

UNA APROXIMACIÓN A LA EXPLICACIÓN DE LOS SISMOS A TRAVÉS DEL  
CONCEPTO DE ONDA MECÁNICA

STEFANIA TOVAR QUIMBAYO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN FÍSICA  
BOGOTÁ D.C

2019

UNA APROXIMACIÓN A LA EXPLICACIÓN DE LOS SISMOS A TRAVÉS DEL  
CONCEPTO DE ONDA MECÁNICA

AUTORA  
STEFANIA TOVAR QUIMBAYO


DIRECTOR  
JUAN CARLOS CASTILLO AYALA

Línea de investigación:  
Enseñanza de la Ciencias desde una perspectiva Cultural

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN FÍSICA  
BOGOTÁ D.C

2019

*Gracias a mi familia por su apoyo incondicional desde siempre, especialmente a mi papá y a mi mamá por su afectividad, a mis amigas de la universidad por estar ahí presentes durante todo este proceso, dándome ánimo y aliento para continuar, de igual manera agradezco a mi asesor Juan Carlos Castillo por sus aportes, su conocimiento y su amistad; por último doy gracias a la Universidad Pedagógica Nacional por la formación docente que me brinda.*

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Educación de excelencia</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 4 de 81</b>	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	UNA APROXIMACIÓN A LA EXPLICACIÓN DE LOS SISMOS A TRAVÉS DEL CONCEPTO DE ONDA MECÁNICA.
<b>Autor(es)</b>	Tovar Quimbayo, Stefania
<b>Director</b>	Castillo Ayala Juan Carlos
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional. 2018, 71p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	ONDA, ONDA MECÁNICA, PERTURBACIÓN, SISMOLOGÍA, ONDA SÍSMICA, INTERDISCIPLINARIEDAD.

<b>2. Descripción</b>
<p>Este trabajo investigativo se enfoca en la onda sísmica, la cual produce uno de los fenómenos naturales más comunes en la vida cotidiana como lo son los terremotos. Para analizar este tipo de fenómenos, es necesario hacer un análisis de diferentes conceptos y teorías que los expliquen. Este análisis se hace a partir de los medios continuos, del concepto de onda, de la onda mecánica como perturbación y de la sismología en general. Por otra parte se nombra la importancia de la interdisciplinariedad (implica la interacción de varias disciplinas) en los procesos formativos y para este caso la interdisciplinariedad vista mediante la geología y la física.</p>

<b>3. Fuentes</b>
<p>Giner, J., &amp; Molina, S. (2001). <i>Sismicidad y Riesgo Sísmico en la C.A.V.</i> Alicante: Club Universitario.</p>

- Mayorga López, E., & Poveda Matallana, W. (2013). *Análisis gráfico y numérico en la interpretación de una señal sismológica: temáticas de la física de ondas implicadas en un sismo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Nava, A. (2002). *Terremotos*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra Una Introducción a la Geología Física*. Madrid : PEARSON EDUCACIÓN S. A.
- Castillo Ayala, J. C., Ayala Manrique, M. M., Malagón Sánchez, J. F., Garzón Barragán, I., & Garzón Barrios, M. (2012). El tensor de esfuerzos. Un análisis epistemológico desde una perspectiva pedagógica. *Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias*.
- Gantiva, J. E. (2011). *Conceptos de físicos implicados en la explicación de los sismos: una aproximación a las ondas sísmicas*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Torres Corredor , R. A. (2001). *Curso Introducción a la Sismología*. Bogotá, D.C.: Ingeominas .
- Torres, J. (1998). *Globalización e interdisciplinariedad: el curriculum integrado*. Madrid: Ediciones Morata.

#### 4. Contenidos

El presente trabajo se desarrolla en cuatro capítulos. El primer capítulo, es la contextualización del trabajo, planteando la problemática que lo llevo a su desarrollo, los objetivos, la metodología, los antecedentes que se utilizaron para su guía y su justificación.

En el segundo capítulo, se hace un análisis alrededor del concepto de onda no como se encuentra o nombra comúnmente, por lo contrario se hace el análisis de este concepto a partir y caracterizado por la descripción de la perturbación, de los medios continuos, de los esfuerzos; y como toda estas descripciones y análisis afectan a su propagación de la onda, a su vez para permitir la explicación de la propagación de la onda sísmica.

En el tercer capítulo, se habla de disciplinas, conceptos o teorías; que estudian la onda sísmica, como por ejemplo la sismología. Se empieza desde los temas más importantes como lo es la descripción de la estructura terrestre, de las placas tectónicas, de las fallas y del tensor de esfuerzo; para finalmente llegar a la explicación de la onda sísmica.

El cuarto capítulo, que trata de explicar la interdisciplinariedad como método de enseñanza de las ciencias que se da a partir de la reflexión a lo largo del trabajo. Esta trata de vincular el trabajo con procesos interdisciplinarios a la hora de tratar los temas de la física, geología y geografía; que se ven involucrados en este, de esta manera trata de resaltar la importancia de la interdisciplinariedad en la enseñanza.

Finalmente, se realizan unas conclusiones finales que permiten resaltar las contribuciones y reflexiones del trabajo investigativo.

## 5. Metodología

La metodología que se presenta en este trabajo es una reflexión en relación con el proceso investigativo, que se lleva a cabo para establecer las acciones que permitieron la realización y el desarrollo de este trabajo, de esta manera también se permitió realizar una reflexión teórica de la problemática abordada a partir de los sismos y el concepto de onda desde una mirada interdisciplinar, esta metodología permite de alguna manera explicitar las acciones y orientaciones teóricas que podrían estar a la base de lo que se hizo en el trabajo; estas acciones estuvieron orientadas por un análisis de corte conceptual, se podría decir que un trabajo de corte conceptual es un trabajo de investigación bibliográfica o documental.

Esta metodología de corte conceptual permite establecer un punto de partida, a partir las preguntas que surgen, relacionadas con la enseñanza de las ondas y el fenómeno sísmico; para lo cual se vio la necesidad de, primero hacer una investigación documental en relación con los referentes teóricos, que permitieron determinar algunos criterios para el desarrollo de la investigación que a su vez nacen de la pregunta problema o de investigación; después de esto se procede a hacer una lectura reflexiva sobre literatura que permitió ir señalando aspectos que contribuyen a la consolidación del trabajo en cuanto a la teoría en relación a los aspectos relacionados con las ondas. Esta reflexión cualitativa de los textos en correspondencia con la pregunta investigativa es un elemento para comprender el asunto teórico de la investigación, es decir, cómo la dinámica terrestre ligada a la geología establece relaciones con conceptos dinámicos de la mecánica ondulatoria y la dinámica terrestre, estableciendo una relación entre dos estados; a su vez esta relación me permite hablar y entender porque hay un proceso interdisciplinar.

Es decir, que cuando se aborda un tema como el de los sismos permite tener una mirada interdisciplinar, ya que se necesita de la interacción de disciplinas como lo es la física, la geología, la geografía entre otras; ya que no se puede decir que es un conocimiento netamente físico o netamente de la geología, sino que es un conocimiento propio que se establece desde una mirada interdisciplinar y para llegar a una investigación teórica relacionada con la interdisciplinariedad, es necesario la sistematización o reflexión alrededor de varios textos o documentos que brinden la información necesaria; en pocas palabras se puede decir que este informe de investigación termina siendo una sistematización de la teoría utilizada.

## 6. Conclusiones

- La onda mecánica, no es una onda tan simple como en muchos textos se plantea en torno a este tema de la física, mediante esta onda se puede hacer un análisis más complejo, como él

se hizo con la onda sísmica o con el ejemplo de la cuerda vista como la propagación de un desequilibrio generada por una perturbación en un campo o un medio continuo con propiedades físicas. El análisis de la perturbación y su descripción matemática lograron dar cuenta de cómo las variables de estado del medio cuando se ven afectadas por esfuerzos mecánicos, afectan el medio y en cierta medida la propagación de la onda que a su vez permiten concluir la propagación de la onda sísmica.

- Por otra parte con este trabajo se pretendió analizar uno de los fenómenos físicos producidos en la tierra, ocasionados por sus propiedades mecánicas y dinámicas, este fenómeno que se analizó fue el de los fenómenos sísmicos; el cual nos permitió comprender que la estructura de la tierra no es homogénea, por lo contrario es una estructura heterogénea la cual permite que suceden este tipo de fenómenos principalmente en la corteza o litosfera y esta heterogeneidad está vinculada por la estructura de las rocas que componen dicha corteza (litosfera).
- Al realizar el estudio, que involucró dos grandes ciencias como lo son la geología y la física permite ver cómo los procesos interdisciplinarios son importantes para entender y complementar un tema. Es evidente que en la interdisciplinariedad es importante para los estudios de diferentes fenómenos que involucran a la física y otras ciencias, de esta manera se comprende como un método de enseñanza que genera un conocimiento más amplio; en pocas palabras la interdisciplinariedad es necesaria para la enseñanza y en específico para la enseñanza de las ciencias.

<b>Elaborado por:</b>	Tovar Quimabayó, Stefania
<b>Revisado por:</b>	Castillo Ayala, Juan Carlos

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	06	03	2019
--	----	----	------

## Contenido

Introducción .....	1
<b>Capítulo I: CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
<b>Problemática.....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>5</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>5</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>7</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo II: LA ONDA MECÁNICA: Una perturbación del medio .....</b>	<b>12</b>
<b>¿Qué es una onda? .....</b>	<b>12</b>
<b>Onda mecánica.....</b>	<b>12</b>
<b>Relación entre el stress y la perturbación .....</b>	<b>16</b>
<b>Capitulo III: DINÁMICA DE LA TIERRA: Los Sismos.....</b>	<b>26</b>
<b>La sismología .....</b>	<b>26</b>
<b>Estructura de la Tierra y corteza terrestre .....</b>	<b>28</b>
<b>Sismología y fuentes sísmicas .....</b>	<b>33</b>
<b>Placas tectónicas.....</b>	<b>34</b>
<b>Fallas .....</b>	<b>36</b>
<b>Tensor de esfuerzo .....</b>	<b>37</b>
<b>La ruptura sísmica.....</b>	<b>39</b>
<b>Onda sísmica.....</b>	<b>40</b>
<b>Ondas Primarias (P) .....</b>	<b>41</b>
<b>Ondas secundarias (S) .....</b>	<b>42</b>
<b>Ondas de Rayleigh (LR) .....</b>	<b>42</b>
<b>Ondas de Love (LQ).....</b>	<b>43</b>
<b>Velocidad de propagación de la onda sísmica .....</b>	<b>43</b>
<b>Intensidad y magnitud .....</b>	<b>45</b>
<b>Relación onda sísmica y estructura de la tierra .....</b>	<b>45</b>
<b>Capitulo IV: LA INTERDISCIPLINARIEDAD .....</b>	<b>48</b>
<b>La importancia de la interdisciplinariedad en este trabajo investigativo.....</b>	<b>51</b>
Bibliografía .....	55

<b>Sobre el <i>stress</i></b> .....	57
<b>Ejemplo de perturbación</b> .....	61
<b>El origen de la interdisciplinariedad</b> .....	67
<b>Interdisciplinariedad y otras</b> .....	69

## Índice de imágenes

Figura 1 Tipos de esfuerzos .....	14
Figura 2.Cuerda en estado de equilibrio. ....	16
Figura 3 .Cuerda deformada. ....	17
Figura 4. Cuerda en desequilibrio.....	18
Figura 5. Análisis de las tensiones en la cuerda deformada. ....	18
Figura 6.Vistas de la estructura estratificada de la Tierra (Tarbuck & Lutgens, 2005).....	30
Figura 7. Corteza Terrestre (Tarbuck & Lutgens, 2005). ....	31
Figura 8.Roca Sedimentaria (Geología 1° Eso, s.f.) y Roca Ígnea (Geología Online, s.f.).....	33
Figura 9.Mapa de las placas tectónicas (Wikipedia, s.f.).....	35
Figura 10. Tipos de Fallas – Tomado de (Nava, 2002). ....	37
Figura 11. Tipos de fallas (ieda, s.f.) .....	38
Figura 12.Onda P (El Profe de Naturales, s.f.) .....	41
Figura 13.Onda S (El Profe de Naturales, s.f.) .....	42
Figura 14.Ondas LR (El Profe de Naturales, s.f.).....	43
Figura 15.Ondas LR (El Profe de Naturales, s.f.).....	43
Figura 16. Esta sería la dirección de propagación de la onda sísmica en caso de que la tierra fuera homogénea. (Tarbuck & Lutgens, 2005). ....	46
Figura 17. Trayectoria de las ondas sísmicas, donde la velocidad aumenta con la profundidad (Tarbuck & Lutgens, 2005).....	46
Figura 18.Uno de los muchos ejemplos de las trayectorias posibles de los rayos sísmicos a través de la tierra. (Tarbuck & Lutgens, 2005). ....	47

## Índice de tablas

Tabla 1 Teorías alrededor de los sismos según la historia.....	28
Tabla 2.Tipos de esfuerzos según las fallas (ieda, s.f.).....	38

## Introducción

Este trabajo investigativo se enfoca en el estudio de la onda sísmica la cual ocasiona fenómenos naturales (movimientos telúricos), está se analizará a partir de las ciencias de la Tierra y desde el concepto de onda mecánica descrito por la física, tratando de hacer un vínculo entre las dos disciplinas; a su vez la interdisciplinariedad juega un papel importante en el trabajo cuando los dos conceptos anteriores se relacionan conceptual y analíticamente para describir dicha onda, esta interdisciplinariedad es una reflexión que surge en el transcurso del trabajo. De esta manera se podrá tener un acercamiento a la ciencia desde dos perspectivas; utilizando como herramienta un campo interdisciplinar, tomando a la onda sísmica como ejemplo, también se puede asociar esta onda a algunos fenómenos naturales como los terremotos; los cuales la mayoría de personas los han vivenciado y al ser algo vivencial se puede generar interés en el tema.

A propósito de lo dicho anteriormente nuestro entorno, vida cotidiana, diario vivir, etc. Observamos y sentimos diferentes fenómenos naturales, es decir, cambios que se producen en la naturaleza y por diferentes motivos cada día son más evidentes. Al analizar y estudiar estos fenómenos profundamente, podemos acercarnos a la ciencia y específicamente a ciertas disciplinas; esto mediante algunos conceptos, en nuestro caso el de onda sísmica, que como se nombró puede generar interés ya que es un ejemplo que nos acerca a lo vivencial porqué esta onda es la que describe algunos fenómenos naturales como los terremotos.

En un mundo cada vez más complejo, cambiante y desafiante, resulta apremiante que las personas cuenten con los conocimientos y herramientas necesarias que proveen las ciencias para comprender su entorno (las situaciones que en él se presentan, los fenómenos que acontecen en él) y aportar a su transformación, siempre desde una postura crítica y ética frente a los hallazgos y enormes posibilidades que ofrecen las ciencias. Sabemos bien que así como el conocimiento científico ha aportado beneficios al desarrollo de la humanidad, también ha generado enormes desequilibrios. (Ministerio de Educacion Nacional, 2006)

Como nos afirma la anterior cita, al estar en un mundo cambiante es necesario utilizar herramientas necesarias que nos brinda la ciencia para entenderlo y explicar esos cambios; un ejemplo de ello son los fenómenos naturales que son generados al interior de la tierra como lo son

los movimientos telúricos (los terremotos o sismos, maremotos, tsunamis y erupciones volcánicas) con el fin de estudiar el comportamiento de la onda sísmica y sus características, tema de estudio de la sismología, la cual hace parte de la geofísica y a su vez de la geología (la geofísica modela fenómenos geológicos). De esta manera, también podemos aproximarnos a la enseñanza del movimiento ondulatorio en particular a la onda, tema de estudio de la física en general de las ciencias naturales. De esta forma podremos usar un campo interdisciplinar en entre dos ciencias como los son las ciencias naturales (física) y ciencias de la tierra (la geología), como propuesta de enseñanza en la escuela utilizando a la interdisciplinariedad como herramienta pedagógica.

La interdisciplinariedad, propiamente dicha, es algo diferente a reunir estudios complementarios de diversos especialistas en un marco de estudio de ámbito más colectivo. La interdisciplinariedad implica una voluntad y compromiso de elaborar un marco más general en el que cada una de las disciplinas en contacto, son a la vez modificadas y pasan a depender claramente unas de otras. Aquí se establece una interacción entre dos o más disciplinas, lo que dará como resultado una intercomunicación y un enriquecimiento recíproco y, en consecuencia, una transformación de sus metodologías de investigación, una modificación de conceptos, de terminologías fundamentales, etc. La enseñanza basada en la interdisciplinariedad tiene un gran poder estructuran te ya que los conceptos, marcos teóricos, procedimientos, etc., con los que se enfrenta el alumnado se encuentran organizados en torno a unidades más globales, a estructuras conceptuales y metodológicas compartidas por varias disciplinas. (Torres J. , 1998)

Sobre esta investigación también se quiere generar procesos formativos interdisciplinares que como se nombra en la anterior cita son importantes, pretendiendo llegar a estos procesos interdisciplinares por medio del estudio de la onda sísmica como herramienta de estudio de las ondas.

Se utilizarán varios referentes conceptuales para realizar el análisis y abstracción de los conceptos a tratar, los aspectos teóricos que requieren desarrollar en este trabajo son: en primera instancia el concepto de onda, que nos permite entender la onda sísmica y a su vez entender por qué suceden los fenómenos sísmicos que nos hilan con los fenómenos naturales. Es necesario este concepto pues nos permite analizar la onda como perturbación y el *stress* del medio donde se propaga la onda. En segunda instancia es posible destacar algunos elementos importantes para entender la onda sísmica, como el medio, la energía que transporta la onda y la velocidad, en

general, las propiedades mecánicas de dichas ondas que son complejas, ya que el análisis que hay que hacer de ellas debe ser detallado en todas sus componentes para un mejor entendimiento, recordando que se van a usar conceptos de dos disciplinas que me permiten tener un proceso interdisciplinar; proponiendo la interdisciplinariedad como herramienta de análisis pedagógico en la escuela. Cabe resaltar que este trabajo investigativo no se implementó, es decir, no se llevó a la escuela, pero se puede usar como el inicio de un trabajo que se puede implementar en torno al concepto de onda usando como ejemplo la onda sísmica.

## Capítulo I: CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

### Problemática

En nuestro entorno suceden fenómenos naturales, los cuales son ignorados o no se les da la importancia que se merecen, a pesar de que en ocasiones las consecuencias de éstos son tragedias para los lugares donde suceden. Estos fenómenos naturales algunas veces son ocasionados por movimientos telúricos como por ejemplo los terremotos o sismos, maremotos, tsunamis y erupciones volcánicas; los cuales son temas que al ser analizados y estudiados sirven como situaciones de estudio para llevar al aula, ya que permite un acercamiento al conocimiento de las ciencias desde lo vivencial.

Sabemos que los fenómenos naturales, así sean ignorados, la mayoría de personas hemos tenido algún tipo de experiencia, ya sea porque los hemos sentido o porque se sabe de ellos a través de los medios de comunicación, pero son los sismos los que están vinculados con varios fenómenos naturales; una buena aproximación a la explicación de los sismos es la onda, puesto que además de aproximarse, de una manera adecuada, a la explicación de la propagación del sismo permite comprender la importancia del medio, el comportamiento del medio en el transporte de dichas ondas; para llegar a un análisis más profundo alrededor del concepto de onda y a su vez generar un proceso formativo de interdisciplinariedad entre la ciencias de la Tierra (geología, geofísica, sismología, tectónica, etc.) y las ciencias naturales (física).

Pero ¿por qué hablar de un proceso formativo interdisciplinar? Con este trabajo investigativo se quiere generar o plantear una estrategia de enseñanza del concepto de onda a partir de la onda sísmica, que logre la interdisciplinariedad entre la geología y la física. Pero esto a su vez nos genera otras preguntas ¿Qué es la interdisciplinariedad?, ¿Por qué es importante en la actualidad? ¿Es importante para la enseñanza de la ciencia y de la física?

