, aporta al trabajo dando un recuento histórico acerca de la construcción de la ley de Boyle, el autor cuenta los aportes de otros personajes como Blaise Pascal, Robert Townley y Edmé Mariotte que estuvieron implicados, predijeron y sentaron bases para la formulación de dicha ley. Al final se llega a la explicación de la forma en la que el físico Robert Boyle realizó su investigación y la forma en la que planteó su ley de la termodinámica, estas explicaciones son importantes ya que al analizar la historia de la física se analiza el contexto social y se permite analizar las problemáticas que se dieron en la época y la solución que se le dio a las mismas.

“Propuesta de los aspectos que se deben tener en cuenta en la enseñanza de la temperatura en la educación media” es un trabajo de grado de Diego Alexander Quintero Fajardo. En este se comienza hablando acerca de la práctica docente y se presentan algunas reflexiones sobre el papel que el docente juega en la escuela, el trabajo se centra en mostrar algunos errores que se tienen a la hora de enseñar física, en especial la termodinámica. También se demuestra a través de un análisis que tomar exclusivamente los libros de texto como herramienta para la enseñanza de las ciencias, es un error, ya que se necesitan otras ciertas herramientas didácticas y metodológicas. Aporta para el trabajo en sus consideraciones pedagógicas ya que se encuentra relacionado con los aspectos termodinámicos y propone orientaciones para su enseñanza en la escuela básica media.

El trabajo “El análisis histórico, epistemológico y didáctico como una concreción del modelo de aprendizaje de la termodinámica por investigación” es un trabajo realizado por Yair Alexander Porras Contreras que apoyó como antecedente en la construcción del presente trabajo en el sentido que genera una propuesta didáctica en la que se muestra a través de análisis históricos y epistemológicos los cambios que tienen los estudiantes en cuanto a la construcción de conceptos

relacionados con la termodinámica, esto da luces para realizar las consideraciones pedagógicas pertinentes.

Los anteriores trabajos aportaron al desarrollo de los aspectos termodinámicos que están presentes en la propagación del sonido y permitieron seleccionar los conceptos adecuados para la construcción de propuestas de enseñanza relacionadas con estas temáticas, a continuación se presentarán aquellos aquellos textos que se relacionan con aspectos relativos a la enseñanza de la física en cursos de básica y media.

El trabajo “El concepto de corriente y la perspectiva dinámica” del profesor Juan Carlos Castillo Ayala, presenta, en uno de sus capítulos, un contraste entre la enseñanza desde una perspectiva tradicional, que se centra en la asimilación de las teorías físicas por parte del estudiante y una con una perspectiva de enseñanza centrada en los problemas de conocimiento, donde la labor del docente implica que el maestro tenga una fundamentación tanto en lo disciplinar como en lo pedagógico y didáctico, que le posibilite generar propuestas para la enseñanza de la física, centradas en la producción de conocimiento acerca del mundo físico en el aula, en este sentido no se limitaría al docente como un simple transmisor de conceptos sino que se tomaría como agente generador de conocimiento; aspecto que muestra la necesidad de la investigación en la labor docente.

El trabajo de Stefania Tovar “Una aproximación a la explicación de los sismos a través del concepto de onda mecánica” presenta los aspectos que componen un análisis de corte conceptual para la enseñanza de la física; además, hace un desarrollo de dicho análisis para la explicación de los sismos a través del concepto de onda, para la enseñanza de la mecánica ondulatoria en la educación básica y media.

Maria Mercedes Ayala en “Los análisis Histórico-Críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades” realiza una reflexión acerca de la formación que tienen los maestros de física y presenta cómo el análisis histórico-crítico permite

orientar los procesos de recontextualización de saberes para la enseñanza de la física; además da orientaciones pedagógicas y didácticas para la enseñanza de la misma en los niveles introductorios.

Finalmente en “Análisis conceptual e investigación en didáctica de la matemática” Luis Rico hace una descripción de qué es un análisis de corte conceptual, muestra como ésta es una herramienta útil en el campo de las investigaciones ya que permite dar significado a los conceptos, también muestra una contraparte acerca de estos tipos de análisis y especifica que se debe tener cuidado en las limitaciones que se dan para hacer un análisis conceptual. Presenta un ejemplo acerca de cómo se realiza un análisis del concepto *Modelo*. Este texto es vital en el desarrollo del presente trabajo ya que da una mirada clara acerca de cómo realizar un análisis conceptual, que es una de las orientaciones metodológicas que guían el presente trabajo.

Teniendo en cuenta que el trabajo de investigación necesita soportes conceptuales además de los descritos anteriormente como antecedentes, se presentan ahora de manera concisa algunos textos que se consideraron como referentes.

El libro “Aprender y Enseñar Ciencia” de Juan Ignacio Pozo Muncio y Miguel Crespo es un gran fundamento desde el aspecto pedagógico ya que permite vislumbrar la manera en la que aprenden los estudiantes y la forma en la que según los autores se debe enseñar la física, aporta también consejos y rutas útiles para tratar algunas problemáticas en la escuela como la falta de motivación en los estudiantes y los necesarios cambios actitudinales para una construcción de conocimiento bien cimentada.

“El Aprendizaje Significativo en la práctica” de Antoni Ballester es un fundamento para el trabajo en el aspecto de la didáctica en física, también permite ver como se construye el conocimiento en los estudiantes a través del aprendizaje significativo, el autor hace una crítica a la enseñanza tradicional y la manera en la que se enseña, se hace un estudio del trabajo docente y la importancia de su actuación en el aula

El libro “Introducción a la Física” de Alonso y Acosta ayudó en la construcción del presente trabajo como uno de los soportes conceptuales, se caracterizó el fenómeno y se describieron algunas temáticas relacionadas con las ondas como la refracción, la propagación de la onda y otros, sin embargo fue necesario hacer uso de otros libros de texto y antecedentes para seleccionar los conceptos adecuados para dar las explicaciones de la mejor forma.

Lo que compete del libro del profesor Robert Lindsay “Mechanical Radiation” se trata de una formulación de la velocidad del sonido teniendo en cuenta solo la conducción de calor, el autor explica que sólo localmente se puede establecer una función gradiente para la temperatura, ya que en la compresión del aire, la temperatura aumenta y esto conlleva flujos de calor por conducción que son válidos antes que se dé la descompresión o rarefacción. Al final resuelve la ecuación de la energía que incluye la conducción de calor, la ecuación de continuidad y la ecuación de movimiento para obtener una expresión de la velocidad de fase de una onda armónica plana unidimensional; sin embargo no toca la postura en donde se considera el sonido de bajas frecuencias en donde es considerado como adiabático y por lo tanto no se explica nada acerca de las variaciones en la temperatura que pueden haber.

MARCO TEÓRICO

Como se mencionó anteriormente, la educación en estos campos ha sufrido muy poco cambio, esto lleva a caracterizar este trabajo como un análisis de corte conceptual ya que se considera una herramienta muy útil para el desarrollo de la educación *“algunas herramientas metodológicas, como es el caso del análisis conceptual ponen de manifiesto su utilidad para la demarcación de los problemas de investigación educativa y el progreso en su resolución”* (Rico, 2001) dando un control al investigador para seleccionar los conceptos aptos para la configuración de los aportes y situaciones de estudio a realizar, entendiendo una situación de estudio como una técnica de aprendizaje para la resolución de problemas.

Dado que la problemática de estudio de este trabajo esta relacionada con los aspectos termodinámicos que se relacionan con la propagación del sonido y su enseñanza en la escuela básica media, y en consecuencia con la pregunta planteada, para la investigación se necesitará hacer un estudio de ciertos temas que fundamenten el trabajo en cuanto a lo disciplinar. Consideremos entonces las temáticas que tienen relación en la investigación:

El sonido es un fenómeno de la física que se define como la propagación de una deformación en un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) (Niño, 2009), esta propagación se hace en forma de ondas longitudinales de presión, debido a que en su propagación el sonido supone fluctuaciones volumétricas locales acopladas con fluctuaciones también locales de presión (Wu, 1990), esto permite caracterizarlo como un proceso termodinámico. Dado que las ondas sonoras se consideran como un fenómeno termodinámico, se puede analizar que tipo de procesos están involucrados con tal propagación, como ya se mencionó anteriormente este fenómeno involucra cambios locales de volumen y de presión, estos están relacionados y se describen solo a través de dos procesos termodinámicos. Para la realización de este trabajo entonces, será necesario hacer estudios acerca de la naturaleza ondulatoria del sonido y sus aspectos que lo caracterizan como un fenómeno termodinámico.

