

**CONSTRUCCIÓN DE UN DEOMS PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE
ONDA MECÁNICA A TRAVÉS DE LOS FENÓMENOS SÍSMICOS Y VIBRATORIOS**

DIDER STIVEN FIGUEREDO RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EN FÍSICA
BOGOTÁ, COLOMBIA
2020**

Construcción de un DEOMS para la enseñanza del concepto de onda mecánica a través de los fenómenos sísmicos y vibratorios

Didier Stiven Figueredo Rodríguez

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
LICENCIADO EN FÍSICA**

**Director:
Giovanny Sierra Vargas**

**Línea de Investigación 1
Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural**

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Física
Bogotá, Colombia
2020**

Para: María Lilia Vega (Rosa) & Agustín Figueredo (Q.E.P.D)

Gracias a mi familia por su apoyo durante mi formación académica, en especial a mis padres por el esfuerzo tan grande que hicieron para poder realizar mis estudios, a mi compañera de vida por su apoyo incondicional, a mi primo Christian por su colaboración en uno de los procesos del desarrollo del trabajo, a la profesora Clara Chaparro por su amistad, sus conocimientos y sus aportes durante mi formación académica y profesional, por último, agradezco a mi asesor el profesor Giovanni Sierra Vargas por sus aportes, su conocimiento y su interés en el desarrollo de mi trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. ANTECEDENTES	5
6. METODOLOGÍA	7
7. MARCO TEORICO	10
7.1. MECÁNICA ONDULATORIA	10
7.1.1. Inicios del concepto de onda	10
7.1.2. Onda mecánica	12
7.1.2.1. Propiedades características de las ondas	14
7.1.3. Ecuación de onda	17
7.2. SISMOLOGÍA	20
7.2.1. Inicios de la sismología	20
7.2.2. Inicios del estudio sísmico en Colombia	22
7.2.3. Estructura interna de la Tierra	23
7.2.3.1. Capas definidas por su composición	23
7.2.3.2. Capas definidas por sus propiedades físicas	24
7.2.3.3. Onda sísmica y la estructura de la Tierra	25
7.2.4. Teoría de placas tectónicas	27
7.2.4.1. Bordes	28
7.2.4.2. Fallas	28
7.2.5. Generalidades de los sismos	29
7.2.5.1. ¿Qué es un sismo?	29
7.2.5.2. ¿Cómo se generan los sismos?	29
7.2.5.3. ¿Qué se mide en los sismos?	30
7.2.6. Onda sísmica y propagación de onda sísmica	31
7.2.6.1. Ondas internas	32
7.2.6.2. Ondas superficiales	32

7.2.7. Microsismos y microtemores	33
7.2.8. Análisis físico y teoría del rebote elástico	34
7.2.9. El sismógrafo	35
7.2.9.1. El sismógrafo de Wiechert	36
7.2.9.2. Sismograma	38
8. D.E.O.M.S	39
8.1. Importancia del uso de dispositivos en la enseñanza de la física	39
8.2. Construcción del D.E.O.M.S	40
8.2.1. Proceso de construcción	41
8.2.2. Funcionamiento	44
8.2.3. Proceso de calibración	45
8.3. Guía de uso del D.E.O.M.S	48
9. CONCLUSIONES	50
 BIBLIOGRAFÍA	 51
 ANEXOS	 55
Anexo n°1 Esquema de construcción del DEOMS	55
Anexo n°2 Costos	60
Anexo n°3 Estructura de Calibración	61
Anexo n°4 Registros y análisis	63
Anexo n°5 Guía de uso del DEOMS	66

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Experimento Robert Boyle	10
Imagen 2. El principio de Huygens, tal como se ilustra en el <i>Traité de la lumière</i>	12
Imagen 3. Onda Transversal en un resorte	13
Imagen 4. Onda Longitudinal en un resorte	14
Imagen 5. Representación gráfica de ondas transversales periódicas y características	14
Imagen 6. Onda Reflejada	15
Imagen 7. Refracción de onda	16
Imagen 8-a Interferencia constructiva, 8-b Interferencia destructiva	16
Imagen 9. Difracción de onda	17
Imagen 10. Contraste de registros de movimiento ondulatorio.....	17
Imagen 11. Pintura de Namazu	20
Imagen 12. Pangea	21
Imagen 13. Estructura interna de la tierra	23
Imagen 14. Estructura interna de la tierra por composición	25
Imagen 15. Dirección de propagación si la tierra fuera homogénea	25
Imagen 16. Trayectoria de las ondas donde la velocidad aumenta con la profundidad	26
Imagen 17. Posible trayectoria de los rayos sísmicos a través de la tierra	26
Imagen 18. Mapa placas tectónicas	27
Imagen 19. Hipocentro & Epicentro de un Terremoto	29
Imagen 20. Ondas P & Ondas S	32
Imagen 21. Ondas Love & Ondas Rayleigh	32
Imagen 22. Proceso de rebote elástico	35
Imagen 23. Sismógrafo	36
Imagen 24. Partes del sismógrafo horizontal	37
Imagen 25. Sismógrafo Horizontal Estático de Wiechert	38
Imagen 26. Sismograma	38
Imagen 27. Sismógrafo de Wiechert (Prototipo)	40
Imagen 28. Materiales del DEOMS	41
Imagen 29. Base que actúa como péndulo vertical	42

Imagen 30. Estructura en madera	42
Imagen 31. Estructura con el péndulo	43
Imagen 32. Estructura del péndulo invertido amortiguado con resortes	43
Imagen 33. D.E.O.M.S	44
Imagen 34. Estructura con la mesa simulador y cabina de sonido	47

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo de investigación se diseñó un dispositivo que sirvió como mediador para realizar una aproximación al concepto de Onda Mecánica estudiándolo a partir de un fenómeno natural, de modo que los estudiantes podrán identificar y caracterizar los fenómenos sísmicos, permitiéndoles así interpretar y describir de manera clara este fenómeno. Cuando se habla de dispositivo, se hace referencia a un sismógrafo mecánico que funciona a la base de un péndulo invertido y se menciona así para evitar que se pueda confundir con un montaje experimental o con una máquina, teniendo en cuenta que este se usará para explicar de forma práctica y útil algunos conceptos de mecánica ondulatoria. Este dispositivo tendrá por nombre D.E.O.M.S (Dispositivo para la Enseñanza de Ondas Mecánicas a partir de Sismos).

El DEOMS permite estudiar algunas características (amplitud, longitud de onda, frecuencia) físicas de los sismos, para este caso en específico, se centra en los temblores, microtemblores o microvibraciones, el dispositivo se hace relevante debido a que la zona andina de Colombia se encuentra posicionada geográficamente en el cinturón de fuego del pacífico, una zona de alta actividad sísmica y volcánica; en este orden de ideas es pertinente realizar un estudio y una interpretación de los fenómenos sísmicos que están presente en nuestra sociedad y que históricamente ha dejado graves consecuencias, para este caso, el estudio de los fenómenos sísmicos se realiza con el fin de presentar una contextualización de la onda mecánica.

Debido a la gran importancia de estudiar fenómenos naturales y sabiendo que nuestro país es afectado por la mayoría de estos, es primordial generar estrategias de enseñanza donde los jóvenes fortalezcan las capacidades de análisis como lo plantea (Alonso, 2003), *“Un objetivo general de la enseñanza de las ciencias debe ser estimular en los alumnos un espíritu crítico y desarrollar su capacidad de observación y análisis.”*, para esto se hace necesario que el docente más que un informador sea un acompañador para los estudiantes en este proceso de aprendizaje.

Este trabajo se divide en 9 ítems, los ítems del 2 al 6 se encuentra la contextualización del problema de investigación, metodología y antecedentes, en el ítem 7 se encuentra el desarrollo del marco teórico que se encuentra dividido en dos secciones, la primera sección se encuentra

lo relacionado al estudio de la mecánica ondulatoria y en la segunda sección se encuentra lo relacionado al estudio de la sismología, en el ítem 8 se encuentra el desarrollo de la investigación es decir se encuentra lo relacionado con la construcción del DEOMS y la guía de uso, finalmente en el ítem 9 se encuentra las conclusiones del trabajo de investigación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad sísmica del territorio colombiano se encuentra relacionada con la zona de subducción del pacífico y las fallas geológicas activas del país, una de las principales zonas de actividad sísmica es el “Nido sísmico de Bucaramanga” en el departamento de Santander¹, por otra parte, la ciudad de Bogotá está expuesta a la actividad sísmica debido a los diversos sistemas de fallas geológicas activas, como la falla frontal de la cordillera oriental² o las fallas de Usme, Honda e Ibagué (IDIGER, 2019), además de esto, Bogotá al ser una ciudad densamente poblada y debido a su escasa planificación urbana trajo algunas consecuencias como la existencia de diversidad de construcciones, de las cuales muy pocas cumplen con las normas del código de construcciones sismo-resistentes de 1984 (Alarcón, 1997). Sumado a lo dicho anteriormente, se puede establecer que los sismos, los temblores o microtemblores³ llaman la atención de las personas y en especial de los estudiantes, que en muchos de los casos desean poder comprender como suceden, y lo que encuentran son ideas vagas e incluso ideas sin fundamentos que no se acercan con la realidad de estos fenómenos como por ejemplo que Bogotá se encuentra sobre un volcán dormido y debido a esto ocurren los temblores. Ahora bien, la enseñanza de las ciencias debería permitirnos a nosotros como docentes llevar al aula una serie de herramientas de enseñanza-aprendizaje donde los estudiantes interactúen y tengan cercanía con fenómenos de la naturaleza y que esto les permita tener una explicación concreta y argumentada de los fenómenos de los cuales hace parte.

¹ Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (11 de 12 de 2019). *Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático* <https://www.idiger.gov.co/rsismico>

² La falla frontal de la cordillera oriental es compuesta por la falla Guaicáramo y la falla Algeciras, además esta representa la mayor contribución a la amenaza sísmica de Bogotá. IDIGER (2019).

³ El microtemblor es una vibración ambiental de baja amplitud del suelo causada por perturbaciones atmosféricas o artificiales. Tomado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Microtemblor>

“... asumir al estudiante no como un sujeto aislado y sin historia sino como un sujeto inmerso en un contexto socio-cultural que lo define, en consecuencia, se concibe al estudiante como un individuo que tiene un conocimiento previo (formas de ver, de valorar, y de actuar) que le ha permitido, y de hecho le permite, pensar y vivir en el mundo” (Ayala, Malagón, & Guerrero, 2004).

A partir de lo planteado por Ayala, Malagón & Guerrero, 2004, es importante realizar una aproximación de conceptos físicos que están involucrados en los fenómenos sísmicos de modo que permita a los estudiantes mejorar la forma de explicar cómo y por qué suceden estos fenómenos sin dejar de lado que ellos traen consigo unas ideas previas al respecto.

Es por las anteriores razones que se hace necesario incluir y construir un dispositivo que sirva como mediador a los estudiantes para facilitar la comprensión y la descripción de los conceptos de mecánica ondulatoria y a su vez tengan una cercanía con el manejo de dispositivos y logre enriquecer los procesos de aprendizaje. En este sentido el uso de recursos como el dispositivo cumplirán una función mediadora dentro del proceso formativo, entre la intencionalidad educativa y el proceso de aprendizaje (González, 2014).

Con todo lo planteado anteriormente surge la siguiente pregunta problema que se desarrollará a lo largo de la investigación: ¿Cómo poder describir y relacionar a través de los fenómenos sísmicos y vibratorios el concepto de Onda Mecánica a partir de un DEOMS?

3. OBJETIVOS:

3.1. Objetivo General

Construir un DEOMS que permita caracterizar variables de las ondas mecánicas como amplitud, frecuencia, potencia y longitud de onda.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar las variables físicas que pueden estar presentes durante la actividad vibratoria como amplitud, frecuencia, potencia entre otras.
- Revisar referentes teóricos acerca de la mecánica ondulatoria, los sismos, vibraciones y el papel del uso de instrumentos en la enseñanza de la física.
- Desarrollar una guía para el uso del DEOMS

4. JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia se han presentado una serie de sismos que han afectado al territorio colombiano y que han sido de gran magnitud dejando graves consecuencias como los sismos ocurridos en marzo del año 1983 con epicentro Popayán y en enero de 1999 con epicentro en Quindío, ocasionando miles de muertos y heridos en diferentes ciudades del país, convirtiéndolo en una zona amenazada por este fenómeno natural (AIS, 2009). Por otra parte, la ciudad de Bogotá se encuentra expuesta a actividad sísmica generada por los diversos sistemas de fallas geológicas activas existentes en el país, además por contar con el terminal aéreo dentro de la ciudad afectando a las localidades de Fontibón, Engativá y el municipio de Funza por las fuertes vibraciones que los aviones generan al despegar o al aterrizar.

Estas son algunas de las razones por las que (Alarcón, 1997) menciona que *“Colombia está localizada en un ambiente sismo-tectónico de gran actividad caracterizado por la frecuente ocurrencia de fenómenos naturales como deslizamientos, sismos y erupciones volcánicas. Debido a la vulnerabilidad a la cual está expuesta la mayoría de nuestra población, todos estos fenómenos se constituyen en amenazas permanentes.”*

Ahora bien, teniendo en cuenta la relación que existe entre la geología y la Física es importante retomar lo planteado por (Anguita, 1994) *“Las ciencias de la tierra significan integrar en profundidad la geología con otras ciencias y especialmente con la física; y a través de ello, obtener una mayor capacidad de comprender el fondo de la tierra en sus procesos”*, ya que esto abre las puertas para hablar de la interdisciplinariedad entre la enseñanza de la física y las geociencias, con esto entonces se hace necesario generar estrategias que permitan mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias en especial de la física.

En este sentido es pertinente realizar la investigación ya que los sismos son un fenómeno del cual hacemos parte, en primer lugar, se debe decir que estos son fenómenos ondulatorios que se dan en la corteza terrestre por una liberación de energía, esta energía se libera en todas las direcciones desde su origen en forma de ondas (Tarbuck & Lutgens, 2005), estas presentan una serie de variables que permiten caracterizarlo, es decir, identificar su

magnitud y su intensidad, para la identificación de estas existen dos escalas comúnmente usadas, la escala de Richter y la escala de Mercalli (Inpres, 2018), donde la primera es la escala que permite cuantificar la cantidad de energía liberada y además es usada para evaluar y comparar la intensidad de los sismos, la segunda permite medir la intensidad de los sismos pero a diferencia de la primera esta se encarga de evaluar los efectos y daños causados a diferentes estructuras.

En segundo lugar, con el DEOMS ya construido, se espera que el docente, el docente en formación o cualquier otra persona interesada en enseñar la temáticas propuestas, haga uso de este en el aula de clases y que el dispositivo sea un mediador para los estudiantes en la comprensión de conceptos introductorios a los fenómenos sísmicos y conceptos ondulatorios, y por ende logren describir e identificar las variables y algunos conceptos físicos de estos fenómenos como lo son onda mecánica, frecuencia y amplitud, entre otros, como lo plantea (Riveros, 2004) “..., *familiarizarse con instrumentos, enseña el manejo de datos experimentales, aclara conceptos, verifica leyes o las induce y es por tanto el lugar ideal para aprender a utilizar sus conocimientos en situaciones reales.*”.

Con la realización de la guía para el uso del dispositivo se quiere que los docentes, docentes en formación o cualquier persona interesada en enseñar las temáticas propuestas puedan hacer uso del dispositivo en el aula y esto les permita facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje de los conceptos de la mecánica ondulatoria y además que surja en los estudiantes un interés de estudiar fenómenos naturales y que por medio de la física puedan llegar a explicar de manera concreta y argumentada estos fenómenos.

5. ANTECEDENTES

En el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional se encuentran los siguientes trabajos dan una orientación y herramientas al desarrollo de este trabajo de investigación.

- “Unidad didáctica para el estudio de eventos sísmicos y sus efectos en la superficie terrestre” (Sánchez Galindo, 2017), en este trabajo se tiene como objetivo general diseñar una unidad didáctica que explique los eventos sísmicos y sus efectos en

la superficie terrestre desde la definición del fenómeno y de la elaboración de un plan de prevención de desastres.

Este trabajo le aporta al trabajo de investigación una aproximación a los eventos sísmicos y sus efectos en la superficie terrestre, teniendo en cuenta que la investigación estará enfocada al estudio de los fenómenos sísmicos desde la estructura interna de la tierra, además sirve para direccionar la construcción de la guía de uso.

- “Análisis gráfico y numérico en la interpretación de una señal sismológica: temáticas de la física de ondas implicadas en un sismo” (Mayorga López & Poveda Matallana, 2013), en este trabajo tiene como objetivo general realizar análisis gráficos y numéricos a señales sismológicas a partir de herramientas físicas y matemáticas, para evidenciar temáticas de la física de ondas implicadas en un sismo, donde se realiza una descripción general de las ondas en el campo de la sismología, además realizan un análisis numérico y gráfico a las señales sismológicas a partir del análisis de Fourier.

Este trabajo aporta a la investigación una manera de analizar las señales sismológicas, teniendo en cuenta que se desarrollará un dispositivo que servirá como herramienta para la explicación de conceptos que están a la base de los fenómenos ondulatorios y que a su vez hacen parte del estudio de los fenómenos sísmicos.

- “Unidad didáctica para facilitar la comprensión de la propagación de ondas sísmicas” (Huertas Sánchez, 2017), este trabajo tiene como objetivo general construir una unidad didáctica para facilitar la comprensión de fenómenos asociados a la propagación de ondas mecánicas en el subsuelo, orientada a estudiantes de educación media,

Este trabajo le aporta a la investigación estrategias para la construcción de la guía de uso y además da nociones sobre como poder realizar una explicación de unos conceptos que se encuentra en los fenómenos sísmicos.

Por otra parte, un trabajo que puede aportar a la investigación es la siguiente tesis de maestría de la Universidad Nacional.

- “Fenómenos ondulatorios en los sismos: Una estrategia de aula para estudiantes de grado sexto orientada a descubrir cómo se minimizan los riesgos” (Oliveros Marín, 2016), este trabajo tiene como objetivo general diseñar e implementar una estrategia de

aula basada en prácticas demostrativas que ilustren los conceptos de ondas y su aplicación en la descripción de sismos.

Este trabajo le aporta un punto de vista estratégico desde el cual se puede llegar a abordar los conceptos físicos y sismológicos que se esperan desarrollar durante la investigación y además como desarrollar una estrategia enseñanza.

6. METODOLOGÍA

Cuando se habla sobre metodología de investigación, se refiere a una serie de pasos o procesos que se siguen cuando se quiere conocer sobre un nuevo tema o, en otras palabras, como lo plantea (Quintana, 2016), *“La tarea de investigar es una actividad sistémica que el hombre cumple con el propósito de incorporar nuevos contenidos sobre una materia, o, simplemente, con la finalidad de indagar sobre un tema que desconoce”*. Por otra parte, cuando se habla sobre investigación científica Sampieri (2014) dice que, *“La investigación científica se concibe como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno; es dinámica cambiante y evolutiva.”*

Este trabajo de investigación está enmarcado en la metodología cualitativa de tipo de fenomenológica-descriptiva, Husserl considera la fenomenología trascendental o descriptiva como la *“Ciencia de la esencia de la conciencia”* centrando esta definición en la intencionalidad y el significado de las experiencias vividas desde el punto de vista de la primera persona⁴, de acuerdo a esto la metodología elegida tiene como intención *“comprender los fenómenos en sus propios términos para proporcionar una descripción de la experiencia tal como es experimentada por la misma persona”* (Laza, Pulido & Castiblanco, 2012).

En este sentido, y partiendo de qué es una metodología cualitativa, se debe tener en cuenta que está en especial, se enfoca en comprender los fenómenos a partir de las experiencias y relaciones de los individuos con su entorno, como lo plantea (Sampieri, 2014) *“la investigación cualitativa se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto”*, a partir de esto (Sampieri, 2014) propone los siguientes pasos a seguir en el desarrollo de la

⁴ Husserl E. Logical investigations. New York: Humanities Press, 1970.

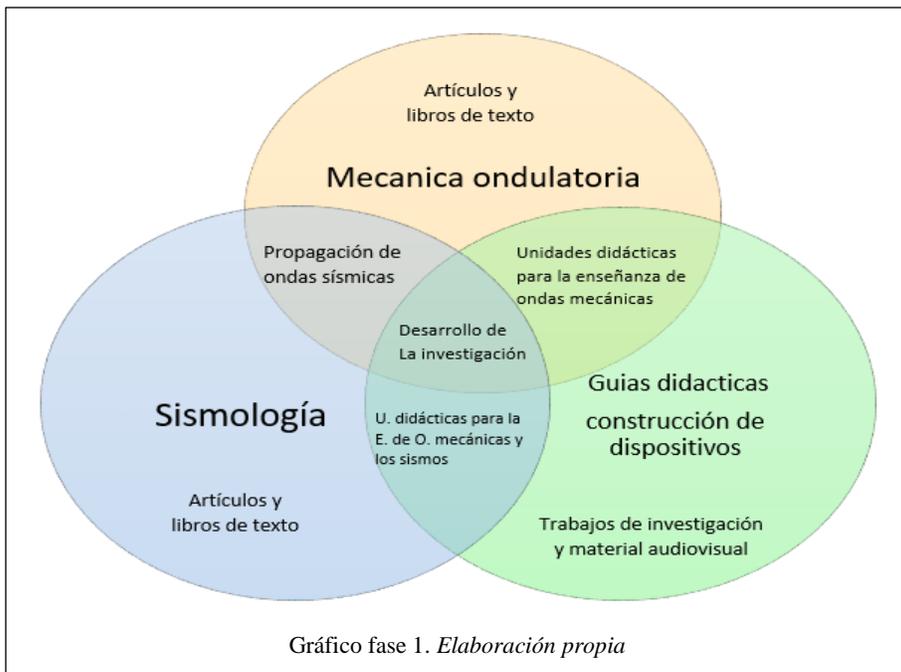
metodología fenomenológica, “Primero, se identifica el fenómeno y luego se recopilan datos de las personas que lo han experimentado, para finalmente desarrollar una descripción compartida de la esencia de la experiencia para todos los participantes —lo que vivenciaron y de qué forma lo hicieron—”, ahora teniendo en cuenta que este trabajo está centrado en un fenómeno natural específico y se desarrolla en época de pandemia se realizó mediante las siguientes fases.

- **Fase 1 – Búsqueda y Recolección de fuentes bibliográficas**

Primero se realizó una búsqueda y recolección de fuentes bibliográficas en relación a la sismología, la mecánica ondulatoria, propuestas de enseñanza y/o unidades didácticas y construcción de dispositivos, estas fuentes se clasifican en primarias, secundarias y terciarias.

Como fuentes primarias se tienen artículos de revistas científicas y universitarias y trabajos de investigación a nivel de pregrado y posgrado, esta búsqueda se realizó de acuerdo a las temáticas pertinentes para el desarrollo de la investigación y los referentes teóricos propuestos.

Como fuentes secundarias se tienen libros de texto donde se realiza una presentación sistemática de los temas y que permiten tener un primer contacto introductorio a los temas propuestos en la investigación.



Como fuentes terciarias se tienen materiales de tipo audiovisual que permiten identificar algunas propuestas para la construcción del DEOMS y clarificar algunos conceptos sobre la sismología.

- **Fase 2 – Selección y Análisis de información**

Luego de haber realizado la recolección de la información se procedió a dar lectura y seleccionar los documentos más importantes y que darían un gran aporte al trabajo de investigación, teniendo en cuenta que se encontraron diversos documentos pero que no aportaban en nada al trabajo, esta selección de documentos se realizó a partir de su contenido, que permitieran clarificar conceptos en relación con el desarrollo de la investigación, mirar la posible construcción de dispositivo y construcción de guía para el uso del dispositivo.

El análisis de los documentos se realizó teniendo en cuenta los referentes teóricos propuestos y los posibles aportes que estos documentos podrían aportar al trabajo de investigación tanto a nivel conceptual como en el diseño y elaboración de guías o unidades didácticas. El desarrollo de estas dos primeras fases permitió la construcción del marco teórico de la investigación como se puede evidenciar en la sección 7 del documento.

