

# Prototipo Preliminar para el estudio de ondas Sísmicas y su aplicación en el laboratorio de ciencias básicas

## Preliminary prototype for the study of seismic waves and its application in the laboratory of basic sciences

Monclou Salcedo, Alex Albero\* ; Vargas Escobar, Laura Juliana.

Semillero GITEL, Facultad de Ingeniería Electrónica,  
Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.

\*alex.monclou@upb.edu.co

### Resumen

*En la integración de las ciencias básicas aplicadas a la ingeniería específicamente para el caso de las ondas mecánicas, se planeará y adaptará un módulo con aplicaciones hardware y software que permitirá estudiar la propagación de las ondas transversales y longitudinales y proyectará su aplicación en obras civiles, evaluación de riesgo sísmico, localización de aguas subterráneas o en la búsqueda de hidrocarburos mediante técnicas de reflexión o refracción. El estudio de las propiedades mecánicas de los materiales, su resistencia a una fuerza aplicada, la recuperación cuando no se rebasa su límite elástico y la vibración que generan las moléculas y átomos al regresar al punto de equilibrio, permiten generalizar el conocimiento de las ondas y el movimiento ondulatorio. La ingeniería electrónica aplicada al campo de la sísmica, se preocupa por desarrollar equipos que permitan hacer una prospección del terreno de interés, para establecer cuál es la condición del subsuelo, sin generar un impacto ambiental grave sobre este.*

**Palabras clave:** Movimiento ondulatorio, ondas transversales y longitudinales, prospección geofísica, técnicas de reflexión y refracción.

### Abstract

*In the integration of the basic sciences applied to the engineering specially for the case of the mechanical waves, there will be planned and will adapt a module with applications hardware and software that will allow to study the spread of the transverse and longitudinal waves and will project its application in civil works, evaluation of seismic risk, location of ground water or in the search of hydrocarbons by means of skills of reflection or refraction. The study of the mechanical properties of the materials, its resistance to an applied force, there recovery when there is not exceeded its flexible limit and the vibration that generate the molecules and atom son having returned to the break even, they allow to generalize the knowledge of the waves and the undulatory movement. The electronic engineering applied to the field of the seismic, it cares about developing equipment that allow to do a prospect of the area of interest, to establish what the condition of the subsoil is, without generating a serious environmental impact on this one.*

**Key words:** Undulatory movement, Transverse and Longitudinal Waves, Geophysical Prospecting, Skills of Reflection and Refraction.

### 1 Introducción

En el ciclo denominado Ciencias Básicas incluido en los programas de ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Colombia, se incluye la asignatura Ondas en la modalidad teórica (Universidad

Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, 2008). El programa que se trabaja durante un semestre académico no desarrolla prácticas de laboratorio en donde se puedan apreciar y estudiar de manera básica los fenómenos físicos que allí se explican. Esta metodología puede hacer que los estudiantes en ocasiones olviden los fundamentos estudiados al no tener un referente práctico de la aplicación de los fenó-

menos físicos.

Con el proyecto se busca resaltar la importancia de esta materia profundizando en el estudio de las ondas mecánicas en particular. Teniendo en cuenta esto, surge la pregunta: ¿Cómo facilitar y acrecentar el interés hacia el estudio de ondas mecánicas mediante el desarrollo de un prototipo que permita observar una aplicación industrial de las mismas?

En la búsqueda de una primera respuesta al problema planteado anteriormente, se propone desarrollar un prototipo que permita la captura y procesamiento de ondas mecánicas de tal forma que se integren conocimientos acerca de las ondas mecánicas estudiadas en la asignatura ondas; proyectando su aplicación en la exploración sísmica.

Esta es una investigación realizada desde la facultad de Ingeniería Electrónica, en donde usualmente en el currículo del programa se enfatiza en el estudio de ondas electromagnéticas ya que la aplicación de las mismas se da en el área de las telecomunicaciones, en radiodifusión, en antenas o en equipos de estudios radiológicos para instrumentación biomédica entre otros. Mediante la realización de este proyecto se buscará un complemento con el estudio de ondas mecánicas, resaltando su importancia en la formación del futuro ingeniero electrónico (Vargas y col., 2014).