Cabe aclarar que en el presente marco teórico no se presentan todos los aspectos conceptuales a profundidad, debido a que el trabajo de investigación en si mismo, implica una construcción conceptual acerca del fenómeno de la propagación del sonido y sus aspectos relacionados con la termodinámica.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de corte conceptual, centrado en el análisis de las explicaciones, que busca profundizar y comprender los fenómenos termodinámicos que están implicados en la propagación del sonido, dicho análisis con la intención de comprender cómo se relacionan

algunos fenómenos con la propagación del sonido y evidenciando que implicaciones se tienen en ello; se caracteriza en el trabajo la importancia de estos análisis para la enseñanza de la física y así orientar posibles propuestas de enseñanza relacionadas con los aspectos termodinámicos de la propagación del sonido.

Para esto se necesitará entonces, en primer lugar, realizar un estudio documental que me permita establecer algunos referentes, fuentes y antecedentes en los que me basaré para que dirijan la investigación con relación en la pregunta problema, esto con la intención de hacer una reflexión teórica de la problemática presente para encaminar la investigación.

Luego de esto, se deberá hacer un estudio crítico de las fuentes, los referentes y los antecedentes seleccionados anteriormente, todo esto, enfocado en mostrar cómo aporta cada texto desde lo conceptual y disciplinar para el desarrollo de la investigación que genera la pregunta problema.

A los conceptos relacionados con la propagación del sonido y sus aspectos termodinámicos se le deberá realizar un análisis para describir su significado, poner en contraposición las definiciones encontradas y contextualizar las definiciones en el problema de investigación, para así *"tratar de eliminar las inconsistencias derivadas de la falta precisión en el significado de los conceptos utilizados"* (Rico, 2001).

Al final, se hará una organización de todas las reflexiones críticas y analíticas que se hayan tenido en el transcurso de la investigación; todas estas deberán relacionarse a la pregunta problema y con las relaciones que existen entre la propagación del sonido y sus aspectos termodinámicos para poder configurar los aportes que se darán en el trabajo.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL SONIDO

El sonido es un fenómeno que se produce debido a la propagación de una deformación en un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) (Niño, 2009), esta propagación se hace en forma de ondas longitudinales o de presión cuando se propaga en un gas, se les llama así, debido a que cuando viaja a través del medio produce compresiones y rarefacciones, también se caracteriza porque la dirección de la oscilación local de las zonas del medio coincide con la dirección de propagación de la onda (Alonso y Acosta, 1984).

En los gases la propagación del sonido se tiene un frente de onda esférico, sin embargo el análisis, de dicha propagación, se puede hacer en una sola dimensión puesto que se considera el medio homogéneo e isotrópico, es decir, que sus propiedades físicas son iguales en todos los puntos y en todas las direcciones; ello implica que todas las partes que componen el medio tienen las mismas propiedades físicas comunes que permite establecer uniformidad, por otro lado la *isotropía* se refiere a la propiedad de transmitir igualmente en todas direcciones cualquier acción recibida en un punto, esto permite establecer que las propiedades físicas no dependen de la dirección ya que el medio es igual en todos los puntos.

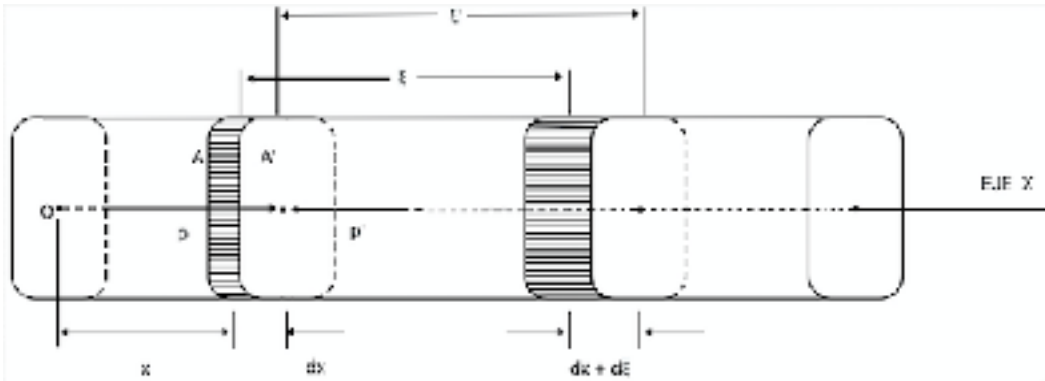
Por otra parte se considera que en el gas, se propaga el sonido como ondas de presión, ya que el gas es un fluido compresible, esto quiere decir que las deformaciones volumétricas están relacionadas directamente con variaciones de presión; además los gases no pueden estar sometidos a estrés de cizalladura ni estrés tensionante.

Para mostrar estas características es necesario realizar un análisis del comportamiento que el medio puede tener ante tales perturbaciones, ello implica describir la dinámica que tienen los

campos, de presión y de densidad, es decir, describir las fluctuaciones de estas propiedades. Para ilustrar la manera en la que se describe la propagación del sonido en un medio, tomemos como ejemplo la propagación de una onda de presión en una columna de gas como se muestra en la figura 1.

Figura 1.

Propagación de una onda de presión en una columna de gas.



Fuente de la figura: Autoría Propia.

Se encuentra un área transversal A y un área transversal A' , como se muestra en la figura 1, que delimitan un elemento de volumen dV de la columna del gas; en condiciones de equilibrio la presión en toda la columna es homogénea, por lo cual la presión en A es compensada con la presión en A' , esto quiere decir que el valor de la presión en el fluido p_0 se mantiene constante y por lo tanto, el valor para la densidad ρ_0 también será constante. Ahora bien, en condiciones de desequilibrio la presión en A será diferente a la presión en A' , por lo cual, habrá una acción neta en la dirección de dicha diferencia de presiones, así la acción sobre el elemento de volumen dV será proporcional a la diferencia de presiones.

$$F = p_1A - p_2A' \quad (1)$$

Como se menciono anteriormente, seleccionamos un elemento de volumen dV que tiene por masa $\rho_0 dV$, este elemento de volumen gracias a la diferencia de presiones, sufre una perturbación local, lo que causa que se deforme y desplace las áreas transversales, como se muestra en la figura 1. Ahora bien como A y A' representan el área transversal de la columna, entonces

$$A = A' \quad (2)$$

Que a su vez se toma así

$$F = (p - p')A = -A dp \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que $dp = p' - p$

La ecuación de movimiento del gas en la columna queda de la forma

$$-A dp = (\rho_0 A dx) \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (4)$$

Donde A representa el área transversal, dp y dx dan cuenta de los diferenciales de presión y distancia correspondientemente y ξ describe la dinámica que sufre la longitud con los cambios de presión. Ahora bien, cancelando A y despejando el dx la ecuación de movimiento queda así

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_0 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (5)$$

En este caso tenemos dos campos que se describen a través de la misma ecuación, el campo de presiones $p(x, t)$ y el campo de deformaciones $p\xi(x, t)$, en este punto es importante establecer la relación que existe entre estos dos campos y así dejar la ecuación en términos de un solo campo,

ya sea el campo de presiones o el de deformaciones. Cuando la presión cambia el elemento de volumen sufre una deformación proporcional a ξ , de forma que el volumen inicial cambia y ahora es de ancho $(dx + d\xi)$. Por otra parte $d\xi$ representa una deformación de la longitud dx y para esto es necesario hacer uso de la ley de Hooke que relaciona las deformaciones unitarias en medios elásticos¹ con las variaciones de presión en los mismos.

$$p = p_0 - k \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (6)$$

Donde $k = \rho_0 \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)$ es el modulo de elasticidad del volumen.