- **Fase 3 – Construcción de DEOMS**

Se construye DEOMS con materiales de fácil acceso y de bajo costo que permitirá encontrar una relación con el concepto de onda mecánica y algunas variables presentes en la actividad sísmica como velocidad, longitud de onda, entre otros, esto con el fin de facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto de onda mecánica, en conclusión el DEOMS no se hace por capricho sino que por el contrario este servirá como mediador tanto para los docentes en el sentido de que facilitara el proceso de enseñanza del concepto de onda mecánica, y para los estudiantes en el sentido que los acercará a la comprensión de los fenómenos sísmicos y más aún podrán evidenciar y relacionar los sismogramas con el concepto de onda mecánica y otras variables. El desarrollo de esta fase se podrá evidenciar en la sección 8 del documento.

- **Fase 4 – Construcción de guía de uso**

Finalmente, se construye la guía de uso del dispositivo, de acuerdo a los criterios propuestos por (Sanmartí, 2000), teniendo en cuenta que esta será la herramienta de apoyo del docente y que facilitará el proceso de enseñanza del concepto de onda mecánica. El desarrollo de esta última fase se podrá evidenciar en la sección 8, numeral 8.3 del documento.

7. MARCO TEÓRICO

En este trabajo de investigación el marco teórico estará orientado por dos componentes disciplinares y un componente pedagógico aportando a la construcción del proceso de enseñanza-aprendizaje de la mecánica ondulatoria y los fenómenos sísmicos.

7.1 Mecánica Ondulatoria

Para hablar de mecánica ondulatoria es necesario en primer lugar realizar un breve recorrido histórico sobre el concepto Onda, en segundo lugar, dar una mirada a la importancia de las ondas mecánicas; teniendo en cuenta las características físicas que presentan los sismos, llegar a la ecuación de la onda ya que esta permite describir el movimiento ondulatorio, como vibraciones generadas por los terremotos, entre otras cosas.

7.1.1 Inicios del Concepto de Onda

El conocimiento actual que se tiene sobre el movimiento ondulatorio se debe principalmente al estudio de la acústica y de la óptica, antiguamente los filósofos griegos estaban interesados en el estudio de la música y existía una hipótesis que entre las ondas y el sonido había una conexión y que las vibraciones eran las responsables de producir los sonidos (Valencia, 2017).

Pitágoras observó que cuando los hilos vibraban, producían sonidos, determinando

una relación matemática entre las longitudes de los hilos y los tonos producidos (García, 2012). Sobre el siglo XVII las teorías sobre la propagación de las ondas tomaron gran importancia cuando Galileo Galilei con sus experimentos encontró los principios básicos del Movimiento Armónico Simple (García, 2012), luego Robert Boyle en 1660 (Imagen 1) con un



Imagen 1. Experimento Robert Boyle

Recuperada de: <http://www.editorialkapelusz.com/wp-content/uploads/2018/01/CAP-MODELO-AVANZA-NATURALES-5-FED.pdf>

experimento probo que el sonido no puede viajar a través del vacío, (Gribbin, 2005). Con lo cual se supone que necesariamente debe propagarse por un medio, en este caso el aire, y además debe ser en forma de onda. En 1687 Isaac Newton publica la teoría del sonido⁵ en su libro *philosophiae naturalis principia mathematica*, donde expone cómo la propagación del sonido a través de cualquier fluido depende únicamente de las propiedades físicas del propio fluido, tales como la elasticidad y la densidad del mismo.

Posteriormente, en el siglo XVIII, el físico y matemático Jean Le Rond D'Alembert deriva la ecuación de la onda, encontrando una descripción matemática general de las ondas (Campo, 2014), esta ecuación constituye una base para los científicos que se dedicaron a estudiar y describir los fenómenos ondulatorios.

$$\text{Ecuación de d'Alembert}^6 \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

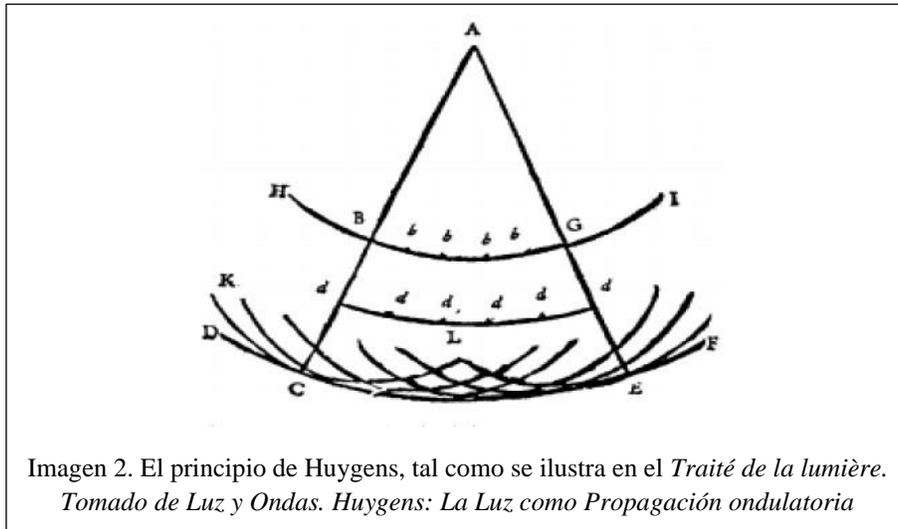
El Físico Holandés Christiaan Huygens elabora una teoría ondulatoria acerca de la naturaleza de la luz que con el tiempo sería rival con la teoría corpuscular de Newton (Laserna, 2015), según la teoría ondulatoria de Huygens, la luz se propagaba por impulsos irregulares (y no por oscilaciones regulares), unos movimientos esféricos que se transmitían alcanzando una cierta autonomía desde la perturbación inicial (Pimentel, 2015), en este sentido el principio de Huygens⁷ establece “Que si conocemos como es el frente de la perturbación en un momento dado, podremos determinarlo con exactitud en cualquier instante posterior (ver imagen 2)”.

⁵ Para profundizar sobre la teoría del sonido de Newton, ver “*philosophiae naturalis principia mathematica, sección VII, Proposición XLVIII. Teorema XXXVIII*”.

⁶ A esta ecuación se le conoce como la ecuación de onda o la Ecuación de D'Alembert.

Para ver el desarrollo, se recomienda revisar “*Ecuación de D'Alambert, de la cuerda vibrante, bajo la teoría de Lie*”. Campo, L. 2014. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

⁷ Para profundizar sobre el principio de Huygens, ver “*Luz y Ondas. Huygens: La Luz como Propagación ondulatoria*”. Blanco, D. 2015.



Finalmente, es importante mencionar que en un principio se pensaba que para que fuera posible la propagación de las ondas debía existir un medio material que hiciera soporte de las mismas, en otras palabras, para el caso del sonido el aire sería el soporte de las ondas sonoras y de mismo modo el agua el soporte de las ondas producidas en la superficie de un estanque, permitiendo de algún modo caracterizar lo que conocemos actualmente como Ondas mecánicas.

7.1.2 Ondas Mecánicas

Para introducir el concepto de Onda Mecánica en primer lugar se debe responder la pregunta ¿Qué es una Onda?, para dar respuesta a esta pregunta se puede poner como ejemplos fenómenos como el sonido, las olas del mar o los sismos, ya que para poder hablar de estos fenómenos es necesario la presencia de un medio como el aire, el agua, entre otros. Cuando el ser humano percibe uno de estos fenómenos, lo que está percibiendo es el movimiento de perturbaciones que se propagan de un lugar a otro del espacio durante un determinado tiempo y es esto lo que se conoce como Onda.

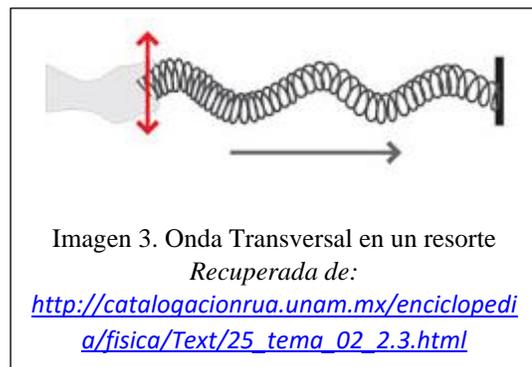
Retomando lo planteado por Alonso & Finn (1987) lo que se propaga como onda es: *“una condición física generada en algún lugar y que, como consecuencia de la naturaleza del fenómeno, puede ser transmitida a otras regiones”*, se puede decir en otras palabras que lo que se transmite en un movimiento ondulatorio es energía, por ejemplo si en el extremo de

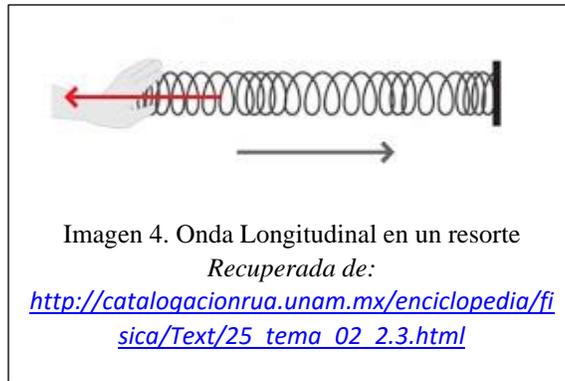
una cuerda se transmite poca energía se tendrá un pulso o una limitada perturbación, pero si la energía transmitida es continua se puede observar un tren de ondas.

En el estudio de las Ondas Mecánicas se hace referencia a la propagación de energía de un lugar a otro por causa de una perturbación de un medio (Young & Freedman, 2009) y no por el movimiento de este, es decir, que debe ser un medio en reposo, además esto no implica un transporte de materia. Para que se dé la formación de las ondas es necesario una fuente inicial perturbadora que saque al medio de su estado de equilibrio y un medio que propague la perturbación; por ejemplo, en el caso de un sismo, la fuente proviene del choque entre dos placas tectónicas, en este sentido las ondas mecánicas pueden ser ondas sonoras, ondas en una cuerda, ondas sísmicas, entre otros.

Una vez perturbado el medio se pueden clasificar las ondas mecánicas dependiendo la dirección de propagación de la onda, es decir, que existen ondas transversales y longitudinales, las primeras se caracterizan por presentar un desplazamiento perpendicular a la dirección de propagación, y las segundas por viajar en el mismo sentido de su desplazamiento y dirección (Serway, 1997), en este trabajo se tendrá en cuenta esta clasificación de las ondas mecánicas, ya que, una de las características físicas de los sismos se tienen presente las ondas transversales y longitudinales.

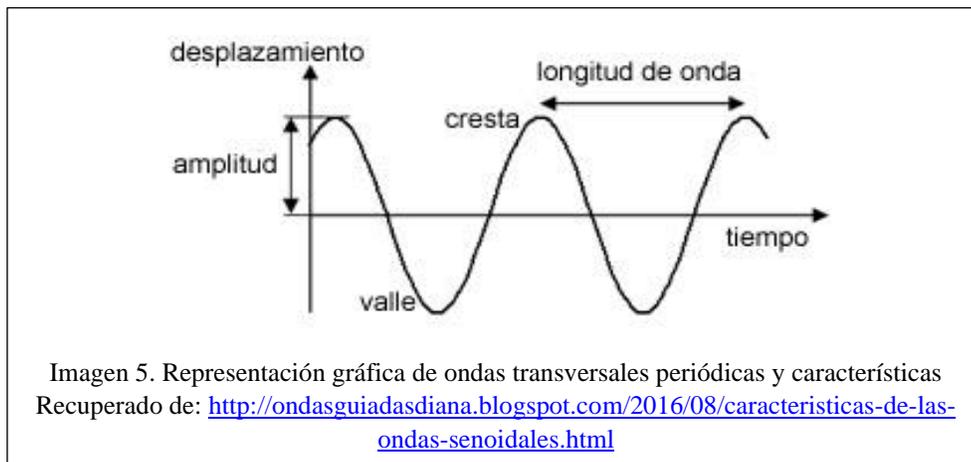
Para mirar un modelo explicativo de la clasificación de las ondas se tiene un resorte, cuando es agitado uno de los extremos en dirección perpendicular del resorte, las espiras de este se mueven hacia arriba y hacia abajo perpendiculares al movimiento de la onda ver (imagen 3), esto se define como onda transversal, ahora si se comprime el resorte y luego se suelta, se observa el movimiento de las espiras de este que oscilan de un lado a otro en la misma dirección del movimiento de la onda ver (imagen 4), esto se define como onda longitudinal.





7.1.2.1 Propiedades Características de las Ondas

Luego de haber mostrado la clasificación de las ondas respecto a la dirección de propagación se mostrará a continuación la representación gráfica de una onda y las características de esta (imagen 5), ya que permitirá hacer un mejor análisis físico sobre los fenómenos sísmicos.

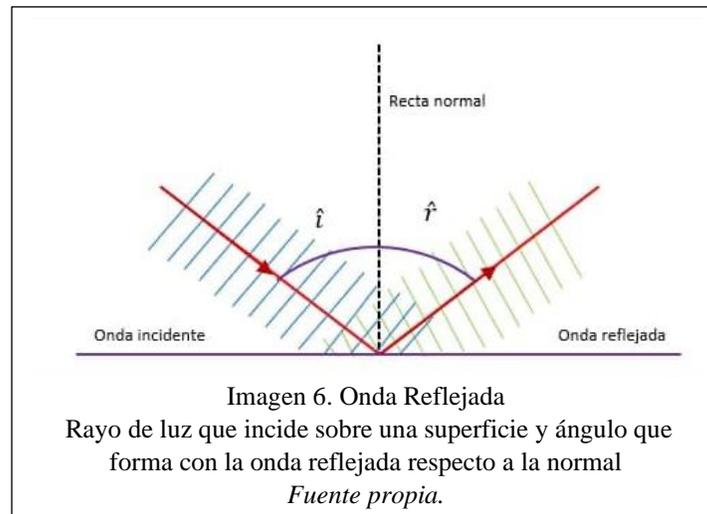


- Cresta: Es el punto máximo de la onda respecto a la posición de equilibrio o como se observa en la imagen 5 es el punto máximo de amplitud positiva vs el eje temporal.
- Valle: A diferencia de la cresta este es el punto mínimo de la onda respecto a la posición de equilibrio, si se mira en la imagen 5 es el punto máximo de la amplitud, pero en valor negativo respecto al eje temporal de la onda.

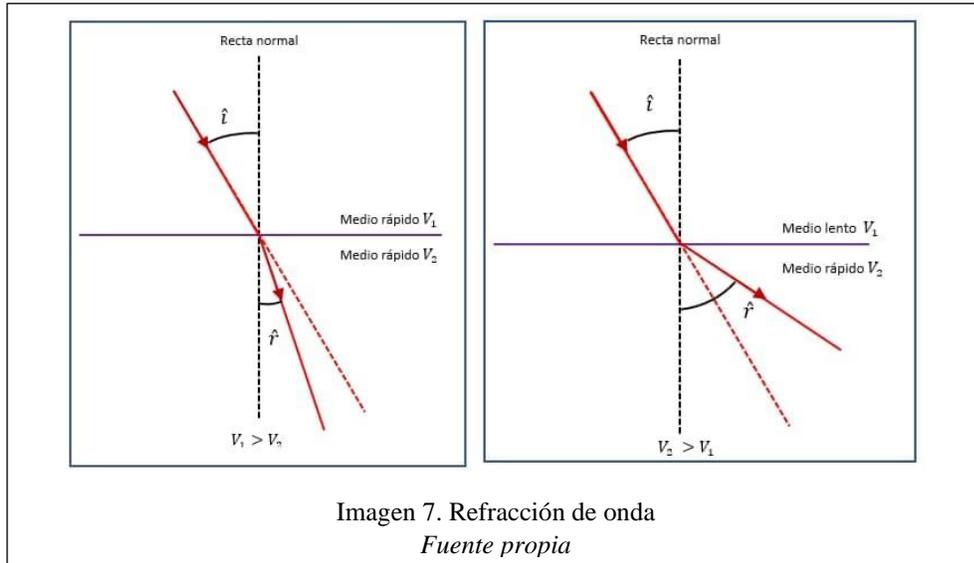
- Longitud de onda (λ): Distancia que recorre la onda durante un periodo, gráficamente se identifica con la distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos.
- Amplitud (A): Separación máxima desde una cresta o un valle respecto a la posición de equilibrio. En el caso del estudio de los sismogramas “*se observa grandes amplitudes cuando un terremoto es de gran magnitud*” (Huertas, 2017).

El movimiento ondulatorio además de contener ciertas características como se vio anteriormente, también posee unas propiedades que se dan en la naturaleza como la reflexión, la refracción, la interferencia y la difracción, estas dos últimas solamente afectan las ondas transversales.

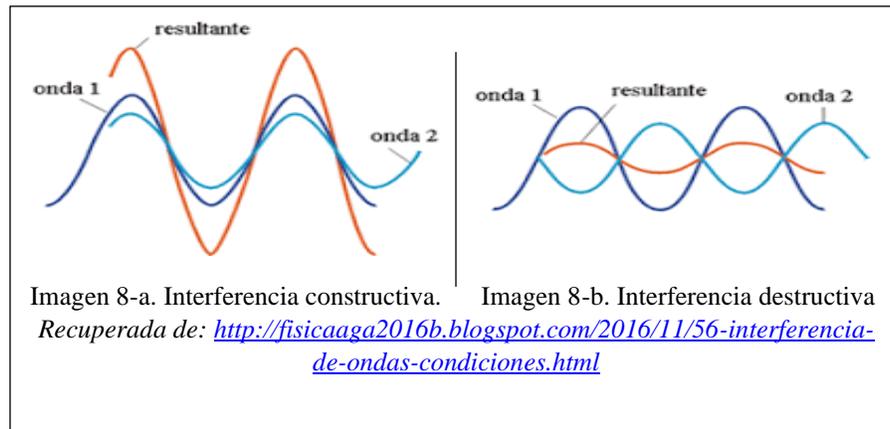
- Reflexión de onda: Si una onda incide sobre un cuerpo que obstaculiza su propagación esta se refleja, la onda que se dirige hacia el obstáculo se llama onda incidente, mientras que la onda que se aleja del obstáculo se llama onda reflejada (imagen 6).



- Refracción de onda: La refracción se produce cuando una onda llega a una superficie que separa a dos medios. En este fenómeno también cambia la velocidad de propagación de la onda (imagen 7).



- Interferencia de onda: Cuando dos o más ondas de la misma naturaleza se superponen en un determinado instante, se denomina interferencia. Se distinguen dos tipos de interferencia la constructiva y la destructiva. La constructiva se produce cuando las ondas se superponen en fases⁸, obteniendo una onda de mayor amplitud que las ondas iniciales (imagen 8-a). La destructiva se produce en la superposición de ondas en desfase⁹, obteniendo una onda de menor amplitud que las ondas iniciales (imagen 8-b).

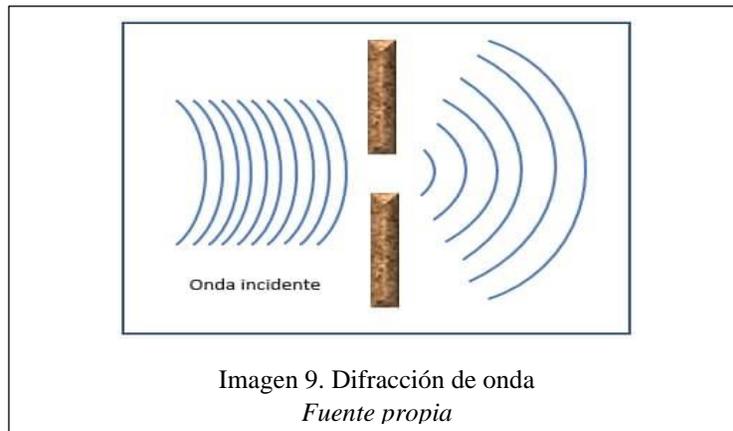


- Difracción de onda: La difracción se produce cuando una onda llega a un obstáculo de tamaño comparable con su longitud de onda. La onda se desvía como si el obstáculo emitiera una onda esférica (uno de los posibles casos), en este sentido la difracción

⁸ Se dice que dos puntos de la onda están en fase cuando la amplitud y la velocidad de propagación coinciden.

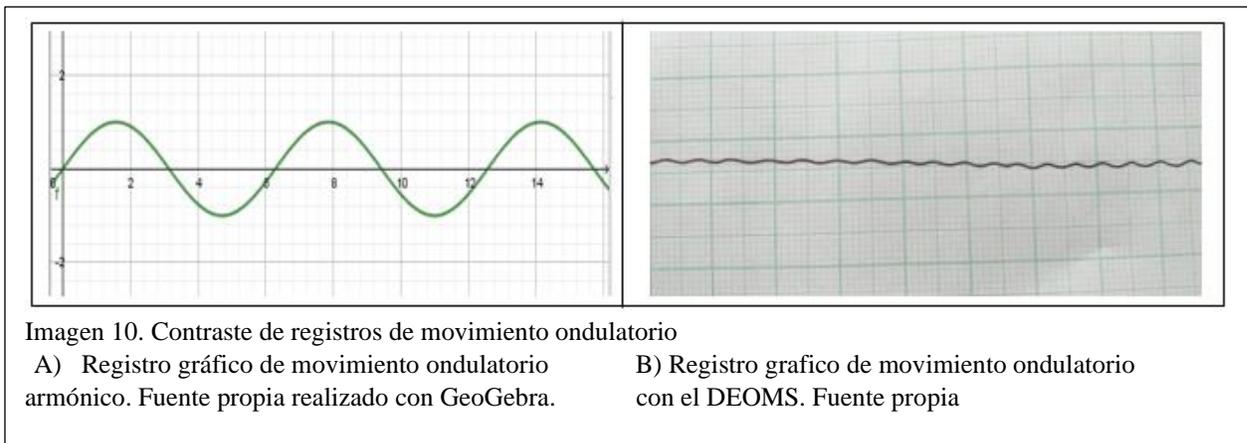
⁹ Se dice que dos puntos de la onda están en desfase cuando la amplitud y velocidad de propagación son lo contrario, es decir igual valor y diferente signo

consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando se encuentran con un obstáculo (imagen 9).



Con estos elementos establecidos de la onda de acuerdo con los desplazamientos, es posible analizar los fenómenos sísmicos e identificar y describir la onda que describe dicha perturbación en nuestro planeta, ya que la onda sísmica presenta varios fenómenos como, por ejemplo, la reflexión, la refracción y la interferencia, entre otros.

Es importante realizar un contraste entre el registro gráfico de un movimiento ondulatorio que se presenta en los libros de texto con un registro gráfico tomado por el DEOMS (Ver imagen 10), ya que pues lo que los libros muestran es un gráfico de un movimiento armónico con monofrecuencia y por ende es una gráfica suave (imagen 10. A), al realizar el contraste con el registro del DEOMS se evidencia que el registro gráfico es de naturaleza distinta ya que se deben tener en cuenta diferentes aspectos como el material del medio donde se propaga



el movimiento ondulatorio y esto hace que las curvas que se evidencian presenten multifrecuencia y no periodicidad (imagen 10. B), en este sentido se pone de presente que el registro que se logra captar con el DEOMS es un registro propio y natural de lo que es un movimiento ondulatorio de un fenómeno natural y real.

7.1.3 Ecuación de Onda

La ecuación de onda es una ecuación diferencial de segundo orden que describe la evolución temporal y espacial de las ondas, como la onda del sonido, la onda electromagnética, ondas sísmicas, etc. Esta ecuación puede variar dependiendo de las propiedades del medio en el que se propague.

La solución general de la ecuación es una función de dos variables, x y t , siendo la velocidad una constante, debe ser de la forma

$$y = f(x - vt) + g(x + vt)$$

Esta solución se puede expresar como la superposición de dos movimientos ondulatorios que se propagan en la misma dirección, pero en sentidos opuestos.