Todos estos problemas y preguntas nombrados anteriormente, se piensan alrededor de la ciencia ya que mediante ella se puede abordar temas, problemas o conceptos desde distintos puntos de vista, para este caso específico, nos interesa hablar de las ciencias naturales y ciencias de la tierra, estableciendo una interdisciplinariedad entre las dos.

**¿Mediante qué aspectos del concepto de onda mecánica es posible aproximarse a una explicación del fenómeno sísmico, como una situación de estudio, en cursos introductorios de física?**

### **Objetivo general**

Realizar un estudio del concepto de onda mecánica que posibilite aproximarse a la explicación del fenómeno sísmico, con el fin de establecer situaciones de estudio en cursos introductorios de física.

### **Objetivos específicos**

- Abordar el estudio de la onda mecánica, mediante un análisis de corte conceptual, con el fin de aportar elementos para la comprensión del fenómeno sísmico.
- Realizar un estudio, desde la perspectiva del análisis de corte conceptual, acerca de algunos aspectos de la dinámica terrestre, relacionado con el fenómeno sísmico.
- Establecer relaciones entre el concepto de onda mecánica y algunos aspectos de la dinámica terrestre con el fin de aproximarse a la explicación de los sismos.

### **Justificación**

Este trabajo investigativo busca abordar los fenómenos ondulatorios que dan explicación a los movimientos telúricos y el modo de abordarlo en el aula desde una propuesta interdisciplinar, dando importancia a ciertas características de la onda que hacen evidentes en la onda sísmica, la cual no es posible ser descrita como una onda simple, ya sea longitudinal o transversal, como se suelen mostrar las ondas en los textos elementales de física, sino para dar cuenta del sismo se requiere explicarlo en términos de una onda que se puede descomponer un número considerable de ondas simples, con las que se da cuenta de dichos movimientos telúricos “Dentro del estudio de las oscilaciones y ondas se ha intentado realizar experimentos para demostrar estos fenómenos y analizar el comportamiento de nuestro planeta” (Oliveros, 2016) ; así los sismos permiten utilizar el concepto de onda, refiriéndose a un fenómeno concreto, como una herramienta para comprender o aproximarse a la enseñanza de física de ondas en particular al concepto de ondas y sus principales características.

“Los fenómenos naturales de extraordinaria ocurrencia pueden ser previsibles o imprevisibles, dependiendo del grado de conocimiento que los hombres tengan acerca del funcionamiento de la naturaleza” (Romero & Maskrey, 1993). Mediante la experiencia que he tenido en el aula y en mi experiencia vivencial, he notado que a los fenómenos naturales no se les da la importancia que se debe, a pesar que son causantes de acontecimientos de la vida cotidiana, es decir, que nadie es ajeno a estos fenómenos. Para explicar dichos fenómenos naturales es necesario utilizar conceptos de nivel disciplinario; para este caso, centrándonos en los movimientos telúricos causantes de varios fenómenos naturales, se toman conceptos de física y de las ciencias de la Tierra; en el caso de la física a partir de los fenómenos ondulatorios y en el caso de la geología a partir de la sismología. De esta manera estos movimientos permiten generar un proceso formativo interdisciplinar entre las dos ciencias nombradas anteriormente, haciendo notar la interdisciplinariedad como una herramienta importante para extender o abarcar mejor un concepto porque al igual que a los fenómenos naturales no se le da la importancia que debería tener en la escuela.

De esta manera se hace pertinente realizar este trabajo, ya que a la hora de enseñar el concepto de onda se podrá abordar a partir de las ondas sísmicas, haciendo que el aprendizaje para el estudiante o la persona que este analizando el tema sea significativo, debido que le explica un fenómeno que pudo o puede vivenciar, como lo son los movimientos telúricos como lo afirma Torres & Barrios (2009):

En contextos cercanos a la vida cotidiana de los estudiantes, con lo que además se impide encontrar el sentido de los aprendizajes para que trasciendan lo académico y lleven al estudiante a comprender mejor el mundo que les rodea, expresar opiniones y tomar decisiones en la vida cotidiana, es decir una educación que les permita ser más críticos, responsables y comprometidos con los problemas locales y mundiales.

Desde este punto de vista cuando se trabaja con la interdisciplinariedad un concepto o investigación, puede llegar hacer más amplia, y no queda acotada o una sola disciplina y esto se quiere mostrar a partir del trabajo.

Por otra parte, el presente trabajo se hace pertinente, en tanto, aporta elementos conceptuales, acerca de las ondas mecánicas y de los sismos y reflexiones sobre la necesidad de abordar la enseñanza de la física desde una perspectiva más interdisciplinar, para configurar propuestas de enseñanza de la física, particularmente de la mecánica ondulatoria, en cursos a nivel introductorio<sup>1</sup>. En este orden de ideas, el trabajo no implicó implementación de una propuesta didáctica, que posibilitará poner a prueba alguna recontextualización o transposición didáctica; aun así se puede constituir en un referente para tal recontextualización o transposición didáctica; en este sentido el trabajo busca aportar a la comprensión del fenómeno por parte del maestro.

### **Antecedentes**

Realizando la investigación necesaria para este trabajo, se encontró que en la Universidad Pedagógica Nacional, se encuentran documentos que aportan bases teóricas y estrategias para la construcción de este mismo.

Entorno al concepto de onda sísmica y de ondas son abordados los siguientes trabajos de grado:

1. Conceptos de físicos implicados en la explicación de los sismos: una aproximación a las ondas sísmicas (Gantiva, 2011); el cual es un trabajo que permite comprender algunos fenómenos físicos implícitos en los movimientos telúricos y mostrar que las ondas sísmicas pueden llegar a ser una herramienta innovadora en la enseñanza de las ondas sonoras y el transporte de momentum en ondas; de este trabajo se extraen y analizan conceptos alrededor de la onda sísmica y de la onda mecánica que son relevantes para la investigación.
2. Estudio de la propagación y atenuación de la energía de la onda sísmica a través de las capas en el subsuelo (Rocero, 2016) este trabajo se basa en la onda como una construcción desde aspectos dinámicos como el transporte de energía, resaltando el estudio de la atenuación y propagación; como objetivo aportar a la enseñanza de los fenómenos ondulatorios, el cual se pueda enfatizar a condiciones físicas que permitan la explicación de los eventos sísmicos; ; de igual manera de este trabajo se extraen y analizan conceptos alrededor de la onda sísmica y de la onda mecánica que son importantes para la investigación para la investigación.

---

<sup>1</sup> Cursos de física a nivel introductorio se refiere a aquellos cursos en los cuales se establecen los aspectos conceptuales, experimentales y formales, básicos y fundamentales la comprensión de la física en niveles más avanzados, regularmente estos cursos corresponden a los niveles iniciales en la educación en física.

3. Análisis gráfico y numérico en la interpretación de una señal sismológica: temáticas de la física de ondas implicadas en un sismo (Mayorga & Poveda, 2013) el cual es un trabajo que realiza una descripción general de las ondas, particularmente en el campo de la sismología. A partir del análisis de Fourier, se realizan análisis gráficos y numéricos por medio de herramientas computacionales a señales sismológicas, encontrando temáticas importantes de la física de ondas, como el comportamiento de las ondas transversales, longitudinales, amplitudes relacionadas a la energía de los sismos, adicional a esto se evidencia la importancia de la FFT (*fast Fourier transform*) en el campo de la sismología en relación a la magnitud de los sismos (escala de Richter & magnitud de momento); de este trabajo se extraen y analizan conceptos alrededor de la onda sísmica y de la onda mecánica, pero también se extrae la idea del tensor de *stress* que son relevantes para la investigación.
4. La caracterización del sonido como onda mecánica: una propuesta para la enseñanza en la escuela (Bermudez, 2016) Este trabajo contextualiza una propuesta de aula diferente que permite a los estudiantes de los grados introductorios de física, profundizar en las características de la propagación del sonido; así, se evidencia mediante la experiencia que el sonido tiene un comportamiento ondulatorio que depende del medio de propagación, la temperatura y la presión del mismo; preguntándose sobre el sonido, sus características, su propagación, su emisión y su recepción, entre otros, de manera que guiados por la observación de las situaciones cotidianas en donde se produce el fenómeno sonoro, generen hipótesis que posteriormente sean resueltas por ellos mismos, mediante la experimentación, investigación y el diálogo; este trabajo es importante que tener una mejor comprensión de la onda mecánica y sus características.
5. La escuela en movimiento: una propuesta didáctica para el estudio de conceptos físicos implicados en un sismo (Castro & Ramirez, 2009) este trabajo busca estrategias didácticas para llevar a la escuela el estudio de los conceptos físicos implicados en un sismo; de este trabajo se extraen y analizan conceptos alrededor de la onda sísmica principalmente.
6. Unidad didáctica para facilitar la comprensión de la propagación de ondas sísmicas (Huertas, 2017), este trabajo como su nombre lo dice se basa en una unidad didáctica que pretende enseñar o explicar la propagación de las ondas sísmicas.

## **Metodología**

La metodología que se presenta en este trabajo es una reflexión en relación con el proceso investigativo, que se lleva a cabo para establecer las acciones que permitieron la realización y el desarrollo de este trabajo. De esta manera también se permitió realizar una reflexión teórica de la problemática abordada a partir de los sismos y el concepto de onda desde una mirada interdisciplinar, esta metodología permite de alguna manera explicitar las acciones y orientaciones teóricas que podrían estar a la base de lo que se hizo en el trabajo; estas acciones estuvieron orientadas por un análisis de corte conceptual, se podría decir que un trabajo de corte conceptual es un trabajo de investigación bibliográfica o documental que como dice (Cisneros, 2013) es: “ un método de investigación que se fundamenta en la recopilación de información contenida en documentos impresos como libros, revistas, periódicos, etc. Con el propósito de profundizar en las teorías para complementar, refutar o derivar nuevos conocimientos”.

Esta metodología de corte conceptual permite establecer un punto de partida, a partir las preguntas que surgen, relacionadas con la enseñanza de las ondas y el fenómeno sísmico; para lo cual se vio la necesidad de, primero hacer una investigación documental en relación con los referentes teóricos, que permitieron determinar algunos criterios para el desarrollo de la investigación que a su vez nacen de la pregunta problema o de investigación; después de esto se procede a hacer una lectura reflexiva sobre literatura (la que se consultó e investigó) que permitió ir señalando aspectos que contribuyen a la consolidación del trabajo en cuanto a la teoría en relación a los aspectos relacionados con las ondas. Esta reflexión cualitativa de los textos en correspondencia con la pregunta investigativa es un elemento para comprender el asunto teórico de la investigación, es decir, cómo la dinámica terrestre ligada a la geología establece relaciones con conceptos dinámicos de la mecánica ondulatoria y la dinámica terrestre, estableciendo una relación entre dos estados; a su vez esta relación me permite hablar y entender por qué hay un proceso interdisciplinar.

Es decir, que cuando se aborda un tema como el de los sismos permite tener una mirada interdisciplinar, ya que se necesita de la interacción de disciplinas como lo es la física, la geología, la geografía entre otras; ya que no se puede decir que es un conocimiento netamente físico o netamente de la geología, sino que es un conocimiento propio que se establece desde una mirada interdisciplinar y para llegar a una investigación teórica relacionada con la interdisciplinariedad,

es necesario la sistematización o reflexión alrededor de varios textos o documentos que brinden la información necesaria; en pocas palabras se puede decir que este informe de investigación termina siendo una sistematización de la teoría utilizada.

Para saber y entender un poco más de la metodología, que como se nombró anteriormente para este trabajo investigativo la metodología principal es análisis de corte conceptual, donde se realizará un análisis de literatura especializada, es decir, que al plantearse la pregunta de investigación se partirá de ésta para ir a los referentes conceptuales (libros especializados, trabajos de grado, tesis de grados, artículos, etc.) para establecer y recolectar la información necesaria y pertinente, con el fin de sistematizarla y analizarla alrededor de la pregunta que orienta la investigación; esta sistematización y análisis permite avanzar en la consolidación del conocimiento y la comprensión que implica abordar la pregunta de investigación. Siendo este tipo de investigación significativo para la construcción de propuestas de enseñanza de la física, y de las ciencias en general, como expresa (Castillo, El concepto de corriente y la perspectiva dinámica., 2004, pág. 7):

Un análisis de tipo conceptual para enseñanza de la física desde la dinámica misma de construcción de conocimiento, es decir, a través de la configuración de fenómenos, elaboración de problemáticas y estructuración de explicaciones; asumiendo que los conceptos y los principios que se ponen en juego en este proceso dejan de ser definiciones, ya que el significado está estrechamente relacionado con dicho proceso, para tomar status de categorías “epistemológicas”, puesto que son elementos fundamentales para la comprensión del mundo físico.

Por otro lado la Metodología de este trabajo de grado se enfoca en el tema a tratar desde la interacción de dos disciplinas, donde su propósito, desarrollo y conclusión se orienta en el análisis de lo propuesto enmarcado en un contexto teórico de este tema. Se puede decir que este trabajo es interdisciplinar, puesto que utiliza e investiga desde diferentes teorías o disciplinas, como lo define (Cisneros, 2013) :

Trabajos de grado por el tratamiento del tema “Multidisciplinarios: por el propio tratamiento del tema, su desarrollo y las condiciones de la investigación, tanto los métodos como las conclusiones esperadas no pertenecen a una sola disciplina si no que su estudio están involucradas varias áreas, las que tienen entre si una vinculación en común con el

objeto de estudio y son afectadas por los resultados obtenidos, ya sea en una mínima parte de su totalidad. (p.9)

De esta manera se observará que el trabajo recopila el resultado, análisis y organización de otras investigaciones sobre el mismo tema, de ellos se tomará información dispersa necesaria para el desarrollo del trabajo de grado propuesto, con el fin que deje aportes nuevos al objeto de estudio que puede ser similar a los trabajos utilizados. Aunque puede que no se aporte conocimientos nuevos, con este trabajo se pueden aportar elementos metodológicos, analíticos y críticos para nuevas investigaciones.

De igual manera con este trabajo se procura hacer un método analítico en donde se explica un proceso, fenómeno, o situación aislando sus componentes por separado para estudiarlos. De esta manera se realizará un análisis o énfasis interpretativo de la sistematización y análisis de una serie de consultas o investigaciones de los temas tratados en el trabajo; exponiendo la onda sísmica la cual es una onda compleja que tiene componentes transversales, longitudinales, es decir, ciertas características dinámicas, de igual manera se realizara con los fenómenos ondulatorios “concepto de onda” analizando también sus componentes dinámicas; haciendo esto para generar un campo interdisciplinar que a la vez me va a dar cuenta de la importancia de las componentes de la ondas sísmicas vistas a partir de dos ramas de la ciencia permitiéndome un concepto tal vez más amplio.

## Capítulo II: LA ONDA MECÁNICA: Una perturbación del medio

En el siguiente capítulo se pone de presente el concepto de onda mecánica, de tal manera que se exponga sus características principales y se ejemplificará en la onda sísmica para darle más relevancia a dicho concepto.

### ¿Qué es una onda?

Usualmente vemos fenómenos, en nuestra vida cotidiana, que suelen asociarse con el concepto físico de onda, como ejemplo de éstos se encuentran las olas, el sonido, la luz, la comunicación de radio, los sismos, etc. Este concepto de onda o modelos ondulatorios son parte esencial de la mecánica de los medios continuos, y permiten explicar la dinámica del medio al propagar una perturbación, o alteración del equilibrio local, por ejemplo lo que sucede cuando una gota cae en un estanque o lanzamos una piedra en un río, al alterar un medio que se encuentre en equilibrio se propaga tal perturbación a través del medio, así se define un movimiento ondulatorio como la propagación de la perturbación (Young & Freedman, 2009).

Generalmente se dice que las ondas propagan energía, esto no implica transporte de materia; paradójicamente, en los textos comunes de física, no se aborda el problema del transporte de energía por medio de las ondas, ya que gran parte de la descripción se centra en los aspectos cinemáticos.

### Onda mecánica

El concepto de onda, como se mencionó, surge de la necesidad de explicar la dinámica de los medios continuos, aún así, en la física se habla de ondas mecánicas y electromagnéticas. La onda mecánica está determinada por la propagación de una perturbación en un medio continuo, tal perturbación y propagación está relacionada con las propiedades elásticas del medio; ya que perturbar el medio implica establecer desequilibrios locales del estado de *stress*, esto es, desequilibrio de las condiciones de tensión, presión o cizalladura del medio en cuestión. Tales desequilibrios están determinados por desplazamientos infinitesimales las partes del medio, por lo cual la propagación del desequilibrio implica también propagación de energía mecánica, y en algunos casos de momentum, aspectos que están relacionados con las propiedades inerciales del medio, ello implica, necesariamente, que la descripción dinámica de la propagación tenga en

cuenta la elasticidad y la densidad del medio; dentro de las ondas mecánicas están las ondas sonoras, ondas sísmicas, ondas generadas por una cuerda, etc.

El concepto de onda se encuentra también de una manera más técnica en algunos textos de física universitaria como por ejemplo en los siguientes que cuales citaré a continuación; “las ondas surgen siempre de un sistema perturbado de su posición de equilibrio y la perturbación puede viajar o propagarse por un región del medio a otra. Al propagarse una onda, transporta energía. (Young & Freedman, 2009). “una onda mecánica es la perturbación física de un medio elástico” (Tippens, 2007).

Finalmente podríamos decir que la onda es vista como la propagación de un desequilibrio o perturbación en un campo, esto es, un medio continuo con propiedades físicas. Así, la onda es el comportamiento del medio en relación con la propagación de dicha perturbación, en este sentido es importante definir qué es una perturbación; esto es, explicar de manera detallada qué tipo de desequilibrio está implicado en la perturbación, ya que con se nombró anteriormente muchos textos de física utilizan esta palabra “perturbación” para describir la onda, pero no se pregunta ni se enfatizan en decir que es la perturbación.

Para poder definir la perturbación, y por tanto la onda podemos partir de caracterizar el estado mecánico del medio, tal caracterización se hace a través del *stress*<sup>2</sup>, tensión, presión o cizalladura; un aspecto importante que hay que tener en cuenta, es que el estado de *stress* está estrechamente relacionado con el hecho de que únicamente es posible si el medio es elástico, es decir, que el medio presenta oposición a la deformación, es así que el estado de *stress* está vinculado con el estado de deformación del medio, lo cual se puede expresar mediante la ecuación de estado.

$$S = \gamma \epsilon \quad (1)$$

Donde  $\gamma$  es el módulo de Young que expresa las propiedades elásticas del medio<sup>3</sup> y  $\epsilon$  corresponde a la deformación, que está relacionada con la variación local de las dimensiones de

---

<sup>2</sup> Anexo: Análisis sobre el *stress*

<sup>3</sup> El módulo de elasticidad  $\gamma$  se expresa mediante una constante, siempre y cuando el medio sea homogéneo e isotrópico; en caso de que el medio no sea homogéneo es posible expresar este módulo como una función de la posición; en el caso de que el medio no sea isotrópico el módulo de elasticidad se expresa mediante una matriz de la

una porción del medio, en el estado de *stress* en cuestión, respecto a las dimensiones en el estado cero de *stress*, que corresponde a un estado de referencia; así se puede hablar de deformación longitudinal, superficial o volumétrica, según se considere la porción del medio, una cuerda o una lámina o un cuerpo volumétrico.

$$\epsilon = \frac{dL}{L_0} \text{ Corresponde a la deformación longitudinal}$$

$$\epsilon = \frac{dA}{A_0} \text{ Corresponde a la deformación superficial}$$

$$\epsilon = \frac{dV}{V_0} \text{ Corresponde a la deformación volumétrica}$$

Estas deformaciones<sup>4</sup> generalmente están vinculadas con el *stress* tensionante o compresivo, particularmente las deformaciones volumétricas implican *stress* tensionante y compresivo, el primero en una dirección, y el segundo en la dirección perpendicular, además estas deformaciones están relacionadas con las ondas sísmicas de cuerpo, en tanto que las deformaciones superficiales están vinculadas con las ondas sísmicas de cuerpo, como las ondas primarias P. También se puede definir otro tipo de deformación, ésta es la deformación angular o de torsión que está vinculada con el *stress* de cizalladura, o esfuerzos tangenciales, y se expresa.