Gracias a desarrollos teóricos y prácticos en la exploración sísmica de hidrocarburos, en la actualidad es posible, obtener imágenes de las estructuras ubicadas en estratos someros y profundos (Pérez y col., 2010); también se puede proyectar el estudio de las ondas sísmicas en la predicción de amenaza sísmica en una zona de alto riesgo (Dagert y col., 2015). Teniendo esto presente, se plantea desarrollar un prototipo que permita realizar prácticas en el laboratorio visualizando aplicaciones industriales en la ingeniería. También se podrá tener en cuenta el entorno social colombiano y su responsabilidad con él ambiente, puesto que al estar en un país con riquezas e industria minera, se sensibilizará desde el aula su compromiso con el medio, adicional a la capacitación tecnológica razón de ser de su desarrollo profesional.

## 2 Ondas Elásticas en la Sísmica de Refracción y Reflexión

Parte del estudio del movimiento de una onda permite describir la transferencia de energía acompañada de un movimiento de materia a través del espacio (Serway y col., 2005). Dicho estudio incluye las perturbaciones y los efectos vibratorios en los materiales cuando se les aplica una fuerza externa tal que no rebasa el límite elástico del material lo cual permitirá que el mismo recupere su forma después de haber vibrado respecto a su posición de equilibrio (Wilson y col., 1992).

Haciendo un experimento para entender de manera intuitiva el desplazamiento de la energía, el más sencillo que se puede dar es tomar un trozo de madera y golpearla por un extremo, se sentirá entonces una vibración en el extremo

opuesto. Lo que ha sucedido es que cada parte del trozo de madera se deforma y regresa a su estado original haciendo que el evento se repita a lo largo del material, sintiéndose así el viaje de la deformación.

Las ondas mecánicas requieren de:

- La fuente que genere la perturbación.
- El medio que puede ser perturbado.
- Medio físico a través del cual los elementos del puedan influirse entre sí (Serway y col., 2005).

Tomando estos requerimientos y adaptando la terminología al presente estudio, se denomina onda elástica a la deformación que se desplaza por un medio elástico como el del experimento con el trozo de madera. Y se le da el nombre de onda sísmica cuando la deformación generada se desplaza a través de la tierra (Nava 1998).

La energía de deformación elástica liberada por una fuente sísmica se propaga por el subsuelo mediante ondas las cuales adoptan diversas características. La teoría de la elasticidad explica que son posibles dos tipos de ondas elásticas que viajan a través de la Tierra las cuales son conocidas como ondas de cuerpo u ondas internas, que a su vez pueden ser ondas compresionales (P) y ondas transversales (S).

- Ondas P. Son las denominadas ondas compresionales y se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio. En materiales isotrópicos las ondas P se caracterizan porque el movimiento de las partículas del suelo al paso de la onda sigue la misma dirección en que esta se propaga (Serway y col., 2005). En la Figura 1 se puede observar un ejemplo de onda compresional (Nava 1998).

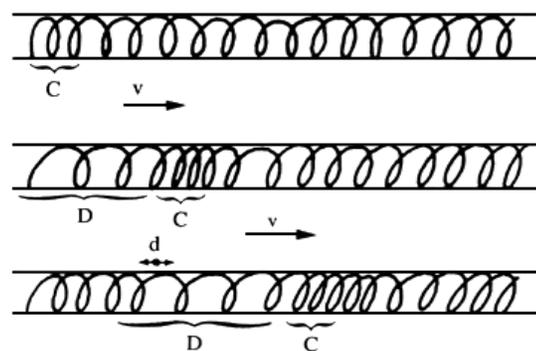


Fig. 1. Onda compresional propagándose a lo largo de un resorte con velocidad  $V$ . C indica compresión y D indica dilatación. El desplazamiento de las partículas del resorte se produce en las direcciones indicadas por D.

- Ondas S. Conocidas como ondas de corte u ondas secundarias. Siempre tienen menor velocidad que las ondas P y las partículas del suelo se mueven en dirección perpendicular a la dirección en que se propaga la onda (Cavada y col., 2000). En la Figura 2 se observa una onda de corte (Nava 1998).