Tomando $y = f(x - vt)$, donde f es una función arbitraria de una sola variable, se puede escribir de la forma,

$$y(x, t) = f(s) \quad s = x - vt$$

Ahora derivando con respecto x , aplicando la regla de la cadena, se tiene

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{df}{ds} \frac{\partial s}{\partial x} = f'(s)$$

Ya que

$$\frac{df}{ds} = f'(s) \quad \frac{\partial s}{\partial x} = 1$$

Calculando la segunda derivada

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} (f'(s)) = \frac{d}{ds} (f'(s)) \frac{\partial s}{\partial x} = f''(s) \quad (1)$$

Ahora derivando con respecto al tiempo, aplicando regla de la cadena, se tiene

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{df}{ds} \frac{\partial t}{\partial s} = -v f'(s)$$

Donde

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial (x - vt)}{\partial t} = -v$$

Calculando la segunda derivada

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial t} (-v f'(s)) = -v \frac{d}{ds} (f'(s)) \frac{\partial s}{\partial t} = v^2 f''(s) \quad (2)$$

Reemplazando $f''(s)$ en la ecuación (2) y despejando se obtiene

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad \text{ecuación de onda}$$

La *ecuación de onda* permite describir el movimiento ondulatorio, como la propagación del sonido, la vibración en cuerdas e incluso las vibraciones generadas por los terremotos, en este sentido, una perturbación puede propagarse como onda a lo largo del eje x con rapidez v^{10} , la perturbación no necesariamente tiene que ser una onda senoidal y periódica, sino que cualquier onda satisface la *ecuación* (Young & Freedman, 2009). Por último, cabe la aclaración que la velocidad de propagación varía dependiendo de las propiedades (tensiones, densidades, etc.) del medio en el que viaja la onda.

¹⁰ La cantidad “ v ” en la ecuación de onda, es la rapidez con la que se propaga la onda a través del medio material.

7.2 Sismología

7.2.1 Inicios de la Sismología

El interés por estudiar los sismos según el INPRES (Instituto Nacional De Prevención Sísmica, de argentina)¹¹, se remonta a miles de años. En china se tiene evidencia de escritos donde se describen los impactos causados por los movimientos sísmicos desde hace aproximadamente 3.000 años, por otra parte, en Europa historiadores griegos y romanos han elaborado crónicas donde dejan en evidencia la destrucción de pueblos y ciudades debido a terremotos. El continente americano no se queda atrás ya que cuenta con una serie de textos de las culturas Mayas y Aztecas donde se detallan los principales sucesos que afectaron las regiones americanas. Con esta primera parte se puede evidenciar que, si bien antiguamente no estudiaban en sí los fenómenos sísmicos, si existía una preocupación por los daños e impactos causados a las poblaciones debido a los movimientos sísmicos.

Otro punto de vista desde donde se da explicación al movimiento de la tierra en la antigüedad está ligado a creencias mitológicas o religiosas como lo plantea (Oliveros, 2016), “Desde que la Humanidad empezó a analizar el comportamiento de la tierra surgió la preocupación de dar explicaciones a eventos inesperados, como bruscos movimientos, de acuerdo a creencias y observaciones de cada época”. Una de estas creencias míticas era la que se tenía en Japón, donde asociaban los desastres causados por los terremotos a un pez gigante que llamaban “Namazu” (imagen 10), que al mover su cola hacia temblar la tierra (Inpres, 2016).



Imagen 11. pintura de Namazu, recuperada de: <https://mentescuriosas.es/en-la-mitologia-japonesa-namazu-es-el-responsable-de-los-terremotos/>

Luego de esto algunos filósofos comenzaron a dejar de lado las explicaciones mitológicas y de este tipo, para realizar explicaciones más elaboradas basadas en causas naturales, Por

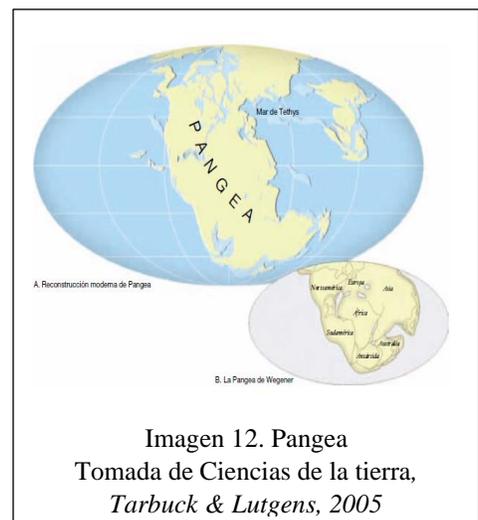
¹¹ Ver “Historia de la sismología. INPRES. <http://contenidos.inpres.gob.ar/alumnos/docentes>
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Historia%20de%20la%20Sismolog%C3%ADa.pdf>

ejemplo “Aristóteles postulo que los movimientos terrestres se debían al efecto que producía la circulación de fuertes vientos por el interior de la tierra” (Inpres, 2016). A mediados del siglo XVII (Oliveros, 2016) citando a (Nava, 2002), pone de presente que se planteó la teoría de que la tierra se movía debido a descargas eléctricas según W. Stubeley, la cual perduró hasta el siglo XIX cuando Alexander Von Humboldt, quiso intervenir en las explicaciones de los terremotos relacionándolos con las fallas geológicas, pero sus argumentos fueron muy débiles para que fueran aceptados.

El punto de partida de la sismología moderna se remonta al año 1755 cuando en Lisboa (Portugal) sucedieron una serie de terremotos que provocaron graves daños en la ciudad y en el puerto provocando un interés científico que da el comienzo al estudio del origen de los sismos (Inpres, 2016). Hacia el año 1800 científicos como Cauchy, Poisson, Stokes, Rayleigh y otros postulan la teoría de la propagación de ondas elásticas en materiales sólidos, ellos describen las ondas de cuerpo: Primarias y Secundarias (ondas P y S), y las ondas superficiales (ondas de Rayleigh y ondas Love)¹².

En el año 1857, Robert Mallet, un ingeniero irlandés, decide estudiar los daños causados por el terremoto ocurrido en Nápoles, este es considerado como el primer intento realizado con cierta rigurosidad, en la sismología observacional (Inpres, 2016), por otra parte, Mallet propuso que este fenómeno se producía por la alta tensión ocasionada por una ruptura en la corteza terrestre, además, dejando de presente que las ondas sísmicas viajaban sobre ella en todas las direcciones, (Oliveros, 2016) citando a (Funvisis, 2002).

Ya en el año 1910, Alfred Wegener planteó la teoría de la derivada continental (Oliveros, 2016), la cual consiste en analizar cómo se separaron los actuales continentes a partir de la existencia de un solo supercontinente llamado “Pangea” (imagen 11), donde surgen varias ideas entre ellas la moderna teoría de



¹² Para profundizar sobre las ondas primarias y secundarias ver la sección 7.2.6 del documento

tectónica de placas. Concluyendo este recorrido histórico es importante mencionar que, para el año de 1953, Charles Richter propone junto a Beno Gutenberg una escala de magnitud para especificar el tamaño de los terremotos en el sur de California (Inpres, 2016), siendo la escala más conocida y utilizada en estudios sismológicos en todo el mundo.

7.2.2 Inicios del Estudio Sísmico en Colombia

La historia sísmica de nuestro país cuenta con dos teorías planteadas por dos viajeros naturalistas que en la época de la Gran Colombia convivieron convulsiones sísmicas, las estudiaron, describieron y buscaron explicaciones (Ramírez, 1975), ellos fueron Alejandro Von Humboldt y Juan Baptista Boussingault. Humboldt sintió violentas sacudidas en Cumaná (Venezuela) y averiguó las circunstancias que dejaron esa gran catástrofe, creyendo que todo terremoto coincidía con una erupción volcánica y lo explicaba mediante la reacción del interior cadente de la tierra sobre su corteza rígida (Ramírez, 1975). Por su parte Boussingault, que vivió en Colombia entre 1823 y 1828, describe varios temblores que sintió donde evidenció que ninguno de estos daba señales de actividad volcánica, debido a esto descartó la teoría planteada por Humboldt y dedujo que el derrumbamiento de grandes masas en las cavernas interiores de la tierra, podría ser el origen de los temblores andinos (Ramírez, 1975). Estas teorías se han dejado un poco de lado teniendo en cuenta que ninguno de los grandes sismos ha coincidido con una erupción volcánica.

Los estudios históricos aplicados a los desastres naturales en Colombia se remontan a finales del siglo XIX en diversos tipos de documentos coloniales, estos consistían en anotaciones personales, registros llevados durante algún periodo y ya para inicios del siglo XX estudios científicos hechos con el rigor necesario (Espinosa, 2001). A raíz del terremoto de Popayán en 1983, Colombia vio la necesidad de iniciar estudios sistemáticos de amenaza sísmica, el primer estudio general de amenaza sísmica de Colombia fue hecho en 1984 y fue la base del primer Código Colombiano de construcciones sismorresistentes (Espinosa, 2001).

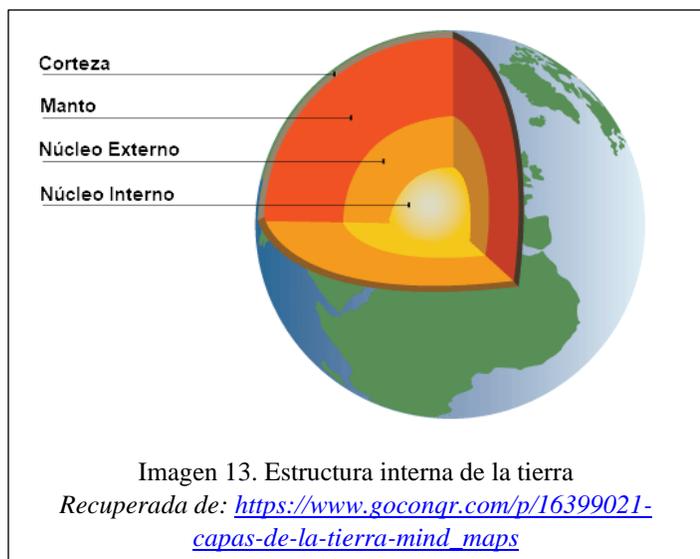
7.2.3 Estructura Interna de la Tierra

Para hablar de los fenómenos sísmicos uno de los puntos de partida es el análisis de la estructura interna de la tierra, a partir de este análisis se tomarán algunos aspectos que aportan al estudio de las ondas mecánicas y que podrán favorecer en la aproximación de este concepto por parte de los estudiantes.

Conocer exactamente la estructura interna del planeta en el que vivimos es complejo, ya que el acceso es muy limitado, con las perforaciones que se hacen en busca de petróleo, gas u otros recursos, apenas se alcanzan aproximadamente 7 Kilómetros, (Nava, 2002) pone de presente que *“Nadie sabe exactamente cómo está constituido el interior de la Tierra; las perforaciones más profundas no son más que un rasguño sobre su superficie, comparadas con el radio terrestre de 6.370 km”*, pero gracias

al estudio de las Ondas Sísmicas generadas se pueden conocer algunas características o condiciones físicas del interior de la tierra, *“Cuando dichas Ondas atraviesan la tierra, llevan consigo información a la superficie sobre los materiales que*

atravesaron” (Tarbuck & Lutgens, 2005). Por otra parte, el estudio de las estas Ondas ha sido importante para dar cuenta de que la tierra está compuesta por diversas capas que están definidas por su composición y por sus propiedades físicas¹³.



7.2.3.1 Capas definidas por su composición

Las capas definidas por composición son tres la corteza, el manto y el núcleo (imagen 13), la separación en capas de distinta composición se produjo probablemente por la estratificación por densidades que tuvo lugar durante el período de fusión parcial de las primeras etapas de la historia de la Tierra. Durante este período, los elementos más pesados, principalmente el

¹³ Ver “Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física-geomorfología”. Tarbuck – Lutgens. Capítulo 12.

hierro y el níquel, se fueron hundiendo a medida que los componentes rocosos más ligeros flotaban hacia arriba (Tarbuck & Lutgens, 2005).

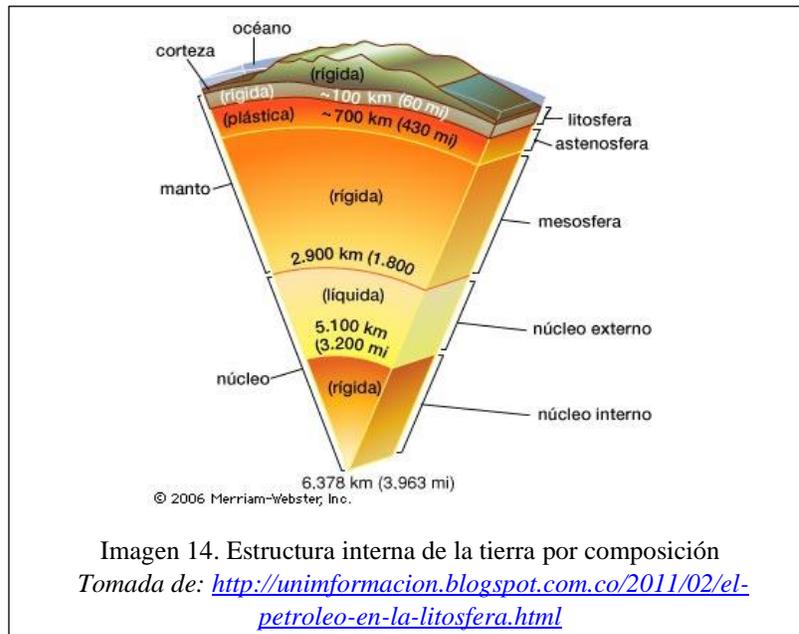
- La Corteza, es la capa externa comparativamente fina cuyo grosor es de aproximadamente 3 kilómetros en las cordilleras oceánicas, y 70 kilómetros en algunos cinturones montañosos como los Andes y el Himalaya
- El Manto, es una capa de roca sólida, rica en silicio, que se extiende hasta una profundidad de unos 2900 kilómetros
- El Núcleo, una esfera rica en hierro con un radio de 3.486 Kilómetros.

7.2.3.2 Capas definidas por sus propiedades físicas

Las capas definidas por sus propiedades son cinco la litósfera, astenosfera, mesosfera, núcleo externo y núcleo interno (imagen 13), el interior de la Tierra se caracteriza por un aumento gradual de la temperatura, la presión y la densidad con la profundidad (Tarbuck & Lutgens, 2005).

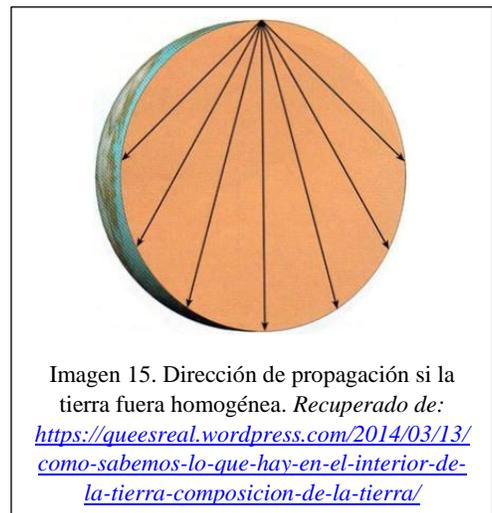
- Litósfera, exhibe un comportamiento rígido, principalmente porque es fría y por tanto fuerte, tiene un grosor medio de 100 kilómetros, pero puede extenderse 250 kilómetros o más por debajo de las porciones más antiguas de los continentes.
- Astenosfera, es un tipo de capa blanda y relativamente débil que se encuentra a una profundidad cercana a los 660 kilómetros, en la parte superior se dan unas condiciones de temperatura/presión que provocan una pequeña cantidad de fusión.
- Mesosfera, se encuentra debajo de la zona de debilidad de la astenosfera, debido a la presión que está expuesta contrarresta los efectos de la temperatura más elevada y las rocas son resistentes gradualmente con respecto a la profundidad, se encuentra entre los 660 y los 2900 kilómetros de profundidad.
- Núcleo externo, es una capa líquida, de 2.270 kilómetros de espesor, el flujo convectivo del hierro metálico en el interior de esta zona es el que genera el campo magnético de la Tierra.
- Núcleo interno, es una esfera con un radio de 3.486 kilómetros. A pesar de su temperatura más elevada, el material del núcleo interno es más fuerte (debido a la gran

presión que se encuentra sometido) que el núcleo externo y se comporta como un sólido.



7.2.3.3 Ondas Sísmicas y la Estructura de la Tierra

Inge Lehmann, Sismóloga Danesa que en 1936 publicó un documento en el que se planteaba una nueva *discontinuidad sísmica* en la estructura de la tierra deja en evidencia que la tierra no es una esfera compacta e inactiva¹⁴, teniendo en cuenta esto, si hipotéticamente la tierra fuera perfectamente homogénea las ondas sísmicas se propagarían a través de ella en todas las direcciones (imagen 14), esas ondas sísmicas viajarían en línea recta a una velocidad constante.



¹⁴ Ver “Inge Lehman, la sismóloga que tumbó el viaje al centro de la tierra”. La voz de Galicia, 2015. https://www.murciaeduca.es/iesdiegotortosa/sitio/upload/Inge_Lehmann.pdf

Ahora bien, teniendo en cuenta que la tierra no es homogénea, las ondas sísmicas que

llegan a los sismógrafos localizados en los puntos más alejados de un terremoto viajan a velocidades medias mayores que las que se registran en localizaciones más próximas al acontecimiento. Este incremento general de la velocidad con la profundidad es una consecuencia del aumento de presión, que potencia las propiedades elásticas de las rocas profundamente enterradas. Como

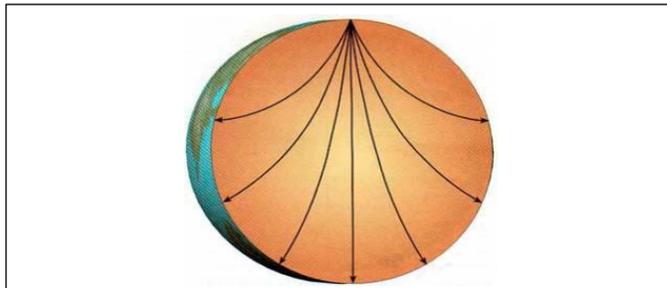


Imagen 16. Trayectoria de las ondas donde la velocidad aumenta con la profundidad

Recuperado de:

<https://queesreal.wordpress.com/2014/03/13/como-sabemos-lo-que-hay-en-el-interior-de-la-tierra->

consecuencia, los caminos seguidos por los rayos sísmicos a través de la Tierra se refractan de la siguiente forma (ver imagen 15).

Finalmente, cuando las mediciones se realizan con sismógrafos más sensibles y más avanzados se hacen más evidentes los cambios graduales en las velocidades de las ondas sísmicas, permitiendo a su vez dar cuenta de las discontinuidades que presenta la tierra (Tarbuck & Lutgens, 2005), (imagen 16), de este modo como se plantea al inicio, la tierra debe estar compuesta por distintas capas con propiedades mecánicas y dinámicas.

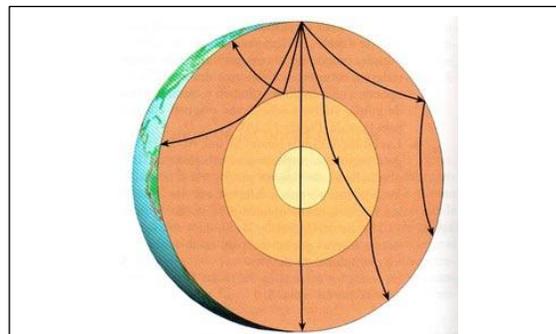


Imagen 17. Posible trayectoria de los rayos sísmicos a través de la tierra

Recuperado de:

<https://queesreal.wordpress.com/2014/03/13/como-sabemos-lo-que-hay-en-el-interior-de-la-tierra-composicion-de-la-tierra/>

7.2.4 Teoría de Placas Tectónicas

En 1910 Alfred Wegener propuso la teoría de la derivada continental, según la cual los actuales continentes habían formado, en épocas pasadas, un solo continente llamado “Pangea” (imagen 11), pero esta teoría no fue aceptada porque no explicaba como los continentes podían “Navegar” a través del fondo oceánico (Nava, 2002). A principios de los años sesenta, gracias a los estudios sistemáticos de los fondos oceánicos, Harry H. Hess y otros geólogos y geofísicos de la época demuestran las ideas de expansión de los fondos oceánicos¹⁵ y de una derivada continental (Klarica, 2011).

En 1968 se unieron los conceptos de derivada continental y expansión del fondo oceánico en una teoría más completa conocida como Tectónica de placas (Tarbuck & Lutgens, 2005), por medio de esta teoría es posible explicar la estructura y la dinámica de la superficie terrestre, según (Nava, 2002) esta dice que los 100 km más superficiales de la Tierra, que comprenden la corteza (continental y oceánica) y parte del manto superior, forman la litosfera, que esta dividida en fragmentos denominados placas (imagen 17), estas se mueven unas respecto a la otras y provocan la formación de montañas, valles, cadenas volcánicas, etc.

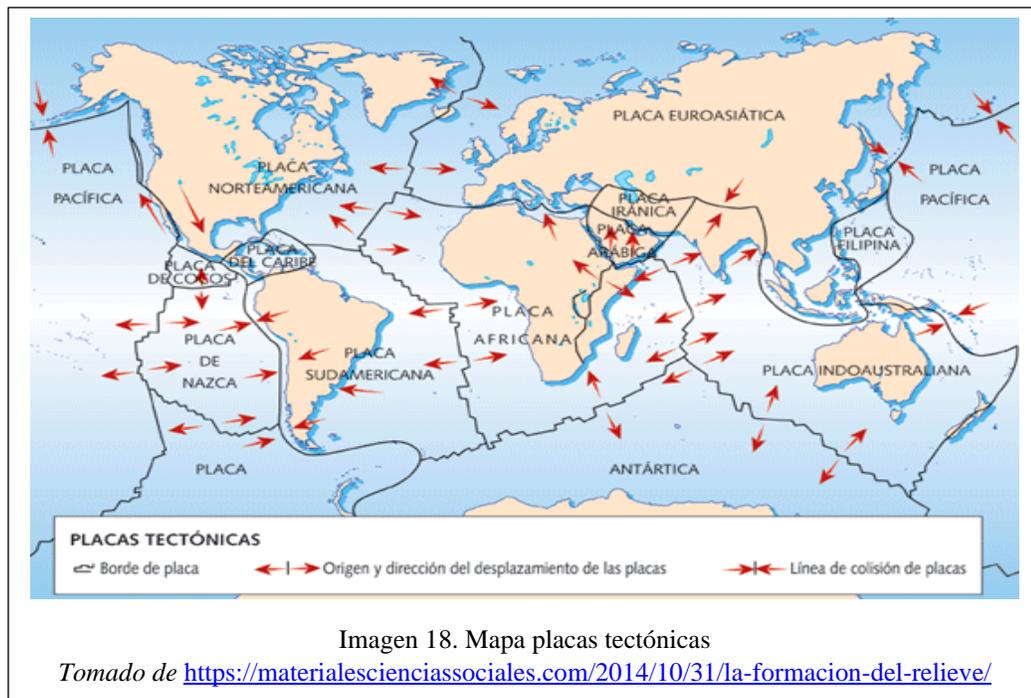


Imagen 18. Mapa placas tectónicas

Tomado de <https://materialescienciasociales.com/2014/10/31/la-formacion-del-relieve/>

¹⁵ Para aclarar la expansión de los fondos oceánicos, ver “Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física-geomorfología”. Tarbuck – Lutgens. Capítulo 2, pág. 45.

7.2.4.1 Bordes de Placa

Las principales interacciones entre las placas individuales se producen a lo largo de sus bordes¹⁶, en estos se concentra la mayor actividad sísmica, volcánica y tectónica. Las placas tienen tres tipos de bordes que se diferencian por el tipo de movimiento que exhiben (Tarbuck & Lutgens, 2005).

- Bordes divergentes o constructivos: tienen este nombre debido a que dos placas se separan y esto hace que se produzca ascenso de material desde el manto para crear un nuevo suelo oceánico.
- Bordes convergentes o destructivos: tienen este nombre debido a que dos placas se juntan provocando que la placa más delgada descienda sobre la más gruesa, formando sistemas montañosos.
- Bordes de falla transformante o pasivos: tienen este nombre debido a que dos placas se desplazan lateralmente una respecto a la otra sin producción ni destrucción de la litosfera.