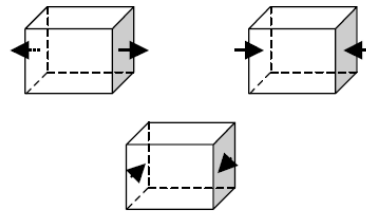


Figura 1 Tipos de esfuerzos

$$\epsilon_{\theta} = \frac{d\theta}{\theta_0} \quad (2)$$

---

forma  $\begin{bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{bmatrix}$ . Por otra parte, el módulo de elasticidad  $\gamma$  se expresa en las mismas dimensiones del *stress*, ya que la deformación se expresa adimensionalmente.

<sup>4</sup> Las deformaciones vinculadas con el *stress*, se expresan en términos de la variación en la dimensión, longitud, área, volumen o ángulo, sobre la dimensión no deformada o valor de referencia,  $L_0$ ,  $A_0$ ,  $V_0$  o  $\theta_0$ , a esta deformación se le suele llamar deformación unitaria.

La deformación angular se puede también expresar en términos de la dirección de la deformación y del plano respecto al cual se hace tal deformación.

$$\epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{xz}, \epsilon_{zx}, \epsilon_{yz}, \epsilon_{zy}$$

Es así que cualquier desplazamiento local de una porción del medio implica variación en la deformación y por lo tanto variación del estado de *stress*; es importante resaltar que la ecuación que caracteriza el estado de *stress* del sistema es una ecuación tensorial<sup>5</sup>, ya que implica tener en cuenta las distintas deformaciones; generalmente se presentan las componentes separadas, particularmente las tensiones, que se vinculan con la Ley de Hooke. Podría decirse que la ecuación tensorial del *stress* es una generalización de la ley de Hooke que tiene en cuenta cada una de las componentes del *stress*.

$$S_{ij} = \gamma \begin{bmatrix} \epsilon_1 & \epsilon_{\theta_1} & \epsilon_{\theta_2} \\ \epsilon_{\theta_1} & \epsilon_2 & \epsilon_{\theta_3} \\ \epsilon_{\theta_2} & \epsilon_{\theta_3} & \epsilon_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

La manera más adecuada de presentar la deformación es mediante el tensor de deformación

$$\epsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Así la ecuación que expresa el estado de *stress* para un medio isotrópico y homogéneo quedará

$$S_{ij} = \gamma \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Si el medio es anisotrópico e in homogéneo

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde  $\gamma_x, \gamma_y$  y  $\gamma_z$  son funciones de la posición.

---

<sup>5</sup> Ver el tensor de *stress*

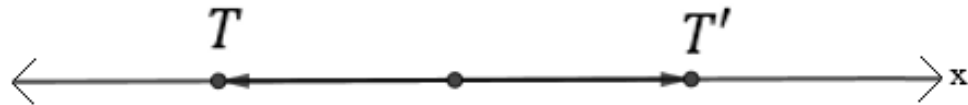
La diagonal del tensor de deformación corresponde a la deformación tensionaste, si es positiva, o compresiva, si es negativa.

Además es importante poner de manifiesto que la forma en que se propaga la perturbación, es decir el tipo de onda, está íntimamente relacionada con el *stress*, así la manera en que se propagan las distintas componentes de la onda sísmica está en estrecha relación con el *stress*, el cual depende del tipo de falla, como se verá más adelante.

### ***Relación entre el stress y la perturbación***

Ahora bien, en condiciones de equilibrio, en un medio, el *stress* en todos los puntos es el mismo; con el fin de ilustrar esta idea, se toma como ejemplo una cuerda tensionada<sup>6</sup>, la tensión a lo largo de toda la cuerda es la misma, ello implica que en cada punto de la cuerda  $dT = 0$ .

Figura 2. Cuerda en estado de equilibrio.



$$dT = T' - T = 0 \quad (7)$$

Para el caso de un medio continuo tridimensional, en el cual el *stress* tiene componentes de tensión, presión y cizalla, en condiciones de equilibrio en todos los puntos las diferencias de tensión, diferencias de presión y las diferencias de cizalla son cero, con lo cual la diferencial de cada una de las componentes del *stress* será cero por lo tanto también  $dS = 0$ ; vale la pena poner de manifiesto que para el caso el *stress* en el subsuelo, por ser éste un medio continuo tridimensional, el equilibrio se expresa mediante la diferencial de cada una de las componentes del tensor de *stress* igualadas a cero. Así, para generar un desequilibrio local en el *stress* del medio, es decir una

---

<sup>6</sup> En los anexos, se puede ver otro ejemplo que me brinda información sobre la perturbación que se hace en una barra metálica.

perturbación, se requiere deformar localmente el medio de tal manera que la diferencial de todas o algunas componentes del tensor de *stress* sea diferente de cero.

$$dS = \begin{bmatrix} S'_{xx} - S_{xx} & S'_{xy} - S_{xy} & S'_{xz} - S_{xz} \\ S'_{yx} - S_{yx} & S'_{yy} - S_{yy} & S'_{yz} - S_{yz} \\ S'_{zx} - S_{zx} & S'_{zy} - S_{zy} & S'_{zz} - S_{zz} \end{bmatrix} = 0 \quad (8)$$

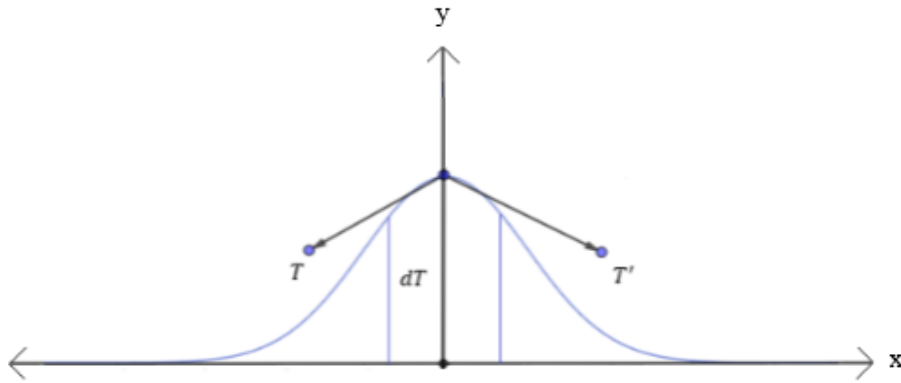


Figura 3 .Cuerda deformada.

Con el fin de ilustrar, de manera sencilla, cómo es el desequilibrio en un medio continuo, se presenta el ejemplo del desequilibrio de tensiones en una cuerda, cabe resaltar que en un medio como el subsuelo el desequilibrio está determinado por las componentes del tensor de *stress*; en el ejemplo, que se toma para ilustrar, la dirección de la cuerda en el estado de equilibrio puede ser asumida como la coordenada x, entonces tal desequilibrio se puede expresar como:

Análisis matemático basado en (Arfken, 1981) y (Alonso & Finn, 1970)

$$dT = \frac{\partial T}{\partial x} dx^7 \quad (9)$$

<sup>7</sup> Se toma que  $dT = \frac{\partial T}{\partial x} dx$ , ya que se está mirando el desequilibrio a lo largo de una cuerda, es decir, en la componente x, se supone que es perpendicularmente a la cuerda y no hay tensión, presión ni cizalla; por lo cual  $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ ,  $\frac{\partial P}{\partial x} = 0$  y  $\frac{\partial c}{\partial x} = 0$

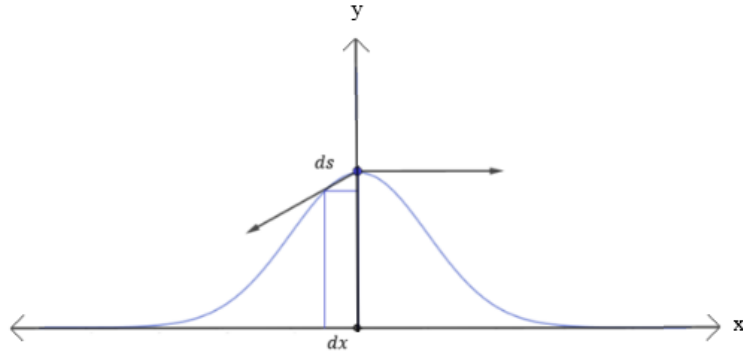


Figura 4. Cuerda en desequilibrio.

Después de hablar de la perturbación, se puede hacer un análisis a partir del ejemplo de la cuerda tensionada, el cual permite describirla de la siguiente manera.

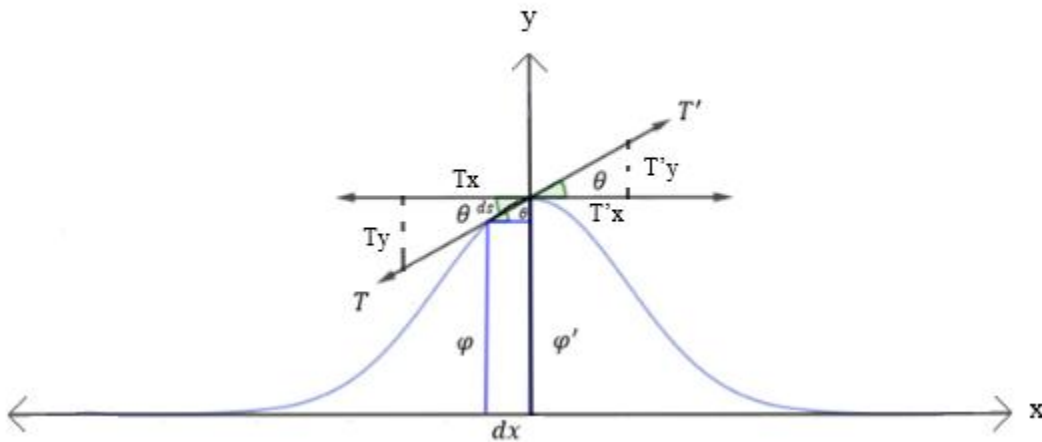


Figura 5. Análisis de las tensiones en la cuerda deformada.

$$dT = T' - T = \frac{\partial T}{\partial x} dx \quad (10)$$

Si se considera que el desplazamiento  $\varphi$  es mucho menor que la longitud de la cuerda, que corresponde al caso en el que la cuerda tiene una elasticidad muy alta, es posible que:

$$ds \cong dx^8 \quad (11)$$

<sup>8</sup> dx corresponde a la longitud del elemento de la cuerda no deformada, en tanto que ds corresponde a la longitud del elemento deformado

La fuerza estaría dada de la siguiente manera:

$$F = T\text{sen}\theta' - T\text{sen}\theta \quad (12)$$

$$F = T(\text{sen}\theta' - \text{sen}\theta)$$

$$F = T(d\text{sen}\theta)$$

$$F = T \frac{\partial \text{sen}\theta}{\partial x} dx \quad (13)$$

$$\text{Dado que, } ds \cong dx \text{ entonces } \text{sen}\theta = \frac{d\varphi}{ds}$$

Puesto que  $ds$  corresponde a la longitud del elemento deformado, esta longitud depende de la posición de este elemento en la coordenada  $x$  y del desplazamiento en la coordenada  $\varphi$ , así el  $\text{sen}\theta$  se puede expresar como:

$$\text{Entonces, } \text{sen}\theta = \frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

$$F = T \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} dx \quad (14)$$

En términos de la fuerza newtoniana

$$F = ma \quad (15)$$

$dm =$  masa del elemento

$$\mu dx = dm \text{ donde, } \mu = \text{densidad lineal} \quad (16)$$

$$a = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (17)$$

Sustituyendo (14) en (15)

$$T \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} dx = ma \quad (18)$$

Sustituyendo (16) y (17) en (18)

$$T \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} dx = \mu dx \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (19)$$

Finalmente

$$T \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (20)$$

Donde, T se expresa en términos del módulo de young por la deformación.

$$T = \gamma \text{def} \quad (21)$$

Expresando la deformación de la siguiente manera:

$$\text{def} = \frac{ds}{dx} \cong 1 \quad (22)$$

Entonces

$$T = \gamma 1 \quad (23)$$

Por lo tanto la tensión, se puede ver o dar en términos del módulo de Young, lo que hace deducir que el módulo de Young ( $\gamma$ ) tiene las mismas dimensiones que el *stress*; ordenando la ecuación, nos damos cuenta que llegamos a la ecuación de onda en este caso para una cuerda, es decir, analizando matemáticamente la tensión de la onda llego a la ecuación de onda que me describe la perturbación

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\gamma}{\mu} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \quad (\text{Ecuación de Onda})^9 \quad (24)$$

Donde,  $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$  expresa un desequilibrio en términos de una segunda derivada y una función de estado en relación con la posición, entonces se puede decir que para el caso de un cuerpo de tres dimensiones (ya no se habla del ejemplo de la cuerda), aparece la densidad y el módulo de Young volumétrico, esta función puede ser el desplazamiento o el *stress*, dada la relación que hay entre el *stress* y la deformación, es decir, que se puede establecer una relación del desplazamiento del elemento y la función de *stress*, ya que esto se puede expresar:

En términos de la presión quedaría (ejemplo una onda de presión) n

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = \frac{\gamma}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r^2} \quad \text{donde, } C^2 = \frac{\gamma}{\rho} \quad (25)$$

---

<sup>9</sup> Ecuación general de onda; Para el caso de una onda de presión en un gas, entonces esta ecuación se plantea en estos términos. Para el caso de la onda sísmica debido todo el *stress* que hay, la ecuación general es la misma pero las componentes varían dependiendo el *stress*.

En términos generales de la tensión, la ecuación de onda quedaría:

$$\frac{\partial^2 \Gamma}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 \Gamma}{\partial r^2} \quad (26)$$

Con todo está esta descripción, lo que se quiere es dar cuenta de cómo la ecuación de onda se vincula con las variables de estado del medio, que se representa mediante la función  $\varphi$  que se denomina función de onda.

A hora bien para el caso de la onda sísmica el medio se extiende en tres dimensiones, por lo cual se puede hablar de las componentes del *stress* relacionadas con estas tres dimensiones; como el *stress* se define en relación con planos, a cada una de las dimensiones se le asocia un plano, y sobre cada plano se puede considerar diferentes clases de *stress*, las cuales están asociadas con las dimensiones del medio, así pues, la función que define el *stress* del medio se puede constituir en la función de onda, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$\varphi_{ij} = S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Donde la diagonal corresponde a las componentes de la función que representa el *stress* compresivo o tensionante, las demás componentes representan el *stress* de cizalladura.

Así la ecuación de la onda quedaría

$$\frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial t^2} = \frac{\gamma}{\rho} \nabla^2 \varphi_{ij} \quad (28)$$

Para la onda sísmica

$$\nabla^2 \varphi_{ij} = \nabla(\nabla \varphi_{ij}) - \nabla \times (\nabla \times \varphi_{ij})^{10} \quad (29)$$

Dónde:

---

<sup>10</sup>  $\nabla \times A = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta S} \oint \vec{A} \cdot d\vec{r}$  El rotacional se define en relación con la circulación de una función que representa una

magnitud direccional, también se puede expresar como  $\nabla \times \vec{A} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix}$

$\nabla(\nabla\varphi_{ij})$ , está relacionado con el *stress* compresivo y tensionante.

$\nabla \times (\nabla \times \varphi_{ij})$ , está relacionado con el *stress* cizallante, ya que en general, en el medio, que es el subsuelo, no solamente hay *stress* compresivo y tensionante si no también *stress* cizallante.

Así pues la ecuación de la onda sísmica se expresa

$$\begin{bmatrix} \rho_x \\ \rho_y \\ \rho_z \end{bmatrix} \frac{\partial^2 \varphi_{ij}}{\partial t^2} = \begin{bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{bmatrix} (\nabla(\nabla\varphi_{ij}) - \nabla \times (\nabla \times \varphi_{ij})) \quad (30)$$

Ahora bien, en general se puede suponer en la onda sísmica no hay componentes que estén relacionadas con efectos rotacionales debido a un desequilibrio en el *stress* de cizalladura, por lo cual  $\nabla \times (\nabla \times \varphi_{ij}) = 0$  y  $\nabla(\nabla\varphi_{ij}) \neq 0$ , entonces el campo del que se está hablando es la diagonal del tensor de *stress* que corresponde a un campo de tensiones y presiones; por eso en las ondas sísmicas sus componentes son ondas longitudinales y ondas transversales (no aparecen ondas relacionadas con los efectos rotacionales) de acuerdo con el teorema de Helmholtz.

El anterior análisis permite ilustrar, mediante el caso más simple, la formalización de la idea de perturbación y su relación con la onda, ya que ésta se defina como la propagación de la perturbación; en este análisis se pone de presente que:

- El estado mecánico del sistema, en este caso un medio continuo, está determinado por la variable de configuración, esto es, la posición de cada elemento infinitesimal del medio, en relación con la posición del mismo en condiciones de equilibrio, y el *stress* en que cada una de las porciones infinitesimales del medio.
- La perturbación, asociada a las ondas, está determinada por el desequilibrio local en el *stress*, el cual está vinculado con la variación de configuración a través de la ley de Hooke, razón por la cual la ecuación de onda está dada en términos de ecuaciones diferenciales de segundo orden con respecto a la posición.
- El *stress* en el medio continuo se expresa mediante un tensor, el cual pone de presente que esta magnitud tiene diferentes componentes, dado que la onda está vinculada con el *stress* del medio a cada una de las componentes de éste se le puede asociar una onda, es así que para el caso de los sismos los modelos ondulatorios consideran diferentes

componentes de la onda sísmica, ya que se supone que el desequilibrio de *stress* en las fallas, donde se origina el sismo, implica las diferentes componentes del tensor de *stress*; además, también se en cuenta las componentes debidas al cambio en la densidad y elasticidad en la superficie de la tierra; ello implica que se consideren diferentes componentes de la onda sísmica tanto para la propagación en el subsuelo como en la superficie, aspecto por el cual se habla de ondas de cuerpo y de ondas superficiales.

- La ecuación de onda que se presentó anteriormente es buena aproximación para comprender el fenómeno sísmico, aun así hay que tener en cuenta que en los sismos se presentan fenómenos relativos a la atenuación relativa a la refracción, a la disipación de energía por amortiguamiento, a la reflexión interna, entre otros, además de tomar en cuenta las diferentes componentes de la onda sísmica, aspectos por los cuales para una aproximación más rigurosa se requiere de un conjunto de ecuaciones de onda que consideren los fenómenos anteriormente mencionados.

Después de lo anterior expuesto, es pertinente realizar un análisis alrededor de los fenómenos ondulatorios que suceden en la onda sísmica, puesto que al ser una onda también produce fenómenos ondulatorios como los de la onda mecánica.

El estudio de una onda mecánica a partir de una onda sísmica permitirá establecer una relación con las ciencias utilizadas en el desarrollo teórico, es decir, los conceptos relacionados con ondas, e identificar eventos sísmicos y sus características físicas asociadas a los fenómenos ondulatorios que se propagan en la corteza terrestre. Dichos fenómenos se esperan que se concluyan a partir de los conceptos ondulatorios alcanzados mediante un sismo teniendo en cuenta las características y propiedades de los terrenos y su implicación en la propagación de una onda sísmica y su posible interferencia dada por la disposición geométrica de la región. Según (Salcedo & Coral, 1995) “la energía liberada por un terremoto se disipa en el espacio debido a atenuaciones de tipo geométrico y mecánico que caracterizan la transmisión de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra y que determinan la intensidad del terremoto en la superficie.”

Los fenómenos ondulatorios relacionados con un sismo tienen que ver con la atenuación en la onda sísmica, la atenuación es la pérdida de energía a medida que se propaga en la corteza terrestre, este fenómeno de la onda sísmica se debe a la dispersión de la energía sísmica, a su vez puede haber dos tipos de dispersiones; uno es la dispersión geométrica causada por la distribución

de energía sísmica a mayores volúmenes y la dispersión como calor. Pero debido a la atenuación se puede hablar de fenómenos ondulatorios como el de absorción e interferencia como lo afirman (Salcedo & Coral, 1995) “Las ondas sísmicas, al igual que otros tipos de energía, se atenúan a medida que se propagan y se alejan de su origen. En medios reales, la atenuación de las ondas sísmicas depende de la dispersión del frente de ondas, de la absorción del medio y de los fenómenos de interferencia que se pueden presentar en su recorrido.” En pocas palabras estos dos autores nos hablan de la atenuación de un terremoto a partir del análisis de la propagación de la onda y las características de los fenómenos de absorción e interferencia, permitiéndonos este análisis tener una visión de los fenómenos ondulatorios que se pueden estudiar a través de los sismos.