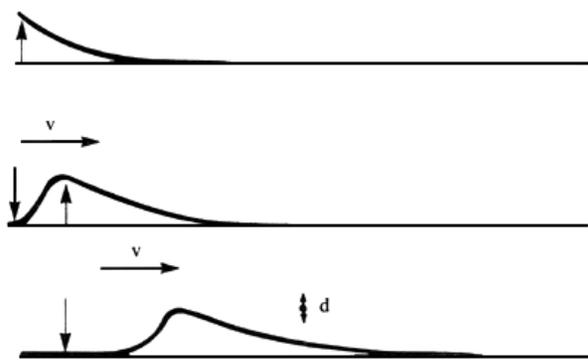


Fig. 2. Onda de corte propagándose con velocidad  $V$  a lo largo de una cuerda. El desplazamiento de las partículas de la cuerda se da en las direcciones indicadas por  $d$ .

El método de obtener información mediante ondas elásticas es utilizado en la prospección geofísica, tecnología que consiste en explorar el subsuelo mediante ondas sísmicas. Y de acuerdo a la definición que se dio en el estudio de las ondas mecánicas, el método de exploración geofísica involucra un elemento generador de ondas mecánicas, un medio de propagación que puede ser rocas, aire o agua; y un elemento detector de las mismas. Las ondas registradas entregan información de las propiedades elásticas y morfológicas del medio de propagación (González y col., 2003).

Una de las aplicaciones de este método es la exploración, término usado en la industria petrolera para designar la búsqueda de hidrocarburos, sea este petróleo o gas (Universidad de Buenos Aires). En la prospección sísmica existen dos métodos básicos de exploración, el de refracción y el de reflexión; estos permiten obtener información acerca de las estructuras geológicas presentes en el subsuelo. En el caso de la sísmica de refracción, su uso se da principalmente en la exploración de capas someras (Universidad Nacional Autónoma de México).

La información del subsuelo es aportada por las ondas sísmicas refractadas críticamente en las interfaces entre estratos de diferente velocidad de ondas sísmicas compresionales (ondas P). La mayor aplicación del método de refracción es explorar el subsuelo con fines geotécnicos o mineros a profundidades entre 0 y 100 m y es efectivo para delimitar la interfaz entre medios elásticos con un fuerte contraste de velocidad (Cavada 2000).

Por otro lado en la prospección por reflexión “La información del subsuelo es aportada por las ondas sísmicas que se reflejan a manera de un eco en las superficies de contacto (interfaces) de estratos con propiedades elásticas diferentes. Se utiliza principalmente para localización y detalle de estructuras geológicas favorables a contener yacimientos de hidrocarburos a profundidades entre 1000 y 4000 m.” (Cavada 2000) El método presenta inconvenientes para su utilización con fines geotécnicos en tierra a profundidades menores de 300 m; sin embargo, gracias al estudio de “Sísmica de reflexión de alta resolución en el estudio del Cuaternario de áreas de pie de monte” realizado por González B, Boyce J y Koseoglu B. del Instituto Geonorte, Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires, se afirma que “los principios básicos de la sísmica de reflexión son válidos tanto a profundidades someras como profundas pero ciertas particularidades del comportamiento de las ondas sonoras hacen necesario que la fuente de sonido, los receptores y en general el modo de operación sea marcadamente diferente en cada caso. La resolución vertical entre dos reflectores aumenta a medida que decrece la longitud de la onda.

En la búsqueda de hidrocarburos se requiere una alta energía de emisión para alcanzar las profundidades de interés, lo cual obliga a trabajar con frecuencias bajas (5-100 Hz) y resoluciones verticales en el orden de varios metros. A profundidades someras, como las que se dan en el estudio del Cuaternario, la energía puede ser menor y la frecuencia mayor. Así, pues, en depósitos poco consolidados, con velocidades de propagación bajas (1-3 km/s), las frecuencias de 100-300 Hz permiten resoluciones verticales menores de 1 metro.” (González y col., 2003). Basados en este estudio se puede concluir que la sísmica de reflexión se puede utilizar para exploraciones someras si se trabaja con la frecuencia adecuada.

#### Conceptos Básicos de Métodos Sísmicos

La exploración sísmica emplea las ondas elásticas que se propagan a través del terreno y que han sido generadas artificialmente. Su objetivo es el estudio del subsuelo en general, lo cual permite obtener información geológica de los materiales que lo conforman.

La prospección sísmica consiste en generar ondas sísmicas mediante una fuente emisora y registrarlas en una serie de estaciones sensoras (geófonos) distribuidas sobre el terreno. A partir del estudio de las distintas formas de onda y sus tiempos de trayecto, se consigue obtener imágenes del subsuelo que luego se relacionan con las capas geológicas (secciones sísmicas, campos de velocidades, etc.).