7.2.4.2 Fallas

Las fallas son grietas o rupturas que se dan en la corteza terrestre, generalmente las fallas están asociadas a los límites de las placas tectónicas. Existen fallas activas e inactivas, en las fallas activas algunas partes de la corteza terrestre se mueven con el transcurrir del tiempo. Por su parte las fallas inactivas son las que en algún momento tuvieron un movimiento pero que ya no se desplazan (Tovar, 2019). La mayor parte del movimiento que se produce a lo largo de las fallas puede explicarse de manera satisfactoria acudiendo a la teoría de la tectónica de placas, según la teoría, grandes unidades de la corteza terrestre se están moviendo entre sí continuamente, este movimiento provoca la deformación de las rocas en sus bordes (Tarbuck & Lutgens, 2005). A lo largo de las fallas asociadas a los bordes de placa es donde se producen la mayoría de terremotos, (Badillo, 2010) plantea que *“solo el 10% de los terremotos ocurren alejados de los límites de estas placas”*.

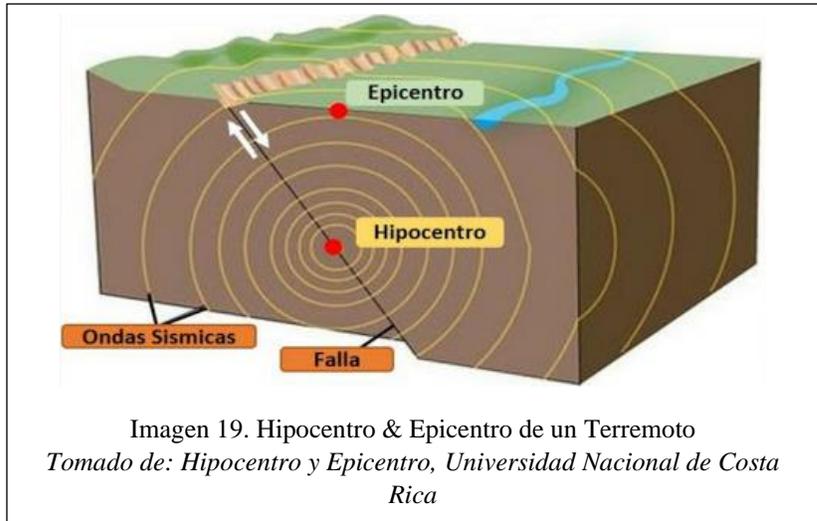
¹⁶ Para profundizar sobre los Bordes de Placas, ver “Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física-geomorfología”. Tarbuck – Lutgens. Capítulo 2, págs. 54-46.

7.2.5 Generalidades de los sismos

7.2.5.1 ¿Qué es un sismo?

Los sismos o más conocidos como terremotos son fenómenos ondulatorios que se dan en la corteza terrestre por una liberación de energía, esta se libera en todas las direcciones desde su origen en forma de ondas.

Algunos autores como (Klarica, 2011) menciona que *“Un sismo corresponde a la vibración de la Tierra después de que se haya liberado rápidamente cierta cantidad de energía en el subsuelo”*. Lo más frecuente es que los terremotos se produzcan por el



deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla (Tarbuck & Lutgens, 2005). La liberación de energía es irradiada y transmitida entre las fallas a través de ondas, donde su origen en el subsuelo se conoce como Hipocentro (Foco) y su proyección en la superficie es en el Epicentro (imagen 18).

7.2.5.2 ¿Cómo se generan los sismos?

Con respecto a la generación de los sismos¹⁷, se dice que el movimiento relativo entre las placas tectónicas origina que grandes esfuerzos se concentren principalmente en sus límites y deforme el medio. Los autores (Espíndola & Pérez, 2018) mencionan que *“Esto funciona como grandes resortes que van acumulando energía potencial -a lo que en sismología se le llama energía sísmica-. Se acumulará tanta como el límite elástico del medio lo permita, hasta que se rompa se fracture o se disloque”*, es decir que se desplace rápidamente y se

¹⁷ Ver “¿Qué son los sismos, donde ocurren y cómo se miden?”. Espíndola, V - Pérez X. 2018

origene un sismo. En otras palabras, los sismos se generan a partir de los movimientos relativos de las placas tectónicas que se generan a lo largo de las fallas, estos producen defectos en los bordes de las placas cuando chochan entre sí, esto implica un almacenamiento de energía. Cuando la fuerza (esfuerzo) del movimiento de las placas es mayor a la fuerza que las mantiene en equilibrio, se produce la ruptura de la placa¹⁸ y a su vez la liberación de energía almacenada, entonces se genera lo que conocemos como sismo.

7.2.5.3 ¿Qué se mide de los sismos?

Los fenómenos sísmicos presentan una serie de variables que permiten caracterizarlo, es decir identificar su magnitud y su intensidad, para la identificación de estas se usan comúnmente dos escalas.

- *Escala de intensidad*

En 1902 Giuseppe Mercalli desarrollo la escala que lleva su nombre con el fin de medir la intensidad de un sismo con respecto a los daños provocados. Esta depende no solamente de la gravedad del temblor del suelo, sino también de factores, como la densidad de población, el diseño de los edificios y la naturaleza de los materiales superficiales (Tarbuck & Lutgens, 2005). Esta escala está dividida en doce grados¹⁹, inicia con el primer movimiento de la tierra que pocas personas sienten y finaliza con daños totales ocurridos después del terremoto.

- *Escala de magnitud*

En 1935 Charles Richter desarrollo la primera escala de magnitud utilizando los registros sísmicos para calcular las dimensiones relativas de los terremotos. Esta escala refleja la cantidad de energía liberada en la corteza terrestre durante el sismo, esta es la más usada mundialmente en la medición de la intensidad de los sismos que van desde valores de 2,0 y

¹⁸ Respecto a la ruptura inicial (Tarbuck & Lutgens. 2005) plantean que “*Todavía no se conoce con exactitud qué es lo que desencadena realmente la ruptura inicial. Sin embargo, este acontecimiento marca el inicio de un terremoto*”.

¹⁹ Ver “Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física-geomorfología”. Tarbuck – Lutgens. Capítulo 11, Tabla 11,1. Pag 321.

6,9, en la escala y que ocurren entre 0 y 400 kilómetros de profundidad (Raffino, 2020). El modelo matemático de la escala esta dado de la forma:

$$M = \log A + 3 \log(8\Delta t) - 2.29 = \log 10[(A \cdot \Delta t^3)/(1.62)]$$

Donde:

M = magnitud arbitraria pero constante a terremotos que liberan la misma energía

A = amplitud de las ondas sísmica en milímetros, según lo registre el sismograma.

Δt = Tiempo en segundos desde el inicio de las ondas primarias (P) hasta las secundarias (S) (Raffino, 2020), que estudiaremos a continuación.

Estas dos escalas que son las más comúnmente usadas para describir este fenómeno, en este sentido se puede decir que lo que se mide en un sismo está determinado por las escalas, la primera escala, es la escala de Mercalli, que es la encargada de medir la intensidad de los sismos teniendo como referencia los daños causados a las poblaciones y demás. La segunda escala, es la escala de Richter, esta es la encargada de medir la magnitud de los sismos teniendo como referencia la cantidad de energía liberada cuando sucede este fenómeno natural.

7.2.6 Ondas Sísmicas y Propagación de Ondas Sísmicas

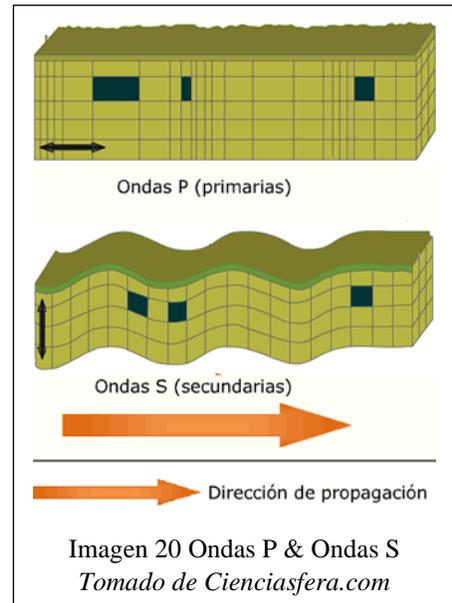
Después de realizar el estudio sobre la estructura interna de la tierra, la tectónica de placas y algunas generalidades sobre los sismos, se puede hablar de las ondas sísmicas, además es necesario hablar de estas, teniendo en cuenta que el trabajo de investigación está enfocado en las ondas mecánicas y el estudio de las ondas sísmicas permite realizar un acercamiento y caracterización de las ondas mecánicas como se verá más adelante.

Como se vio en la “generación de los sismos”, cuando se produce la ruptura en las placas se libera energía en forma de ondas que se propagan a través de la Tierra, tanto en su interior como por la superficie, estas son conocidas como ondas internas y ondas superficiales.

7.2.6.1 Ondas Internas

En el interior de la tierra se producen dos tipos de ondas las Ondas Primarias (P) y Ondas Secundaria (S).

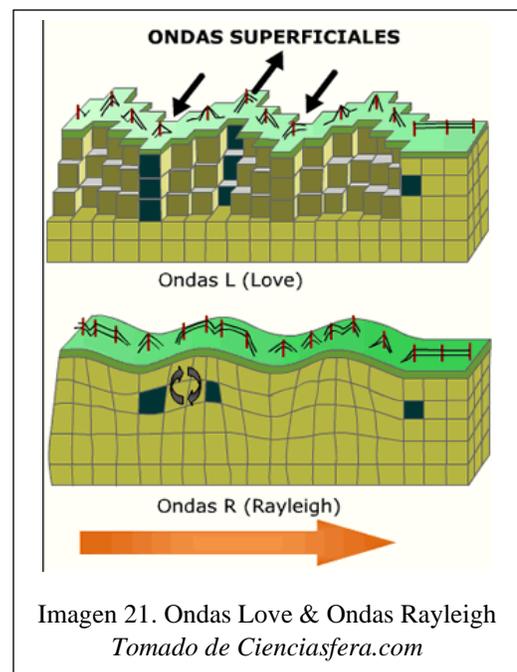
- Ondas Primarias (P), estas son las primeras ondas en producirse (Sánchez, 2017) y son las primeras en ser registradas, estas son de tipo compresional o longitudinal, es decir que estas viajan en la misma dirección de propagación (imagen 19).
- Ondas Secundarias (S), estas son ondas transversales, que por su parte sacuden la corteza terrestre de arriba hacia abajo, es decir que su desplazamiento es perpendicular respecto a la dirección de propagación (imagen 19), respecto a estas ondas (Tovar, 2019) menciona que *“por lo general estas son las ondas que ocasionan mayor daño porque producen oscilaciones en el terreno durante el movimiento sísmico”*



7.2.6.2 Ondas Superficiales

Estas ondas son causadas por la interferencia de las ondas P y ondas S, estas son más lentas y al viajar por la superficie terrestre con movimientos laterales tienen una gran amplitud, siendo las causantes de los mayores desastres (Badillo, 2010). Estas son de dos tipos las Ondas Love y las Ondas Rayleigh.

- Ondas Love, estas describen un movimiento similar a las ondas S, ya que van en dirección perpendicular a la propagación (imagen 20), debido a que estas ondas viajan por la superficie la amplitud de onda decrece



dependiendo la profundidad de un terremoto.

- Ondas Rayleigh, son ondas superficiales que generan un movimiento elíptico retrogrado de la corteza (imagen 20), estas ondas tienen una propagación vertical lo que muestra una vibración comparable a una ola del mar, estas se pueden desplazar por cualquier tipo de medio (Sánchez, 2017).

Con este estudio acerca de las Ondas sísmicas y la propagación se puede identificar que cumplen una serie de propiedades, como por ejemplo las Ondas P y Ondas S que son análogas a las Ondas Transversales y Longitudinales, o que es necesario un medio para que se propaguen, entre otras, permitiendo caracterizarlas como Ondas Mecánicas.

7.2.7 Microsismos y Microtemblores

Los microsismos, microtemblores o microtemblores son ondas sísmicas de una energía relativamente baja (Pulido & Rodríguez, 2015). Para este caso se mirará con mayor detalle los microtemblores.

- Los microsismos se pueden definir como las oscilaciones naturales y regulares del subsuelo, que no son producidos por terremotos ni por fuentes artificiales, sino que son inducidas por fuentes naturales como olas oceánicas y tormentas, las características de la amplitud y del periodo son afectadas por la condición del clima (Moreno & Alfaro, 2000).
- Los microtemblores o microtemblores son vibraciones generadas por eventos artificiales producto de la actividad humana como por ejemplo el tráfico pesado, la maquinaria industrial y explosiones con dinamita (Pulido & Rodríguez, 2015), estas vibraciones son de baja amplitud y son conformados por ondas internas y ondas superficiales y presentan un periodo entre 0,01 y 2,00 s (Mendoza, 2006).

“Los microtemblores sirven como sustitutos de señales del suelo por sismos como traductores de información limitada obtenida de la observación de señales de sismos en un sitio” (Moreno & Alfaro, 2000) citando a (Seo, 1995)

Las características espectrales de los microtemblores pueden correlacionarse con las condiciones geológicas locales. Por ejemplo, los periodos predominantes $T < 0.2$ s

son indicativos de rocas duras, mientras periodos predominantes superiores $T > 0.2$ s son indicativos de depósitos más blandos y de mayor potencia (Rodríguez, 2005). Estas vibraciones son perturbaciones irregulares, es decir que no son iguales a lo largo del tiempo generándose una curva con comportamiento inconsistente o de pulsos aislados, de este modo se pueden clasificar como ondas no periódicas y debido a esta característica realizar el estudio y análisis resulta un poco complejo, para este caso se utiliza la transformada de Fourier que muestra que una función compleja se puede expresar en términos de sus frecuencias (Mayorga López & Poveda Matallana, 2013).

En este sentido es posible decir que los microtemblores o microtemblores son vibraciones en el subsuelo producidas por las actividades humanas y que los periodos de estos dependen de las condiciones geológicas donde sean generadas.

7.2.8 Análisis Físico y la Teoría del Rebote Elástico

El estudio de la propagación de las ondas en el interior y la superficie terrestre inicio con la preocupación frente a los daños en estructuras y pérdida de vidas a causa de los terremotos, estos hechos llevaron a buscar explicaciones de las causas por las cuales se producía este fenómeno. (Ramírez, 1975) menciona que *“Quizá la teoría más aceptable del mecanismo de un terremoto tectónico la ofrece la teoría del rebote elástico propuesta por H. F. Reid, como resultado de un minucioso estudio del terremoto de San Francisco en 1906”*.

En 1911 Reid propuso la teoría del rebote elástico²⁰, para explicar cómo se libera la energía durante los terremotos, según la teoría los esfuerzos orogénicos²¹ causan deformaciones en la corteza terrestre y acumulan energía potencial en forma de esfuerzos y tensiones.

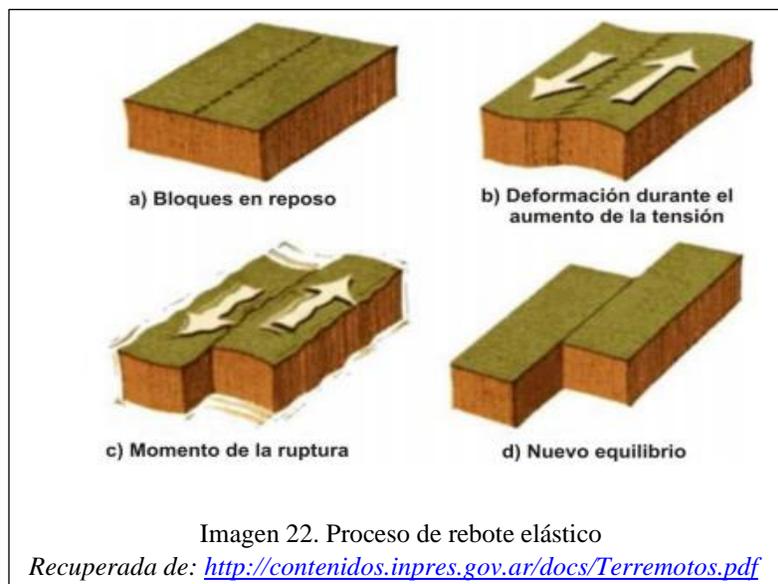
Eventualmente, puede acontecer que la magnitud de la deformación con la tensión consiguiente es tal que excede la resistencia de las rocas de la corteza terrestre y se produce una fractura (Ramírez, 1975), en otras palabras, cuando la acumulación de energía excede la

²⁰ Para profundizar sobre la teoría del rebote elástico, ver *“Historia de los terremotos en Colombia”*. Ramírez, J. 1975. Pág. 21-Teoría del rebote elástico.

²¹ La orogénesis es un proceso geológico donde normalmente se da la formación de cordilleras por la deformación y fracturación de la corteza terrestre, como consecuencia de esfuerzos tectónicos.

resistencia de las rocas se produce una fractura y ocurre un desplazamiento o deslizamiento de un lado de la corteza con respecto a otro a lo largo de una falla.

El Instituto nacional de prevención sísmica de Argentina propone el siguiente esquema donde se puede observar de mejor manera este proceso del rebote elástico, ver imagen 21, En a) se muestra un bloque de roca en reposo, en b) las fuerzas tectónicas van deformando las rocas de la corteza, hasta que en c) se produce la fractura de las rocas y la liberación brusca de la energía acumulada. En d) se muestra el sistema en su nuevo equilibrio (Inpres, 2016, *Terremotos*).

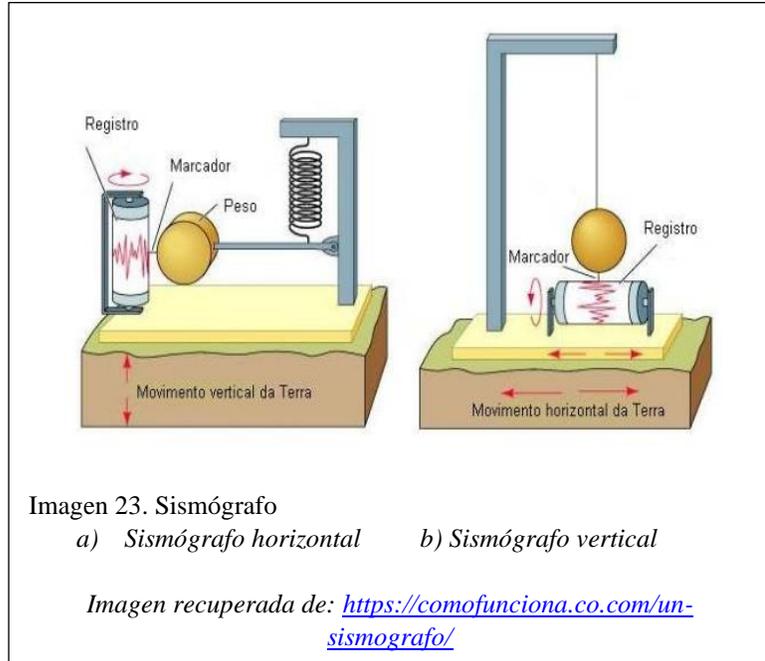


En este sentido, cuando se perciben las vibraciones lo que está sucediendo en la corteza es que las rocas deformadas están volviendo elásticamente a su forma original, y es a este fenómeno al que se conoce como el rebote elástico. El resultado de este proceso es la propagación de una parte de la energía liberada en forma de ondas sísmicas y el posterior retorno al estado de equilibrio elástico de la zona que fue sometida a los esfuerzos.

7.2.9 El sismógrafo

Los instrumentos diseñados y utilizados para medir los movimientos de la tierra debido a un sismo reciben el nombre de sismógrafo, según el (Inpres, 2017) “*los sismógrafos son equipos conformados por un instrumento que detecta el movimiento del terreno debido a un*

sismo (*sismómetro*), y por un sistema que realiza el registro del mismo en función continua del tiempo”, los sismómetros son los instrumentos que permiten medir el movimiento de la tierra en una dirección dada, según el tipo de sismómetro estos responden al movimiento horizontal o vertical de la perturbación.



Los sismógrafos se distinguen en dos tipos principales, los sismógrafos horizontales que registran la componente vertical de la perturbación y los sismógrafos verticales que registran la componente horizontal de la perturbación (ver imagen 22).

El mecanismo de estos sismógrafos consiste en una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo, cuando el soporte es perturbado por el paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio de reposo. Luego cuando la masa sale del reposo tiende a oscilar. Sin embargo, ya que esta oscilación posterior del péndulo no refleja el verdadero movimiento del suelo es necesario amortiguarla (Sánchez & Pacheco, 2019).

7.2.9.1 El Sismógrafo de Wiechert

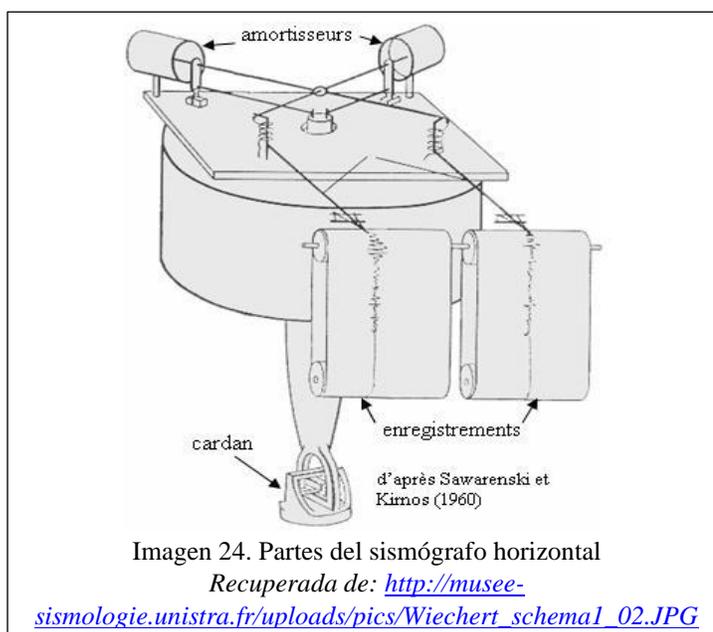
Para el año de 1898 el sismólogo alemán Emil Wiechert construye un sismógrafo mecánico utilizando como sensor un péndulo invertido, con una articulación a su base que le permitía oscilar en cualquier dirección horizontal, incluyendo por primera vez un amortiguamiento viscoso. El movimiento relativo a la masa respecto al suelo se resolvía a dos componentes horizontales entre sí, logrando por primera vez una gran eficiencia en el registro de los sismos (Inpres, 2017).

En el observatorio de terremotos de Wiechert en Göttingen²² se puede apreciar tres de los sismógrafos elaborados por Emil, un sismógrafo horizontal astático, un sismógrafo de péndulo de 17 toneladas y un sismógrafo vertical, para este caso se estudiará el sismógrafo horizontal ya que el DEOMS será una recreación de este y su funcionamiento será análogo.

- Sismógrafo Horizontal Estático

Este instrumento fue fabricado en Göttingen entre 1904 y 1909, estuvo en funcionamiento en Estrasburgo entre 1904 y 1968, según el museo de sismología y colecciones de geofísica²³,

el sismógrafo horizontal de Wiechert es único en su tipo, ya que en un solo instrumento permite registrar ambas componentes horizontales. Este consiste en un péndulo invertido, llamado péndulo estático, su masa de un barril que está en equilibrio inestable en un



punto, se mueve sobre dos ejes que está definido por un sistema de varillas tipo cardán (ver imagen 23).