Necesitamos combinar esta expresión junto con la ecuación de movimiento que encontramos, para esto derivamos respecto a x

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -k \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (7)$$

E igualamos con la ecuación de movimiento

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{k}{\rho_0} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (8)$$

Nótese que obtenemos una ecuación similar a la ecuación diferencial del movimiento ondulatorio² en una dimensión, que describe las características del movimiento que se propaga a lo largo del eje X . De aquí podemos concluir que la propagación del sonido en un medio isotrópico y homogéneo se desplaza a velocidad de

¹ Se enuncia “Dentro del límite de elasticidad del material, la normal es esfuerzo proporcional a la deformación unitaria normal”

² $\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$

$$\sqrt{\frac{k}{\rho_0}} \quad (9)$$

Y podemos ver que es completamente comprensible ya que k esta expresado en N/m^2 y la densidad ρ_0 en Kg/m^3 por lo cual se obtiene

$$\left(\frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{Kg}{m^3}} \right) = \frac{Nm^3}{Kg m^2} = \frac{Nm}{Kg} = \left(\frac{\frac{Kgm}{s^2}}{\frac{Kg}{1}} \right) = m/s^2 \quad (10)$$

Que son las unidades dimensionales para el cuadrado de la velocidad.

También es importante notar que la velocidad de propagación de la onda depende estrictamente de las propiedades físicas del medio, en este caso la compresibilidad (k) y la densidad (ρ_0) del mismo, ahora bien tal velocidad se verá afectada si alguna de estas dos propiedades varia. Por ejemplo si la densidad varia al aumentar la temperatura del medio.

ASPECTOS TERMODINÁMICOS INVOLUCRADOS EN EL SONIDO

La propagación del sonido supone fluctuaciones volumétricas locales acopladas con fluctuaciones también locales de presión (Wu, 1990), estas fluctuaciones se describen a través de la ley de Boyle, la cual es la ley que expresa la elasticidad del gas, esta ley relaciona las variaciones de volumen y de presión con una magnitud en especial, Miralles, L. afirma lo descrito por Boyle:

«A temperatura constante, la presión de una masa dada de gas es directamente proporcional a su densidad e inversamente proporcional a su volumen» (Miralles, 2003)

Aquí hallamos uno de los primeros indicios de que la onda sonora esta relacionada con aspectos termodinámicos. Boyle establece una restricción en la que si la temperatura del gas permanece constante, podemos dar una expresión de la forma:

$$PV = Cte \quad (11)$$

Donde esta constante se cumple siempre y cuando la temperatura y la masa del gas que se esta considerando no varíe. Podemos hablar de otras leyes que rigen el comportamiento de los gases, una es la ley de Gay-Lussac

$$P = C_1T \quad (12)$$

Donde P es la presión, T es la temperatura absoluta y C_1 es una constante de proporcionalidad, ésta establece que la presión de un volumen fijo de un gas es directamente proporcional a su temperatura. La segunda es la ley de Charles que relaciona a través de una constante C_2 , la temperatura absoluta T y volumen V de una región de gas ideal que mantiene la presión constante, se describe matemáticamente así:

$$V = C_2T \quad (13)$$

Estas tres leyes se combinan para dar paso a una ley mas completa que describe el comportamiento de los gases ideales; La ecuación de estado que describe a un gas ideal³ es:

$$PV = nRT \quad (14)$$

³ Consideramos un gas ideal como un fluido sin forma ni volumen propio, en donde no se presentan fenómenos de atracción ni repulsión entre los puntos que componen el fluido, una de las características que definen el gas ideal es que si existen choques entre estos puntos del fluido, estos son perfectamente elásticos.

Como esta ecuación se utiliza para describir la evolución que tiene un gas ante los cambios de presión, volumen y temperatura, se tiene en consideración que las compresiones y rarefacciones que tiene el gas cuando la onda sonora se propaga se consideran en sí como un proceso termodinámico.

Ahora bien si las ondas sonoras se consideran como un proceso termodinámico, uno de los aspectos principales a analizar será determinar qué tipo de proceso es. Para esto es importante mencionar los tipos de procesos⁴ que existen.

Se denomina isobárico al proceso termodinámico que mantiene la presión constante durante la evolución del sistema. En un diagrama de presión contra volumen (Diagrama P-V) el proceso isobárico describe una línea recta horizontal; en los gases se puede dar una expansión o una contracción isobárica, en la cual la temperatura y el volumen varían manteniéndose la presión constante.

El proceso isocórico, también denominado isométrico o isovolumétrico es el proceso que mantiene la condición de volumen constante, describe al igual que el isobarico una línea recta en un diagrama P-V solo que en este caso se obtiene una recta vertical.

En estos dos casos no se profundizará ya que la propagación del sonido no está definida a través de ninguno de ellos. Sin embargo cómo hemos visto anteriormente el sonido involucra cambios en el volumen y la presión local del gas. Este tipo de cambios pueden darse en los procesos isotérmicos y los procesos adiabáticos.

⁴ Los procesos son cambios en las magnitudes de las características que definen el sistema de una forma u otra, se tiene en cuenta que en estos cambios debe existir un punto inicial o estado de equilibrio y un punto final en la que se muestra la evolución que tuvo el sistema en un determinado intervalo de tiempo; los procesos se definen por las características o variables que cambian y los distinguen unos de otros.

En primer lugar está el proceso isotérmico, éste se refiere a variaciones de presión y volumen manteniendo la temperatura constante. Las variaciones de presión y volumen se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$p = \frac{C_3}{v} \quad (15)$$

Siendo $C_3 = nRT$.

El segundo proceso que involucra variaciones en la presión y el volumen del gas es el adiabático, en este proceso no hay intercambios de calor entre el sistema y el medio, la relación entre la presión y el volumen del gas queda expresada mediante la siguiente ecuación:

$$PV^\gamma = \text{constante} \quad (16)$$

Donde el término γ es el coeficiente de dilatación adiabática, se define como la razón entre la capacidad calorífica a presión constante y el calor específico⁵ a volumen constante, es decir:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (17)$$

CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL SONIDO COMO ADIABÁTICO O ISOTÉRMICO

Históricamente se han hecho varios estudios acerca de la naturaleza y comportamiento del sonido, en algunos casos se tuvo en cuenta la posible relación entre la propagación del sonido y algunos aspectos termodinámicos como la temperatura.

⁵ C_p se refiere al calor específico a presión constante y C_v se refiere a calor específico a volumen constante.

Uno de los primeros en estudiar el sonido fue Pierre Gassendi, aproximadamente en 1658 fue quién demostró que la propagación del sonido se hace a una velocidad constante y no depende de la potencia con la que se emita el sonido. También en 1687 Isaac Newton publicó su libro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, en este, Newton declara:

«Las velocidades de los pulsos que se propagan en un fluido elástico están en razón directa a la raíz cuadrada de la fuerza elástica⁶, e inversamente a la densidad» (Newton, 1687)

Esto explica parte de la naturaleza del sonido, mas específicamente cómo la velocidad de propagación depende de las características que tiene el medio donde se esté propagando, estas deducciones suponen que las compresiones y rarefacciones en el medio son directamente proporcionales a las variaciones en la densidad, años mas tarde se demostraría⁷ que esta hipótesis implica que el sonido tenga un carácter isotérmico.

En 1740, Giovanni L. Bianconi, realiza un experimento para medir la velocidad del sonido en el aire, el estudio se hace en Bolonia y evidencia que la velocidad de propagación aumenta con el aumento de la temperatura. Este informe se complementa también con uno realizado en 1741 por Charles M. de la Condamine quien realizó su practica experimental en Quito Ecuador con balas de cañón para determinar la velocidad del sonido, en este estudio se demuestra por primera vez la dependencia que tiene la velocidad del sonido con la temperatura del aire y se obtiene un valor de 174 toesas por segundo (338,13 m/s si se toma el valor de la toesa de la epoca: 1,9490m). Un valor muy cercano al actualmente aceptado, sin embargo no tan reconocido entre la comunidad científica internacional.