Cuando una onda sísmica encuentra un cambio en las propiedades elásticas del material, como es el caso de una interfaz entre dos capas geológicas; parte de la energía continúa en el mismo medio (onda incidente), parte se refleja (ondas reflejadas) y el resto se transmite al otro medio (ondas refractadas) con cambios en la dirección de propagación, en la velocidad y en el modo de vibración (Gayá y col., 2006).

Las leyes de la reflexión y la refracción se derivan por el principio de Huygens cuando se considera un frente de onda que incide sobre una interfaz plana y la ley de Snell dice que si un rayo pasa de un medio de menor velocidad a otro de mayor velocidad se aleja de la normal, mientras que si pasa de un medio de mayor a otro de menor velocidad se acercará a ella. En particular, cuando el ángulo de refracción es de  $90^\circ$ , el rayo llamado críticamente refractado viaja por el medio inferior, paralelamente a la interfaz.

En la Figura 3 se puede observar un diagrama que ayuda a explicar la Ley de Snell (Nava 1998).

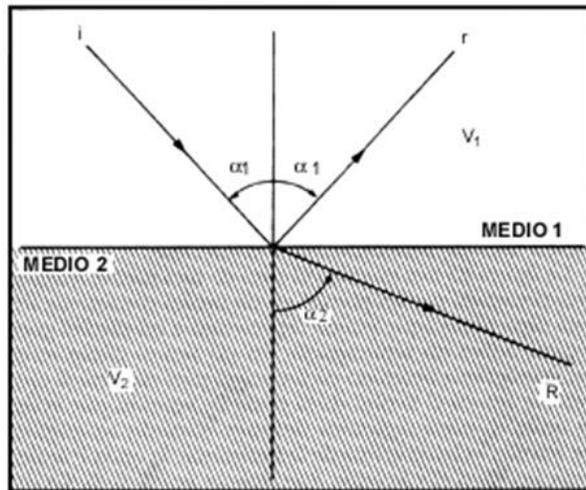


Fig. 3. Ley de Snell, reflexión y refracción de una onda.

Si se traza una línea perpendicular a la interfaz y se miden los ángulos que forman los distintos rayos, según la ley de Snell se relacionan así:

$$\text{sen } \alpha_1 / \text{sen } \alpha_2 = V_1 / V_2 \quad (1)$$

$V_1$  es la velocidad (P o S) del rayo en el primer medio y  $V_2$  es la velocidad en el segundo medio.

La ley de Snell proporciona información sobre las trayectorias de los rayos, los tiempos de llegada y la posición de los refractores, pero no proporciona información alguna sobre las amplitudes de las ondas (Gayá y col., 2006).

## 2.2 Sísmica de refracción

“Se conoce como refracción, al fenómeno ondulatorio que se genera cuando la onda que se propaga al cambiar de medio, cambia su dirección y velocidad de propagación” (Wilson 1992).

El método se basa en la medición del tiempo de viaje de las ondas refractadas críticamente en las interfaces entre las capas con diferentes propiedades físicas.

La energía sísmica se genera mediante un impacto controlado en superficie (o a una determinada profundidad) que va propagándose en forma de onda elástica a través del subsuelo interactuando con las distintas capas, de manera que una parte de la energía se refleja y permanece en el mismo medio que la energía incidente, y el resto se transmite al siguiente medio con un fuerte cambio de la dirección de propagación (fenómeno denominado refracción).

Una representación gráfica de este fenómeno, es la observada en la Figura 4 (Gayá y col., 2006).

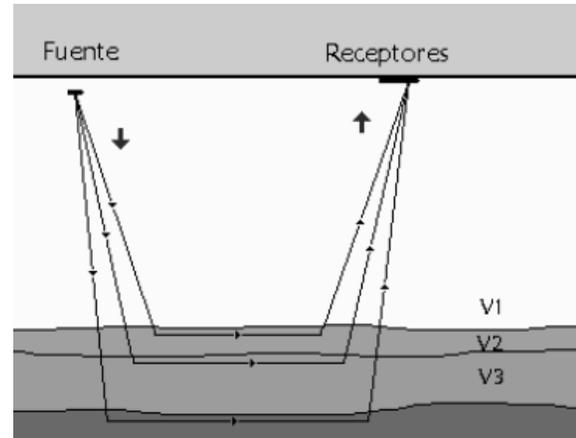


Fig. 4. Sísmica de refracción.