²² Para revisar los sismógrafos de Wiechert ver: <http://www.erdbebenwarte.de/messinstrumente/>

²³ Para ampliar información sobre el sismógrafo horizontal revisar: <http://musee-sismologie.unistra.fr/deutsch/die-sammlungen-seismologie/2-wiechert/>

El movimiento horizontal de la masa se divide en dos partes perpendiculares entre sí, el sistema es amortiguado por dos cilindros neumáticos, es decir tiene un sistema

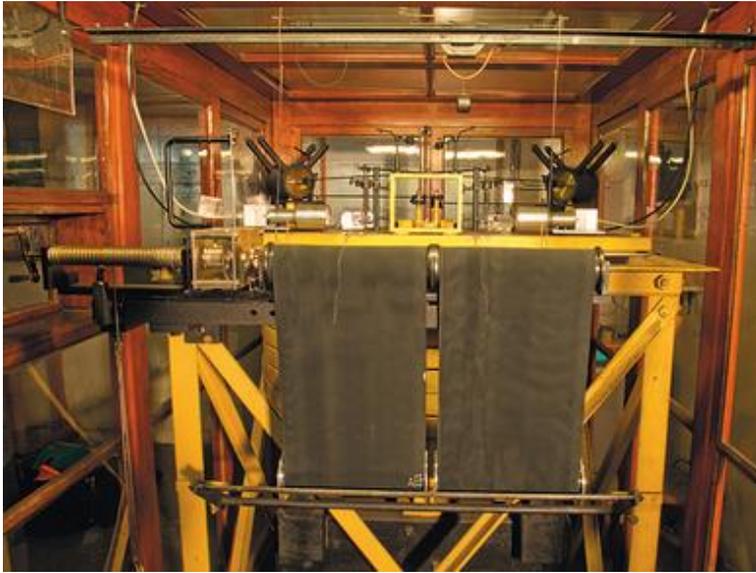


Imagen 25. Sismógrafo Horizontal Estático de Wiechert
Recuperada de: <http://www.erdbebenwarte.de/astatischer-horizontalseismograph/>

de amortiguación de aire, dos puntas en forma de aguja permiten grabar el movimiento de cada componente en tiras de papel hollín (papel negro de carbón) que se cambian a diario. Retomando lo planteado por el observatorio de terremotos de Wiechert, este instrumento es tan sensible que la “deformación en el suelo” provocada por el

peso de una persona parada a su lado produce deflexiones en la aguja claramente visibles.

7.2.9.2 Sismograma

Las señales que registran los sismógrafos muestran el tiempo y la amplitud del movimiento, esta información queda registrada en un sismograma que permite visualizar la actividad sísmica del lugar donde se encuentra instalado el sismógrafo, en estas graficas se puede evidenciar el registro de las ondas internas y las ondas superficiales como se puede ver en la siguiente imagen (imagen 25).

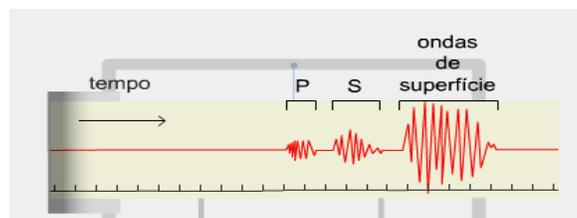


Imagen 26. Sismograma Recuperada de: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcS->

8. D.E.O.M. S (Dispositivo para la Enseñanza de Ondas Mecánicas a partir de los Sismos)

Es necesario dar una mirada a la importancia del uso de dispositivos o artefactos en la enseñanza de las ciencias y en especial de la física, luego se mirará el proceso de construcción, funcionamiento y el proceso de calibración del DEOMS para así finalmente poner en evidencia la propuesta de guía de uso que facilitará los procesos de enseñanza-aprendizaje del concepto de onda mecánica.

8.1 Importancia del uso de Dispositivos en la Enseñanza de la Física

El uso de dispositivos o artefactos en la enseñanza de las ciencias juegan un papel importante ya que estos permiten a los docentes realizar un acercamiento de situaciones que son complejas de entender solo con bases teóricas, en este sentido (Falcon, 1991) menciona que *“La Enseñanza de la Física requiere del diseño de estrategias que permitan acercar las representaciones abstractas a situaciones concretas de la realidad.”*, con lo anterior es posible decir que los dispositivos son mediadores pedagógicos que permiten generar estrategias para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

Ahora bien, de acuerdo a lo visto a lo largo de la práctica pedagógica y teniendo en cuenta que los laboratorios de las instituciones no cuentan con los artefactos necesarios o incluso no se encuentran en un estado óptimo para su uso, se hace necesario elaborar artefactos o dispositivos con materiales al alcance de los estudiantes y que no requieran de un gran costo, según lo planteado por (Holguín, 2011) el docente puede *“... mostrar en lo posible como diseñar y construir equipos sencillos de laboratorio para la enseñanza de la física con prototipos de bajo costo, fácil manejo, mantenimiento simple; dirigido al proceso de enseñanza aprendizaje de la física en diferentes niveles de complejidad...”*, logrando así que su espacio académico sea intuitivo y fortalezca los procesos de enseñanza de los estudiantes, retomando a (González, 2015) *“la calidad de la enseñanza exige introducir este tipo de recursos de manera justificada y adecuada dentro del proceso educativo, con la finalidad que la clase sea más receptiva, participativa, práctica y amena.”*

En este sentido el uso de dispositivos en la enseñanza de la física se convierte en un recurso necesario e importante ya que toman el papel de herramienta de apoyo para el docente

facilitando y fortaleciendo los procesos de enseñanza, por parte de los estudiantes el dispositivo juega un papel de mediador favoreciendo el proceso de aprendizaje y de comunicación con el docente y sus compañeros de clase sobre determinados temas de las asignaturas, al respecto (González, 2014) dice que “... dichas experiencias de enseñanzas se convierten en el medio para promover el aprendizaje significativo, a través de esta interacción entre profesor y alumno, alumnos y actividad y alumno con su par, logrando una forma totalmente enriquecedora de aprendizaje.”

8.2 Construcción del DEOMS

El Dispositivo para la Enseñanza de las Ondas Mecánicas a partir de los Sismos es una reconstrucción del experimento del sismógrafo de Wiechert que como se evidencia en la sección 7.2.9, este trabaja a partir de un sistema de péndulo invertido, con una masa y una estructura para que este pueda oscilar, con respecto al movimiento para que el péndulo no se des controle de su eje se utilizan resortes que permitirán que las vibraciones estén casi que controladas y por supuesto que las mediciones sean más precisas, el DEOMS se construyó con el fin de realizar mediciones de sismos pero teniendo en cuenta que los últimos

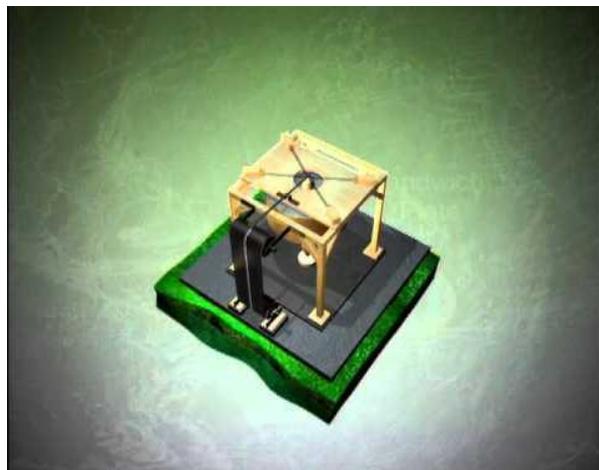


Imagen 27. Sismógrafo de Wiechert (Prototipo)

Imagen tomada de:

https://www.youtube.com/watch?v=XIjPX_6ycIA&ab_channel=SergioRossi

meses en Bogotá no ha ocurrido este fenómeno, se decidió medir microtemores y microvibraciones. A continuación, se presenta el prototipo del modelo de Wiechert (ver imagen 26), que se usa como base de la construcción del DEOMS.

8.2.1 Proceso de Construcción

Se construyo el modelo del sismógrafo de Wiechert con materiales de fácil acceso y de bajo costo, este prototipo se construye para que cumpla la tarea de mediador en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje del concepto de Onda Mecánica, para ver el esquema de construcción y los costos ver (Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente).

Los materiales usados para la construcción del DEOMS son:

- 2 tablas de madera de 20X20 cm
- 4 palos de madera de 35 cm de alto y 3X3 cm de lado
- 1 tubo de aluminio de 2 cm de diámetro y 33 cm de alto
- Cinta aislante
- 6 chinchas o tachuelas
- 16 tornillos, 6 tuercas
- 2 pesas de 5 libras c/u
- 1 disipador de calor de una CPU
- 1 varilla de 18 cm de alto
- 2 tacos de madera aproximadamente de 1.8 cm de diámetro
- 1 pluma de lectura de disco duro
- 2 platinas de aluminio
- 1 empaque de olla a presión
- 1 esfero o pluma
- 1 motor de horno microondas (motor que hace girar el plato)
- 2 poleas (con correa) de máquina de coser
- 2 cables y una clavija



Imagen 28. Materiales del DEOMS *Fotografía tomada por: Didier Figueredo*



Imagen 29. Base que actúa como péndulo vertical
Fotografía tomada por: Didier Figueredo

En primer lugar, se construye la base que actúa como péndulo vertical, se abre un orificio de $3/16''$ en el tubo de aluminio a una altura de 20 cm, se pone una barra de metal en el orificio con el fin de que las pesas descansen sobre ella, en los extremos del tubo se introducen los tacos de madera para que la base tenga una superficie que le permita oscilar, como se muestra en la imagen (ver imagen 28).

Luego se construye la estructura donde se pondrá el péndulo, esta estructura tendrá un orificio de 5 cm de diámetro en la parte superior, para poder tener un lugar a partir del cual se pueda amortiguar el movimiento del péndulo (ver imagen 29).



Imagen 30. Estructura en madera
Fotografía tomada por: Didier Figueredo

Luego de tener estas dos piezas construidas, en el inferior de la estructura se adhiere el disipador de calor para que ayude a contener el movimiento del péndulo y se procede a poner el péndulo dentro de la estructura (ver imagen 30).



Imagen 31. Estructura con el péndulo. *Fotografía tomada por: Didier Figueredo*

Luego para lograr que el péndulo sea amortiguado en la parte superior se acoplan los resortes permitiendo así que las oscilaciones se mantengas controladas (ver imagen 31)



Imagen 32. Estructura del péndulo invertido amortiguado con resortes
Fotografía tomada por: Didier Figueredo

Finalmente, para grabar el movimiento o la oscilación, el DEOMS tendrá un sistema mecánico que permitirá que la grabación se realice automática, este sistema está conformado por el motor de horno microondas, las poleas, la pluma de disco duro, las platinas, el empaque de olla a presión y el esfero o pluma.



8.2.2 Funcionamiento

El funcionamiento del DEOMS es similar o análogo al sismógrafo de Wiechert, pues su funcionamiento está a la base del péndulo invertido y para lograr controlar las oscilaciones el péndulo tendrá acoplado 4 resortes que hacen que la oscilación sea amortiguada y esto permite controlar la inercia del péndulo y que la medición sea más exacta. El DEOMS debe siempre permanecer sobre una superficie plana para que el péndulo no se desajuste. Es importante dejar claro que el DEOMS permitirá caracterizar la componente temporal del movimiento, ya que para caracterizar la componente espacial se debería tener varios dispositivos en diferentes puntos del espacio y más aún deberían estar juntos para poder evidenciar esa componente espacial.

Para la grabación del movimiento el péndulo invertido estará acoplado a la pluma (brazo de lectura/escritura) que lee la información de un disco duro esta oscilará de forma horizontal, la grabación se hará en un rollo de papel que girara automáticamente por el sistema mecánico que se ha ensamblado para este trabajo.

Luego a partir de la grabación del movimiento es decir el sismograma (ver sección 7.2.8.2), se podrá encontrar las relaciones que permitan llegar a la explicación del concepto de Onda Mecánica y caracterizar algunas variables como la frecuencia y la amplitud ya que estas se podrán evidenciar en el registro grafico que realiza el DEOMS, para lograr encontrar estas relaciones es importante calibrar el DEOMS, esta calibración se hará a partir de un simulador de movimiento o vibraciones como se podrá evidenciar a continuación.

8.2.3 Proceso de Calibración

El proceso de calibración del DEOMS se realizó aproximadamente durante 1 mes y 15 días, durante este proceso se presentaron una serie de inconvenientes debido a que la calibración se esperaba realizar a partir de un generador de frecuencias con el fin de generar microvibraciones que fueran captadas por el DEOMS.

Teniendo en cuenta que el desarrollo del trabajo se realizó en época de pandemia y debido a las medidas de confinamiento y aislamiento preventivo propuestas por el gobierno nacional acceder al laboratorio de la universidad era imposible para realizar la calibración del DEOMS, en este sentido el proceso se realizó en casa con la ayuda de un software libre para smartphone, equipos de sonido (minicomponentes) y algunos materiales caseros extras que más adelante se describirán.

Por otra parte, para lograr la amortiguación de las oscilaciones del péndulo se hizo uso de cuatro resortes los cuales se seleccionaron teniendo en cuenta la ley de Hooke, de modo que a cada uno de los resortes se les puso un mismo peso específico, se midió la longitud de la elongación observando que todos presentaban la misma longitud de elongación, esto con el fin de establecer la constante de elasticidad de los resortes que estarían acoplados al péndulo invertido, dicho esto se procede a realizar la calibración.

En primer lugar, se realizó la búsqueda del software de generación de frecuencias para smartphone mediante la tienda de aplicaciones de este, se eligió la aplicación

“generador de frecuencia” desarrollada por Hoel Boedec, por su facilidad de manejo y el nivel de frecuencias que esta genera entre 0 Hz y 22000 Hz.

Se usaron dos equipos de sonido con el fin de amplificar la frecuencia generada con el smartphone, teniendo en cuenta que la salida de audio de este no permite percibir de buena manera tal frecuencia, se usó un minicomponente Panasonic de 73,5 W RMS²⁴ de salida y una cabina de sonido Meirende p10 de 50W RMS de salida, también se construyó una mesa que simula vibraciones con una tabla de madera de 35 x 35 cm y cuatro resortes en cada esquina de esta.

Luego de la descripción de los equipos que se usaron para la calibración del DEOMS, se procede a describir el proceso que se llevó a cabo para la calibración, en un primer momento se amplificó las frecuencias generadas que fueron entre 30 y 120 Hz en el minicomponente Panasonic. El DEOMS se ubicó en tres posiciones distintas, la primera fue a 10 cm de los amplificadores, la segunda posición fue sobre el amplificador y la tercera fue sobre el altavoz del amplificador (Ver anexo 3-a). En estas posiciones el DEOMS no tuvo reacción alguna.

En un segundo momento, se realizó el mismo proceso anterior, solo que con el amplificador Meirende y la ubicación del DEOMS se realizó en dos posiciones distintas, la primera posición se ubicó el DEOMS a 10 cm del amplificador y la segunda posición el DEOMS se ubicó sobre el altavoz del amplificador (Ver anexo 3-b). En estas posiciones el DEOMS no tuvo reacción alguna.

En un tercer momento y en vista que el DEOMS no reaccionaba con las vibraciones que generaban las frecuencias, se hizo uso de la mesa que simula vibraciones con el fin de que el DEOMS tuviera una reacción al movimiento de la mesa, al ubicar el DEOMS sobre la mesa se logró evidenciar que este si reaccionaba a los movimientos producidos en la mesa, esta se perturbaba con pulsos como presionando una esquina de la mesa o empujando alguno de sus lados. Debido a que la calibración se debe realizar

²⁴ Potencia RMS (Root Mean Square/ Raíz cuadrada media), es el valor eficaz de potencia de rendimiento óptimo de un altavoz, esta potencia también es conocida como potencia nominal.

respecto a una medida precisa, a la mesa se le acoplo un motor de 3W y de 2 RPM (Ver anexo 3-c). con el fin de tener unos valores específicos y realizar la calibración del DEOMS. En el momento de poner a funcionar el motor, la mesa no lograba moverse debido al peso del DEOMS (5 Kg), a partir de esto se toma la decisión de reducirle peso al DEOMS y se deja con 2.5 Kg, con esto se evidencia que la mesa ya logra moverse, pero el movimiento de esta no es el adecuado para que el DEOMS registre el movimiento.

En un cuarto momento y luego de evidenciar que en los tres momentos anteriores no era posible hacer que el DEOMS reaccionara a estas vibraciones, se decide hacer uso del amplificador Meirende y la mesa de simulación de vibraciones, esto con el fin de que las vibraciones que se generaban en el amplificador fueran captadas por la mesa y el DEOMS pudiera registrarlas, para esto se usó de una tabla de madera que se ubicó sobre el altavoz del amplificador y sobre esta la mesa simuladora (ver imagen 33), en este momento se evidencio que la mesa reaccionaba a las vibraciones generadas por el amplificador a frecuencias entre 30 Hz y 80 Hz, luego de esto se procede a ubicar el DEOMS sobre la estructura anterior con el fin de que este pudiera registrar estas vibraciones producidas por el amplificador.

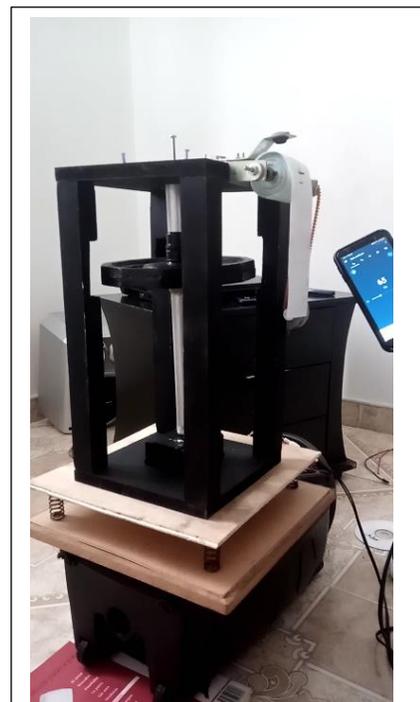


Imagen 34. Estructura con la mesa simulador y cabina de sonido.
Tomada por: Didier Figueredo

Cuando se da inicio a generar las frecuencias el DEOMS reacciona a frecuencias entre 60 Hz y 80 Hz, a partir de esta reacción se procede a realizar el proceso de calibración tomando registros de las frecuencias 60, 65, 70, 75 y 80 Hz y con potencia máxima y media durante 15 s.

La calibración se hizo teniendo en cuenta las gráficas que se registraban en cada una de las frecuencias y cada potencia (máxima o media) ya que en cada frecuencia generada el registro gráfico de la micro vibración debe ser diferente, es decir si se analiza el registro del movimiento a una frecuencia de 70 Hz con la máxima potencia con el registro del movimiento a una frecuencia de 70 Hz con media potencia se debe notar una diferencia en ese registro gráfico del movimiento.

Ahora cuando se realiza el análisis del registro de movimiento con respecto a las frecuencias, es decir, si se analiza el registro a una frecuencia de 65 Hz con una frecuencia de 75 Hz se puede evidenciar la diferencia del registro gráfico, estos análisis se pueden evidenciar en el (Anexo 4).

El proceso de calibración permitió realizar ajustes en la estructura del DEOMS, como en la estructura del péndulo invertido, ya que el diseño inicial del DEOMS se propuso con un peso de 5 Kg teniendo en cuenta el diseño del sismógrafo de Wiechert, a partir de la calibración el diseño final del DEOMS quedó con un peso de 2,5 Kg ya que con este peso se lograba registrar las micro vibraciones producidas con el generador de frecuencias, otro aspecto del diseño inicial que se propuso para el registro fue el uso de un rollo de papel blanco pero debido al tamaño de las gráficas generadas por las micro vibraciones no se lograba evidenciar la diferencia para esto se tomó la opción de usar un rollo de papel milimetrado que permitiera evidenciar las diferencias en los registros. Por otra parte, se vio la necesidad de construir una mesa simuladora de vibraciones que permitiera perturbar el DEOMS y que en un momento inicial no se había tenido en cuenta para realizar la toma de registros.

8.3 Guía de uso del DEOMS

La guía de uso del DEOMS se desarrolla con el fin fortalecer y potenciar los procesos de enseñanza del concepto de onda mecánica puesto que incluye la información necesaria para el correcto uso y manejo de este. Esta guía se convierte en una herramienta ya que proporciona una serie de posibles actividades que el docente podrá llevar e implementar en el desarrollo de las actividades académicas dando la posibilidad de que los estudiantes fortalezcan los procesos de aprendizaje de los conceptos que hacen parte de las ondas mecánicas como

amplitud, frecuencia, potencia, longitud de onda y a su vez algunas generalidades de los fenómenos sísmicos.

La guía se realizó teniendo en cuenta los criterios planteados por (Sanmartí, 2000), el cual propone seis criterios primordiales para el diseño de guías didácticas, estos criterios son:

1. Definición de finalidades/objetivos
2. Selección de contenidos
3. Organizar y secuenciar los contenidos
4. Selección y secuenciación de actividades
5. Selección y secuenciación de las actividades de evaluación

A partir de estos criterios se diseña y desarrolla la guía de uso del DEOMS (ver anexo 5) de la siguiente forma.

En primer lugar, se realiza una presentación del DEOMS y se propone el objetivo del uso de la guía buscando que sea una herramienta para que el docente refuerce los procesos de enseñanza del concepto de onda mecánica.

En segundo lugar, se seleccionan conceptos preliminares e introductorios acerca de las ondas mecánicas y generalidades sobre los fenómenos sísmicos.

En tercer lugar, se organizan los temas y conceptos preliminares de forma que sigan una secuencia y coherencia al momento de realizar la introducción al tema de estudio, en este sentido el orden es el siguiente; conceptos introductorios de las ondas mecánicas, generalidades sobre los fenómenos sísmicos, conceptos introductorios sobre las ondas sísmicas y por último el funcionamiento y uso del DEOMS.

En cuarto lugar, se proponen cuatro (4) actividades que cumplen una secuencia con que el docente puede aplicar en el desarrollo de su clase, en la primera actividad se quiere conocer los conceptos previos de los estudiantes sobre las ondas, en la segunda se busca que los estudiantes tengan un acercamiento con el DEOMS y con la representación gráfica del movimiento ondulatorio, en la tercera se busca que los estudiantes identifiquen y reconozcan

gráficamente las posibles ondas sísmicas que el DEOMS puede captar y graficar, en la cuarta actividad se busca que los estudiantes identifiquen y caractericen conceptos como amplitud, frecuencia, longitud de ondas a partir de una comparación grafica de un registro del DEOMS y una gráfica que muestra en libro de física.

Las actividades de evaluación se dejan para que el docente que haga uso de la guía las ponga de forma autónoma y que crea conveniente poder evaluar en sus estudiantes.

9. Conclusiones

- El diseño de dispositivos o instrumentos para la enseñanza de la física se convierte en una herramienta que podría fortalecer los procesos de Enseñanza-Aprendizaje, de modo que los estudiantes adquieren habilidades en el diseño de posibles montajes experimentales y el manejo de herramientas.
- La construcción y el uso del DEOMS me permitió fortalecer y profundizar mis procesos de enseñanza-aprendizaje de los conceptos que están a la luz de las ondas mecánicas y que además hacen parte de los fenómenos sísmicos y vibratorios.
- El DEOMS se convierte en una herramienta para caracterizar el concepto de onda mecánica a partir de análisis gráficos de los registros que este logra captar, por otra parte, aunque los movimientos registrados no tenga una relación directa con el estudio de la onda sísmica se puede realizar un análisis y un contraste con los sismogramas técnicos y las gráficas que el DEOMS realiza de los microtemores o microvibraciones y eventualmente acercar al estudiante a identificar la relación de las características (amplitud, frecuencia, longitud de onda, periodo) entre los sismos y los microtemores.
- La guía de uso del DEOMS podría potenciar los procesos de enseñanza de los conceptos de amplitud, frecuencia, longitud de onda y periodo porque a partir de las actividades planteadas los estudiantes podrán construir su conocimiento en relación a estas variables que forman parte de la teoría ondulatoria.
- Si bien en la mayoría trabajos de investigación se presenta un estudio teórico esto no debería ser un listado de teorías físicas, sino que todo el tiempo debería estar

alimentado la construcción de conocimiento, para el caso de este trabajo de investigación el estudio de los diferentes referentes teóricos constituye una gran base para el desarrollo del DEOMS y la construcción de conocimiento entorno a las ondas mecánicas, los fenómenos sísmicos y vibratorios.