⁶ La fuerza elástica a la que se refiere Newton se ve representada aquí como el coeficiente de compresibilidad ya que es mas adecuada para tratar los gases.

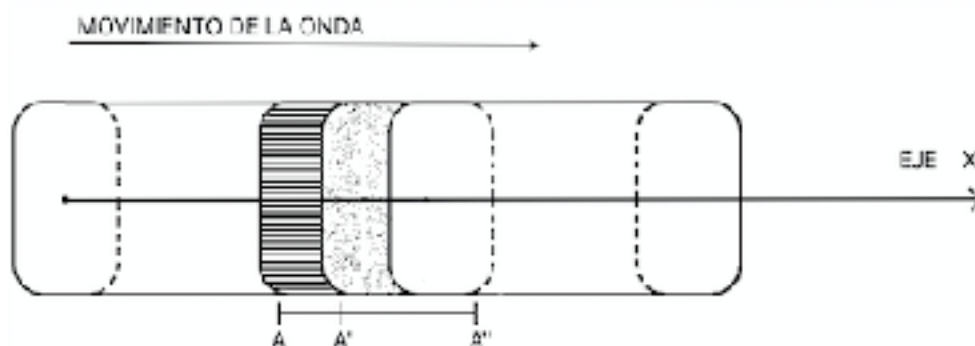
⁷ La demostración la hace LaPlace cuando refuta esta postura y describe el sonido como proceso adiabatico

Es en 1816 que el físico y matemático Pierre-Simon Laplace refuta las posturas anteriores y dice que el sonido es un proceso adiabático, esto para dar una explicación más precisa ya que experimentalmente había imprecisiones con los cálculos proporcionados por Newton. La idea principal era que la propagación del sonido se hace demasiado rápido y no existe tiempo suficiente para que el calor fluya de un lado a otro en sincronía con las ondas que oscilan rápidamente.

En 1989 el profesor Junru Wu publica un artículo en donde se hace la pregunta ¿Las ondas sonoras son adiabáticas o isotérmicas? En este artículo se desarrolla la idea de que en la propagación del sonido, la frecuencia de la onda es determinante para saber qué tipo de proceso se está desarrollando. De acuerdo con el planteamiento del profesor Wu, en el primer caso, durante la propagación del sonido, cuando se comprime localmente el gas, la pequeña zona experimentará un aumento relativamente bajo en la temperatura, luego, durante la rarefacción posterior presentará un descenso hasta la temperatura inicial; si este cambio se hace muy rápidamente se puede considerar que esta pequeña zona se mantuvo en equilibrio térmico con respecto al resto del gas; este equilibrio térmico se obtiene mediante un flujo de calor, este flujo se da para compensar las variaciones de temperatura debidas a la compresión y rarefacción del gas. Así, la magnitud y la dirección del flujo de calor debe darse de tal manera que permita el equilibrio térmico en todo el gas. Veamos la figura 2.

Figura 2.

Diferentes zonas encerradas en la columna de gas.



Fuente de la figura: Autoría Propia.

Si la onda sonora se propaga a través del eje x de izquierda a derecha, como lo muestra la figura 2, las compresiones se hacen desde A hacia A' y posteriormente hasta A'' . Con cada compresión la densidad del gas cambia, el aire se vuelve mas denso en la zona comprimida mientras que en la zona enrarecida el aire es menos denso. Debido a que el flujo de calor se da de las zonas mas densas a las mas enrarecidas porque el calor se mueve de las zonas de temperatura más alta a las zonas de temperatura más baja, y como en los cambios de presión que se dan en el gas, las zonas mas densas son las que tienen mayor temperatura y las de baja temperatura son las mas enrarecidas (Alonso y Acosta, 1984) y como en el camino desde A' hacia A'' el aire se encontraba ya enrarecido a causa de la compresión que se dio desde A , se deduce que el flujo de calor se da en dirección opuesta a la propagación de la onda, desde A' hacia A , luego desde A'' hacia A' y así sucesivamente con cada perturbación, haciendo que la propagación de la onda sonora sea isotérmica; como se había mencionado anteriormente la condición para que esta propagación sea isotérmica es que los ciclos de compresión y rarefacción se den muy rápidamente, ello implica que la frecuencia de la onda sea alta.

Por otro lado, si ahora consideramos el caso contrario, donde los procesos de compresión y rarefacción del gas se dan lentamente, la frecuencia de onda será baja y por ende la longitud de onda mayor, esto imposibilita el flujo de calor hacia el exterior ya que la conducción debería ser bastante extensa. Aquí no es necesario buscar una compensación como el flujo de calor, en el proceso existe el tiempo necesario para notar los cambios y establecer un gradiente de temperatura, entonces la propagación del sonido será adiabática para frecuencias bajas.

De acuerdo con lo anterior lo que determina el comportamiento termodinámico que tiene la onda en su propagación es la frecuencia.

DESCRIPCION DE LA VELOCIDAD DE ONDA

Para medir la velocidad de propagación del sonido se deber hacer un análisis del movimiento que tiene el cuerpo de aire desde la fuente, esto es, el primer punto en la región que sufre de una perturbación y cómo ésta a partir de ahí, se propaga a través del medio.

Al realizar este análisis hay que tener en cuenta algunas características que presentan las ondas. La primera es la longitud de onda (λ) esta describe la distancia que recorre el pulso mientras hace un ciclo de compresión-rarefacción-compresión, es decir el periodo espacial de la onda, la frecuencia (f) es el número de veces que se repite este ciclo por unidad de tiempo, es decir $f = 1/t$ y finalmente la velocidad de propagación (v) es la velocidad a la que se propaga la perturbación o pulso a través del medio.

Esta ultima es la que nos interesa calcular, generalmente se plantea la velocidad haciendo uso de la ecuación del movimiento clásica "*distancia = velocidad x tiempo*". Ahora bien como la longitud de la onda representa la distancia que esta ocupa, la relación se puede escribir así

$$\lambda = vt \quad (18)$$

Siendo v la velocidad y t el tiempo transcurrido en el desplazamiento. Si también hacemos uso de lo anteriormente dicho para la frecuencia ($f = 1/t$) vemos que la velocidad se puede calcular con la ecuación

$$v = \lambda f \quad (19)$$

Sin embargo, para los fines de este trabajo, haremos uso de las características del medio dado que la onda o el pulso ondulatorio es una perturbación del medio que viaja a través del mismo, la velocidad con la que se propague esa perturbación dependerá de las características del medio. La velocidad de propagación de la onda descrita por las características del medio se expresa

mediante la siguiente ecuación, donde k es el módulo de compresibilidad del medio⁸ y ρ su densidad.

$$v = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad (20)$$

Ahora bien, si tomamos la consideración que da Laplace, donde las ondas sonoras se propagan a través del aire y otros gases como una serie de compresiones y rarefacciones que ocurren tan rápidamente que no hay tiempo para que fluya el calor de una parte del medio a otra. Los cambios que se darán en el volumen para los cuales $dQ = 0$ se denominarán como procesos adiabáticos. Además si consideramos que el aire se comporta como un gas ideal, tomamos el módulo de compresibilidad adiabático, esto lo podremos escribir como:

$$k = \gamma P \quad (21)$$

donde P es la presión del gas, y γ es la relación del calor específico a presión constante y a volumen constante ($\gamma = C_p/C_v$).