## 2.3 Sísmica de reflexión

“Se denomina reflexión de una onda, cuando ésta al encontrar un obstáculo, cambia su dirección y la dirección de la onda incidente y de la onda reflejada forman el mismo ángulo con la recta normal a la superficie del obstáculo” (Wilson 1992).

El método sísmico de reflexión se basa en las reflexiones del frente de onda sísmico sobre las distintas capas del subsuelo. Estas capas (reflectores) responden, al igual que en la refracción, a contrastes que posteriormente se relacionarán con las distintas capas geológicas. Las reflexiones son detectadas por los receptores (geófonos) que se ubican en superficie y que están alineados con la fuente emisora. Dado que las distancias entre la fuente y los receptores son pequeñas respecto a la profundidad de penetración que se alcanza, se asegura la obtención de reflexiones.

Este fenómeno se observa en la Figura 5 (Gayá y col., 2006).

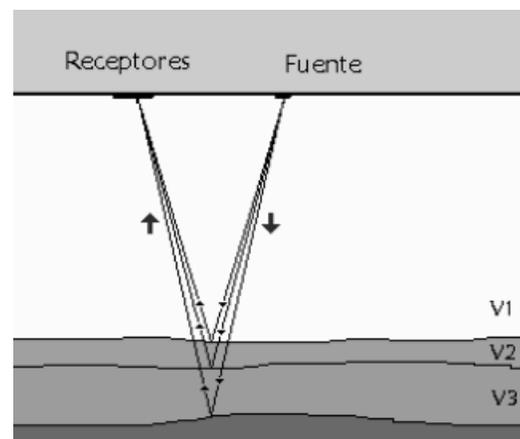


Fig. 5. Sísmica de reflexión.

### 2.4 Ejemplo de una fuente sísmica

La Figura 6 permite visualizar el comportamiento de una fuente sísmica en un medio que puede representar una capa geológica (Nava 1998).

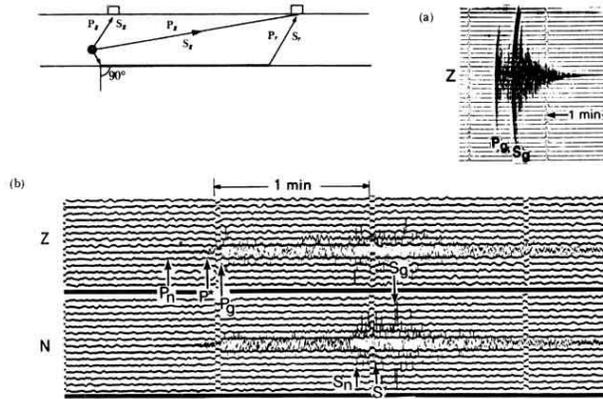


Fig. 6. Registro sísmico cercano y lejano.

La Figura 6 - (a) muestra el registro sísmico obtenido en un punto cercano al lugar de origen. Se observa la llegada de las ondas P y S, ( $P_g$  y  $S_g$ ). Esta grafica corresponde a lo registrado por un sismo natural, pero permite visualizar lo que se puede obtener al hacer el registro con una fuente sísmica controlada.

En la Figura 6 - (b) se observa el sismograma correspondiente a un punto más lejano del epicentro. Allí se detalla el arribo de la onda P ( $P_g$ ) y un minuto después la onda S ( $S_g$ ) (Nava 1998).

### 3 3 Instrumentación Electrónica para la Medición de Ondas Sísmicas en el Laboratorio

En el desarrollo del prototipo para el laboratorio de ciencias básicas, se ha revisado la literatura de dispositivos comerciales y los de uso en la facultad de ingeniería de la UPB Bucaramanga. Lo que hasta el momento se acerca al objetivo propuesto es la línea de National Instruments que da la posibilidad de adquirir información mediante una tarjeta de varios canales, el uso del software LabView y la integración con los sensores SiliconDesigns como elementos captadores de la información.

#### 3.1 Sensor SiliconDesigns 2012-050

El sensor *SiliconDesigns* 2012-050, mostrado en la Figura 7, es un acelerómetro que se adapta a la tarjeta de adquisición de datos NI USB-9234 (*SiliconDesigns*).