- En el proceso de calibración de DEOMS se debió tener en cuenta diferentes aspectos como por ejemplo 2 de ellos, la longitud del soporte del esfero para mejorar el registro grafico o la masa del objeto que constituye el péndulo invertido ya que esta permitía que se logrará registrar movimiento alguno.
- Se espera que los docentes, docentes en formación o cualquier persona interesada en el estudio o la explicación de ondas mecánicas y variables haga uso del DEOMS o tome como base esta experiencia de investigación para la construcción de su propio dispositivo para la enseñanza de los conceptos que están a la base de los modelos explicativos de las ondas mecánicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, A. (1997). Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá. en INGEOMINAS, & u. d., *carta del director* (pág. 5). Bogotá Colombia: INGEOMINAS, Universidad de los Andes.
- Alonso, M. (2003). Reflexiones sobre la enseñanza de la física en el siglo XXI. *revista española de física*.
- Alonso, M., & Finn, E. (1987). Física (Vol. 2). Estados Unidos: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Anguita, F. (1994). Geología, ciencias de la tierra, ciencias de la naturaleza: paisaje de un aprendizaje global. *Revista de investigación y experiencias didácticas*,, págs.15-21.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (2009). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. En A. C. AIS, *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia* (págs. 12-13). Bogotá.
- Ayala, M., Malagón, F., & Guerrero, G. (2004). la enseñanza de las ciencias como mediación cultural desde una perspectiva constructivista. *física y cultura: cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias no 7*, 1.
- Badillo, D. C. (2010). *Diseño de una Propuesta de Sala Interactiva para Incentivar el Aprendizaje ante la Prevención de Riesgos Sísmicos en Niños Habitantes en Zona de Alto Riesgo*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Campo, O. L. (2014). *Ecuación de d'Alambert, de la cuerda vibrante, bajo la teoría de Lie*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Direction des usages du numérique (DUN). (2012). *Musée de sismologie et collections de Géophysique - Jardins de l'Université - Strasbourg*. Obtenido de <http://musee-sismologie.unistra.fr/deutsch/die-sammlungen-seismologie/2-wiechert/>
- Espíndola, V., & Pérez Campos, X. (2018). *¿Qué son los Sismos, Dónde ocurren y Cómo se miden?*. Mexico: Academia Mexicana de Ciencias.
- Espinosa Baquero, A. (2001). La Sismicidad Histórica en Colombia. *Revista Geográfica Venezolana*, 271-283.

Falcon, N. (1991). Enseñanza de la Física mediante dispositivos Experimentales de bajo costo .
II Conferencia Interamericana sobre Educación en Física, Volumen I , 573 - 584.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis). (2002). *La Investigación Sismológica en Venezuela*. Caracas, Venezuela.

García, R. (2012). *Creación e implementación de una unidad didáctica sobre la enseñanza del movimiento armónico simple a estudiantes de grado décimo*. Bogotá: Universidad Nacional.

García, F. (2012). Música y Matemáticas. Caminos Paralelos. ACTA .

González, I. (2014). El recurso didáctico. Usos y recursos para el aprendizaje dentro del aula.
Escritos en la Facultad, 15 - 17.

Gribbin , J. (2005). *Historia de la Ciencia*. Barcelona.

Holguín, C. (2011). Diseño y Construcción de Equipo Sencillo para la Enseñanza de la Física.
Revista Científica Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Volumen extra, 144 - 149.

Hernández, R. (2014). *Metodologías de la investigación*. México: mcgraw-hill / interamericana editores, s.a. de c.v.

Huertas Sánchez, K. (2017). *Unidad didáctica para facilitar la comprensión de la propagación de ondas sísmicas*. Bogotá: Universidad Pedagógica.

Husserl E. Logical investigations. New York: Humanities Press, 1970.

Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (07 de 01 de 2016). *Historia de la sismología*. obtenido de instituto nacional de prevención sísmica:
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Historia%20de%20la%20Sismolog%C3%ADa.pdf>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (11 de 12 de 2019). *Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático*. Obtenido de
<https://www.idiger.gov.co/rsismico>

Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (07 de 01 de 2016). *Terremotos*. obtenido de instituto nacional de prevención sísmica: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Terremotos.pdf>

Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (02 de 05 de 2017). *Principios de funcionamiento de los sismógrafos*. obtenido de instituto nacional de prevención sísmica:

<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Principio%20de%20funcionamiento%20de%20los%20Sism%C3%B3grafos.pdf>

Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (29 de 05 de 2018). *Medición de los sismos*. obtenido de instituto nacional de prevención sísmica:

<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Intensidad%20y%20Magnitud.pdf>

Klarica, S. (2011). *La Física y la Tierra*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Laza, C., Pulido, G.P., & Castiblanco, R.A. (2012). *La fenomenología para el estudio de la experiencia de la gestación de alto riesgo*. *Enfermería Global*, 11(28), 295-305.

Recuperado en 08 de octubre de 2020, de

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S169561412012000400015&lng=es&tlng=es.

Mayorga López, E., & Poveda Matallana, W. (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.

Mendoza Oliveros, C. E. (2006). *Estimación de los periodos predominantes de los suelos de Aguazul a partir de microtemblores*. Tunja : Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC .

Moreno, L., & Alfaro, A. J. (2000). *De los Microsismos a los Microtemblores*. Bogotá: VII Congreso Colombiano de Geotecnia.

Nava, A. (2002). *Terremotos* (Cuarta ed., Vol. 34). México: Fondo de Cultura Económica.

Oliveros, D. (2016). *fenómenos ondulatorios de los sismos: una estrategia de aula para estudiantes de grado sexto orientada a descubrir cómo se minimizan los riesgos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Pimentel, J. (2015). *Teorías de la luz y el color en la época de las luces. De Newton a Goethe*. ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura.

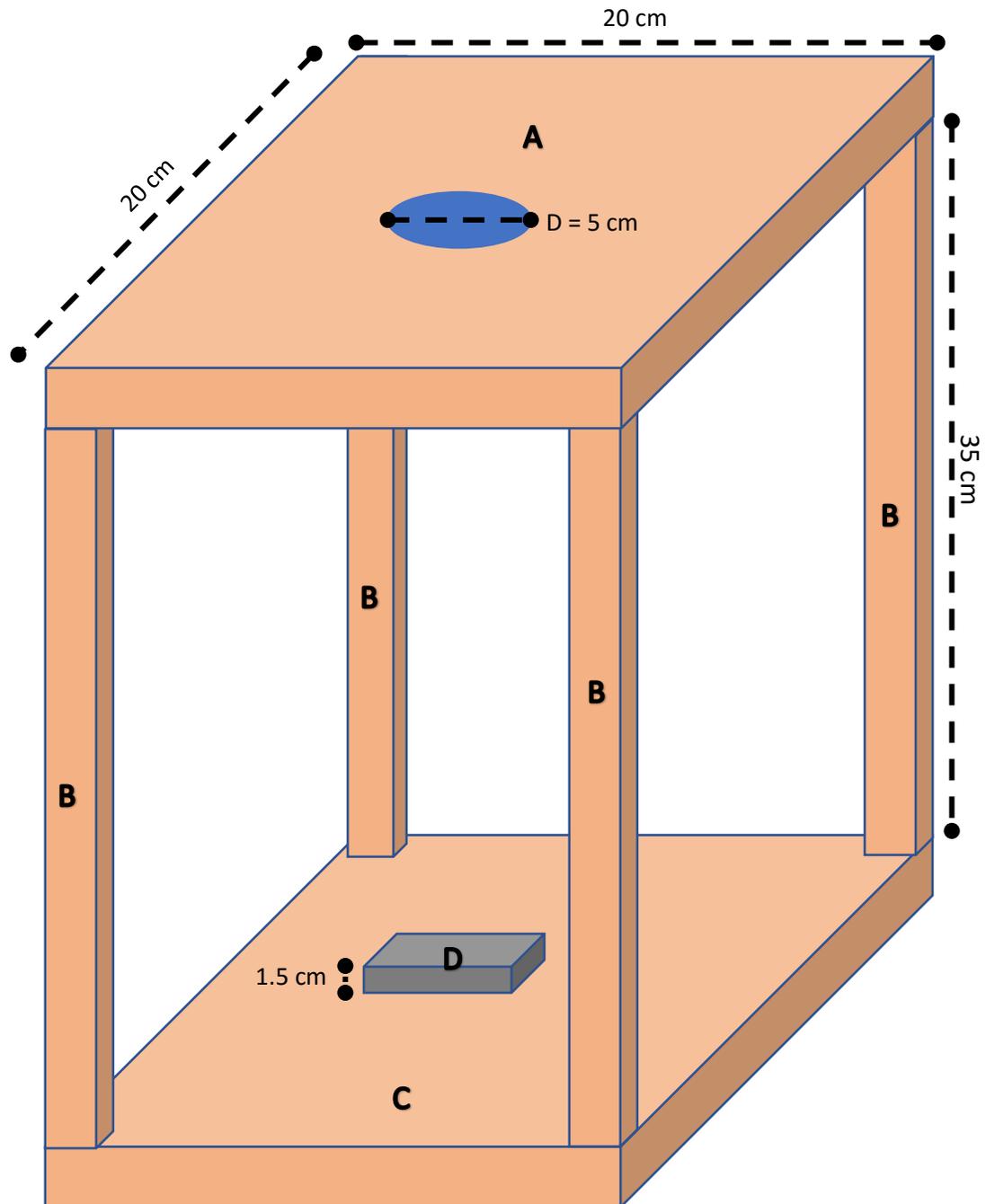
Pulido, J. P., & Rodríguez, M. D. (2015). *Caracterización del Subsuelo Utilizando el Método Geofísico de Refracción por Microtemblores ReMi para Segmento de la Avenida Circunvalar y Parque Central Simón Bolívar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Quintana, L. (2006). *Metodos y Tecnicas de Investigación I*. México: McGraw-Hill Interamericana.

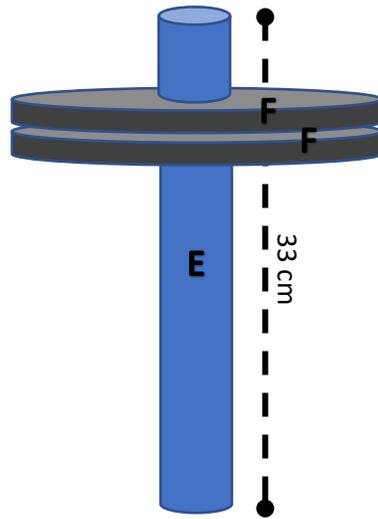
- Raffino, M. E. (29 de Junio de 2020). *Escala de Richter*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/escala-de-richter/>
- Ramírez, J. E. (1975). *Historia de los Terremotos en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Riveros R. (2004). *¿Quiero mejorar mi clase de física?* (pág.: 17) México: tirillas.
- Rodríguez, M. (2005). *Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos Aplicacion a la ciudad de Barcelona*. Barcelona España: Universidad Politécnica de Cataluña .
- Sánchez, I. J., & Pacheco, R. (2019). *Sismografo de Péndulo Invertido con Encoder Infrarrojo*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional, México.
- Sánchez Galindo, A. (2017). *Unidad didáctica para el estudio de eventos sísmicos y sus efectos en la superficie terrestre*. Bogotá: Universidad Pedagógica.
- Sanmartí, N. (2000) *El diseño de unidades Didácticas*. En F. Perales y P Canal (eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 239 – 276). España: Ed. Alcoy.
- Serway, R. (1997). *Física* (Cuarta ed., Vol. 1). México D.F.: McGraw-Hill.
- Tovar Quimbaya, S. (2019). *Una Aproximación a la Explicacion de los Sismos a través del Concepto de Onda Mecánica*. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Valencia Rodríguez, M. Á. (2017). *Posible aporte de la regulación metacognitiva al cambio en los modelos explicativos del concepto de onda mecánica*. Manizales.
- Voz, L. (05 de Mayo de 2015). Inge Lehmann, la sismóloga que tumbó el viaje al centro de la Tierra. *La Voz de Galicia*. Obtenido de: https://www.murciaeduca.es/iesdiegotortosa/sitio/upload/Inge_Lehmann.pdf
- Wiechert'sche Erdbebenwarte göttingen. (2019). *Wiechert'sche Erdbebenwarte göttingen*. Obtenido de <https://www.erdbebenwarte.de/>
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria Volumen 1*. En H. Young, & R. Freedman, *Física Universitaria Volumen 1* (págs. 488-499). México: Pearson.

Anexos

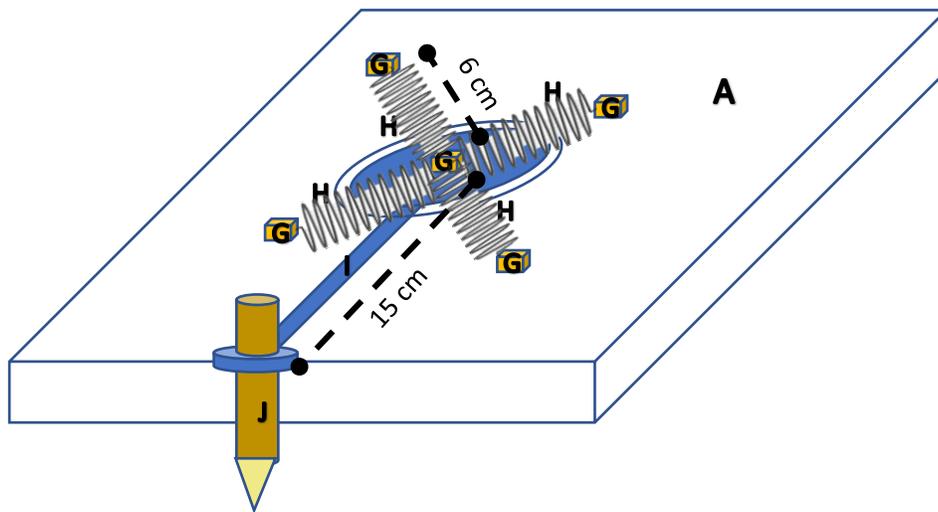
- Anexo 1, Esquema de construcción del DEOMS



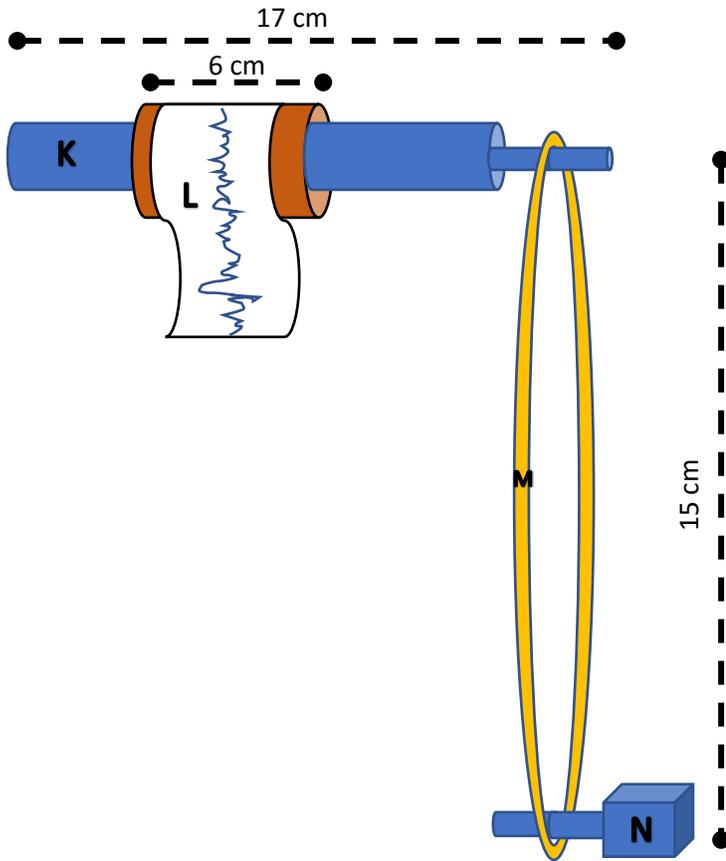
1. Soporte o base del Dispositivo



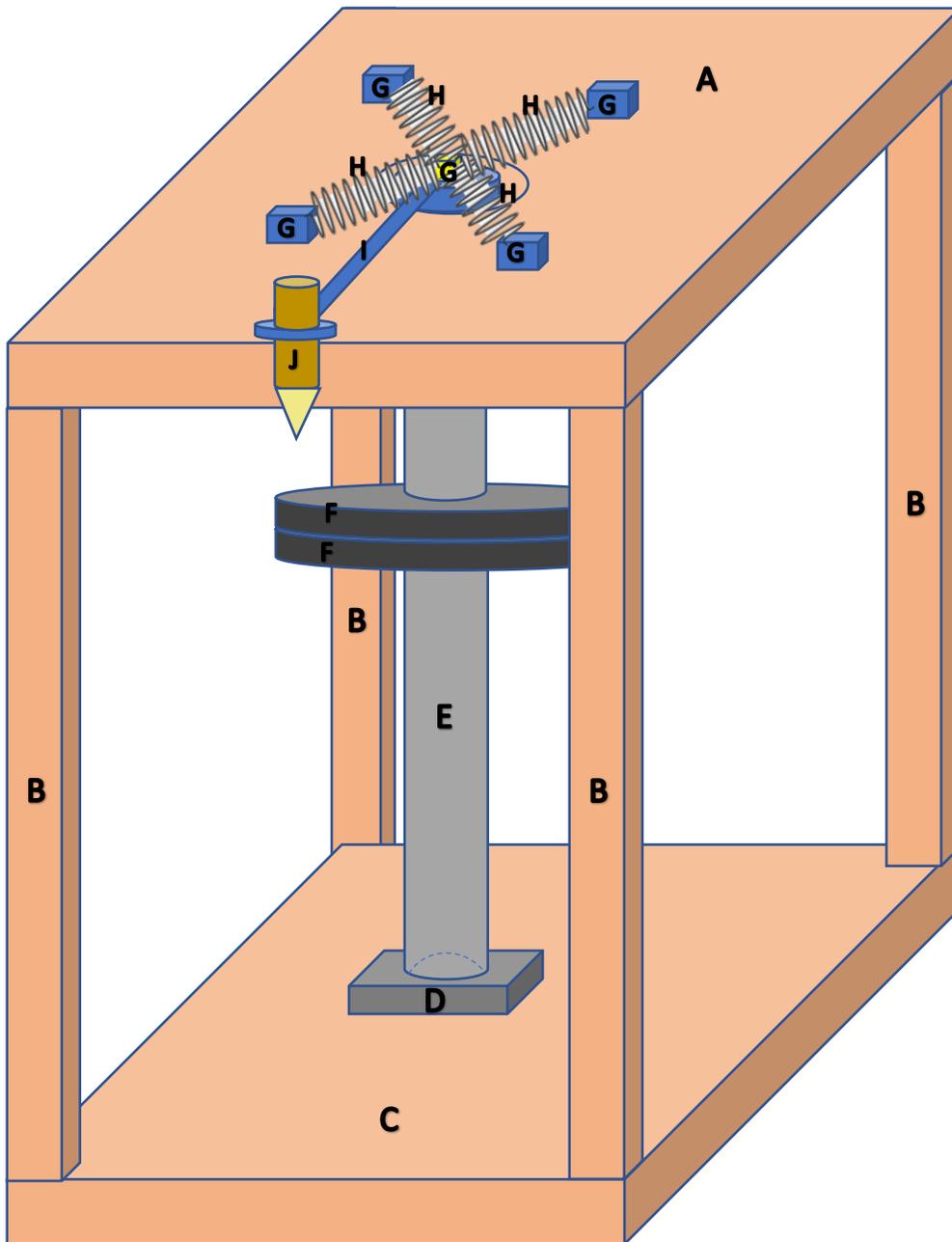
2. Base del péndulo invertido



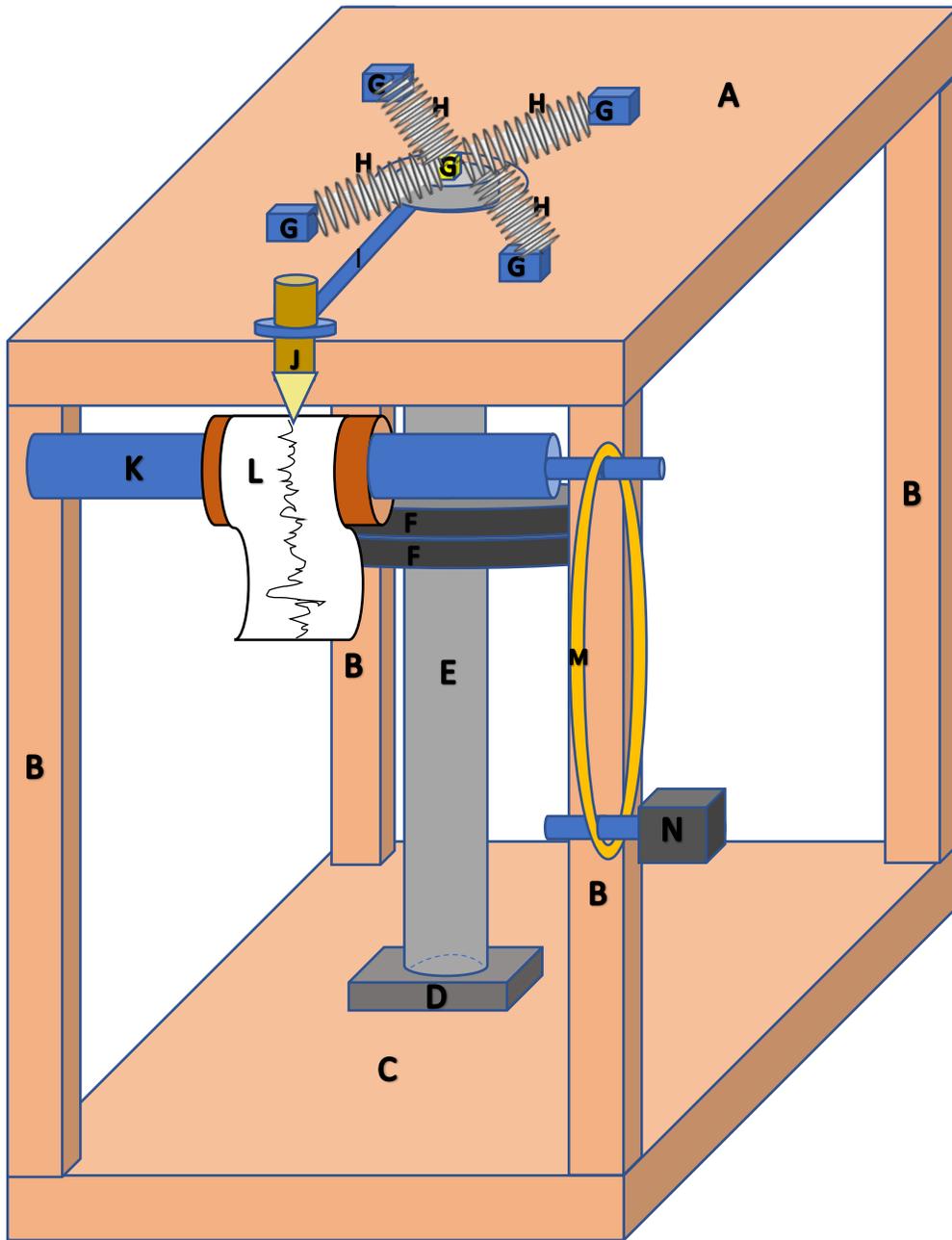
3. Parte superior del dispositivo



4. Sistema mecánico para grabar el movimiento



5. Estructura del Dispositivo (Péndulo Invertido)



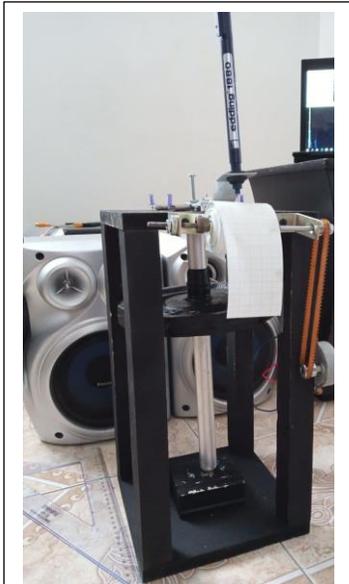
6. D.E.O.M.S

- Anexo 2 Costos.