Por otro lado los métodos utilizados por la sismología, nos permiten hablar de los fenómenos ondulatorios, para este caso los fenómenos ondulatorios de las ondas sísmicas, entendiéndose la sismología como rama de la geofísica que permite determinar características geotectónicas de los terrenos o medios donde sucede el evento sísmico. En general en la sismología se destacan dos métodos sísmicos, uno es el método sísmico de refracción y el otro es el método sísmico de reflexión.

El método sísmico de refracción es aquel que se analiza a partir de la diferencia de velocidad de la onda sísmica, en diferentes terrenos, mirando como las ondas sísmicas cruzan dos tipos de terrenos distintos sufren refracción (como sucede con la onda de luz o un rayo de luz que cambia de medio), lo que implica que la onda cambia su dirección de ángulo que depende de la relación de las velocidades de la onda para cada terreno.

También encontramos otro método sísmico asociado a la reflexión. El método de reflexión lo que analiza es ondas sísmicas reflejadas que permite estimar las propiedades del subsuelo, este método es común en exploraciones científicas de la geofísica; en general este método consiste como dice: (Sanabria, 2009) Este método consiste en generar una perturbación en el medio, la propagación que se mueve a través del subsuelo es reflejada por cualquier discontinuidad física, retornando hacia esta y provocando su registro a través de los geófonos (sensores) y su paso posterior a los filtros como los amplificadores, digitadores y dispositivos de almacenamiento.

De esta manera se puede concluir un análisis de los fenómenos ondulatorios alrededor de la onda sísmica, este análisis puede continuarse de manera más profunda si se continua con el

trabajo investigativo, lo que se vio anteriormente es apenas un análisis muy superficial el cual se puede profundizar. Cabe resaltar que los métodos sísmicos, se utilizan en la geotectónica o en las geociencias para analizar las características de los subsuelos por medio de movimientos telúricos artificiales.

### **Capítulo III: DINÁMICA DE LA TIERRA: Los Sismos**

En este capítulo se va a hablar de una manera muy general, es decir, no se va a profundizar en el tema pero se abordaran los aspectos más importantes y relevantes para la investigación alrededor de los terremotos o sismos, para entrar en contexto con la onda sísmica que es la que ocasiona este tipo de fenómeno natural. El terremoto es el movimiento de la tierra, cuando es un movimiento intenso percibido en el terreno se le denomina a este movimiento sísmico, y para entender un poco más este fenómeno necesitamos hablar de la sismología.

#### **La sismología**

La sismología estudia los movimientos de la corteza de la Tierra, estos movimientos son los que producen los terremotos, según (Nava, 2002) “la sismología es la ciencia que estudia todo lo referente a los sismos: la fuente que los produce (localización, orientación, mecanismo, tamaño, etc.), las ondas elásticas que generan (modo de propagación, dispersión, amplitudes, etc.) y el medio físico que atraviesa dichas ondas.”

Algunos de los aspectos del estudio de los sismos, se hace a través de las ondas sísmicas, que para este trabajo son de especial interés, ya que brindan una buena cantidad de información sobre la propagación, la intensidad, etc. además de permitir una descripción de lo que está ocurriendo en la fuente del movimiento sísmico, es decir, que nos dota de información transcendental, como de lo que está sucediendo al interior de la Tierra cuando se producen estos fenómenos también nos dice del medio material donde se están generando. Bajo esta información también se puede decir que para el estudio de estos fenómenos se necesitan de la colaboración de varias ciencias como la física y la geología.

Antes de iniciar a hablar de la teoría alrededor de la onda sísmica se nombraran algunos aspectos de la historia del estudio de los sismos, ya que alrededor de estos fenómenos desde las primeras civilizaciones hasta la actualidad han sido nombrados científicamente, también a través de mitos y leyendas para tratar de entenderlo y explicarlos.

“En Siglo IV a. C. Aristóteles en su libro II de su tratado sobre meteoros (*Meteorologicorum libri IV*) se permitió hacer un estudio de los terremotos y de sus causas. Propuso lo que otros antecesores

griegos creían respecto a este tema, en donde los terremotos consistían en una agitación de la Tierra debida a vapores o vientos subterráneos atrapados en su interior tratando de salir de ella. Esta explicación permitía la relación entre terremotos y volcanes. A comienzos de la era Cristiana, distinguidos filósofos e historiadores romanos como Seneca y Plinio acogieron la teoría de Aristóteles, filósofos y teólogos medievales como Alberto Magno y Tomás de Aquino la comentaban manteniéndose vigente con pequeños cambios en occidente hasta el siglo XVII. Finales del siglo XVII y comienzos del siglo XVIII. M. Lister y N. Lesmery proponen que los terremotos son debidos a explosiones producidas por acumulación de material inflamable en el interior de la Tierra. Esta concepción fue aceptada por Newton y Buffon. J. Zahn se constituye en un pionero que comienza a conformar uno de los primeros catálogos de terremotos de todo el mundo. El 1 de noviembre de 1755, ocurre el gran terremoto de Lisboa que destruyó esa ciudad y produjo un tsunami y fue sentido a grandes distancias. Este evento constituyó el punto de partida de lo que hoy es la Sismología Moderna” (Torres, 2001)

Es importante resaltar que alrededor de esta temática y a través del tiempo muchos científicos, filósofos y miembros importantes de la comunidad académica, han realizado estudios, han desarrollado teorías, han generado conocimiento y no solo de los sismos y su ciencia, sino que también esto le ha servido para el estudio de otras temáticas y nos podemos dar cuenta al leer la siguiente línea del tiempo que realizó (Torres, 2001)

<b>Desarrollo Teórico de La Sismología</b>	
<b>1635</b> Galileo Galilei - Deformación de vigas	<b>1897</b> Wiechert - Hipótesis de núcleo de hierro
<b>1660</b> Hooke - Esfuerzo vs. Deformación	<b>1900</b> Milne - Mapas de sismicidad mundial
<b>1799</b> Cavendish - Densidad media de la tierra	<b>1900</b> Oldham - Verifica hipótesis de Wiechert
<b>1821</b> Navier - Ecuación de la elasticidad	<b>1906</b> Reid - Teoría del rebote elástico
<b>1822</b> Cauchy - Teoría de la elasticidad	<b>1909</b> Mohorovicic - Discontinuidad corteza-manto
<b>1830</b> Poisson - Teoría de ondas P y S	<b>1911</b> Love - Ondas superficiales LQ
<b>1845</b> Stokes $\lambda, \mu$	<b>1913</b> Gutenberg - Profundidad del núcleo
<b>1860</b> Mallet Mapa de sismicidad mundial	<b>1922</b> Turner - Existencia de sismos profundos
<b>1874</b> De Rossi - Primera escala de intensidad	<b>1928</b> Wadati - Verifica la hipótesis de Turner

<b>1878</b> Hoernes - Clasificación de los terremotos	<b>1935</b> Richter Escala de magnitud
<b>1887</b> Rayleigh - Ondas de superficie	<b>1936</b> Lehman - Descubre el núcleo interno
<b>1888</b> Schmidt - Teoría de propagación o.s.	<b>1940</b> Bullen - Tablas de Bullen-Jeffreys

Tabla 1 Teorías alrededor de los sismos según la historia.

Teniendo en cuenta el desarrollo histórico de la sismología, se empezara a hablar de dicha teoría. Pero es importante decir que para el estudio de la sismología y de los terremotos como fenómenos naturales, inicialmente es necesario saber de la estructura de la tierra para entender en qué lugar de esta se produce o se genera estos fenómenos; por este motivo se tratara de hacer un estudio breve del interior de la tierra desde el punto de vista de la onda sísmica y la sismicidad ya que estudios realizados dicen que la tierra vibra en distintos modos y estos modos dependen en cierta medida en su estructura.

### **Estructura de la Tierra y corteza terrestre**

Nadie sabe exactamente cómo es la estructura interior de la tierra, hasta el momento ha sido complicado explicarlo, pero gracias a las ondas sísmicas “que más adelante se estudiaran”, se han hecho aproximaciones de cómo es esta estructura. Lo que se sabe de la estructura de la tierra es que está dividida en ciertas capas como lo explica Nava (2002):

La capa exterior se llama **corteza** y es de dos tipos: La corteza oceánica que compone el fondo de los mares, es basáltica y tiene espesores promedio de 5 a 7 kilómetros; la corteza continental que forman los continentes, primordialmente granítica y tiene un grosor mayor de 60 km. Bajo la corteza se encuentra el **manto**, que llega hasta los 2870 kilómetros de profundidad. El cambio corteza/ manto se conoce como discontinuidad de moho, el manto se divide en manto Superior que va de la base de la corteza hasta los 700 km de profundidad, y manto inferior; está compuesto por rocas parecidas olivino y la peridotita, que son silicatos y óxidos de Magnesio de hierro. La parte del manto situada entre los 100 y 200 kilómetros de profundidad se encuentra cercana al punto de fusión y se comporta como un líquido para escalas de tiempo geológicas; es conocida como **astenósfera**. Desde la base del manto separado de este por la discontinuidad de Gutenberg cómo hasta los 5150 kilómetros de profundidad, se encuentra el **núcleo** externo. Este se supone compuesto de

hierro y níquel se sabe que es líquido porque no transmite las ondas de cizalla. Es posible que sean corrientes del material desde manto las que producen el campo magnético terrestre. Debajo del núcleo externo, separado de este por la discontinuidad de Lehman, y en el centro de la Tierra (hasta los 6371 kilómetros de profundidad) se encuentra el núcleo interno, que sólido a pesar de tener temperaturas del orden de los 4000 grados centígrados, se cree que está constituido por compuestos de hierro. (p. 71 y 72)

Se puede deducir que las ondas sísmicas se generan y propagan en la corteza, debido a que el manto y el núcleo por sus temperaturas y componentes generan un medio plástico el cual no permite que se propaguen ondas elásticas como las ondas sísmicas, pero ya se nombró anteriormente este tema será analizado posteriormente.

Otros autores nos dicen que la tierra se puede dividir en 5 partes dependiendo sus características físicas que se ven afectadas, por distintos acontecimientos y sucesos que se dan al interior de ésta. Estos acontecimientos podrían ser como: el aumento de temperatura, el aumento de presión; que con la profundidad afectan las condiciones físicas del interior de la tierra y por consecuente también los procesos mecánicos que suceden en ésta; para nuestro interés se habla de que a mayor profundidad aumenta la presión y esto hace que las rocas incrementen su resistencia. Para afirmar lo anteriormente dicho podemos retomar la siguiente cita.

La Tierra puede dividirse en cinco capas principales según sus propiedades físicas y, por tanto, su resistencia mecánica: la litosfera, la astenosfera, la mesosfera (manto inferior), el núcleo externo y el núcleo interno. Litosfera y astenosfera Según sus propiedades físicas, la capa más externa de la Tierra está formada por la corteza y el manto superior y forma un caparazón relativamente frío y rígido. Aunque esta capa está compuesta por materiales con composiciones químicas notablemente diferentes, tiende a actuar como una unidad que exhibe un comportamiento rígido, principalmente porque es fría y, por tanto, fuerte. Esta capa, denominada litosfera (esfera de roca), tiene un grosor medio de 100 kilómetros, pero puede extenderse 250 kilómetros o más por debajo de las porciones más antiguas de los continentes (ver figura 5), [...]. Es importante destacar que la resistencia de los diversos materiales terrestres es en función de su composición, así como de la temperatura y la presión de su entorno. No debe sacarse la idea de que toda la litosfera se comporta como

un sólido frágil parecido a las rocas que se encuentran en la superficie. Antes bien, las rocas de la litosfera se calientan y se debilitan (se deforman más fácilmente) progresivamente al aumentar la profundidad. (Tarbuck & Lutgens, 2005, pág. 346)

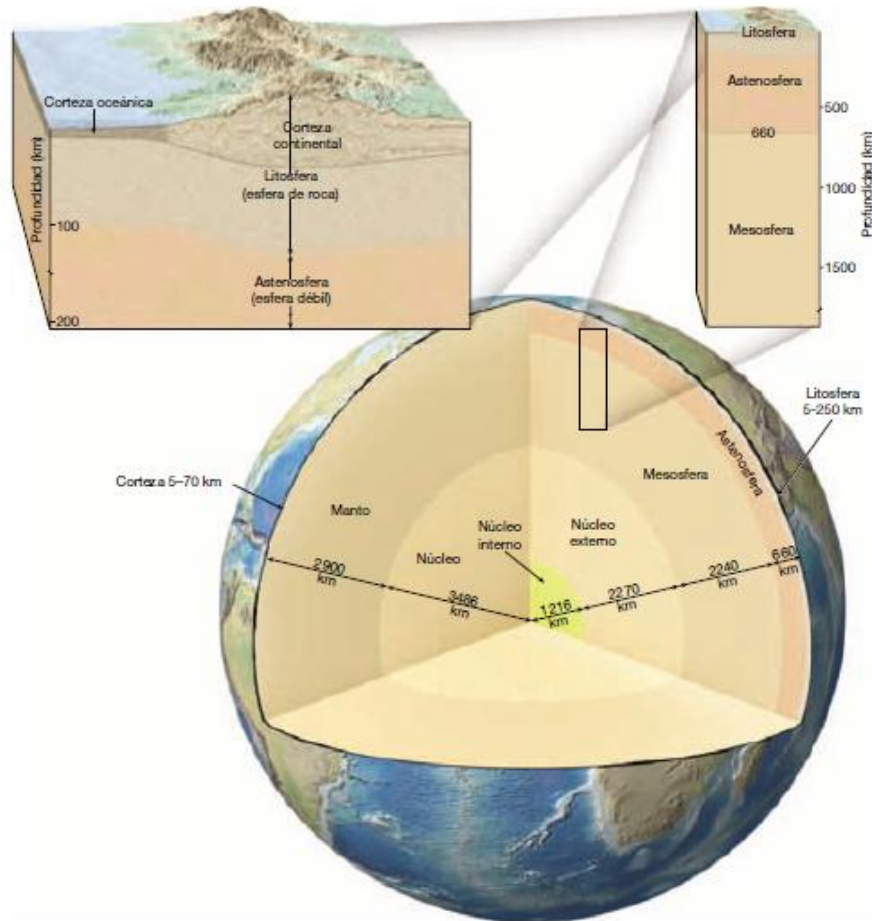


Figura 6. Vistas de la estructura estratificada de la Tierra (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Para este trabajo es necesario darle importancia a la corteza terrestre, ya que es en este lugar donde ocurre la mayoría de movimientos sísmicos por distintas causas, muchas personas creerían que la corteza o en general la tierra es homogénea y continua, lo cual es en general erróneo. Distintos estudios que se hacen alrededor de la sismología han hecho que se tenga más información sobre la corteza y esta información nos dice que la tierra no es homogénea ni continua, mucho menos la primera capa de su estructura que es la corteza. La discontinuidad terrestre se debe a la composición de las rocas que hacen parte de ésta, y en la corteza sucede lo mismo, las rocas tienen cierta acomodación que hace que esta zona sea heterogénea y en cierta manera esto ocasiona que

hayan fallas, que son en general las discontinuidades de las placas rocosas que componen la corteza terrestre, y que son causantes de los movimientos telúricos.

Retomemos, en ¿Qué es la corteza para poder profundizar en ella? La corteza es la capa superficial sólida de la tierra. Es una capa delgada a comparación de las otras, su espesor es entre los 60 km en los continentes y los 7 km en los fondos oceánicos, pero al ser distinta tanto en los continentes como en la parte oceánica hace que se divida en dos (véase en la figura 6). La primera es la corteza continental la cual es una capa con un espesor de más o menos 35 km, pero que puede alcanzar los 60 km en las zonas de montañas; está formada por unas rocas magmáticas claras, por granito y por rocas metamórficas, aunque en su superficie se halla cubierta de rocas sedimentarias. La segunda es la corteza oceánica la cual es una capa delgada que alcanza su espesor máximo de 10 km el cual se encuentra formando los fondos oceánicos, está constituida principalmente por unas rocas magmáticas oscuras, por basalto y cubierta de sedimentos.

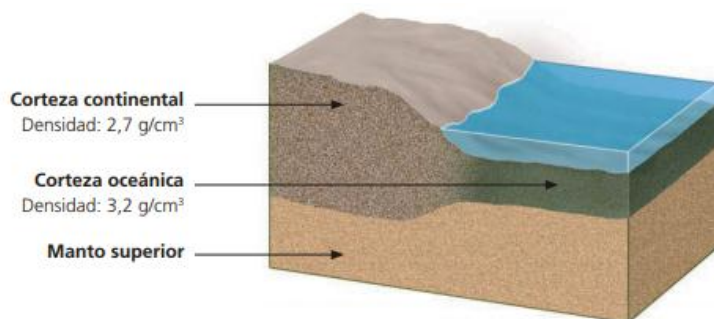


Figura 7. Corteza Terrestre (Tarbuck & Lutgens, 2005).

La corteza como se dijo anteriormente, es la primera capa de la tierra y es donde suceden los movimientos telúricos, principalmente en la parte superior, esto debido a la forma en la que está organizada, pero esta organización se debe a las rocas y como estas se encuentran en este lugar, para saber un poco más de esta organización y saber esta estructura rocosa, se aborda la geotectónica, la cual es la que se encarga de estudiar y analizar este fenómeno.

La geotectónica nos puede brindar información sobre la acomodación rocosa de la corteza terrestre, debido a que estudia las particularidades de esta y todo lo que implica con los movimientos mecánicos y deformaciones que se dan en ella, a su vez estas deformaciones las podemos vincular con el *stress* del cual ya habíamos hablado. “la corteza terrestre se compone de rocas que constituyen cuerpos de formas diversas. Así, por ejemplo, las rocas sedimentarias

yacen en forma de estratos. Estos pueden ser horizontales, y también inclinados o encorvados en pliegues.” “Toda la corteza terrestre se compone de cuerpos adyacentes formados por rocas diferentes” (Belousov, 1979, pág. 5). Las anteriores citas nos pueden dejar de una manera más clara de por qué la tierra no es homogénea ni continua, a partir del estudio de las rocas.

A partir de la constitución de los cuerpos formados por las rocas en la corteza, se denominan unas formas estructurales que pueden ser de origen primario o secundario, pero la que nos interesa es la forma estructural secundaria, ya que en esta se habla de un carácter dinámico de la dirección de las fuerzas tectónicas de compresión que a su vez nos remiten al *stress*. Esta estructura secundaria se constituye por el resultado de los movimientos tectónicos.

La naturaleza de estas últimas (estructuras secundarias) no se puede considerar aclarada por completo, pero se sabe que son suscitadoras de la compresión, tracción o desplazamiento simultáneamente en volúmenes considerables de rocas y no solo en las proximidades de la superficie, sino que también a gran profundidad. Muchos movimientos tectónicos abarcan todo el espesor de la corteza terrestre. (Belousov, 1979)

Las formas estructurales secundarias se dan en las rocas sedimentarias, por ejemplo en las rocas magmáticas es un poco complicado su estudio, aunque en el magma líquido que se encuentra en la corteza terrestre también se pueden dar movimientos tectónicos generados por movimientos internos del material magmático.

Antes de continuar, se enunciará qué es una roca sedimentaria y qué es una roca magmática; una roca sedimentaria (ver figura 7), es una roca formada por sedimentos y los sedimentos son materiales sólidos acumulados en la corteza terrestre originarios por las variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas y circulación de aguas subterráneas o superficiales. Este tipo de rocas forman materiales consolidados, de igual manera se encuentran de forma individual y consolidada como se dijo, estas se encuentran en la corteza terrestre y la cubren en un 75%. Las rocas magmáticas o ígneas (ver figura 7) son las que se forman en el magma y el magma es el nombre que recibe las rocas fundidas en el interior de la tierra ocasionado por los bordes constructivos de las placas tectónicas, bajo las dorsales oceánicas, y el resto en zonas de subducción y en regiones localizadas en el interior de las placas, por efecto de puntos calientes. Estas rocas se encuentran en la parte superior de la corteza terrestre, pero son cubiertas por las rocas sedimentarias, estas rocas son importantes porque dan información del manto terrestre. Es

importante resaltar que no son el único tipo de rocas existe otro que son las metamórficas, pero no es necesario abordarlas.