Fig. 7. Sensor *SiliconDesigns* 2012-050.

Este es el dispositivo que permitirá realizar la toma de señales. Estará acoplado a la tarjeta que almacenará los datos para que puedan ser analizados y procesados mediante el Toolkit "sound and vibration" del programa *LabView*.

El Sensor 2012-050 de *SiliconDesign* es un acelerómetro capacitivo que mide el cambio de capacidad eléctrica de un condensador mediante una masa sísmica situada entre las placas del mismo, tal que al moverse hace cambiar la corriente que circula entre las placas del capacitor.

Los acelerómetros capacitivos tienen la característica de poder medir aceleración desde 0Hz hasta varios cientos de Hz, por lo que se suelen emplear para aplicaciones de baja o muy baja frecuencia, característica que se adapta al tipo de señales que se utilizaran en el proyecto propuesto (SENSING).

#### 3.2 Tarjeta de Adquisición de Datos NI USB-9234

El NI USB-9234 es un módulo de cuatro canales utilizado en la adquisición de la señal dinámica para realizar medidas de frecuencia de audio de alta precisión y se adapta a los sensores piezoeléctricos electrónicos integrados. Los cuatro canales de entrada digitalizan señales simultáneamente en rangos de hasta 51.2 Hz por canal con filtros *anti-aliasing* integrados que se ajustan automáticamente a su rango de muestreo (National Instruments).

La tarjeta de adquisición se muestra en la Figura 8 (National Instruments).



Fig. 8. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-9234

El Toolkit "sound and vibration" del programa *Lab-Views* el software con el que se pueden analizar las señales tomadas con la tarjeta de adquisición de datos.

### 4 Resultados Esperados

Se desarrollará un prototipo básico utilizando herra-

mientas académicas como son el *Toolkit "sound and vibration"* del programa *LabView* sensores de vibración tal que permita hacer un estudio primario de las ondas longitudinales y transversales en un ambiente de laboratorio. Se proyectaran dichos ensayos a la aplicación de los estudios de las ondas mecánicas hacia la prospección geofísica, teniendo en cuenta que como investigación inicial, se está en la búsqueda de componentes apropiados y en el aprendizaje del uso de las herramientas software.

Se resaltará el ambiente de laboratorio, puesto que se busca incentivar a los estudiantes de ingeniería a tomar conciencia y profundizar en los estudios de la física de ondas tal que los conceptos básicos de las ondas mecánicas se vean aplicados en la industria. Para este caso, el prototipo de laboratorio mostrará la propagación de las ondas mecánicas y se proyectará su uso en la exploración geofísica, amplio campo de trabajo de la ingeniería.

El uso de los dispositivos tales como sensores, tarjetas de adquisición de datos y programas de computador, permitirá hacer pruebas básicas las cuales serán un primer acercamiento a lo que ofrece la industria y conocer las aplicaciones en el campo de la exploración sísmica.

Se desarrollará un manual que tratará los temas desde las bases de la física de ondas, el estudio teórico, su aplicación en la prospección geofísica y los ensayos que se puedan llevar a cabo en el laboratorio (Coffeen 1978).

## 5 Conclusiones

A toda nación le conviene una eficiente extracción de hidrocarburos lo cual involucra tiempo, dinero y personal capacitado. Parte de esto se logra con un estudio a fondo del subsuelo que rodea los yacimientos en donde la sísmica es una herramienta imprescindible para este fin. Colombia como país con grandes riquezas mineras debe fortalecer la formación de sus ingenieros en este aspecto para lograr un óptimo aprovechamiento de los recursos. Esto se puede llevar a cabo con un estudio profundo de las ciencias básicas en ingeniería, especialmente la investigación de los fenómenos que se tratan en la física de ondas.

Sin lugar a dudas, los métodos sísmicos de prospección constituyen la principal herramienta de exploración y caracterización de reservorios de hidrocarburos en cualquier cuenca de nuestro planeta. Esta herramienta, que utiliza tecnología y ciencia de frontera, vive en permanente desarrollo y es importante, para quienes están involucrados con este quehacer de las Ciencias de la Tierra, conocer sus fundamentos y particularidades (Herrera, Y. Cooper, N., 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior y buscando acrecentar el interés de los estudiantes de ingeniería electrónica en el estudio de las ondas mecánicas, el proyecto es una oportunidad para que utilizando herramientas hardware y software cercanos a la academia, se facilite la comprensión de la propagación de las ondas y su aplicación en el campo de la exploración geofísica.