MATERIALES	COSTOS
2 tablas de madera de 20X20 cm	\$4.000
4 palos de madera de 35 cm de alto y 3X3 cm de lado	\$5.000
1 tubo de aluminio de 2 cm de diámetro y 33 cm de alto	\$7.000
Cinta aislante	Reutilizado
6 chinchas o tachuelas	Reutilizado
16 tornillos, 6 tuercas	\$2.000
4 resortes	\$5.000
2 pesas de 5 libras c/u	\$25.000
1 disipador de calor de una CPU	\$2.000
2 tacos de madera aproximadamente de 1.8 cm de diámetro	Reutilizado
1 pluma de lectura de disco duro	Reutilizado
2 platinas de aluminio	Reutilizado
1 empaque de olla a presión	\$1.000
1 Rapidografo	\$7.000
1 motor de horno microondas (motor que hace girar el plato)	Reutilizado
2 poleas (con correa) de máquina de coser	\$10.000
2 cables y una clavija	\$4.000
1 tarro pintura	\$7.000
Transporte	Bicicleta
TOTAL GASTOS	\$79.000

- Anexo 3 Estructura de calibración

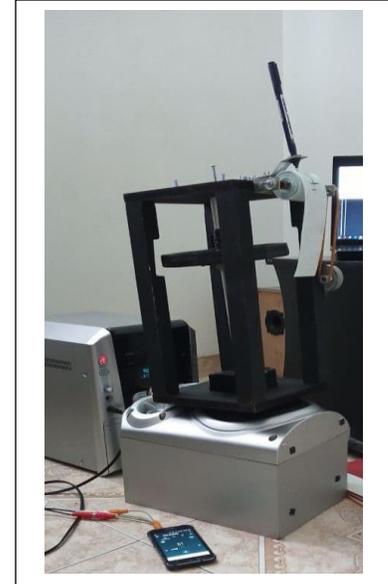
Anexo 3-a



Momento 1. Deoms a 10 cm de los amplificadores

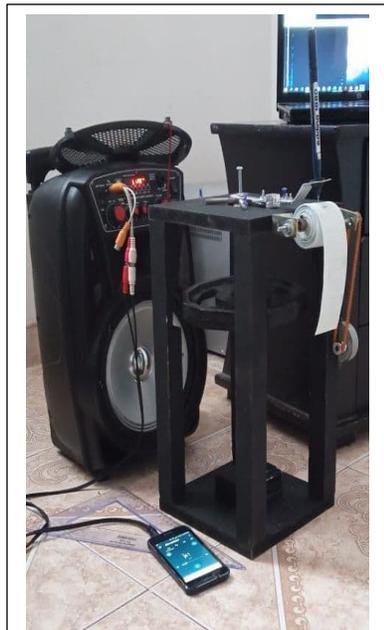


Momento 2. Deoms sobre los amplificadores



Momento 3. Deoms sobre el altavoz del uno de los amplificadores

Anexo 3-b



Momento 1. Deoms a 10 cm de la cabina de sonido

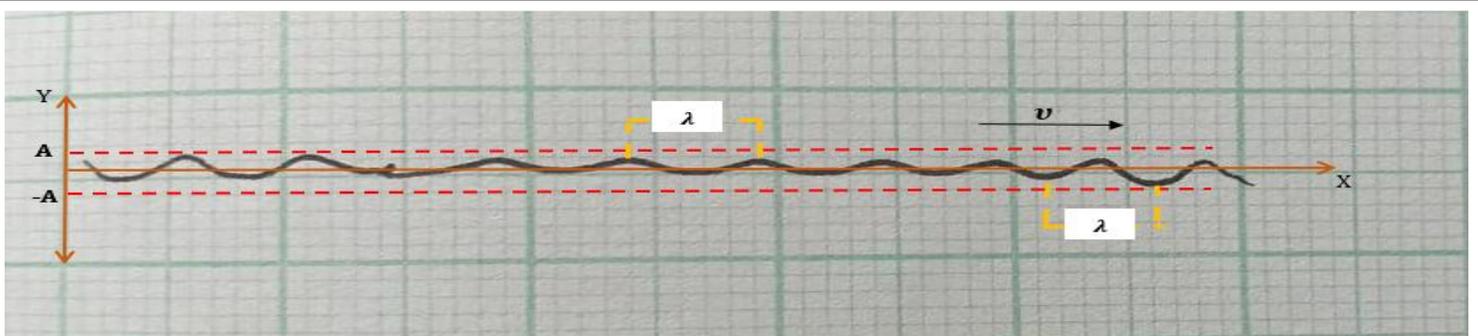


Momento 2. Deoms sobre el Altavoz de la cabina de sonido

Anexo 3-c



- Anexo 4 Registro y análisis

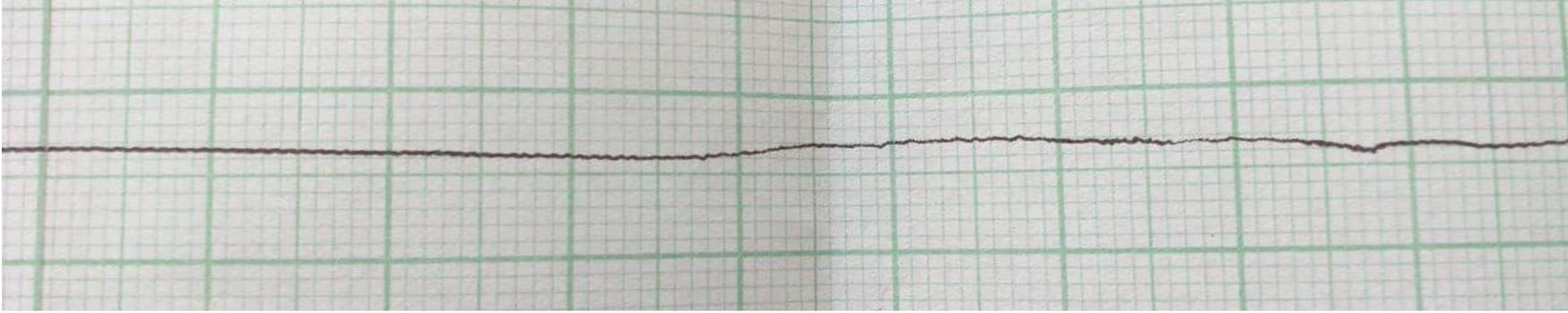
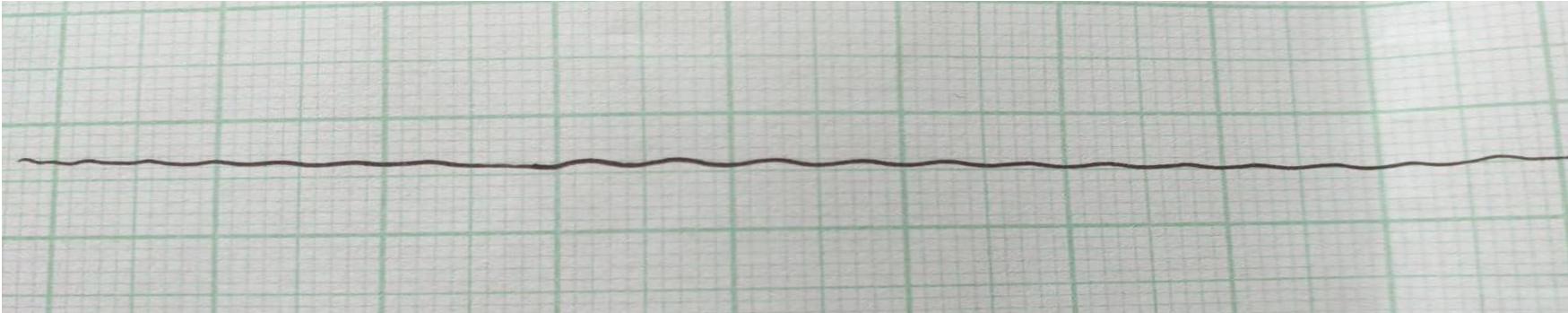


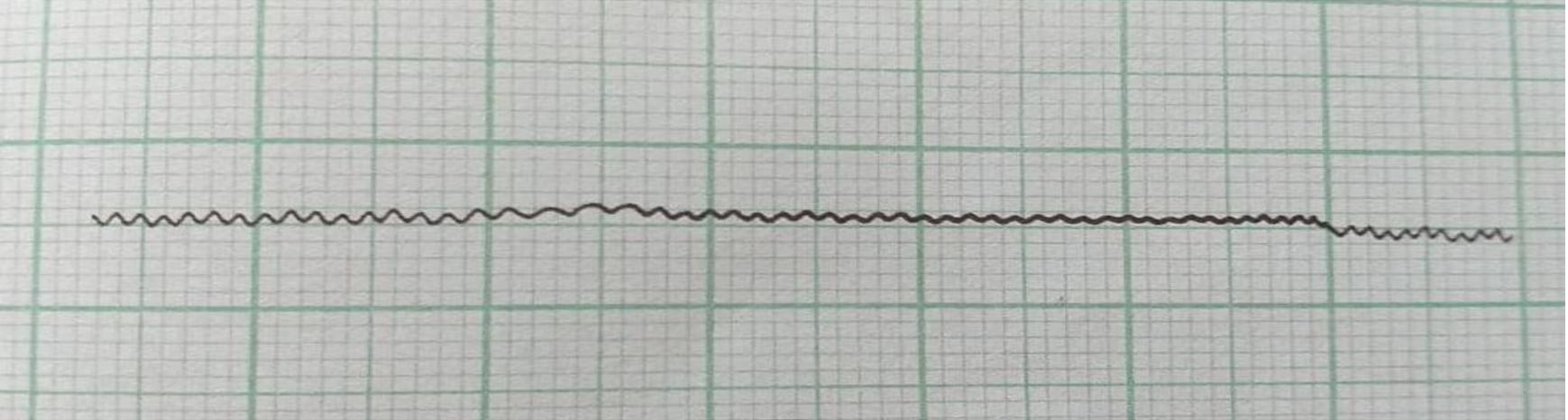
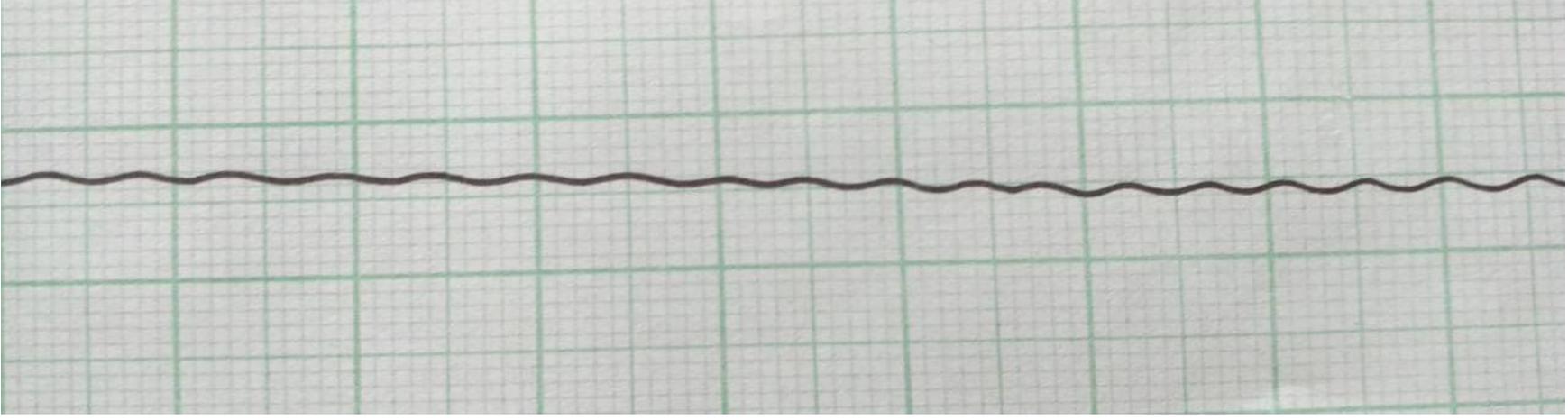
Grafica de un movimiento ondulatorio a una frecuencia de 75 Hz tomada por el DEOMS

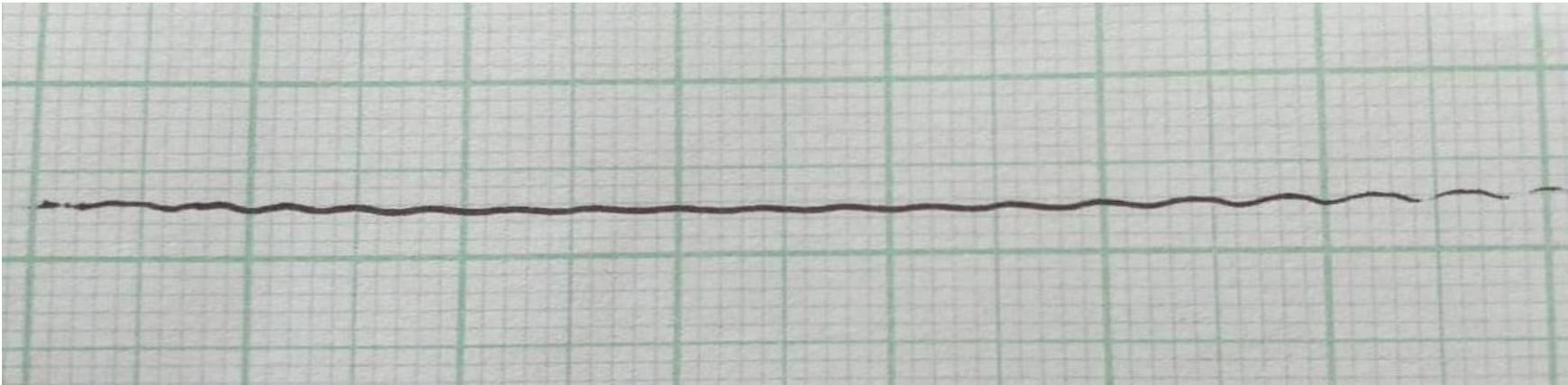
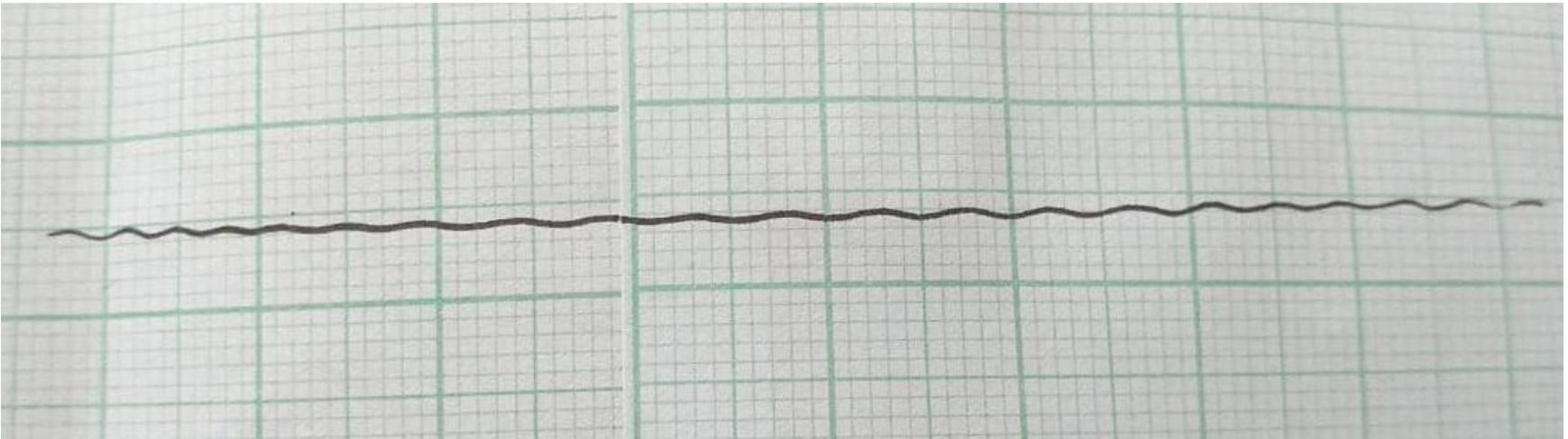
$A = \text{Amplitud}$
 $\lambda = \text{Longitud de onda}$

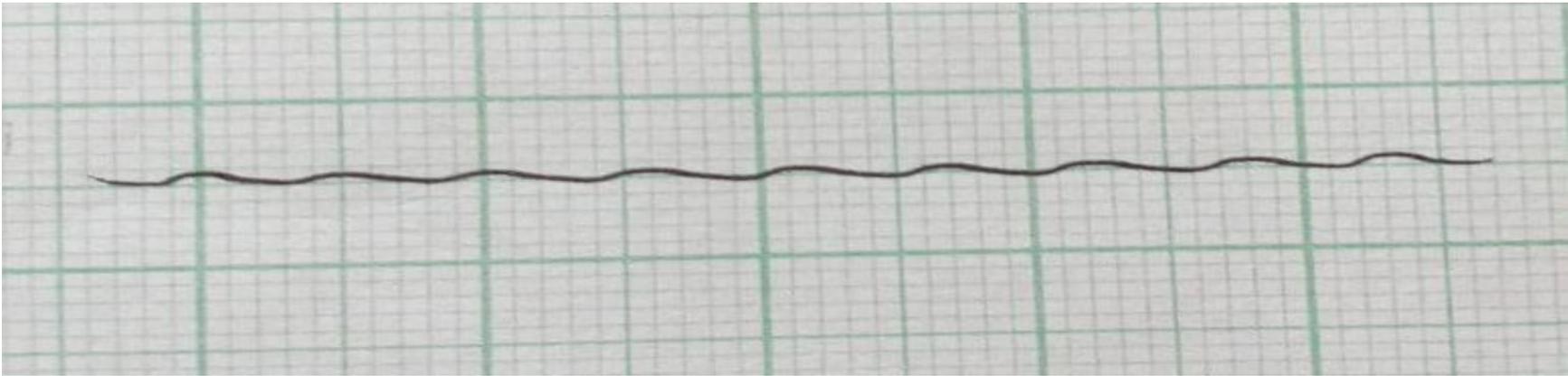
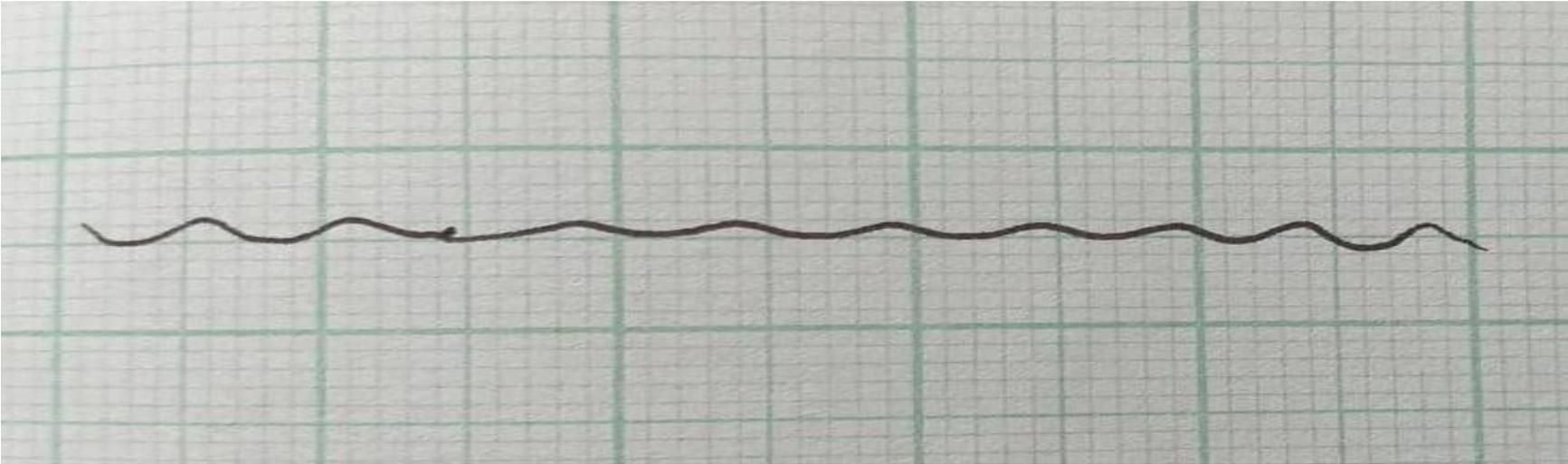
Esta grafica permite identificar características del registro grafico de un movimiento ondulatorio y se pone presente con el fin de mostrar las características de los registros gráficos que se muestran a continuación.

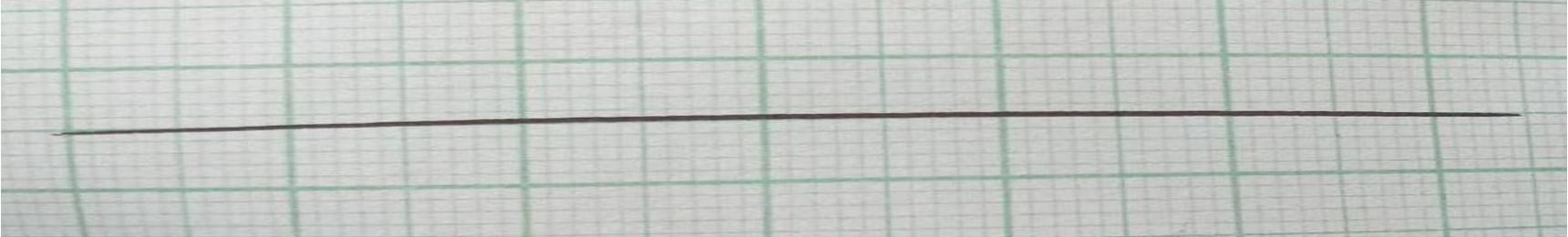
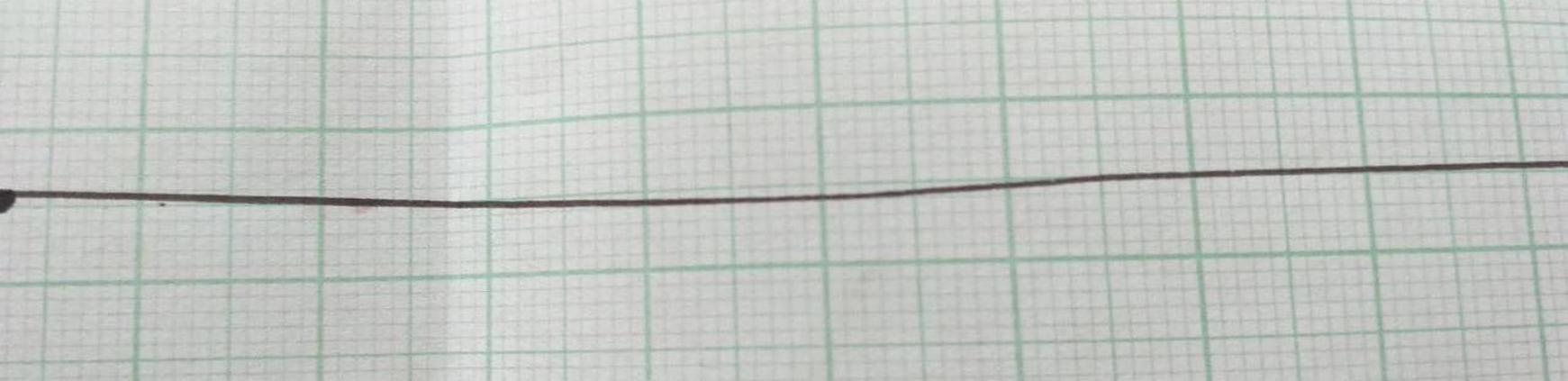
Los registros de las microvibraciones generadas a partir de las siguientes frecuencias se realizaron durante 15 segundos cada una.