*Figura 8. Roca Sedimentaria (Geología 1° Eso, s.f.) y Roca Ígnea (Geología Online, s.f.)*

Retomando, las formas estructurales, se puede concluir que la corteza terrestre no es homogénea y que dependiendo la estructura, composición y organización de las rocas se pueden dar movimientos tectónicos en esta capa de la tierra (la corteza); ya teniendo idea de que es la corteza terrestre y el por qué en ella suceden los movimientos telúricos pasamos al estudio profundo de ellos a partir de la sismología.

### **Sismología y fuentes sísmicas**

Recordemos que la sismología se basa en la mecánica de medios continuos, donde se considera que la tierra es un material elástico en el cual se propagan las ondas producidas por los sismos, los cuales se generan en muchas ocasiones por los movimientos tectónicos los cuales están asociados con fallas, señalando que este trabajo se hablará de los sismos tectónicos, ya que hay diferentes fuentes sísmicas.

Los sismos tectónicos, son producidos por las fuerzas que ocurren bajo la corteza terrestre, a su vez hacen que las placas tectónicas se muevan, choquen o interactúen entre ellas, es decir, que este tipo de sismos se producen por la interacción de las placas. Las placas tectónicas de las que está formada una parte de la corteza terrestre están en constante movimiento, un movimiento que es lento e imperceptible. Sin embargo cuando se obstaculiza este movimiento y chocan entre sí, se acumula una cantidad de energía notable y al ser liberada se produce un movimiento brusco entre ellas, esta energía surge en la superficie terrestre y es cuando se ocasiona el terremoto o sismo, este tipo de sismo, llamado tectónico, ocasiona la gran mayoría de los terremotos que

existen, los lugares más propensos a estos fenómenos sísmicos son los que se encuentran rodeados por las placas de la tierra o zonas de subducción.

Torres (2001) afirma: “La mayoría de los sismos en el mundo se sitúan en las zonas de mayor deformación tectónica que se asocian a los bordes de placas litosféricas. Estos sismos se conocen con el nombre de sismos interplaca. Un porcentaje muy pequeño de sismos que ocurren en el mundo se localizan en el interior de las placas tectónicas y reciben el nombre de sismos intraplaca, estos sismos aunque menos frecuentes son sin embargo a veces mucho más destructores”. Otro tipo de terremoto o sismo, que es menos común, es el volcánico como se había nombrado inicialmente.

A su vez es importante decir qué es una placa tectónica para entender este tipo de fuerzas que ocasionan estos sismos. Las placas tectónicas son estudiadas por una rama de la geología llamada tectónica de placas.

### **Placas tectónicas**

La tectónica de placas estudia la forma en cual está estructurada la litosfera de la Tierra, de la cual hace parte la corteza terrestre y la zona más externa del manto, en pocas palabras es la teoría que explica y estudia las placas tectónicas. A hora bien la placa tectónica es un fragmento de litosfera que se mueve como un bloque relativamente rígido sobre la astenosfera (manto superior) de la Tierra, de igual manera se nombra placa, a cada una de las partes de la litosfera que se mueve de forma independiente y en los bordes de las placas se concentra actividad sísmica, volcánica y tectónica.

Existen dos tipos de placas que dependen de clase de corteza (corteza oceánica o corteza continental), estos dos tipos son como afirma Torres (2001):

- **Placas oceánicas.** Están cubiertas completamente por corteza oceánica, aparecen sumergidas en toda su extensión, salvo por existencia de edificios volcánicos intraplaca, de los cuales los destacados por altos aparecen emergidos, o por arcos insulares (de islas) en alguno de sus bordes.
- **Placas mixtas.** Son placas parcialmente cubiertas por corteza continental y así mismo en parte por corteza oceánica. La mayoría de las placas son de estas características.

La mayor parte de la Tierra está cubierta por **siete importantes placas** y otras ocho o más placas de menor importancia. Las placas más importantes son: la Placa Sudamericana, la Placa Norteamericana, la Placa Euroasiática, la Placa Indo australiana, la Placa Africana, la Placa Antártica y la Placa Pacífica.

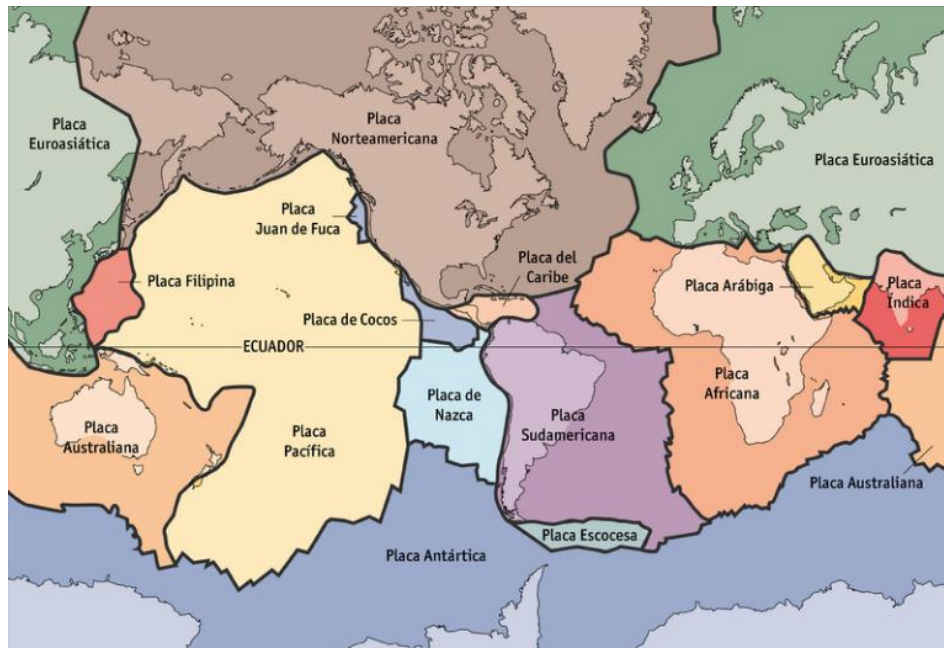


Figura 9. Mapa de las placas tectónicas (Wikipedia, s.f.)

De igual manera, las placas de la litosféricas se presentan tres tipos de límite o frontera:

- **Borde divergente:** corresponde a las dorsales o zonas de expansión, en el suelo oceánico, donde se crea nuevo material cortical a lo largo de una fosa o depresión central, es decir, cuando dos placas se separan y producen lo que se llama una **falla** (agujero en la tierra) o una **cadena montañosa submarina**.
- **Borde convergente:** Es cuando dos placas se juntan, la placa más delgada se hunde sobre la más gruesa, esto produce las cadenas montañosas, puede ser de dos clases:
  - Las zonas de subducción de una placa oceánica bajo otra placa, sea ésta continental u oceánica.
  - Las zonas de colisión frontal entre placas continentales.
- **Borde transcurrente:** corresponde a las fallas de transformación en las cuales el desplazamiento relativo es lateral, paralelo al límite común entre placas adyacentes; es

decir, que dos placas se deslizan o resbalan en direcciones contrarias, las cuales también provocan fallas.

Los movimientos sísmicos (causantes de terremotos), son ocasionados por el desplazamiento súbito de los dos lados de un plano de fractura de cizalla, generadas por las deformaciones elásticas y por las acciones de los esfuerzos (retomando todo el estudio del *stress*) que actúan en diferentes partes de la corteza terrestre dando paso al estudio de los procesos dinámicos de la tierra como nos dice Torres (2001):

Puesto que los terremotos son causados por el desplazamiento súbito de los dos lados de un plano de fractura de cizalla con el relajamiento consiguiente de las deformaciones elásticas acumuladas por la acción de esfuerzos diferentes que actúan en diversas regiones de la corteza terrestre. La causa de la existencia de estos esfuerzos ha de buscar en los procesos dinámicos que actúan sobre la litosfera terrestre. En relación con cada tipo de frontera de placas litosféricas, tres tipos de procesos corresponden una orientación distinta de los esfuerzos principales:

- En las zonas de rift (fosas) los esfuerzos tensionales son predominantemente horizontales.
- En las zonas de subducción en la superficie los esfuerzos predominantes son compresionales horizontales.
- En las zonas de deslizamientos horizontales, tanto los ejes de compresión como los de tensión están en un plano horizontal.

### **Fallas**

Como se mencionó anteriormente se forman unas fallas de las cuales se va a hablar. Una falla es una grieta o ruptura en la corteza terrestre, las fallas se asocian comúnmente a los límites de las placas tectónicas de la tierra, pueden haber fallas activas o inactivas; En una falla activa, las piezas de la corteza de la Tierra a lo largo de la falla, se mueven con el transcurrir del tiempo y las fallas inactivas son aquellas que en algún momento tuvieron movimiento a lo largo de ellas pero que ya no se desplazan. El tipo de movimiento a lo largo de una falla, es decir, dependiendo de los esfuerzos (*stress*) que actúan sobre ellas se pueden dar distintas formas de fallas.

- **Fallas Normales:** se producen en áreas donde las rocas se están separando, de manera que la corteza rocosa de un área específica es capaz de ocupar más espacio, las rocas de un lado de la falla normal se hunden con respecto a las rocas del otro lado de la falla, estas fallas no crean salientes rocosos. Estas resultan de esfuerzos de tensión.
- **Falla de reversa o cabalgadura:** ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas contra otras (fuerzas de compresión), cuando los esfuerzos son compresionales de manera que la corteza rocosa de un área ocupe menos espacio.
- **Falla transcurrente o de rombo:** se dan debido al movimiento a lo largo de la grieta de la falla, es horizontal, el bloque de roca a un lado de la falla se mueve en una dirección mientras que el bloque de roca del lado opuesto de la falla se mueve en dirección opuesta. Estas se producen cuando los esfuerzos cortantes sin componentes verticales, como ya se dijo el corrimiento es horizontal.
- **Falla mixta:** esta falla se da cuando se combinan las demás, es decir, que cuando los esfuerzos que actúan sobre el terreno son una combinación.

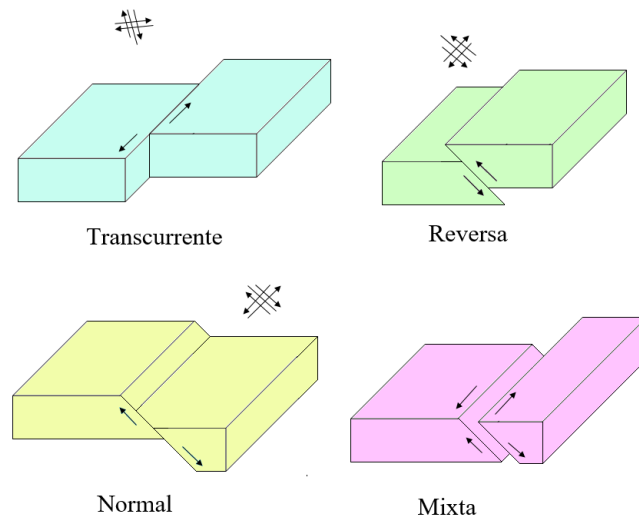


Figura 10. Tipos de Fallas – Tomado de (Nava, 2002).

### Tensor de esfuerzo

Cuando se habló de las fuentes sísmicas, se empezó por la teoría y definición de las placas tectónicas; después se continuó con las fallas, esto para poner de presente que las fallas implican contacto con las placas, y dependiendo de cómo se da el contacto con las diferentes placas que existen, se puede establecer un tipo *stress* dependiendo el tipo de falla (ver tabla 3). Este tipo de

*stress* dado por los esfuerzos que genera el contacto, es decir, que es un *stress* en las placas, que tiene que ver con los diferentes esfuerzos (esfuerzo tensionante, esfuerzo de compresivo y esfuerzo de cizalla).

Los esfuerzos nombrados en el párrafo anterior se pueden vincular con un tensor, llamo el tensor de *stress*, que refleja las diferentes componentes de cada uno de los esfuerzos. Este análisis del tensor da una idea de la propagación de la onda sísmica y a la vez del desequilibrio del sistema. De igual manera dependiendo el tipo de *stress* (esfuerzo), se generan una onda distinta que se propaga en la corteza terrestre. Esto permite decir que la onda mecánica, en este caso la onda sísmica, no se puede pensar como una onda de presión, una onda de tensión o una onda de cizalladura; si no que es una onda compleja que tiene todas estas componentes (presión, tensión y cizalla), como por ejemplo: cuando la onda es superficial es una onda tensionaste, pero cuando es interna si se acoplan los diferentes esfuerzos.

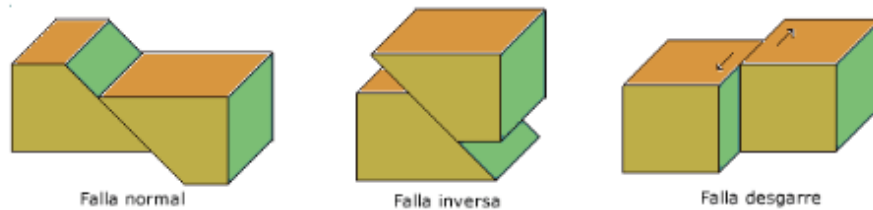


Figura 11. Tipos de fallas (ieda, s.f.)

Tipos de esfuerzos (cortantes)		
Tensión	Compresión	Cizalla
Falla normal	Falla inversa (reversa)	Falla de desgarre (rombo)

Tabla 2. Tipos de esfuerzos según las fallas (ieda, s.f.)

Los esfuerzos cortantes, tienen fuerzas interna expresados por P que producen el esfuerzo cortante, la descripción matemática de este esfuerzo o *stress* está dada de la siguiente manera:

$$S = \frac{dP}{dA} \quad (31)$$

Donde S es el esfuerzo (*stress*), P la fuerza interna y A el área sobre el cual actúa P; generalmente los esfuerzos se dan a partir de la tensión o compresión, pero recordemos que

también se puede dar a partir de la cizalla (se podría decir que es como una torsión), ya que estos esfuerzos pueden a estirar, achicar o retorcer.

Pero el *stress* tiene las tres componentes de donde se genera el esfuerzo (componente de presión, de tensión y de cizalla), es decir, si se conoce el esfuerzo del área (esa área sería la corteza terrestre o en donde se propaga el sismo) en sus tres dimensiones en dirección  $x, y, z$ , quedaría denotado de la siguiente manera:

$S_{xx}, S_{xy}$  y  $S_{xz}$ , a las cantidades del esfuerzo en la dirección  $x$  del área analizada

$S_{yx}, S_{yy}$  y  $S_{yz}$ , a las cantidades del esfuerzo en la dirección  $y$  del área analizada

$S_{zx}, S_{zy}$  y  $S_{zz}$ , a las cantidades del esfuerzo en la dirección  $z$  del área analizada

Esto para demostrar la proyección sobre cada componente en el área estudiada o analizada para la investigación, donde  $\mu$  es la dirección de la proyección.

$$S_{xx}(\hat{x}\hat{\mu}) + S_{xy}(\hat{y}\hat{\mu}) + S_{xz}(\hat{z}\hat{\mu}) = S_{x\mu} \rightarrow \text{esfuerzo dado en dirección de } x$$

$$S_{yx}(\hat{x}\hat{\mu}) + S_{yy}(\hat{y}\hat{\mu}) + S_{yz}(\hat{z}\hat{\mu}) = S_{y\mu} \rightarrow \text{esfuerzo dado en dirección de } y$$

$$S_{zx}(\hat{x}\hat{\mu}) + S_{zy}(\hat{y}\hat{\mu}) + S_{zz}(\hat{z}\hat{\mu}) = S_{z\mu} \rightarrow \text{esfuerzo dado en dirección de } z$$

Expresando el procedimiento en forma matricial, nos brinda información del esfuerzo en cualquier dirección del elemento de área analizado de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} S_{x\mu} \\ S_{y\mu} \\ S_{z\mu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}\hat{\mu} \\ \hat{y}\hat{\mu} \\ \hat{z}\hat{\mu} \end{bmatrix} \quad (32)$$

De esta manera expresa, a partir del tensor de *stress* las componentes que se dan a partir de los esfuerzos realizados por las fallas, que se dan por la interacción de las placas; este análisis matemático se estudió a partir del trabajo de (Mayorga & Poveda, 2013)

### **La ruptura sísmica**

La ruptura sísmica es ocasionada por la energía elástica que queda almacenada en forma de esfuerzos (*stress*) en la roca deformada y se gasta en crear la falla, al romperse la roca y luchar con la fricción se frena el movimiento y libera la energía en forma de onda sísmica, este tipo de energía

se llama sísmica, energía generadora de los sismos; la energía gastada durante un sismo depende del corrimiento promedio de la falla, del tamaño (área) y de nivel promedio esfuerzos en ella. Solamente una fracción de esta energía y dependiendo la velocidad de ruptura, es radiada en forma de onda sísmica. Es posible, por medio del estudio de la forma de las ondas sísmicas, complementado con otros estudios observaciones de campo, obtener estimaciones de los valores del momento sísmico, de las dimensiones de la falla y de la caída de esfuerzo aunque existe una controversia acerca de cuál nivel de esfuerzo cortante en las rocas de las capas más superficiales de la tierra es donde ocurren los mismos.

El punto donde comienza la ruptura se llama hipocentro, y el punto de la superficie terrestre localizado inmediatamente arriba de él se llama Epicentro. Se llama foco sísmico hipocentro y a la zona de ruptura, donde ocurrió la liberación de energía sismo. (Nava, 2002)

### **Onda sísmica**

Un movimiento telúrico afecta la corteza terrestre, una área muy grande de ella, comparada con la extensión de la fuente sísmica; esto muestra que existe energía, la cual se libera a través del terreno, por otro lado esta energía propagada se da en forma de onda sísmica, es decir, que es una deformación que viaja a través de un medio elástico (corteza terrestre) y al viajar por este medio hace que se llame onda sísmica, ya que si viajara por un medio elástico diferente a la corteza ya sería una onda elástica, lo que nos indica que la onda sísmica es igual a una onda elástica. La onda sísmica hace que el terreno se deforme a través del cual ella pasa, estos nos dice que puede hacer trabajo el cual corresponde a la energía elástica que se desplaza.

Es necesario analizar algunas características o propiedades de las ondas como la propagación, la energía se propaga desde su punto de origen en todas las direcciones en formas de ondas, para poder analizar al conjunto de todos los puntos en el espacio que son alcanzados conjuntamente por la onda llamado como frente de onda. Con el fin según (Nava, 2002) “sí trazamos líneas imaginarias perpendiculares a los frentes de onda veremos que indica la dirección en la que viajan las ondas, estas líneas son llamadas rayos y son muy útiles para describir la trayectoria de la energía sísmica”

La elasticidad nos dice que son posibles dos tipos de ondas elásticas que viajan a través de la Tierra, que son conocidas como ondas de cuerpo u ondas internas, las cuales pueden ser ondas

longitudinales (compresionables) y ondas transversales (de cizalla). Estas se clasifican según su movimiento, según Torres (2001):

“La física básica de la mecánica del medio continuo predice dos posibles tipos de propagación de disturbios para un medio elástico como la roca:

- Movimiento compresional, donde las partículas oscilan en la misma dirección que las ondas propagadas.
- Movimiento transversal, donde el movimiento de partículas es en el plano perpendicular a la dirección de propagación. ”

A hora bien describamos las ondas internas en las dos formas que se da según su movimiento:

### ***Ondas Primarias (P)***

Las ondas P, son ondas longitudinales o compresionales como se dijo anteriormente, estas vibran hacia adelante y hacia atrás en el mismo plano que su dirección de movimiento (ver figura 11), lo cual significa que la corteza o suelo se dilata y se comprime en la dirección de la propagación, son las ondas más rápidas de las ondas sísmicas. (Nava, 2002) “ondas P. Las ondas compresionales son las que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilatación en el medio, [...]. Esta es la más veloz de todas las ondas sísmicas, y por lo tanto, es la primera en llegar a cualquier punto, en ser sentida y en ser registrada en los sismógrafos, por lo que se le llamó onda primera o primaria de allí el nombre de P.” (p. 52)

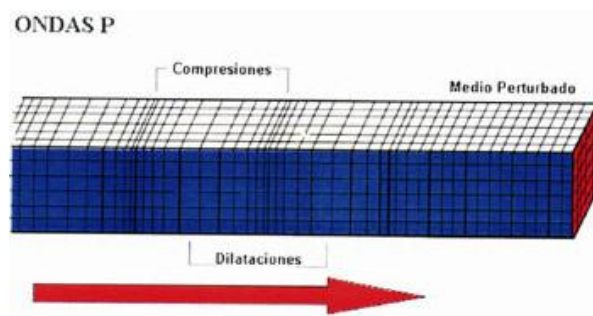


Figura 12. Onda P (El Profe de Naturales, s.f.)