## Referencias

- Cavada JM, 2000, Universidad central de Venezuela. Guía de prospección sísmica por refracción. Facultad de ingeniería. Escuela de minas y geofísica. Departamento de ingeniería geofísica. Disponible en: <<http://www.geocities.ws/geofisicaucv/Archivos/refracc4.pdf>>.
- Coffeen JA, 1978, Seismic Exploration Fundamentals. PennWellBooks.
- Dagert JM, Choy JE, Araguren R, Cerrada M, Klarica S, 2015, Determinación de Velocidades P y S de las Unidades Rocosas Aflorantes en el Área Metropolitana de Mérida, Venezuela. Boletín de Geología. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander. Vol. 37, No.1-2015. ISSN: 0120-0283.
- Gay MA, 2006, Universidad Politécnica de Catalunya, UPC, Métodos Sísmicos, Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3404/7/41205-7.pdf>>.
- Gonzalez G; Boyce JI y Koseoglu BB, 2003, Sísmica de reflexión de alta resolución en el estudio del Cuaternario de áreas de pie de monte. Rev. Asoc. Geol. Argent. .vol.58,n.1,pp.78-84. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-48222003000100006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222003000100006&lng=es&nrm=iso). ISSN 0004-4822.
- Herrera Y, Cooper N, 2010, Manual para la adquisición y procesamiento de sísmica terrestre y su aplicación en Colombia. Universidad nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias. Bogotá – Colombia. ISBN 978-958-446026-4 (volumen). Disponible en: <[http://www.apigeophysical.com/2/Manual\\_Tecnicas\[1\].pdf](http://www.apigeophysical.com/2/Manual_Tecnicas[1].pdf)>
- National Instruments. NI USB-9234. Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/20448>.
- Nava, Alejandro, 1998, ONDAS SIMICAS, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa, Disponible en: <[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/34/html/sec\\_8.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/34/html/sec_8.html)>
- Pérez CA, 2010, Evaluación del Mejoramiento en la Exploración de Estratos Someros a Través del Uso de Sísmica de Alta Resolución. Universidad EAFIT. Escuela de ingeniería. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Medellín, Colombia. SENSING, Acelerómetros Capacitivos, Disponible en: <<http://www.sensores-de-medida.es/sensing>>
- Serway R, Jewett J, 2005, Física para ciencias e ingeniería, Volumen I, THOMSON, 6ª edición.
- SILICON DESIGNS, SILICON DESIGNS MODEL 2012, Disponible en: <<http://www.silicondesigns.com/pdfs/2012.pdf>>.
- Universidad de Buenos Aires, UBA, Facultad de Ingeniería, Técnicas Energéticas -67.56. Exploración. Disponible en: <[http://materias.fi.uba.ar/6756/Clase\\_Exploracion1C07.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6756/Clase_Exploracion1C07.pdf)>.
- Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Re-

sultados del método geofísico sísmica de refracción, Disponible

en:<<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/105/A8.pdf?sequence=8>>.

Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Renovación de la Acreditación del Programa de Ingeniería Electrónica, 2008, Tomo II.

Vargas EL, Monclou S, Alex A, M.S.A., 2014, Prototype for the study of physical phenomenon manifested in seismic waves, Cochabamba, Bolivia, ISBN: 978-99974-44-97-4 ANDESCON, 2014 IEEE , vol., no., pp.1,1, Disponible en:<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7098578&isnumber=7098533>

Wilson JD, 1992, Física con aplicaciones. México: McGraw-Hill. 2ª edición.

**Recibido:** 17 de febrero de 2016

**Aceptado:** 08 de enero de 2017

**Monclou S, Alex A:** Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Magister en Ingeniería. UPB Medellín, Colombia. Profesor asociado UPB Bucaramanga. Integrante del grupo GITEL. Áreas de interés: Exploración geofísica, registros casedhole, open hole, didáctica en las ciencias básicas.

**Vargas E, Laura J:** Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Colombia. Miembro de los semilleros BISEMIC y GITEL. Áreas de interés: Ingeniería Biomédica, Audio, Domótica y Sísmica. Correo electrónico: [laura.vargase@upb.edu.co](mailto:laura.vargase@upb.edu.co).