Sustituyendo la expresión de k en la ecuación que describe la velocidad de la onda v se obtiene:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (22)$$

Sin embargo lo que se busca es evidenciar la relación que tiene la velocidad de la onda sonora, con la temperatura que tiene el medio, en este caso el aire, para esto, como se considera un gas ideal, utilizaremos la ecuación de estado del gas ideal

⁸ Newton plantea su fórmula con (k) como (E), que representa un coeficiente que depende de la elasticidad del medio y el tipo de perturbación; sin embargo se utilizó la compresibilidad porque es más adecuado para los gases

$$pV = nRT \quad (23)$$

Multiplicamos por $1 = \frac{M}{M}$

$$pV = \frac{MnRT}{M} \quad (24)$$

Donde M representa la masa molar, $M = \frac{m}{n}$ esto es, la masa de un mol de gas expresada en Kg
(la masa molecular media del aire es 28,9 g/mol)

Realizamos un reemplazo evidenciando la masa del gas que contiene la columna de aire

$$pV = \frac{mRT}{M} \quad (25)$$

Si bajamos el volumen a dividir

$$p = \frac{mRT}{VM} \quad (26)$$

Podemos tomar la expresión de densidad $\rho = m/V$ y obtenemos la expresión

$$p = \frac{\rho RT}{M} \quad (27)$$

Esto nos permitirá hacer un despeje de la presión sobre densidad

$$\frac{p}{\rho} = \frac{RT}{M} \quad (28)$$

con lo cual podemos reemplazar en la expresión que habíamos hallado para la velocidad de la onda sonora en donde R es la constante universal de los gases y T la temperatura absoluta del gas.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (29)$$

Si tomamos la constante $\alpha = \sqrt{\frac{\gamma R}{M}}$ podemos evidenciar

$$v = \alpha \sqrt{T} \quad (30)$$

Que la velocidad de la onda sonora que analizamos puede quedar en función de la temperatura, debemos tener en cuenta que esta es la temperatura global, es decir, la temperatura que alcanza todo el gas dentro de la columna, muy diferente a cuando se analiza localmente.

Ahora bien, note que con el supuesto de que las ondas se transportan de forma isotérmica, la temperatura global y local se consideran iguales. Aquí es de recalcar que debemos tomar el modulo de compresibilidad isotérmica $k_t = p$ para hallar una expresión adecuada para la velocidad. Sustituimos la expresión de k_t en la ecuación que describe la velocidad de la onda v y se obtiene:

$$v = \sqrt{\frac{p}{\rho}} \quad (31)$$

Y como tenemos que $\frac{p}{\rho} = \frac{RT}{M}$ entonces la formula para la velocidad queda descrita asi:

$$v = \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (32)$$

De forma análoga tomamos una constante $\beta = \sqrt{\frac{R}{M}}$ y podemos evidenciar nuevamente que la velocidad de la onda puede quedar en función de la temperatura así:

$$v = \beta\sqrt{T} \quad (33)$$

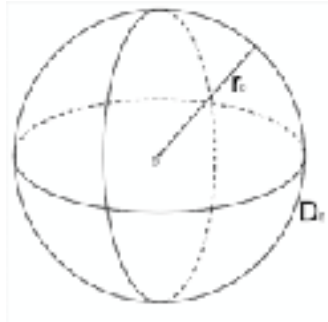
Es importante recalcar que sin importar el tipo de proceso que se este considerando, ya sea adiabatico o isotérmico, al tener en cuenta las características del medio y realizar los ajustes razonables en las expresiones, la velocidad de la onda puede ser descrita en función de \sqrt{T} .

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MEDIO AL VARIAR LA TEMPERATURA

Se ha hablado bastante de que la propagación de la onda sonora se desarrolla a través de cambios de presión en el medio; en este apartado se analizará cómo es la geometría de esta propagación. En un medio homogéneo e isotrópico, el sonido se propaga en forma de ondas cuya superficie de onda es esférica, siguiendo la dirección radial como se muestra en la figura 3.

Figura 3.

Superficie de propagación esférica de forma radial.



Se muestra la propagación del sonido de forma esférica con radio r_0

Fuente de la figura: Autoría Propia.

Aquí se considera a r_0 muy pequeño ya que describe solo la primera superficie de onda. El O representa la fuente de onda, este es el punto donde se genera el sonido, es decir desde dónde se propaga la onda, r_0 es la distancia que existe desde la fuente de onda y limita con la superficie de onda D_0 , también llamada frente de onda⁹.

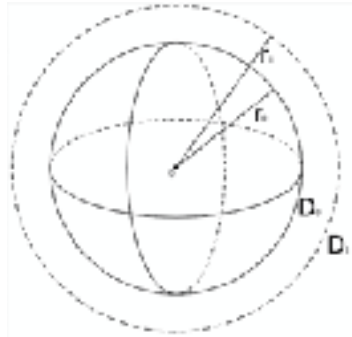
Estas ondas se propagan por el medio a través de cambios en la presión del mismo; como se muestra en la figura 4, e igual que en el primer caso, D_0 representa la primera superficie de onda, seguido de esto, el elemento de volumen que se encuentra encerrado cerca de la superficie de

⁹ El frente de onda es un lugar geométrico que se compone de puntos con la misma fase, esto quiere decir que en un tiempo dado cada punto que se encuentre en ese frente tiene las mismas características.

onda se expande hasta lograr una distancia desde la fuente de onda r_1 , esto genera una nueva superficie de onda a la cual llamaremos D_1 .

Figura 4.

Expansión del elemento de volumen encerrado.



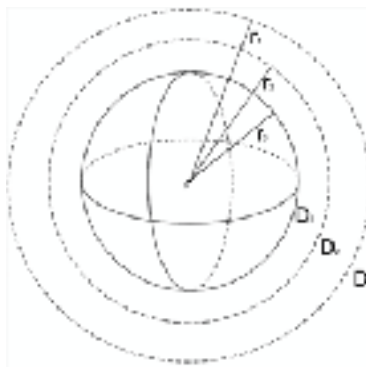
Se muestra la propagación del sonido de forma esférica con radio r_0 y una expansión que da lugar a un nuevo radio r_1

Fuente de la figura: Autoría Propia.

Seguido de esta expansión, en el medio se presenta una compresión, en la figura 5, se muestra cómo el elemento de volumen regresa a una posición donde la superficie de onda D_2 queda a una distancia r_2 . Note que $r_2 < r_1$ ya que se dio una compresión en el gas.

Figura 5.

Compresión del elemento de volumen encerrado.



Se muestra la propagación del sonido de forma esférica con radio r_0 , la expansión que da lugar a un nuevo radio r_1 y una nueva compresión dejando un radio r_2 , también se ven las distintas superficies de onda correspondientes a cada radio.

Fuente de la figura: Autoría Propia.

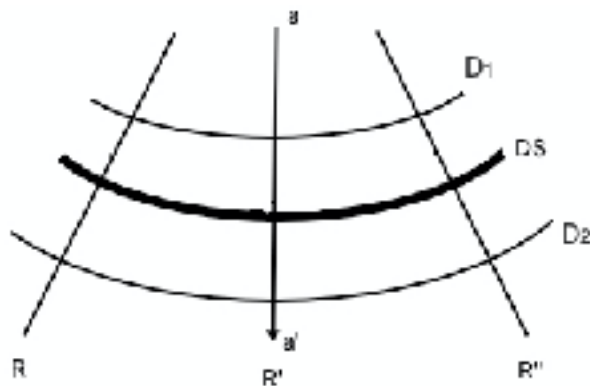
Cabe recordar que debido a que consideramos el medio isotrópico y homogéneo, la velocidad es la misma en todas las direcciones y en cada punto del medio, esto permite que la superficie de onda continúe manteniendo su forma geométrica, es decir, la onda sigue siendo esférica.

Ahora bien, debido a que la velocidad del sonido depende de las propiedades físicas del medio, como se había mencionado anteriormente $v = \sqrt{k/\rho}$, esta velocidad variará si alguna de estas propiedades cambia, a este fenómeno se le conoce como refracción del sonido, es decir que la velocidad del sonido cambia cuando alguna de las propiedades físicas del medio, por el cual se propaga, compresibilidad o densidad, cambia. Un caso muy extremo de este fenómeno de refracción se da cuando la onda sonora pasa de propagarse de un medio gaseoso, como el aire, a un medio líquido como el agua, o a un sólido, en la superficie de separación de estos dos medios se evidenciará una variación abrupta de la velocidad de propagación, tanto en magnitud como en dirección, ya que las propiedades físicas cambian abruptamente de un medio a otro, además también se evidenciarán cambios en la forma de la superficie de onda puesto que la dirección de propagación siempre es perpendicular a dicha superficie. Este caso nos permite ilustrar con mayor claridad la manera en la que cambia la propagación de la onda debido a los cambios en las propiedades físicas del medio.