### ***Ondas secundarias (S)***

Las ondas S, son ondas transversales, es decir, que su desplazamiento es transversal a la dirección de propagación (ver figura 12), vibran en ángulo recto con respecto a la dirección del desplazamiento. Su velocidad es menor a las de las ondas P, debido a esto ellas aparecen en el terreno después de las ondas P, por lo general estas son las ondas que ocasionan mayor daño porque producen oscilaciones en el terreno durante el movimiento sísmico. (Nava, 2002) Dice:

Ondas S. las ondas de corte o de cizalla, llamadas ondas s son aquellas en las cuales las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, por lo que están asociadas con deformaciones del terreno de tipo de cizalla, (...). La onda s más lenta que la onda P. como la onda s es la segunda en llegar se le llamó secundaria, (...). El desplazamiento de las partículas en el terreno durante el paso de la onda puede ser en cualquier dirección perpendicular a la de propagación; pero, a veces, pueden desplazarse en una sola dirección, en cuyo caso se dice que las ondas están polarizadas. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la onda P y se siente más fuerte que está. (p.53)

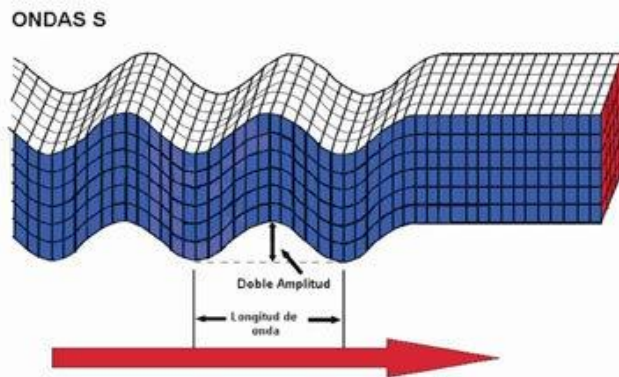


Figura 13. Onda S (El Profe de Naturales, s.f.)

Después de hablar de las ondas internas, miraremos el tipo de ondas superficiales, ya que además de las ondas que viajan a través del terreno, existen otras que lo hacen en la superficie, las cuales son causadas por la interferencia con las ondas de cuerpo, es decir, la interacción de muchas ondas de cuerpo que viajan en distintas direcciones y son más lentas que ellas; a continuación se nombrarán los principales tipos de ondas de estas características.

### ***Ondas de Rayleigh (LR)***

Las ondas LR, son ondas superficiales que generan un movimiento elíptico retrógrado de la corteza o el suelo (ver imagen 13), son ondas más lentas que las ondas internas. (Nava, 2002) “Cuando

son de un período muy largo se deben a la interacción entre las ondas P y las SV, y el movimiento de cada partícula de la superficie del terreno al paso de la onda se da en forma de elipse retrógrada. Son las ondas las lentas con velocidades de grupo” (p.62)

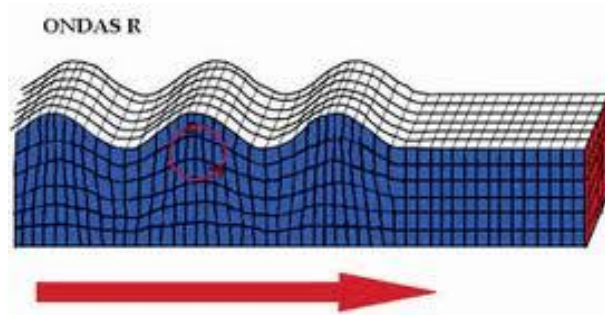


Figura 14. Ondas LR (El Profe de Naturales, s.f.)

### Ondas de Love (LQ)

Las ondas LQ, son ondas superficiales que generan un movimiento horizontal de corte a la superficie (ver figura 14), son un poco más veloces que las ondas LR. (Nava, 2002) “Se comportan de manera muy parecida a la descrita para las ondas de Reyleigh, pero se deben a la interferencia constructiva de las ondas SH solamente, por lo que no pueden existir en un semiespacio, sino que requiere capa sobre un semiespacio, dónde puedo quedar Atrapada parte la energía sísmica.” (p.63)

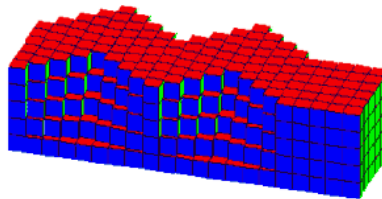


Figura 15. Ondas LR (El Profe de Naturales, s.f.)

### Velocidad de propagación de la onda sísmica

La velocidad de propagación de las ondas sísmicas depende de la densidad y propiedades elásticas de la corteza terrestre, en particular de las rocas, es decir, del material general a través del cual esas ondas se propagan.

- Velocidad para las ondas P

$$V_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}^{11}$$

<sup>11</sup> las unidades de la velocidad de propagación en la onda sísmica se calcula en kilómetros por segundo.

- Velocidad para las ondas S

$$V_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \nu)}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}^{12}$$

Donde:

$$E = \text{Módulo de elasticidad} \quad E = 2\mu(1 + \nu)$$

$$\nu = \text{Coeficiente de poisson}^{13}$$

$$\rho = \text{Densidad del medio}$$

$$\lambda \text{ y } \mu = \text{Constantes elásticas de lamé}^{14}, \quad \text{tal que}$$

$$\lambda = \text{Constante de lamé a la incompresibilidad}$$

$$\lambda = K - \frac{2}{3}\mu = \frac{E\nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

donde  $\mu$  = Módulo de rigidez al cortante o modulo de cizalla

$K$  = Módulo de de incompresibilidad

Recordemos que  $\lambda$  y  $\mu$  dependen de la relación de Poisson y el modulo Young, el anterior análisis matemático fue tomado de (Torres R. , 2001).

Es importante tener conocimiento del cálculo de la velocidad de propagación de la onda sísmica, ya que esto permite mirar los efectos de la propagación de dicha onda en la corteza terrestre, estos efectos son importantes para el análisis de algunos fenómenos ondulatorios. “La propagación de las ondas sísmicas a través del interior de la Tierra están gobernadas por las mismas leyes matemáticas de propagación de las ondas luminosas en óptica (Snell de la reflexión y

---

<sup>12</sup> Estas ecuaciones de velocidad son las que se dan de manera general en el estudio de las ondas sísmicas.

<sup>13</sup> El coeficiente de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de un material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

<sup>14</sup> Los parámetros de Lamé son dos constantes elásticas que caracterizan por completo el comportamiento elástico lineal de un sólido isótropo en pequeñas deformaciones.

refracción, Principio de Huygens en refracción y reflexión totales), estos fenómenos pueden seguir siendo estudiados de una manera más amplia si se continua con el trabajo investigativo.

### **Intensidad y magnitud**

La intensidad y la magnitud, son dos medidas para determinar en pocas palabras el tamaño del sismo. Estas propiedades son muy diferentes expresan cosas distintas.

#### **La intensidad**

La intensidad está relacionada a los efectos que provoca el sismo las cuales depende de las condiciones del terreno y la vulnerabilidad de las construcciones, es decir, que la intensidad es una medida de los efectos causados, el sismo puede ser pequeño y cercano pero los daños que causa pueden ser grande según las condiciones de las que se hablaron, de igual manera si el sismo es grande pero lejano y no tiene condiciones de vulnerabilidad sobre el terreno este no causa desastres. Es importante saber de la intensidad, para no confundirla con la magnitud y para saber las consecuencias que producen los sismos.

#### **Magnitud**

La magnitud está relacionada con la cantidad de energía sísmica liberada por el sismo o terremoto, es decir, que es la energía elástica liberada por el sismo, la cual es propagada mediante las ondas sísmicas en el interior de la tierra generalmente en la corteza o en la superficie. El primero en hablar la magnitud fue Richter y durante mucho tiempo se tuvo esta escala para la medición de la magnitud, aunque actualmente se utilizan distintas escalas.

Estas medidas (la intensidad y la magnitud), son importantes para diferenciar las consecuencias de los terremotos o sismos, ya que el muchas veces el sismo puede ser de gran magnitud pero de poca intensidad, es decir, las consecuencias en daños son insignificantes a pesar la magnitud; o viceversa, la magnitud puede ser pequeña pero la intensidad grande.

#### **Relación onda sísmica y estructura de la tierra**

En estudios anteriores se dijo que la tierra no era homogénea y mucho menos su corteza, que generalmente es donde suceden los eventos sísmicos, pero en dado caso de que la tierra fuera homogénea las onda sísmica se propagaría en todas las direcciones, es decir, que viajarían en línea recta a una velocidad constante, ( ver figura 15)

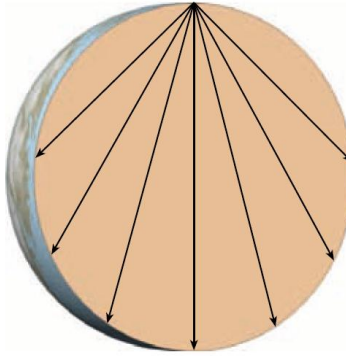


Figura 16. Esta sería la dirección de propagación de la onda sísmica en caso de que la tierra fuera homogénea. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Pero como ya se sabe la tierra no es homogénea ni su corteza, ocurre que las ondas sísmicas que se detectan por medio de los instrumentos de detección (sismógrafos) localizadas en los puntos más lejanos del evento sísmico, viajan a velocidades mayores a las que se registran en los puntos más cercanos. Esta velocidad mayor que se registra se da por el aumento de profundidad y la presión la cual aumenta las propiedades elásticas de las rocas que componen la litosfera y como consecuencia los rayos sísmicos se refractan de la siguiente manera, (ver figura 16)

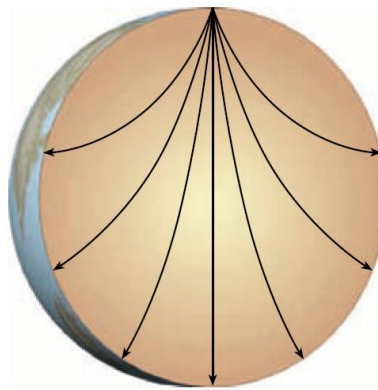
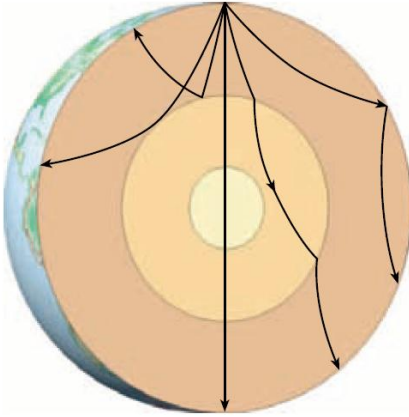


Figura 17. Trayectoria de las ondas sísmicas, donde la velocidad aumenta con la profundidad (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Cuando el análisis se hace con sismógrafos más avanzados, los cambios graduales que se detectan de las velocidades de las ondas sísmicas son más evidentes, dando las discontinuidades que se detectan en todo el mundo, lo que hace llegar a la conclusión de que la tierra tiene distintas capas con propiedades mecánicas y dinámicas. (Tarbuck & Lutgens, 2005), (Ver figura 18)



*Figura 18. Uno de los muchos ejemplos de las trayectorias posibles de los rayos sísmicos a través de la tierra. (Tarbuck & Lutgens, 2005).*

En resumen, lo expuesto en el capítulo 3, permite ver los distintos estudios que son necesarios para entender todo lo que sucede, implica y conlleva el análisis de las ondas sísmicas y los fenómenos naturales que se asocian a esta. De igual manera en este capítulo es evidente que se necesitan o se asocian varias disciplinas o ciencias para el entendimiento de los fenómenos sísmicos.

Por ultimo realizando el análisis entre el capítulo II y III, se puede concluir una reflexión entre los conocimientos físicos de la onda y los conocimientos alrededor de las ciencias de la tierra que permiten hablar de la onda sísmica, es decir, que hay una interacción entre distintas ciencias poniendo de presente la interdisciplinariedad entre estas.

## Capítulo IV: LA INTERDISCIPLINARIEDAD

En la enseñanza de cualquier ámbito académico, la interdisciplinariedad juega un papel importante, ya que por medio de este método o concepto del conocimiento, se deja de un lado la utilización de una sola disciplina y por lo contrario se utilizan varias, haciendo que el conocimiento puede ser más amplio y constructivo. En este trabajo investigativo es importante tener en cuenta este método de conocimiento o de enseñanza; ya que los objetos de estudio se pueden ver de una manera integral, es decir, que la interdisciplinariedad nos brinda un marco metodológico al fusionar las dos ciencias (ciencias de la tierra y la física) la cual fue una reflexión que surgió en el transcurso de la realización del trabajo. Es importante resaltar que la física a la hora de explicar ciertos fenómenos necesita de la ayuda de otras disciplinas o ciencias, y de igual manera otras disciplinas o ciencias necesitan de la ayuda de la física.

Una de las cosas distintivas del siglo XX, es la frecuente reorganización del conocimiento, rompiendo las fronteras entre las disciplinas esto hace que se apueste a la interdisciplinariedad defendiendo el área del conocimiento y la enseñanza de una manera más flexible y crítica, a la hora de utilizar otras disciplinas.

La interdisciplinariedad surgió, a partir de algunos autores que buscaban una gran teoría del desarrollo de la ciencia de la época. Pero la tecnología se hizo indispensable, he hizo que tomaran fuerzas otras ciencias y disciplinas derivadas de las más importantes, como afirma (Torres, 1998).

Cada vez son más numerosas las especialidades que pugnan entre sí por ámbitos de intervención profesional, porque consideran que tal o cual parcela el conocimiento y acción les pertenece en exclusiva. En una situación semejante, una de las soluciones que últimamente se acostumbra a adoptar es la de constituir un nuevo campo de conocimiento que abarque parcelas en disputa; tal es el caso de las disciplinas y las profesiones como: la bioquímica, geofísica, agroquímica, psicopedagogía socio biología etc. (p. 49)

Para entender un poco mejor el tema de interdisciplinariedad, es importante hablar de las disciplinas o del concepto de disciplina, como dice: Edgar Morín (citado por (Ortíz, 2011)) “Para abordar cualquier consideración de carácter interdisciplinario, primero se debe partir de la disciplinariedad. Una disciplina puede definirse como un categoría organizadora del conocimiento científico con su autonomía, fronteras delimitadas, lenguaje propio, técnicas y teorías exclusivas

(Morín, 2003)”. Aunque las disciplinas no han existido en toda la historia del conocimiento humano, es una categoría que se da en el siglo XIX, donde se acude primero a la definición de objetos de estudio muy precisos y a los métodos de estudio, que al pasar el tiempo propone una especialización para esos objetos y métodos de estudio. Es en Alemania en la segunda mitad del siglo XIX donde surge la especialización disciplinar y surgen las especializaciones como la física, la química, la biología, la geología, la antropología, la sociología etc., en las cuales cada vez los objetos y los métodos de estudio se formalizan y se diferencian más en todas estas disciplinas, según Edgar morir (citado en (Ortíz, 2011)

El concepto de disciplina presupone un objeto de estudio científico plenamente identificado y propio para cada ciencia en su objetividad y homogeneidad. Pero con la evolución social, y por tanto científica, la concepción disciplinaria, que constituyó un resultado valioso del avance de las ciencias, se fue convirtiendo en una rémora por el riesgo cada vez creciente de hiperespecialización del investigador y cosificación del objeto, concebido como cosa en sí, desvinculado de la realidad (de la cual es abstraído) y de sus relaciones con otros objetos, con los cuales está indisolublemente relacionado

El termino disciplina llega a la educación, entonces la educación termina recogiendo todo lo relacionado con perspectiva disciplinar donde los objetos de estudio, los métodos de estudio, las temáticas de estudio de una disciplina son totalmente alejadas de las otras.

Pero al final del siglo XX comienza a aparecer unas problemáticas que implica la interacción de las disciplinas, es decir, que ya no se pueden solucionar estas problemáticas desde una sola disciplina.

El término interdisciplinariedad apareció en 1970 en el Seminario de Pluridisciplinariedad celebrado en Niza (Francia), con la participación de J. Piaget influido por el estructuralismo. Posteriormente, en el Congreso de Lucarno (Suiza), en 1987 continúa su desarrollo y su definitiva consagración ocurrió con la proclamación de la Carta de la Transdisciplinariedad en Arrábida (Portugal) en 1994, entre los autores principales estuvieron J. Piaget y E. Morín. En dicha carta se delimitan las siguientes ideas que resultaron precursoras: • La existencia de diferentes niveles de aprehensión de la realidad que exige la asunción de lógicas diversas. • La necesidad de un enfoque complementario

de la disciplinariedad con la transdisciplinariedad a través del diálogo y la discusión. (Ortíz, 2011)

Como por ejemplo las llamadas ciencias ambientales provienen del estudio de unas problemáticas que implican mirarlas desde, la física, química, biología, historia, sociología, política, etc. Es decir, que estas problemáticas implican un dialogo e interacción entre todas las disciplinas nombradas. Entonces son problemas mucho más complejos que no se pueden ver desde una sola disciplina o no se pueden ver desde la agrupación disciplinas separadas, en cambio necesita que estas disciplinas entren en dialogo y esto hace que se transformen los conocimientos disciplinares, en ese sentido abordar temas como los sismos , ponen en interacción los conocimientos y conceptos de la geología y de la física; poniendo de presente unas perspectivas más actuales en relación con la solución de los problemas sísmicos, estas son perspectivas que llegan a la educación. Comenzando a actualizar las maneras en las que se ve la educación de los niños y jóvenes en relación con el mundo que los rodea, donde los problemas son mucho más complejos y de esta manera se puede ver la interdisciplinariedad con estos ejemplos.

Es importante resaltar la interdisciplinariedad, ya que esta nos brinda una mejor percepción del conocimiento de una manera integral como nos explica:

La concepción interdisciplinaria tiene como ventajas que permite una visión integral del objeto de estudio, estimula la aparición de nuevas concepciones teóricas y metodológicas novedosas para la solución de los problemas científicos y contribuye a elevar el potencial teórico de las ciencias, y por tanto, incrementa su pertinencia ante las crecientes demandas del desarrollo social

La interdisciplinariedad en las investigaciones educativas constituye una manifestación de las tendencias integradoras que ocurren entre las ciencias que aportan a la educación, lo cual presupone un alto dominio previo por parte de los investigadores de las disciplinas implicadas y de su trascendencia integradora a una concepción de mayor complejidad en lo teórico y en lo metodológico, lo que permite estudios más completos, profundos y esenciales. A la investigación interdisciplinar se llega por acercamientos sucesivos, declararla como aspiración es una condición importante pero insuficiente, hay que demostrarlo con argumentos y constatarlo con resultados científicos novedosos. Por tanto,

la interdisciplinariedad en las investigaciones educativas es una realidad y a la vez un reto a la tenacidad, a la cultura científica y general de los que la defienden. (Ortíz, 2011)

### **La importancia de la interdisciplinariedad en este trabajo investigativo**

Teniendo un poco de conocimiento alrededor de la interdisciplinariedad, se podría decir que se hace relevante esta perspectiva del conocimiento, puesto que se utilizaron dos grandes ciencias para el desarrollo de este, inicialmente se utilizó el concepto de onda el cual se estudia desde la física una de las grandes disciplinas del conocimiento. Por otro lado se consultaron temas de la geología para la explicación de la estructura de la tierra y la onda sísmica, la geología otra gran disciplina, se dice que la interacción de estas dos disciplinas o ciencias se conoce como la geofísica.