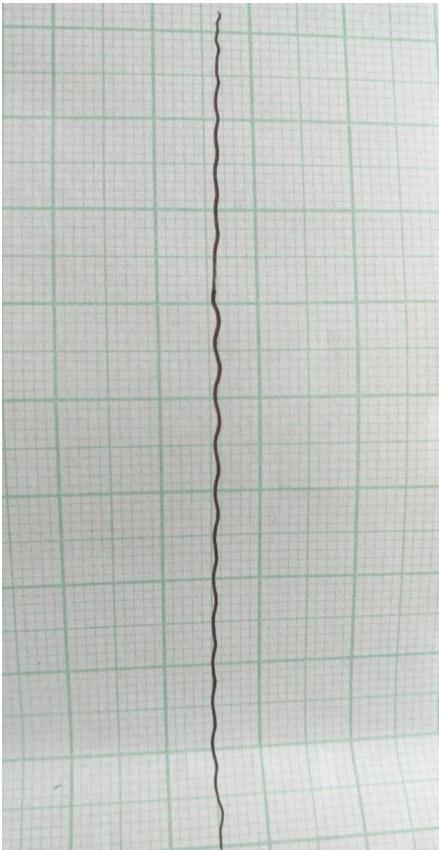
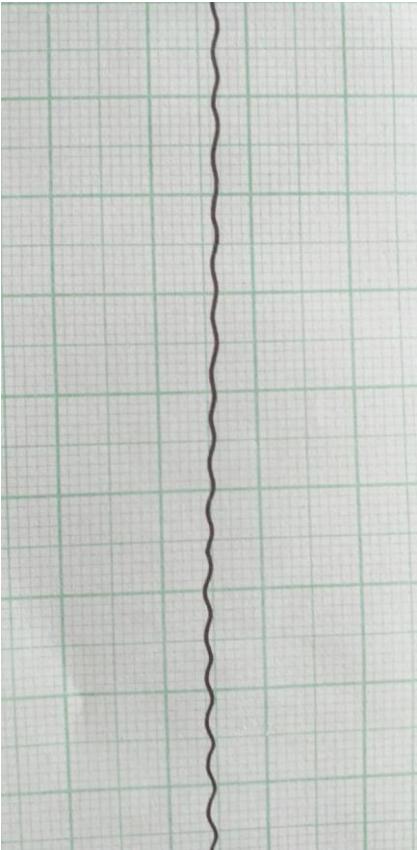
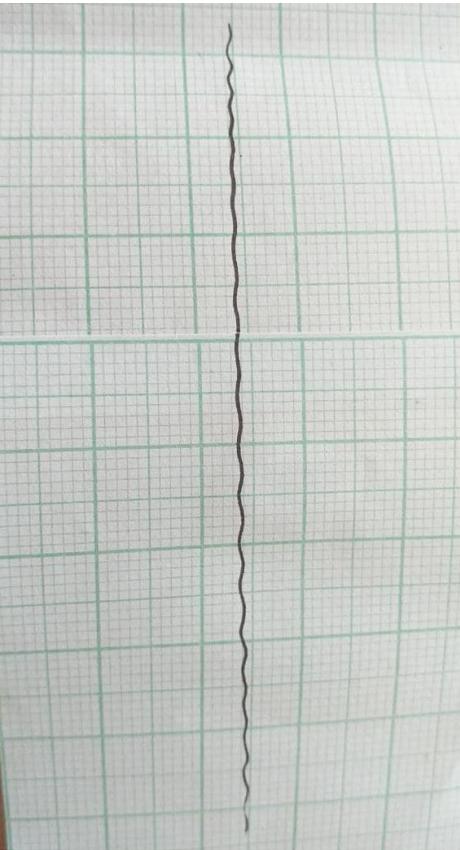
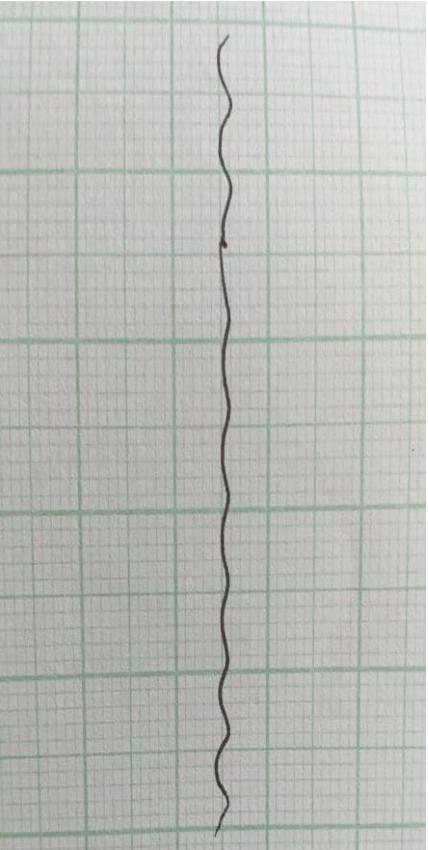
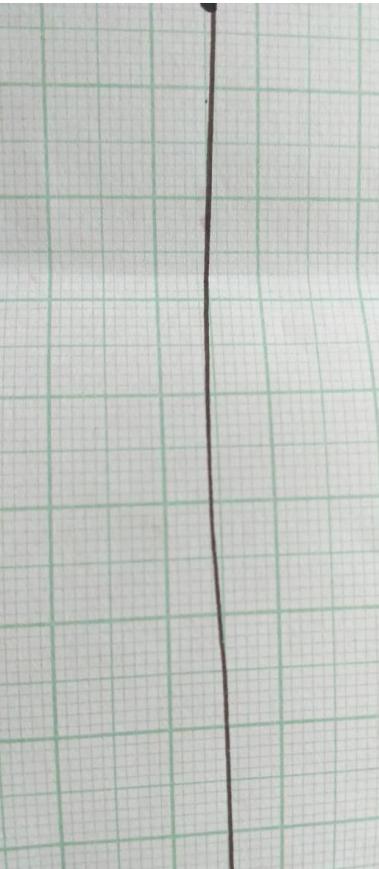
<p>Frecuencia: 60 Hz Potencia: Media</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p> <p>En el registro se puede evidenciar que con la potencia media se logra evidenciar que presenta una amplitud y una longitud de onda muy pequeños, casi que tienden a formar una recta.</p>
<p>Frecuencia: 60 Hz Potencia: Máxima</p>	<p>Registro:</p> 	<p>El registro con la potencia máxima se logra evidenciar una diferencia con la potencia media, ya que la amplitud y la longitud de onda son más notables, aunque la curva no es tan pronunciada.</p>

<p>Frecuencia: 65 Hz Potencia: Media</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p> <p>En la potencia media el registro permite identificar la amplitud y la longitud de la onda, esta última se logra ver que es aproximadamente de 1mm, la curva es pronunciada, aunque es muy pequeña.</p>
<p>Frecuencia: 65 Hz Potencia: Máxima</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p> <p>En la potencia máxima el registro es más notable, y permite evidenciar la diferencia de amplitud y de longitud de onda con la potencia media, esta curva es un poco más pronunciada que con la anterior frecuencia.</p>

<p>Frecuencia: 70 Hz Potencia: Media</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p> <p>En la potencia media, el registro no es tan claro, si bien por momentos se logra ver una curva esta no es tan pronunciada y en ocasiones tiende a una recta.</p>
<p>Frecuencia: 70 Hz Potencia: Máxima</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p> <p>En la potencia máxima, se logra evidenciar la longitud de onda y la amplitud, aunque es pequeña, la curva no es tan pronunciada, pero se logra ver la diferencia en los registros.</p>

<p>Frecuencia: 75 Hz Potencia: Media</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p> <p>En la potencia media, se logra evidenciar la amplitud y la longitud de onda, se logra ver la curva que se registra.</p>
<p>Frecuencia: 75 Hz Potencia: Máxima</p>	<p>Registro:</p> 	<p>En la potencia máxima, se logra evidenciar la amplitud y la longitud, aunque a simple vista parece que el registro es igual al de potencia media se presenta una diferencia tanto en amplitud como en la longitud de la onda, si se mira detalladamente.</p>

<p>Frecuencia: 80 Hz Potencia: Media</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Análisis:</p>
<p>Frecuencia: 80 Hz Potencia: Máxima</p>	<p>Registro:</p> 	<p>Tanto en la potencia media como en la potencia máxima el registro que se obtiene es una recta dejando en evidencia que en esta frecuencia el DEOMS no logra captar las micro vibraciones generadas.</p>

Frecuencia: 60 Hz	Frecuencia: 65 Hz	Frecuencia: 70 Hz	Frecuencia: 75 Hz	Frecuencia: 80 Hz	Análisis
<p data-bbox="276 334 397 367">Registro:</p> 	<p data-bbox="733 334 854 367">Registro:</p> 	<p data-bbox="1198 334 1319 367">Registro:</p> 	<p data-bbox="1674 334 1795 367">Registro:</p> 	<p data-bbox="2110 342 2231 375">Registro:</p> 	<p data-bbox="2386 415 2558 667">En registro se realizó con potencia máxima en cada una de las frecuencias.</p> <p data-bbox="2386 711 2558 1214">Se logra evidenciar que en cada una de estas el registro presenta diferencias y permite reconocer las posibles graficas que se registran en cada frecuencia.</p>

- Anexo 5. Guía de uso del DEOMS

GUÍA DE USO DEL DEOMS

Por: Didier Stiven Figueredo Rodríguez
Director: Giovanni Sierra Vargas

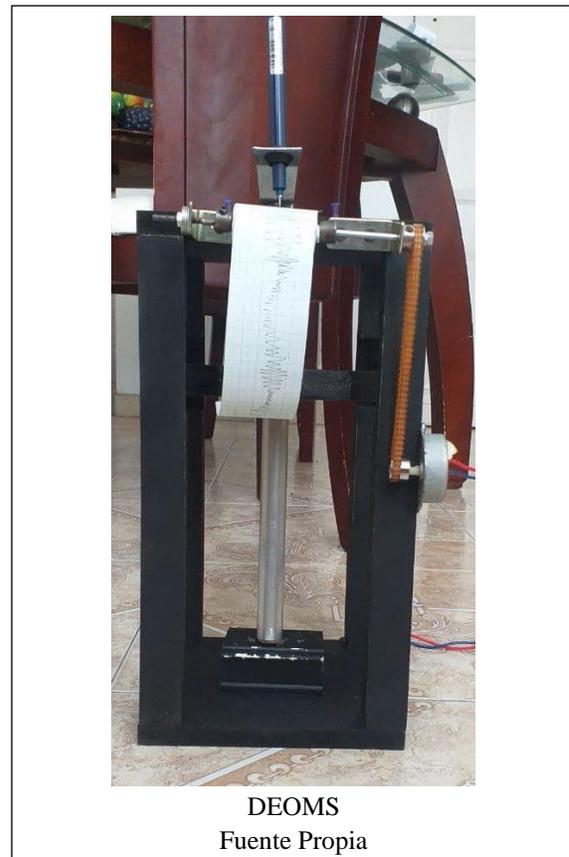
La finalidad de esta guía es para que usted como docente o docente en formación potencie los procesos de enseñanza del concepto de onda mecánica, teniendo en cuenta que el DEOMS le va a permitir que sus estudiantes identifiquen y estudien las variables presentes en los fenómenos vibratorios.

EL DEOMS

El Dispositivo para la Enseñanza de las Ondas Mecánicas a partir de los Sismos es una reconstrucción del sismógrafo de Wiechert, el DEOMS se convierte en una herramienta para la enseñanza del concepto de onda mecánica permitiendo fortalecer los procesos de aprendizaje en los estudiantes.

El DEOMS es construido con materiales de bajo costo y de fácil acceso con el fin de que el docente tenga la posibilidad de recrear el dispositivo y esto permita a los estudiantes tener un acercamiento a la construcción y manejo de dispositivos, generando un interés sobre el estudio de las Ciencias y en especial de la Física.

Esta guía se construye a partir del proceso de calibración, teniendo en cuenta variables como frecuencia, potencia, longitud de onda, entre otros.





OBJETIVO

Fortalecer los procesos de enseñanza sobre los conceptos que hacen parte de las ondas mecánicas teniendo como mediador el DEOMS y motivar a los estudiantes a conocer y estudiar los conceptos generales acerca de los sismos.

RECORDANDO

- Las ondas mecánicas son la propagación de energía de un lugar a otro por causa de una perturbación en un medio, para que se dé la formación de las ondas es necesario una fuente inicial perturbadora y un medio que propague la perturbación.

Las ondas mecánicas se pueden clasificar dependiendo de la dirección de propagación de la onda, estas son ondas transversales y ondas longitudinales, las primeras se caracterizan por presentar un desplazamiento perpendicular a la dirección de propagación, y las segundas por presentar un desplazamiento en la misma dirección de propagación.

- Los sismos o más conocidos como terremotos son fenómenos ondulatorios que se dan en la corteza terrestre por una liberación de

energía, esta se libera en todas las direcciones desde su origen en formas de ondas.

Las ondas sísmicas son de dos tipos, ondas internas y ondas superficiales:

- Las ondas internas son de dos formas ondas P y ondas S, las primeras son de tipo compresional o longitudinal, es decir, viajan en la misma dirección de propagación, las segundas son ondas transversales que sacuden la corteza terrestre de arriba hacia abajo, es decir su desplazamiento es perpendicular a la dirección de propagación.
- Las ondas superficiales son de dos formas y son causadas por la interferencia de las ondas P y S, estas ondas son las ondas Love y las ondas Rayleigh, las primeras describen un movimiento similar a las ondas S, ya que van en dirección perpendicular a la



propagación, las segundas presentan una propagación vertical lo que muestra una vibración comparable a una ola del mar, estas se pueden desplazar por cualquier tipo de medio.

FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del DEOMS es similar o análogo al sismógrafo de Wiechert, pues su funcionamiento está a la base del péndulo invertido y para lograr controlar las oscilaciones el péndulo tendrá acoplado 4 resortes que hacen que la oscilación sea amortiguada y esto permite controlar la inercia del péndulo y que la medición sea más exacta. Se sugiere que el DEOMS permanezca sobre una superficie plana para que el péndulo no se desajuste. Es importante dejar claro que el DEOMS medirá y graficará la componente temporal del movimiento, ya que para medir la componente espacial se debería tener varios dispositivos en diferentes puntos del espacio y más aún deberían estar juntos para poder evidenciar esa componente espacial.

Para la grabación del movimiento el péndulo invertido estará acoplado a la pluma que lee la información de un disco duro esta oscilará de forma horizontal, la grabación se

hará en un rollo de papel que girará automáticamente por el sistema mecánico que se ha ensamblado para realizar esta tarea.

Luego a partir del registro gráfico del movimiento, se podrá encontrar las relaciones que permitan llegar a la explicación del concepto de Onda Mecánica y algunas variables como la frecuencia y la amplitud de la perturbación, para lograr encontrar estas relaciones es importante calibrar el DEOMS para este proceso, se recomienda hacerlo con la ayuda de un simulador de movimiento o vibraciones o un generador de frecuencias.

USO

El DEOMS se debe usar sobre una superficie plana para lograr que el péndulo invertido se encuentre lo más ajustado posible, teniendo el DEOMS en la posición más adecuada se debe poner en funcionamiento el sistema mecánico de grabación, luego se debe generar una perturbación que saque del estado de equilibrio el DEOMS y se empiece a grabar el movimiento en el rollo de papel. Para generar la perturbación se propone usar un simulador de movimiento o vibraciones, teniendo en cuenta esto se proponen las siguientes posibles actividades a desarrollar

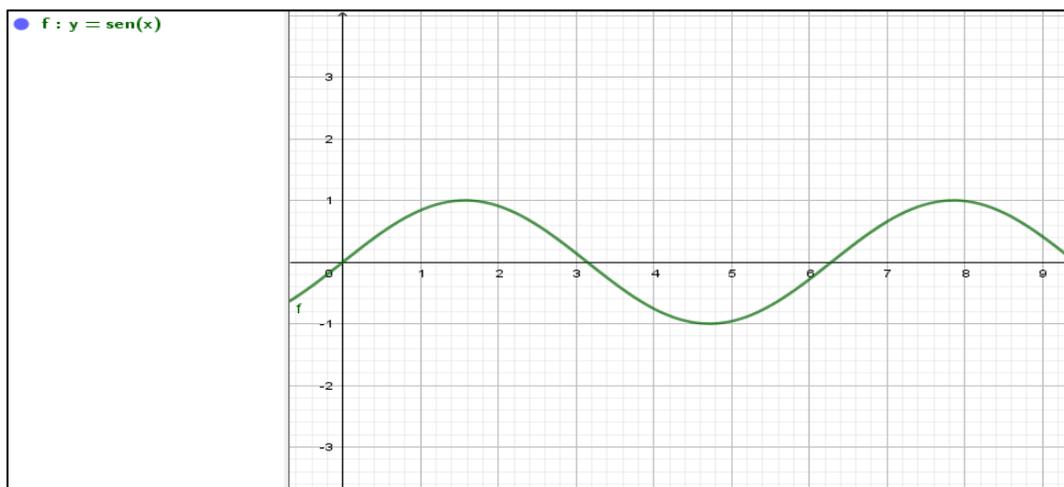
ACTIVIDADES

❖ Actividad #1

Objetivo: Conocer las ideas previas de los estudiantes a las ondas mecánicas y los fenómenos vibratorios y sísmicos.

Esta primera actividad está a la base de las preguntas que se encuentran a continuación con el fin de generar una discusión verbal con sus estudiantes e indagar las ideas y conceptos previos que tienen ellos poseen acerca de los fenómenos vibratorios y sísmicos.

1. ¿Qué es una onda?
2. ¿Qué es una vibración?
3. ¿Qué es un terremoto o sismo?
4. Según la gráfica de la función seno, ¿Se puede inferir que esto una onda? justifique lo anterior basado en la teoría del movimiento ondulatorio.



Grafica función seno. *Fuente propia, realizada en GeoGebra.*

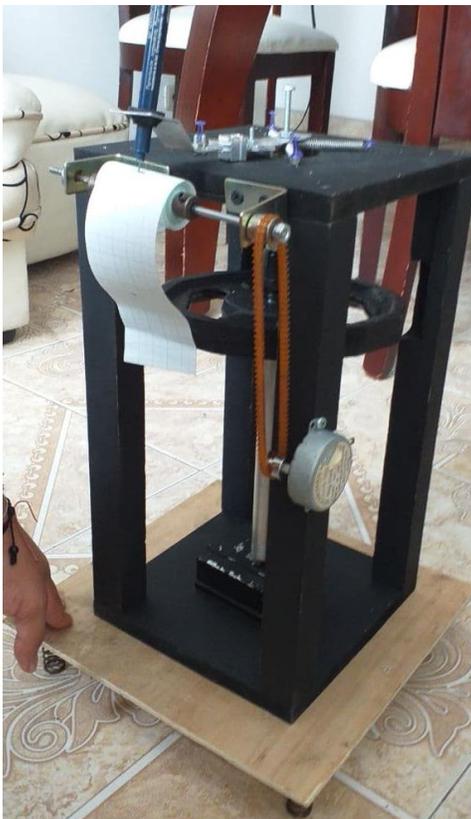
Al finalizar la discusión usted (Docente) debe recoger el mayor número de ideas dadas por los estudiantes y construir en conjunto un concepto preliminar de estos conceptos antes de tener la interacción con el DEOMS.



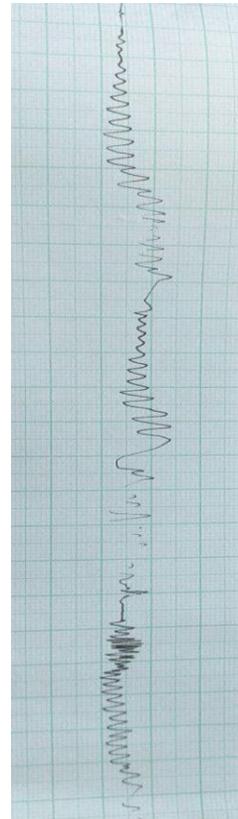
❖ Actividad #2

Objetivo: Identificar y analizar las posibles variables de un movimiento ondulatorio mediante un registro gráfico.

1. Hacer uso del DEOMS (por parte del docente) perturbándolo manualmente durante un determinado tiempo con el fin de que los estudiantes logren evidenciar el funcionamiento del dispositivo.
2. Los estudiantes analizaran un registro gráfico con el fin de identificar las posibles variables del movimiento
3. Si es posible proponer que los estudiantes calculen los posibles valores de la amplitud y la longitud de onda.



Perturbación manual en el DEOMS



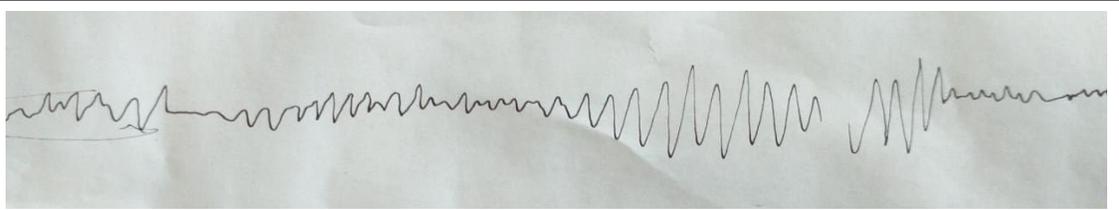
Registro Gráfico del DEOMS



❖ Actividad #3

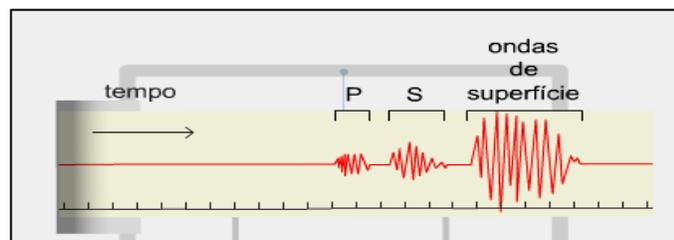
Objetivo: Comparar un registro grafico del DEOMS con un sismograma e identificar los posibles tipos de ondas sísmicas que el DEOMS gráfica.

1. Hacer una introducción acerca de las ondas sísmicas y luego usar del DEOMS (por parte del docente) perturbándolo manualmente o con un generador de frecuencias durante un determinado tiempo tomando varios registros.
2. Proporcionar a los estudiantes un registro de los tomados anteriormente y un sismograma, por ejemplo.



Registro Grafico DEOMS. Fuente propia

3. Mostrar a los estudiantes un sismograma con la identificación de las ondas sísmicas, luego proponer que identifiquen las posibles ondas en el registro grafico del DEOMS y el sismograma del punto anterior, por ejemplo.

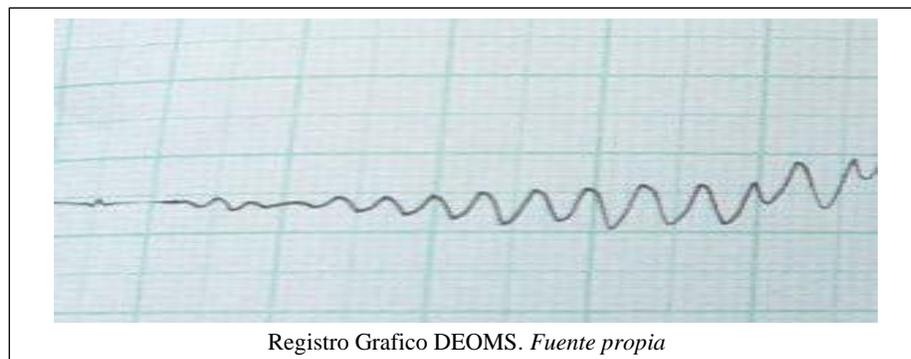
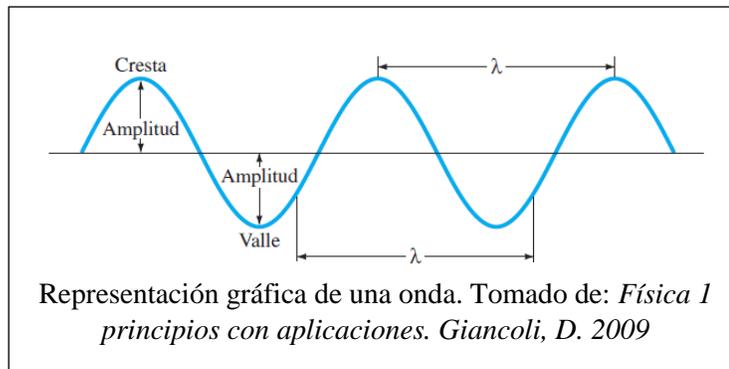




❖ Actividad #4

Objetivo: Identificar y comparar gráficamente las variables de frecuencia, amplitud, longitud de onda, de un registro tomado por el DEOMS y una gráfica de un libro de texto.

1. Hacer uso del DEOMS (por parte del docente) perturbándolo manualmente o con un generador de frecuencias durante un determinado tiempo tomando varios registros.
2. Proporcionar a los estudiantes un registro de los tomados anteriormente y una representación gráfica de la onda.



3. Realizar la comparación de los gráficos anteriores e identificar y señalar las posibles variables del movimiento ondulatorio en el registro del DEOMS.