Como se mencionó anteriormente, analizaremos este fenómeno de ruptura abrupta de propiedades físicas del medio suponiendo que la onda sonora atraviesa una superficie de separación entre medios con condiciones diferentes, mediante este análisis podemos ver las leyes que rigen el fenómeno de refracción, analicemos la figura 6.

Figura 6.

Propagación de onda esférica que se desplaza desde a hasta a'.



D1 y D2 representan las superficies de onda, DS una superficie de separación y R, R', R'' corresponden a las líneas de propagación denominadas como rayos, el rayo que se encuentra antes de DS se denomina como rayo incidente y el rayo que pasa luego del DS es el rayo refractado.

Fuente de la figura: Autoría Propia.

La línea que representa la dirección de propagación de la onda, es decir, la dirección de la velocidad se denominará rayo. Algunas leyes que rigen la refracción de la onda se pueden expresar mediante las direcciones de propagación de la onda. Aquí se presenta un ejemplo donde la onda pasa de un medio a otro, en este paso se cumplen las siguientes leyes:

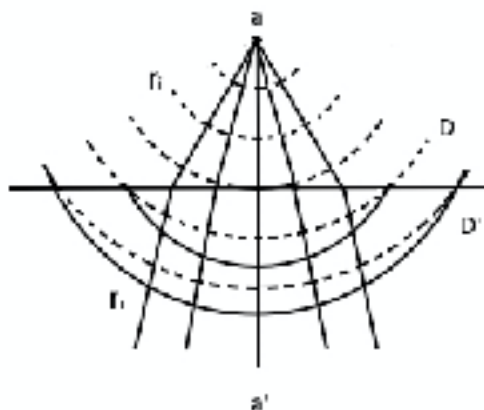
- El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios, se encuentran todas en un mismo plano que es perpendicular a la superficie de onda.
- La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una cantidad constante denominada índice de refracción (η) relativo del segundo medio respecto al primero.

El índice de refracción (η) también se puede expresar en función de las velocidades que toma la onda, esto se hace sacando el cociente entre la velocidad de incidencia (V_i) y la velocidad refractada (V_r), esto es $\eta = V_i/V_r$.

Cuando la superficie de onda pasa a través de la superficie de separación, los rayos cambian de dirección al atravesar dicha superficie de separación, con lo cual la magnitud de la velocidad y la dirección de la misma cambia, esto afecta la forma de la superficie de onda; si la velocidad de incidencia es mayor que la velocidad refractada, los rayos refractados divergen y parecen provenir de un foco mas cercano, esto se debe a que el índice de refracción es mayor a 1 y la onda sonora se acerca cada vez mas a la normal de la superficie de separación, por lo tanto la onda tendría una deformación como se muestra en la figura 7.

Figura 7.

Refracción de onda con índice de refracción mayor a 1.



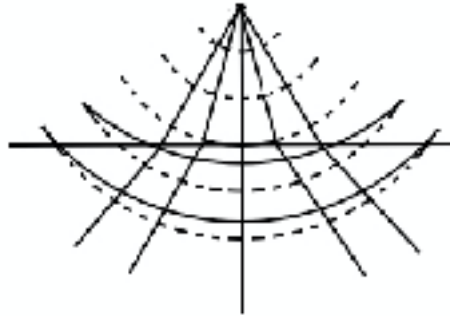
Convergencia de las ondas debido a la refracción.

Fuente de la figura: Autoría Propia.

Ahora bien, si el caso es el contrario, donde los rayos refractados sean menos divergentes y aparentemente provengan de un foco mas lejano debido a que la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad es mayor, el índice de refracción será menor a 1 y los rayos refractados se alejarán de la normal de la superficie de separación, la onda entonces, tomará una forma como se ilustra en la figura 8.

Figura 8.

Refracción de onda con índice de refracción menor a 1.



Divergencia de las ondas debido a la refracción.

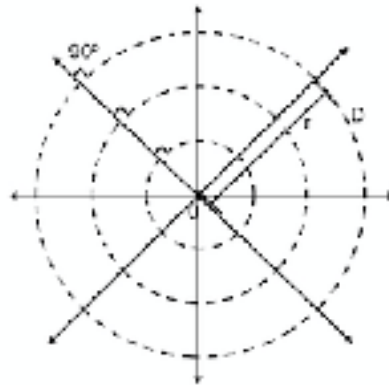
Fuente de la figura: Autoría Propia.

Con todo esto, si analizamos la propagación del sonido en el aire, y consideramos gradientes de temperatura, es posible que debido a tales variaciones en la temperatura del aire, existan variaciones en las propiedades físicas de este medio, con lo cual la velocidad del sonido variará ya que la velocidad del sonido depende de la temperatura como se había mencionado anteriormente en la ecuación (33) $v = \beta\sqrt{T}$ si se considera el sonido como proceso isotérmico y en la ecuación (30) $v = \alpha\sqrt{T}$ si se considera adiabático; así se puede considerar la refracción del sonido debida a variaciones en la temperatura del medio, es decir, debido a variaciones espaciales de la temperatura del aire, éste dejará de ser homogéneo o isotrópico, por lo cual la onda sonora ya no se propagará con superficie esférica y el sonido no viajaría en línea recta de forma radial con velocidad constante como en un medio isotrópico.

Teniendo en cuenta estos cambios, veamos cómo afecta esto a la geometría que tiene la propagación de onda; en un principio cada superficie de onda mantiene su forma debido a las características homogéneas e isotrópicas del medio como se muestra en la figura 9, aquí los ángulos entre la superficie de onda y los rayos que describen la dirección de propagación, forman un ángulo de 90° .

Figura 9.

Propagación de onda esférica, vista de perfil.

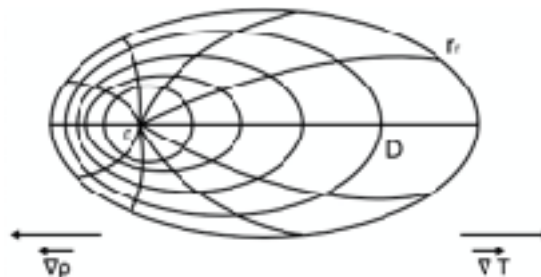


Fuente de la figura: Autoría Propia.

Como se mencionaba anteriormente, debido a variaciones espaciales de la temperatura en el aire, la onda sonora ya no viajará en línea recta de forma radial con velocidad constante y tampoco se propagará con superficie esférica; para ilustrar esto supongamos un medio donde existe un gradiente de temperaturas $\vec{\nabla} T$ que aumenta conforme aumenta el eje de las x como se muestra en la figura 10, podríamos pensar entonces, que existe también un gradiente de densidades $\vec{\nabla} \rho$ asociado, que aumenta en la misma proporción pero en dirección contraria. En este medio la velocidad del sonido no podría verse como una constante espacial, variaría espacialmente, lo mismo sucedería con la densidad.

Figura 10.

Propagación de la onda sonora en un medio no homogéneo o isotópico.



Las diferentes superficies de onda forman en todo momento un ángulo de 90° con los rayos refractados y la distancia r es una constante en toda la superficie de onda. ∇T y $\nabla \rho$ representan los gradientes de temperatura y densidad, correspondientemente; estos aumentan proporcionalmente y en dirección contraria.

Fuente de la figura: Autoría Propia.

Note que en las regiones donde el medio es menos denso la velocidad de propagación será mayor y por lo tanto las superficies de onda se ven mas separadas la una de la otra, de forma contraria donde la densidad es mayor y la velocidad de onda es menor, las superficies de onda se achatan. Esto se puede ver gracias a que la velocidad de cualquier evento físico esta relacionado con la distancia que se desplaza, en este caso, el desplazamiento de la onda esta representado por la longitud de la onda y el aumento en la velocidad es proporcional al aumento de las longitudes. También gracias a esto podemos notar que la refracción del sonido no cambia en ninguna manera la frecuencia que tiene la onda, esta se mantiene constante debido a que cada distancia radial que existe entre curva y curva (superficies de onda) representa una longitud de onda (λ) y esta crece de la misma forma en la que aumenta la velocidad de propagación. Analicemos también que las líneas de propagación que en el caso de la onda en un medio homogéneo e isotópico eran completamente rectas, ahora son curvas que conservan la ortogonalidad con la superficie de onda.