Al nombrarse varias disciplinas (algunas de manera implícita) como la geología, la física y la geografía; se hace visible la interdisciplinariedad. Relacionando el concepto de onda mecánica con la onda sísmica, se puede ver la interacción que hay en estas ciencias. El desarrollo de esta investigación como un conocimiento científico da posibilidades a un trabajo interdisciplinario, que no solo depende de la investigación si no que se requiere un conocimiento en las áreas investigadas, las cuales deben ser perceptivas y flexibles a las fronteras de las disciplinas lo cual permite un enfoque que involucra otras perspectivas.

¿De esta manera la interdisciplinariedad implica un paradigma de la ciencia actual, al menos en el campo teórico de la física? Se puede decir que la interdisciplinariedad permite acercarse a un mismo fenómeno desde distintos ángulos, ofreciendo de este modo una investigación más completa y enriquecedora; además buscar nuevos métodos de enseñanza como la interdisciplinariedad hace que las ciencias para nuestro caso la física sea más entendible como dice (Grisolía, 2008) & (Ortiz, 2011):

Como todo proceso educativo, la enseñanza de las ciencias es un marco interdisciplinario exige que se cumplan ciertas condiciones y conllevan varias dificultades. En pocas palabras, no se trata de un proyecto fácil de llevar a cabo, y el éxito no está asegurado. Sin embargo los docentes estamos obligados de poner en práctica estrategias que permitan facilitar los procesos de aprendizaje y mejorar la acción educativa. (p.10)

La interdisciplinariedad en las investigaciones educativas constituye una manifestación de las tendencias integradoras que ocurren entre las ciencias que aportan a la educación, lo cual presupone un alto dominio previo por parte de los investigadores de las disciplinas implicadas y de su trascendencia integradora a una concepción de mayor complejidad en lo teórico y en lo metodológico, lo que permite estudios más completos, profundos y esenciales. A la investigación interdisciplinar se llega por acercamientos sucesivos, declararla como aspiración es una condición importante pero insuficiente, hay que demostrarlo con argumentos y constatarlo con resultados científicos novedosos. Por tanto, la interdisciplinariedad en las investigaciones educativas es una realidad y a la vez un reto a la tenacidad, a la cultura científica y general de los que la defienden. (p. 10)

En resumen, la sismicidad o sismología, ciencia que hace parte de la geología necesita y retoma conceptos físicos, los cuales le sirven para su explicación e investigación lo que nos hace pensar que la dinámica de la tierra hace integrar en profundidad la geología con otras ciencias y especialmente con la física, y mediante esto se puede obtener una mejor capacidad de comprender a fondo la tierra en todos sus procesos, obviamente en este trabajo solo nos enfocamos en uno de los procesos, el cual es hablar de los movimientos sísmicos; porque hablar de todos los procesos que ocurren al interior y exterior de la tierra implicaría un trabajo más grande. Sin lugar a duda la tierra como estudio y sus procesos es lugar lógico de encuentro interdisciplinar entre las ciencias como por ejemplo la física, la química, la biología etc.

Por otro lado la interdisciplinariedad nos deja una reflexión alrededor de la enseñanza, en específico de la enseñanza de ciencias, pues varios estudios de la ciencia necesitan de ayuda de otras disciplinas, es decir, que el trabajo interdisciplinario es necesario de igual manera para los procesos formativos en la escuela o en los lugares donde está la academia en ciencias.

Resumiendo un poco, los problemas de estudio de la física, han llevado a poner de presente que las perspectivas usuales de la enseñanza de la física están centradas en la disciplina de está, abordando unos conceptos que pueden resultar bastante abstractos, como por ejemplo el concepto de onda mecánica que se da en una perspectiva centrada en lo disciplinar, pone como una enseñanza sobre unos conceptos que resultan alejados de toda realidad. Entonces problemáticas de estudio como lo sismos, permiten ver la parte real de estos conceptos (concepto de onda); de igual forma las ciencias aplicadas lo que permiten que a partir de unas problemáticas

se definan unos objetos de estudio que no se pueden ver exclusivamente como conceptos abstractos que están al interior de una disciplina, si no que conceptos abstractos requieren establecer unos vínculos dentro de otras disciplinas aparte de la física, por ejemplo cuando uno trabaja los sismos necesariamente los conceptos de la física entran a dialogar y a interactuar con las conceptualizaciones de la geología, ya que se mira la estructura de la tierra, las placas tectónicas, las fallas.

Toda la física ondulatoria y física del *stress*, son los conceptos muy fuertes y abstractos de la física, estos entran en dialogo para permitir la explicación de aspectos sismológicos, por eso este tipo de temáticas pone de presente la necesidad de establecer vínculos con la física que se enseña en la escuela a partir de la realidad o el mundo real. Entonces es en ese sentido, significa que en este trabajo hay una perspectiva interdisciplinar, donde aparecen unas problemáticas donde se creen que son de geografía, sociales o geología, es decir, que parecen como de otras disciplinas; pero la reflexión nos permite ver un dialogo e interacción desde la física que también aporta elementos a la explicación de estos fenómenos.

Es necesario decir que el enfoque interdisciplinar del trabajo queda corto, por cuestiones de tiempo; ya que abordar este tipo de investigación requiere de este, para hacer un análisis más profundo al nivel teórico, filosófico y epistemológico. Pero queda abierto para el que quiera continuar o por si investigación de este trabajo de grado se continua.

## **Conclusiones**

Este trabajo de grado permite sacar algunas reflexiones y contribuciones, alrededor del tema de investigación, y son las siguientes:

- La onda mecánica, no es una onda simple como en muchos textos se plantea en torno a este tema de la física, mediante esta onda se puede hacer un análisis más complejo, como él que se hizo con la onda sísmica o con el ejemplo de la cuerda vista como la propagación de un desequilibrio generada por una perturbación en un campo o un medio continuo con propiedades físicas. El análisis de la perturbación y su descripción matemática lograron dar cuenta de cómo las variables de estado del medio cuando se ven afectadas por esfuerzos mecánicos, afectan el medio y en cierta medida la propagación de la onda que a su vez permiten concluir la propagación de la onda sísmica.

- Por otra parte con este trabajo se pretendió analizar uno de los fenómenos físicos producidos en la Tierra, ya que la Tierra y su estructura tienen propiedades mecánicas y dinámicas, este fenómeno que se analizó fue el de los fenómenos sísmicos; el cual nos permitió comprender que la estructura de la tierra no es homogénea, por lo contrario es una estructura heterogénea la cual permite que suceden este tipo de fenómenos principalmente en la corteza o litosfera y esta heterogeneidad está vinculada por la estructura de las rocas que componen dicha corteza (litosfera).
- Al realizar el estudio, que involucró dos grandes ciencias de la Tierra y la física permite ver cómo los procesos interdisciplinarios son importantes para entender y complementar un tema. Es evidente que en la interdisciplinariedad es importante para los estudios de diferentes fenómenos que involucran a la física y otras ciencias, de esta manera se comprende como un método de enseñanza que genera un conocimiento más amplio; en pocas palabras la interdisciplinariedad es necesaria para la enseñanza y en específico para la enseñanza de las ciencias

## Bibliografía

- Alonso, M., & Finn, E. (1970). *Física Volumen II: Campos y Ondas*. Washington D.C.: Fondo Colectivo Interamericano S.A.
- Arfken, G. (1981). *Métodos matemáticos para físicos*. Mexico: Diana.
- Belousov, V. V. (1979). *Geología Estructural 1*. Moscu: MIR.
- Bermudez, S. A. (2016). *La caracterización del sonido como onda mecánica: una propuesta para la enseñanza en la escuela*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Castillo, J. C. (2004). *El concepto de corriente y la perspectiva dinámica*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Castillo, J. C., Ayala, M. M., Malagón, J. F., Garzón, I., & Garzón, M. (2012). El tensor de esfuerzos. Un análisis epistemológico desde una perspectiva pedagógica. *Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias*.
- Castro, D. C., & Ramirez, M. E. (2009). *La escuela en movimiento: una propuesta didáctica para el estudio de conceptos físicos implicados en un sismo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Cisneros, M. (2013). *Cómo elaborar Trabajos de grado*. Bogotá: ECOE EDICIONES.
- Fourez, G. (2006). *LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO. Sociología y ética de la ciencia*. Madrid: NARCEA, S.A. DE EDICIONES.
- Gantiva, J. E. (2011). *Conceptos de físicos implicados en la explicación de los sismos: una aproximación a las ondas sísmicas*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Grisolía, M. (2008). La interdisciplinariedad en la enseñanza de las ciencias. *Ciencia y Educación*.
- Huertas, K. J. (2017). *Unidad Didáctica para facilitar la Compresión de la propagacion de ondas sísmicas*. Bogotá D.C.: Universidad Pedagógica Nacional.
- Mayorga, E. F., & Poveda, W. D. (2013). *Análisis gráfico y numérico en la interpretación de una señal sísmológica: temáticas de la física de ondas implicadas en un sismo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Mayorga, E. F., & Poveda, W. D. (2013). *ANÁLISIS GRÁFICO Y NUMÉRICO EN LA INTERPRETACIÓN DE UNA SEÑAL SISMOLÓGICA: TEMÁTICAS DE LA FÍSICA DE ONDAS IMPLICADAS EN UN SISMO*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ministerio de Educacion Nacional. (2006). *Estándares Básicos de Competencias*. Colombia.
- Morin , E. (1994). *En interdisciplinariedad*. CIRET.
- Nava, A. (2002). *Terremotos*. México, D.F: Fondo de Cultura Económica.
- Oliveros, D. M. (2016). *Fenómenos ondulatorios en los sismos: una estrategia de aula para estudiantes de grado sexto orientada a descubrir cómo se minimizan los riesgos*. Bogota D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

- Ortiz, E. A. (2011). LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN LAS INVESTIGACIONES EDUCATIVAS. *Didáctica y Educación*.
- Ortíz, E. A. (2011). La Interdisciplinariedad en las investigaciones educativas. *Centro de Estudios sobre Ciencias de la Educación Superior (CECES)*., 12.
- Rocero, S. P. (2016). *Estudio de la propagación y atenuación de la energía de onda sísmica a través de las capas en el subsuelo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Romero , G., & Maskrey, A. (1993). Cómo entender los desastres naturales. Los desastres no son naturales. 6-10.
- Salcedo, E., & Coral, C. (1995). ATENUACION DE INTENSIDADES SISMICAS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO. *Revistas electrónicas UN > Earth Sciences Research Journal*.
- Sanabria, E. E. (2009). *Implementación y evaluación de técnicas de tratamiento de señales en el modelamiento y cálculo de atenuación en la propagación de ondas sísmicas*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander .
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra Una Introducción a la Geología Física*. Madrid : PEARSON EDUCACIÓN S. A.
- Tippens, P. (2007). *Física, Conceptos y aplicaciones*. McGraw-Hill .
- Torres, Á., & Barios, A. (2009). LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES Y EDUCACION AMBIENTAL EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO. *Revista de la Facultad de Ciencias Economicas y Administrativas Universidad de Nariño*, 24.
- Torres, J. (1998). *Globalización e interdisciplinariedad: el curriculum integrado*. Madrid: Ediciones Morata.
- Torres, R. (2001). *Curso Introducción a la Sismología*. Bogotá, D.C.: Ingeominas.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria Volumen 1*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.

## Anexos

### Sobre el *stress*

A hora bien hablamos del *stress*, es una propiedad que da descripción a la tensión de los cuerpos o medios de los que se esté hablando.

Los esfuerzos elásticos conocidos como *stress* causados por las deformaciones, son causantes de los cambios que sufre el medio, este comprendido como la corteza terrestre la cual es un medio elástico o continuo, permite que se generen ondas sísmicas, causantes de los terremotos, y las diferentes características de los medios continuos, permiten hablar de toda la base teórica del *stress*, estado y del medio.

La deformación se forma de un cambio de compresión y de dilatación de tal manera que las partículas del medio se acercan y se alejan respondiendo a las fuerzas asociadas con las ondas. Su propagación se describe por la ecuación de ondas y la velocidad de la onda sísmica depende de los parámetros elásticos del medio, en el que se propaga la onda, por estos motivos es importante darle paso al estudio del *stress* como una característica principal de los medios continuos.

El *stress* es una característica asociada al esfuerzo, pero que se da en medios continuos o elásticos. Recordando que los medios elásticos son los que se resisten a la deformación y tienen a buscar su estado inicial o estado de equilibrio y estas deformaciones en lo general son causadas por fuerzas externas o internas asociadas a las perturbaciones.

Sabiendo que los medios elásticos como lo dice la siguiente cita son: “Retornando a nuestro problema de la elasticidad, recordemos la forma como la caracterizamos inicialmente: se dice que un cuerpo es elástico porque se resiste a cambiar su forma y restaura su condición de no deformación tan pronto cesa la acción que la ha generado. Así, dos aspectos deben ser tenidos en cuenta para hablar de la elasticidad: de una parte, exige hablar de deformación; de otra, requiere pensar en “resistencia” a la deformación y en la recuperación de la forma anterior cuando la acción cesa.” (Castillo, Ayala, Malagón, Garzón, & Garzón, 2012)

El estado de *stress* es comparable con medios continuos y son las deformaciones que experimenta un cuerpo, sujetas a las acciones. También se puede decir que es el modo de estar que

adquiere un cuerpo o medio en su interior cuando son alteradas las condiciones en las que se encuentra, es decir, que el *stress* son las acciones que se ejercen sobre los cuerpos elásticos y estas acciones se dan en esfuerzos extensivos y comprensivos, haciendo que se mire el comportamiento en los cuerpos elásticos a partir del esfuerzo. Estos esfuerzos se puede dar en esfuerzos tensionantes y comprensivos pero como el esfuerzo está ligado a las deformaciones.

A su vez las deformaciones que experimenta un cuerpo están ligada las acciones como se quiso decir anteriormente, y estas acciones son referidas a los cuerpos extensos; las acciones que se generan en estos cuerpos se suelen denominar con el nombre de esfuerzos que es el mismo *stress*, este se expresan en unidades de fuerza por unidad de área.

“El *stress*, se dice, es medido a través del esfuerzo; este a su vez se define como fuerza por unidad de área, es decir, como la densidad de una distribución de fuerza sobre una superficie que separa dos partes del cuerpo; entendiéndose la fuerza en los términos comunes de causa de cambio de movimiento” (Castillo, Ayala, Malagón, Garzón, & Garzón, 2012)

El esfuerzo (*stress*) se puede denominar o clasificar de varias manera dependiendo como se realice la deformación en el medio o cuerpo que se esté analizando, esta clasificación se da de la siguiente manera: esfuerzo comprensivo (presión), esfuerzo extensivo (tensión) y esfuerzo tangencial (cizalladura). Con el término esfuerzo también se suele denominar el estado de *stress* en que se encuentra un cuerpo en cada punto que se analice al estar en unas determinadas condiciones relacionadas con la deformación.

Ahora bien vamos a mirar la relación de esfuerzo – fuerza en el estudio de medios elásticos que me permite mirar el *stress* de otra manera. Aquí en esta parte se muestra algunas formas de interpretar el esfuerzo y las relaciones del mismo a través de la fuerza.

En el estudio de la física uno de los términos más usados es la fuerza, particularmente en el estudio de fenómenos mecánicos, a este término se le suelen dar varios significados diferentes, pero los más comunes son dos. El primero es que la fuerza es la causa de movimiento de los cuerpos y el segundo es que la fuerza hace referencia al modo de estar que adquiere un cuerpo o medio al ser alteradas las condiciones en las que se encuentra inicialmente; son dos términos o definiciones diferentes ya que el primero está relacionado con el cambio de un cuerpo y el segundo

con la manera de estar que adquiere un cuerpo o medio alterando las condiciones en las que se encuentra.

“Fuerza es quizás el término más usado en las explicaciones de fenómenos mecánicos de diversa índole. En principio se podría distinguir dos clases de significados. Uno, en el que el término adquiere la connotación de causa, causa de los cambios, causa de la actividad. El otro, referido al modo de estar que adquiere un cuerpo en su interior o un medio, cuando actúan sobre él fuerzas externas (se alteran las condiciones en las que se encuentra). Sin embargo, estos significados se mezclan y confunden en muchas ocasiones. Cuando, por ejemplo, se examina el estado de un cuerpo elástico, el *stress* se suele caracterizar como referido a las acciones que unas partes ejercen sobre aquellas que se encuentran en su vecindad.” (Castillo, Ayala, Malagón, Garzón, & Garzón, 2012)

La diferencia entre estos dos significados en distintas ocasiones se desfigura debido a que usa el mismo término “fuerza” para referirse a las dos situaciones. Este es el caso de la explicación que suele dar al estado de un cuerpo elástico y suele caracterizarse debido a las acciones mutuas que las partes del cuerpo se ejercen entre sí y es medido por medio del esfuerzo. Este esfuerzo una magnitud que debe definirse en cada punto como la densidad superficial de distribución de fuerza sobre la superficie que separa dos partes de un cuerpo. Diferentes físicos estudian y analizan estos dos términos (esfuerzo-fuerza) pero solo nombraremos a dos, de esta manera puede ser más claro lo que se quiere decir al analizar los conceptos.

Según R Feynman, en su texto *Lectures on Physics*<sup>5</sup> al comparar los dos términos también esfuerzo y fuerza, y al definir el esfuerzo como las fuerzas internas que se ejercen mutuamente miraremos las fuerzas como resultado del estado de *stress*.

Maxwell aborda la relación esfuerzo- fuerza afirmando que la causa de toda fuerza es el esfuerzo y establece una relación de medida del esfuerzo con la densidad superficial de la fuerza, además señala que el carácter dual del esfuerzo hace posible asumirla como la acción y reacción, de esta manera forma la idea de esfuerzo a través la tensión y presión de los cuerpos y dice que el esfuerzo es el medio numéricamente por la fuerza ejercida sobre cualquiera de las dos porciones de materia.

---

<sup>5</sup> FEYNMAN, R., *Lectures on Physics*. Addison Wesley, Massachusetts, 1964, Vol 2, págs. 31-9 a 31-11.

“Tan pronto como hayamos formado la idea de un esfuerzo, tal como la tensión de una cuerda o la presión entre dos cuerpos, y que hayamos reconocido su aspecto dual en la medida que éste afecta las dos porciones de materia entre las cuales actúa, la tercera ley del movimiento se vuelve equivalente a afirmar que la naturaleza de toda fuerza es el esfuerzo, que el esfuerzo existe únicamente entre dos porciones de materia, y que sus efectos sobre estas dos porciones de materia (medidos por el momentum generado en un tiempo dado) son iguales y opuestos. El esfuerzo es medido numéricamente por la fuerza ejercida sobre cualquiera de las dos porciones de materia. Se distingue como tensión cuando la fuerza que actúa sobre cualquier porción se dirige hacia la otra, y como presión cuando la fuerza que actúa sobre cualquier porción se dirige alejándose de la otra.” (Castillo, Ayala, Malagón, Garzón, & Garzón, 2012)

Después de analizar el esfuerzo con relación a la fuerza, se hablara del estado de *stress* como las ligaduras entre las partes del sistema o cuerpo analizado y a partir de esto Lagrange plantea el estado de *stress* basándose en el principio de equilibrio “el principio de las velocidades virtuales” relacionando el esfuerzo con las fuerzas de ligadura (este es el caso de la presión de los fluidos) “para Lagrange las presiones son las fuerzas de ligadura que se deben aplicar a una parte de los cuerpos para restablecer el equilibrio cuando, sin suprimir ninguna de las fuerzas dadas que actúan sobre esta parte, se suprimieran los obstáculos que las partes vecinas de los cuerpos oponen a su movimiento.” (Castillo, Ayala, Malagón, Garzón, & Garzón, 2012); cabe resaltar o aclarar que las ligaduras no requieren ser pensadas en términos de esfuerzo, por otra parte Dalmenico basándose en lo que dice Lagrange hace una afirmación acerca de la noción de fuerza de ligadura “es la noción que distingue más profundamente la mecánica de Lagrange, Newton y Boscovitch” para quienes los cuerpos están compuestos de partículas libres y las fuerzas que actúan entre ellas.