En síntesis, es preciso enfatizar que los cambios que se presentan en la propagación del sonido debido a la refracción, en este caso aquellos que se presentan debido a las variaciones de temperatura en el medio, no solo llegan a relacionarse con los cambios de dirección de los rayos y con las variaciones en la magnitud de la velocidad de propagación, sino que son determinantes para la geometría misma de dicha propagación, cada cambio que se presente en las propiedades físicas del medio cambia de forma determinante la geometría de cada superficie de onda, para mantener la ortogonalidad entre los rayos de propagación y la superficie de onda.

Para concluir, podemos ver que el desarrollo de este capítulo permitió mostrar algunas de las relaciones que existen entre la acústica y la termodinámica, mas específicamente en el fenómeno de la propagación del sonido. Como consecuencia de lo expuesto, se analiza que el sonido se puede tener en cuenta como proceso isotérmico si la frecuencia de onda es alta, aquí las longitudes de onda son cortas permitiendo que existan flujos de calor hacia el exterior; de otra forma el sonido se puede considerar también como un proceso adiabático, considerando que la

frecuencia de onda es baja, esto permite que existan variaciones en la temperatura que dan paso a cambios físicos en el medio de propagación.

Se analizó también que los cambios que se presentan en el medio de propagación, pueden darse gracias a un fenómeno denominado refracción del sonido, que sucede cuando la onda pasa de un medio a otro con ciertas características distintas¹⁰, al presentarse la refracción en la superficie de onda, la magnitud de la velocidad de propagación se ve afectada y también se notan cambios en la dirección de los rayos que describen la propagación de la onda sonora. Esto trae consecuencias mas notorias cuando analizamos la forma geométrica que tiene la onda, ya que en un medio isotópico y homogéneo se transporta de forma completamente esférica, sin embargo cuando se dan estos cambios la forma cambia, las densidades distintas en el medio causadas por las variaciones en la temperatura imposibilitan que la onda mantenga una forma esférica y la achata.

¹⁰ Cómo se mencionó anteriormente las variaciones en la temperatura del medio.

CAPITULO III

REFLEXIONES SOBRE LA ENSEÑANZA

Luego de haber presentado las reflexiones disciplinares, es decir, la construcción del marco conceptual que define el fenómeno, a continuación se presentan algunas reflexiones acerca de la enseñanza de la física, estas reflexiones no representan un análisis genérico de la enseñanza y la forma en la que se construye el conocimiento en el aula, sino que surge con la intención de aportar conceptualmente a la enseñanza de la física, esto se hace al mostrar algunas de las relaciones que existen entre los fenómenos que se presentan en la realidad física, cosa permite incorporar explicaciones y problemas de conocimiento para ser abordados en el aula, como es, un análisis del sonido, su propagación y los aspectos termodinámicos relacionados con él. También se considera importante profundizar en estos tipos de análisis ya que se evidencia que estos temas en general no son muy tratados en los libros de texto y por lo tanto no es usual que se toquen estos temas y se den este tipo de explicaciones en el aula, esto representa una limitación en cuanto a la enseñanza de la física y en las explicaciones de la realidad dadas por aquellos maestros que se enfocan en una enseñanza tradicional. Cabe aclarar que si bien la problemáticas no están relacionadas directamente con la sección de los objetivos, las reflexiones que aquí se presentan forman parte fundamental del desarrollo del trabajo, ya que éste se realizó respondiendo a algunas problemáticas que se evidencian en la enseñanza de la física en general.

La enseñanza de la física en su forma tradicional esta centrada a menudo en la transmisión de conceptos y teorías por parte del docente hacia el estudiante, esta manera de enseñar permite que los estudiantes desarrollen habilidades para el uso de ecuaciones y la resolución de problemas relacionadas con el calculo y los procedimientos algebraicos, ya que se centran en la aplicación y resolución de problemas prácticos que requieren el uso de constantes y valores numéricos; sin embargo, por lo general este tipo de enseñanza no está vinculada con el hecho de conocer, problematizar y comprender los fenómenos; desde esta perspectiva se asume que el

conocimiento es una agrupación de productos ya acabados por la comunidad científica, veraces y que se pueden segmentar para entregar al estudiante en cada clase, pero estas explicaciones casi nunca están relacionadas con los fenómenos físicos, ni están enfocadas en la reflexión de los problemas de conocimiento que se dieron en los contextos de producción de las teorías científicas, aspecto que le daría un horizonte de sentido a la ciencia que se enseña; en este escenario la enseñanza se basa, como se menciono anteriormente en la acción de transmitir conceptos por parte del docente, y la labor del estudiante entonces es asimilar las teorías y conceptos como productos terminados sin que ello implique la comprensión de los mismos, en consecuencia ni el maestro ni el estudiante son sujetos activos del proceso de conocimiento ya que el primero está subordinado por unos productos de la ciencia sobre los cuales no puede hacer reflexión alguna y el estudiante es un receptor pasivo que tampoco tiene la oportunidad de reflexionar acerca de los contenidos que se entregan. Como se hablará más tarde, la visión de este trabajo esta enfocada en un cambio por parte del docente en cuanto a la actividad que tiene en el aula, dejando atrás este enfoque de la enseñanza y el aprendizaje tradicional y busca que el docente adopte una perspectiva que considera al docente como agente generador de conocimiento en el aula.

La mayoría de los estudiantes en la educación básica y media tienen una comprensión acerca de lo que es el sonido, lo asocian a experiencias de la vida cotidiana que han tenido anteriormente, sin embargo, las descripciones que se dan acerca del sonido y que por lo general surgen de su propia experiencia no están directamente relacionadas con las descripciones que se le dan al sonido desde la física. Estas explicaciones se basan en descripciones de algunas de las características básicas que pueden identificar. Por ejemplo, cuando suena el golpetear de un tambor, se cree que mientras el golpeteo se mantenga, el sonido va a estar presente, pero por otro lado cuando las vibraciones en el cuero del tambor cesen éste desaparecerá. Esto muestra que el estudiante tiene una conciencia de que existe una fuente sonora, pero tiene muy poca conciencia de que las vibraciones producidas por el cuero del tambor se desplazan al medio circundante, cree que el sonido se encuentra en la fuente y no es consciente de que el medio se perturbó y propaga dicha perturbación desde esa región hacia otra parte del medio, esto indica que para el

alumno la conciencia de la propagación del sonido no existe o no está bien estructurada. En este sentido se puede notar que si bien los estudiantes escuchan el sonido, es decir, tienen una percepción sonora y en ella pueden distinguir características como el tono, la duración y la intensidad, la experiencia que se tiene del sonido está muy poco relacionada con la física que se enseña, ésta en general se enseña de una forma tan desvinculada de la experiencia que no aporta en gran manera a la comprensión que pueden tener los estudiantes acerca del sonido. Esto se debe a que aquí el aprendizaje y el problema del conocimiento en el aula se queda solo como una simple transmisión de definiciones, ecuaciones, etc., y no se profundiza en el análisis del fenómeno para vincularlo con la experiencia que tienen los estudiantes, de esta manera ampliar esta misma experiencia, hacerla más comprensiva, esto permitiría lograr un vínculo directo con las explicaciones que se dan desde la física.

Un ejemplo de estos vínculos directos se presenta en algunas temáticas que se enseñan en los cursos de termodinámica, allí los estudiantes tienen una experiencia más cercana a las explicaciones que se dan en la física, por ejemplo, a la hora de acercarse a una vela el estudiante puede intuir el concepto de aumento en la temperatura, esto le permite asociar esta experiencia con el objeto teórico a estudiar; otro ejemplo sería cuando se pone a calentar una olla con agua, para calentar el agua más rápido el estudiante deberá meterle más fuego a la estufa, es decir debe introducir más calor, esto muestra que en estas temáticas existen más vínculos de la experiencia sensible en el estudiante que lo ayuda a relacionar su experiencia con la teoría. Por otro lado, en el estudio de las ondas no sucede lo mismo, la experiencia que los estudiantes tienen sobre la onda sonora es una experiencia muy pequeña asociada con la realidad física y con los fenómenos que se relacionan con el sonido, por lo tanto el papel que debería tomar el docente en el aula es hacer parte activa para que ésta experiencia se amplíe, el maestro debe entonces, hacer una reflexión sobre su labor en el aula, dejando atrás la idea de que la enseñanza se da como una transmisión de conceptos y definiciones, y en su lugar que se puedan vincular estas experiencias con los contenidos de la física relacionados con el sonido.

En este orden de ideas es necesario que el maestro tenga una comprensión sobre el fenómeno visto desde la física, es decir, que cuente con el conocimiento de todas las afirmaciones teóricas, las relaciones y los conceptos que están involucrados en la propagación del sonido, también es importante que no se limite a enseñar las características básicas de la experiencia, realizando descripciones acerca de cómo el sonido es una onda, o que se propaga en el aire, sino que haga uso de sus criterios como agente generador de conocimiento y dialogue con los problemas que se presentan en el aula, con el fin de ayudar de manera activa al estudiante en su proceso de aprendizaje, por último también se ve que muchos docentes enfocan su enseñanza exclusivamente en las temáticas descritas en los libros de texto, pero lo que pasan por alto es que en algunas ocasiones estas explicaciones, están incompletas o también carecen de una relación directa con todas las explicaciones y relaciones que desde la física se pueden dar, esto imposibilita que el docente tenga una fundamentación completa sobre lo que sucede en el fenómeno y cómo lo relaciona conceptualmente la física.

Dentro del análisis expuesto se hace necesario concluir que el presente trabajo se enmarca dentro de las investigaciones de corte conceptual y está enfocada en el estudio acerca de los fenómenos, las teorías y los conceptos que permiten profundizar en algunos aspectos de la propagación del sonido, particularmente en sus aspectos termodinámicos, esto aporta a la comprensión del docente para su ejercicio en el aula, es decir, le proporciona unos criterios de orden disciplinar para poder llevarlos a la enseñanza, ya que se evidencia una necesidad de profundizar en estas construcciones conceptuales que permitan al docente ampliar su visión acerca de lo que entiende por sonido y sus explicaciones en la física.

CONCLUSIONES

En este apartado se presentan las conclusiones del trabajo reflexivo que se realizó en cuanto al fenómeno de estudio, esto es, las relaciones entre la propagación del sonido y los aspectos termodinámicos, y algunas consideraciones sobre la enseñanza que estuvieron presentes a lo largo de toda la investigación. Luego de haber realizado una indagación, en algunos textos de física, que tocan temáticas sobre la acústica, la termodinámica y en especial los aspectos termodinámicos en la propagación del sonido, se logró establecer algunas fuentes y referentes para el estudio del sonido que permitió llegar a reflexiones que proporcionan una visión mas amplia del fenómeno.

Algunas de estas son por ejemplo que la propagación del sonido puede considerarse como proceso isotérmico si la onda sonora tiene frecuencias altas, como consecuencia existen flujos de calor; pero si lo vemos de otra forma en donde el sonido toma frecuencias bajas, el proceso será adiabático ya que no existen flujos de calor pero si variaciones locales en la temperatura de la porción del medio por donde se propaga la onda; también se llegó a que la velocidad de propagación del sonido puede ser descrita en función de la temperatura, se dieron algunas consideraciones y se concluyó que en el caso de que la propagación del sonido sea isotérmica se considera la temperatura global del sistema y en el caso que sea adiabática se debe considerar la temperatura local de la porción del medio por donde se propaga la onda.

Por otra parte, los cambios que se presentan en la velocidad de propagación de la onda son determinados por cambios en las propiedades físicas del medio, particularmente la refracción está relacionada con estos cambios; en este fenómeno de refracción la magnitud y la dirección de la velocidad de propagación, como la forma del frente de onda sonora se ven afectados por los cambios en las propiedades físicas del medio, estos cambios dependen de la temperatura de

dicho medio, aspecto que queda explícito en la dependencia de la velocidad de propagación del sonido con la temperatura.

Este análisis, que se realizó sobre los aspectos termodinámicos de la propagación del sonido, se hace con el fin de configurar posibles problemáticas y situaciones de estudio para la enseñanza del sonido en cursos de física en la educación media. Si bien el sonido es algo cotidiano, las descripciones que se hacen desde la física en algunos libros de texto no se encuentran muy relacionadas con la experiencia sensible que se tiene del mismo, ya que las percepciones que tenemos del sonido, están vinculadas con sus cualidades, timbre, calidad, intensidad o volumen, duración y altura, en tanto que la descripción física que se hace del sonido está relacionada con su naturaleza ondulatoria y con los fenómenos asociados a su propagación, ello implica que en la enseñanza del fenómeno sonoro se requiera de una profundización en los aspectos disciplinares de la física desde los cuales es explicado el sonido. Conocer estas relaciones de los fenómenos que aunque sean poco conocidas ayudan a la comprensión del mundo físico, brindando una visión mas amplia de los fenómenos y dotando al docente de criterios para la enseñanza de la física y en especial de ésta temática, ayudándolo en su rol docente y caracterizándolo como agente que participa activamente en el proceso de aprendizaje como un generador de conocimiento que en conjunto con el estudiante construyen conocimiento.

BIBLIOGRAFIA

Alonso, M, Acosta, V, *Introducción a la Física*; eds., Cultural (1ª Edición); Bogota; 1984; caps 1-2.

Anaya, P, *Fundamentos de física*; ed.: Trillas (1ª edición); Mexico D.F. ; 2005; pp. 347-349, 352-357

Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. *Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Pro-Posições, 17(1), 19-37.

Castillo, J, *El concepto de corriente y la perspectiva dinámica*; Universidad Pedagógica Nacional; Bogota; 2004

Contreras, Y. A. P. (2006). *El análisis histórico, epistemológico y didáctico como una concreción del modelo de aprendizaje de la termodinámica por investigación*. Tecné, Episteme y Didaxis: TED, (20).

Cortes, P, *Las experiencias realizadas para determinar la velocidad del sonido en el aire*; Universidad Nacional del Litoral Rosario; Santafe Argentina; 1962.

Lindsay, R, *Mechanical Radiation*, ed.: Universidad de Michigan ;1960, pp. 223-415

Lindsay, R. B. (1966). *The story of acoustics*. The Journal of the Acoustical Society of America, 39(4), 629-644.

Mäntylä, T. (2011). *Didactical reconstructions for organizing knowledge in physics teacher education*.

Miralles, L. (2003). *Compleja historia de la formulación de la Ley de Boyle*.

Newton, I. (1687) *Principios matemáticos de la Filosofía natural [Philosophiae Naturalis Principia Mathematica]*. Ediciones Altaya, S.A. Grandes Obras del Pensamiento, 21. 621 págs. Barcelona, 1993 ISBN 84-487-0140-2

Niño, C, *Aspectos termodinámicas de la propagación del sonido: Un análisis para la enseñanza de la física*; Universidad Pedagógica Nacional; Bogota; 2009

*¹¹*P. S. Laplace, Ann. Phys. Chim. 3, 288 (1816)

Quintero, D. A. (2017). *Propuesta de los aspectos que se deben tener en cuenta en la enseñanza de la temperatura en la educación media*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2051>.

Rico, L. (2001). *Análisis conceptual e investigación en didáctica de la matemática*.

Serway, R, Jewett, J, *Física*; ed.:Thompson (3ª edición); Bogota; 2004; pp. 549-661.

Tipler, P, *Física*; ed.: Reverté (3ª edición); Bogota; 1995; p.453

Tovar, E, *Una Aproximación a la Explicación de los Sismos a través del Concepto de Onda Mecánica*; Universidad Pedagógica Nacional; Bogota; 2019

Wilson, J, Buffa, A, *Física*; ed.: Pearson (6ª edición); Naucalpan de Juarez; 2007.

Wu, J.(1990). Are sound waves isothermal or adiabatic?. American Journal of Physics, 58(7), 694-696.

¹¹ Es referenciado por Robert Lindsay y Junru Wu