A partir de lo anterior se mira el *stress* desde una perspectiva de estados, en pocas palabras la relación esfuerzo – fuerza basándose en una perspectiva de estados, y ese el estado se define con relación a una cualidad; ya que el término estado se entiende la posibilidad de estar de maneras diferentes el cuerpo o fenómeno analizado en relación a la cualidad, pero ¿qué es la cualidad? La cualidad está definida por la clase de fenómeno o cuerpo estudiado. Se puede decir que la idea estado está ligada con la idea de permanencia, indiferencia y pasividad, a hora bien la

condición necesaria para que se presente interacción entre dos cuerpos o dos partes del cuerpo puestas en contacto es que se encuentren en estados diferentes.

Se puede decir que con lo dicho anteriormente el *stress* hace referencia a la cualidad, es decir, con el cualificamos la clase de estado que se analiza para referirse a las maneras de estar del cuerpo o fenómeno con relación de esta cualidad hablamos del estados de estrés, asumiendo el *stress* como un estado y el esfuerzo como la variable que identifica los diferentes estados de *stress*, es decir, que el esfuerzo tiene una variable de estado entonces no puede ser definido a partir de la fuerza por unidad de área ya que la fuerza es causa de cambio.

Posteriormente se pregunta cuándo es posible que dos partes de un cuerpo puedan ejercer una acción mutua, luego entre dos partes contiguas de un cuerpo que se encuentra en el mismo estado de *stress* no abra ninguna acción entre ellas pero si las partes se encuentran en estados diferentes de *stress* habrá equilibrio entre ellas que se evidencia en cambios de estas partes lo que permite hablar de una acción mutua, pero para saber cuáles son las diferencias de los estados de *stress* en las que se encuentra el cuerpo se puede hablar de la magnitud de las fuerzas mutuas entre las partes que están puestas en contacto sintetizando con las siguiente cita.

“Entre tanto, cabe resaltar que el termino esfuerzo se refiere a la variable que identifica los diferentes estados de *stress*. Así pues, la acción mutua entre dos partes de un cuerpo (región) está determinada solo por la diferencia de estado que hay entre ellas. Dicho por Feynman el esfuerzo puede ser definido como la fuerza interna por unidad de área. Siendo imposible considerar el esfuerzo como solo una de estas acciones (por ejemplo la presión, está asociada a dos fuerzas iguales y opuestas que actúan sobre dos caras opuestas de un cuerpo). Lo que es importante observar es que las fuerzas superficiales pueden ser normales al elemento de área en cuyo caso se denomina esfuerzo como presión o como tensión, o pueden ser tangenciales y se denominan esfuerzos cortantes, pueden actuar formando un ángulo de 0 o 90 grados. No cabe duda entonces que a partir de lo anterior se considera el esfuerzo como una magnitud con relación a un elemento de área. El área puede ser imaginaria o real para el modelo.” (Mayorga & Poveda, 2013)

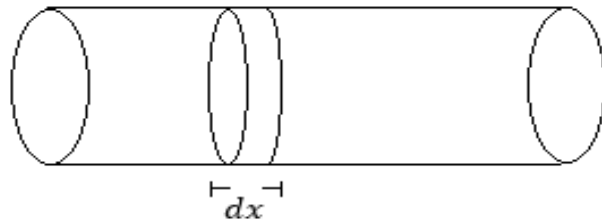
### **Ejemplo de perturbación**

Para entender un poco mejor que es la perturbacion se ejemplificara analizalizando lo que sucede en una barra de metal cuando es perturbada en uno de sus extremos, es decir, cuando se golpea

con cualquier objeto que genere una perturbacion en su interior podemos decir que se esta generando una onda elastica a lo largo de la barra, de esta manera tambien podemos comprender y analizar que es la onda elastica siendo un ejemplo analito ya que fisicamente las cosas no se pueden ver pero se puede intuir que algo sucede en la barra que va ser perturbada.

Ejemplo:

Si provocamos una perturbacion en uno de los extremos de una barra, golpeandola con un martillo, la perturbacion se propaga a lo largo de la barra y eventualmente se siente en el otro extremo. Decimos que se ha propagado una onda elastica a lo largo de la barra. Consideremos una barra. Consideremos una barra de seccion transversal uniforme.



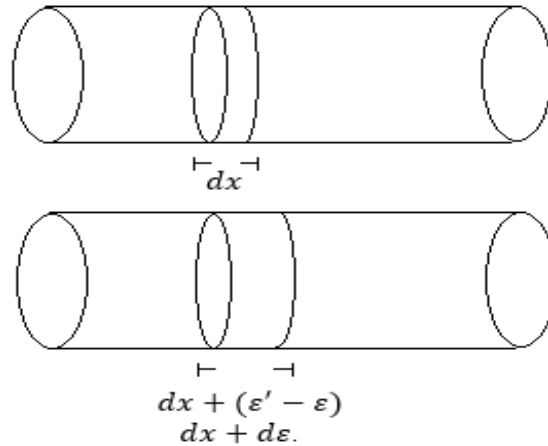
Si tomamos una seccion transversal de una barra, analizare el desplazamiento de esta seccion a lo largo de la perturbacion.

$dx$ , seccion transversal de la barra

Tendremos en cuenta el volumen de la barra, y en particular el de la seccion transversal

$dv$ , volumen inicial

$$dv = A dx$$



Entonces se supone que la perturbación implica una deformación, esta deformación implicaría que cada elemento de la barra se desplace, sacando a la barra de su posición inicial de equilibrio, a una nueva posición de tal manera que la deformación implica que hay una variación del volumen en relación con el volumen inicial, se desplaza un cierto  $\epsilon$  la superficie inicial, y la otra superficie un  $\epsilon'$ ; ahora la distancia agregada es  $dx + (\epsilon' - \epsilon)$ , es decir,  $dx + d\epsilon$ .

A hora empiezo a mirar la deformación, la cual sería:  $\text{def} = \frac{\Delta v}{v_0}$

Donde  $\epsilon' - \epsilon = d\epsilon$

Entonces digamos que la deformación sería igual a lo que vario el volumen que sería

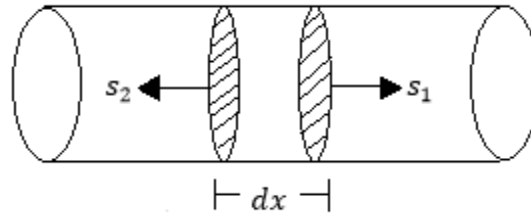
$$\text{def} = \frac{Ad\epsilon}{Adx}$$

Entonces la deformación la puedo definir como:

$$\text{def} = \frac{\delta\epsilon}{\delta x}$$

Debido que el  $\epsilon$  puede depender de otras cosas, e tamos mirando la deformación en términos de la configuración del medio, una deformación implica un cambio en la configuración del medio, es decir, variación de la configuración del medio que estamos hablando, en este caso el medio de la barra de metal que tomamos como ejemplo. Recordando que estamos analizando el volumen de la barra en la situación de equilibrio y en la situación de desequilibrio cuando es perturbada.

Para establecer una relación de causa y efecto, entonces viene siendo la deformación el efecto y la causa se asocia a una fuerza, pero en qué sentido se entiende la fuerza en este ejemplo.



Analizando el equilibrio de la barra, se están analizando unas tensiones (*stress*), el  $s_1 = s_2$

Entonces lo que tenemos es que la variación del *stress* con respecto a la variación del desplazamiento es cero en condición de equilibrio.

$$\frac{\delta s}{\delta x} = 0$$

El *stress* se debe analizar con la superficie de la región transversal que se tomó inicialmente, pero cuando la barra ya no está en equilibrio, es decir, cuando existe la deformación, puesto que son deformaciones infinitesimales, se ve una variación de *stress* con respecto al desplazamiento (sección transversal) ya no es cero es la que hace que el *stress* sea proporcional a la fuerza y va en dirección del desequilibrio.

$$\frac{\delta s}{\delta x} \neq 0$$

Esta condición hace que sea proporcional a la fuerza y van en dirección del desequilibrio, la fuerza surge de un desequilibrio del *stress* la fuerza no se puede ver como una presión o una tensión que se está realizando.

$$\delta s \propto \vec{F}$$

La fuerza va ser igual a la constante de proporcionalidad del área por el gradiente de *stress* y de desplazamiento, esta relación me permite medir la fuerza donde  $\frac{\delta s}{\delta x}$  es la perturbación, pero la fuerza surge de la diferencia del *stress*, sabiendo que el *stress* es la tensión o la presión.

$$F = A \frac{\delta s}{\delta x} dx \quad (1)$$

$$F = AdS$$

A su vez el *stress* lo puedo relacionar con el módulo de elasticidad del sistema medio por la deformación, donde  $\gamma$  es el modulo de elasticidad y  $\frac{\delta \epsilon}{\delta x}$  es la deformacion.

$$S = Y \frac{\delta \epsilon}{\delta x} \quad (2)$$

Ahora este desequilibrio es el que llamo como la perturbación, entonces esa perturbación tiene que ver con un desequilibrio de tensiones o presiones en el medio, pero para este caso sería de tensiones.

A hora lo que hago es remplazar (2) en (1)

$$F = A Y \frac{\delta}{\delta x} \left( \frac{\delta \epsilon}{\delta x} \right) dx \quad (3)$$

Donde la fuerza vendría siendo el la contante del área por el módulo de elasticidad por la segunda derivada de épsilon de  $x^2$  y esto vendría siendo el laplaciano de épsilon. La ecuación quedaría de la siguiente manera.

$$F = A Y \frac{\delta^2 \epsilon}{\delta x^2} dx = \nabla^2 \epsilon \quad (4)$$

Entonces la perturbación se expresa a través del gradiente de *stress* o a través del laplaciano de épsilon de la configuración de la barra analizada.

$$F = A Y \frac{\delta^2 \epsilon}{\delta x^2} dx \quad (5)$$

Estas deformaciones son infinitesimales, ya no se piensa en todo el cuerpo, porque cuando se piensa en la barra elástica, se piensa en un cuerpo rígido entonces por eso todo es infinitesimal, si es una barra solida se puede tomar a definición de fuerza newtoniana.

$$F = ma \quad (6)$$

Donde la aceleración es (teniendo en cuenta que el desplazamiento se dio en términos de épsilon):

$$a = \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta t^2}$$

Y la masa es:

$$\rho dV \rightarrow dV = Adx$$

Pensando en el elemento no deformado, remplazo la masa y la aceleración en (6)

$$\rho Adx \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta t^2} = F \quad (7)$$

Ahora remplazo (1) en (7) me quedaría que:

$$\rho Adx \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta t^2} = AY \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta x^2} dx$$

$$\rho \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta t^2} = Y \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta x^2}$$

Entonces la ecuación de movimiento quedaría

$$\frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta t^2} = \frac{Y}{\rho} \frac{\delta^2 \varepsilon}{\delta x^2}$$

A hora ese módulo de Young (que hace referencia a la constante de elasticidad para nuestro ejemplo), sobre la densidad del medio, es lo que me establece la velocidad de propagación del pulso.

$$\frac{Y}{\rho} = C^2$$

Poniendo de presente que la velocidad de propagación del pulso, depende de las propiedades mecánicas del sistema, es decir, que la velocidad de propagación depende de las propiedades elásticas e inerciales del medio. Donde se puede concluir que la velocidad de propagación de una onda mecánica depende de las propiedades del medio y dependiendo las características del medio continuo, entonces el tipo de *stress* varía.

A partir del análisis de la perturbación y entendiéndolo mediante el ejemplo de la barra, se puede decir cuando uno mira todo el problema del *stress* del medio y las variaciones del *stress* del medio, estas están vinculadas a las variaciones de la configuración, pero una variación del *stress* del medio, es decir, un desequilibrio del *stress* del medio implica una perturbación, se podría decir que esta acoplada ese desequilibrio que es la perturbación que se refiere a ese desequilibrio del *stress*, está vinculado con una deformación del medio, pero el tipo de deformación y la magnitud de la deformación están vinculadas con una propiedad elástica del medio. Una vez esta ese desequilibrio esta perturbación produce una variación local de la configuración del medio y la intensidad temporal de eso depende del medio y del desequilibrio, pero la intensidad con que se de esa variación de la configuración también depende de otra propiedad del medio que es la densidad.

Estos nos hace pensar, que no se puede hablar por separado la deformación del medio sin tener en cuenta las propiedades del medio y tampoco se puede pensar cómo es que varía esa deformación si no se tiene en cuenta la densidad del medio, separado del desequilibrio, es decir, que todo está acoplado.

En el ejemplo del libro (Alonso & Finn, 1970) todo está pensado en términos de fuerzas este ejemplo se quiso analizar en términos del *stress* y la perturbación como una explicación de este.

## **El origen de la interdisciplinariedad**

La interdisciplinariedad entendida como movimiento académico e intelectual se desarrolló en los últimos años y es un tema vigente en la academia, pese a que se trata de un fenómeno que surgió a partir de los cuestionamientos filosóficos de la ciencia del siglo XX.

En cierta medida la interdisciplinariedad no es un concepto tan actual porque sin ser nombrado hubieron filósofos y científicos que trataron de unificar las ciencias como por ejemplo Platón; quizás él es uno de los primeros intelectuales que plantea la unificación de las ciencias

cuando propone que la filosofía se debería desempeñar en el trívium (gramática, retórica y dialéctica) junto con el cuadrivium ( aritmética, geometría, astronomía y música), para este filósofo estas eran las ciencias más importantes y debían ser agrupadas de esa manera, esto nos da una idea de cómo él quería unificarlas, y de esta manera se puede decir que se quería buscar una interdisciplinariedad. Este es uno de los muchos ejemplos que se pueden buscar e encontrar de cómo se habla o trata de hablar de interdisciplinariedad desde la antigüedad.

Así surge la idea de interdisciplinariedad, la cual no se centra en una sola ciencia, sino que plantea que varias disciplinas, que pueden colaborar mutuamente para que se produzca desarrollo científico y en general la construcción de conocimiento, que a su vez sirve como una estrategia pedagógica. El fin de la interdisciplinariedad consiste en la superación de la fragmentación del conocimiento, todo esto se ha producido debido a la fragmentación de las forma de abordar el conocimiento. La interdisciplinariedad tiene la ambición y el objetivo de integrar los saberes para dar una nueva mirada epistemológica al conocimiento. “El tema de la interdisciplinariedad nació de constatar que la aproximación al mundo a través de una disciplina particular era sesgada y generalmente demasiado limitada... cada vez más se admitió que, para estudiar una determinada cuestión de la vida cotidiana son precisas múltiples aproximaciones.” (Fourez, 2006, pág. 98)

Así pues la interdisciplinariedad no se presenta como una opción sino como una necesidad, en este mundo contemporáneo existen investigaciones en el área de la ciencia y la tecnología que no pueden ser tratadas desde una sola perspectiva, sino que deben ser analizados por varias disciplinas, sean estas económicas, administrativas, sociales, culturales, científicas etc. La construcción del conocimiento debe darse mediante la mutua colaboración y retroalimentación de los varios saberes, evitando caer en reduccionismos que se han mostrado infértiles a la hora de explicar fenómenos sumamente complejos desde una sola disciplina.

No se puede agotar el objeto de estudio, saber todo acerca de él. El conocimiento se encuentra en continua construcción. La interdisciplinariedad entonces no surgió por azar o casualidad, sino que respondía a unas necesidades por buscar una forma de conocer que fuera mucho más amplia e integral. Sin embargo esto no significa que la interdisciplinariedad suponga una negación o enfrentamiento contra la especialización, sino más bien todo lo contrario como veremos a continuación.

Muchos autores definen a la interdisciplinariedad como una sola pero existen otros conceptos que de igual manera, me permiten la unificación en las ciencias, disciplinas o áreas del conocimiento

### **Interdisciplinariedad y otras**

Como ya se nombró anteriormente la interdisciplinariedad, es la unificación de las disciplinas, ciencias o áreas de conocimiento, pero para entender un poco mejor primero hablaremos de que es la disciplina.

### **Disciplina**

Una disciplina, es una manera ordenada y sistemática de hacer las cosas referentes a un tema o concepto, siguiendo un conjunto de reglas, que por lo general actúan sobre ese concepto o actividad “una disciplina es una manera de organizar y delimitar un territorio de trabajo, de concentrar la investigación y las experiencias dentro de terminado ángulo de visión. De ahí que cada disciplina nos ofrezca una imagen particular de la realidad, o sea, de aquella parte que entra en el ángulo de su objetivo” (Torres J. , 1998, pág. 58)

### **Interdisciplinariedad**

Implica la interacción de varias disciplinas, entendida como un dialogo y colaboración entre estas, para generar un conocimiento mucho más fuerte y completo. En pocas palabras se puede decir que la interdisciplinariedad es:

Es fundamentalmente un proceso y una filosofía de trabajo que se pone en la acción a la hora de enfrentarse a los problemas y cuestiones que preocupan en cada sociedad. Aunque no existe un único proceso, ni mucho menos una línea rígida de acciones a seguir, si existen algunos pasos que, con flexibilidad, suelen estar presentes en cualquier intervención interdisciplinar. (Torres J. , 1998, pág. 67)

Edgar Morin dice: que la interdisciplinariedad no puede definirse, ya que tanto la polidisciplinariedad como la transdisciplinariedad son términos polisémicos y vagos. “La interdisciplinariedad puede significar pura y simple mente que diferentes disciplinas se coloquen en una misma mesa, en una misma asamblea, como las diferentes naciones se reúnen en la ONU sin poder hacer otra cosa que afirmar cada una sus propios derechos

nacionales y su propia soberanía con respecto a las intromisiones del vecino... pero la interdisciplinariedad puede significar también intercambio y cooperación, lo cual hace que ella resulte algo orgánico. (Morin , 1994)

### **Multidisciplinariedad**

Es una mezcla no-integradora de varias disciplinas, en la que cada una conserva sus métodos y suposiciones sin cambio o desarrollo de otras disciplinas, esta expresa un nivel más bajo de organización y coordinación, es decir que la interacción de disciplinas sería de una manera reducida. Su diferencia con la interdisciplinariedad, porque la relación multidisciplinar actúa con las disciplinas de una manera mutua pero no interactiva, mientras que interdisciplinariedad mezcla las prácticas de las disciplinas que actúan bajo una misma actividad

### **Pluridisciplinariedad**

Es la utilización de disciplinas cercanas, es decir, en un mismo sector del conocimiento; esta es una relación de intercambio de conocimiento o informaciones que suele ser una acumulación de ellos. Implica colaboración entre disciplinas, sin relación; normalmente se da entre áreas del conocimiento compatibles entre sí, y de un mismo nivel subordinado.

(Torres J. , 1998), por su parte, la define como la unión no-integrativa de dos o más disciplinas, más o menos cercanas y por lo general dentro de un campo de conocimientos, que conservan sus métodos y modelos propios, como ocurre en la multidisciplinariedad, pero en la que se busca mejorar la relación entre ellas.

### **Transdisciplinariedad**

Es una forma superior de la articulación de las disciplinas, donde se genera la elaboración de nuevos sistemas teóricos, esta posibilita la integración de procesos de conocimientos específicos de una disciplina. En pocas palabras es un método para relacionar el conocimiento; la investigación transdisciplinar se coloca hacia los aspectos del mundo, sobre todo los que tienen origen y relevancia sólo en el debate científico. “La Transdisciplina es una forma de organización de los conocimientos que trascienden las disciplinas de una forma radical. Se ha entendido la transdisciplina haciendo énfasis a) en lo que está entre las disciplinas, b) en lo que las atraviesa a todas, y c) en lo que está más allá de ellas.” (Morin , 1994)

