

Introducción

De acuerdo con García Martínez (2009) las ondas se propagan por la liberación de energía que se da cuando ocurre el rompimiento de una roca. Al ocurrir la liberación de energía, ésta se propaga en todas direcciones. Las ondas que se generan siguen una trayectoria hasta llegar a un receptor o sensor, en donde se produce una señal que puede ser graficada contra el tiempo, esto es lo que se conoce como sismograma; aquí se obtiene la información acerca de la fuente sísmica, la trayectoria de la onda, condiciones del suelo y los parámetros del equipo de grabación (p.6).

En el presente proyecto se ha buscado modelar la ecuación de Navier, misma que modela la propagación de ondas en un medio elástico. Para ello se ha trabajado con el método de diferencias finitas mediante la formulación de velocidad-esfuerzos. La ecuación de Navier surge de la combinación de la ley de Hooke y la segunda ley de Newton.

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad (2^{da} \text{ Ley de Newton})$$

$$\sigma_{ij} = c_{ij,kl} \frac{\partial u_k}{\partial x_l} \quad (\text{Ley de Hooke})$$

$$\rho \frac{\partial v_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(c_{ij,kl} \frac{\partial u_k}{\partial x_l} \right) + f_i \quad (\text{Ecuación de Navier})$$

A continuación se presentarán algunos aspectos teóricos importantes de tener en cuenta.

Diferencias finitas para resolver ecuaciones diferenciales

Con base en lo establecido por Aldea Ramos (2015) la diferencias finitas es un método de tipo discreto en el cual la ecuación en estudio se resuelve de forma aproximada en un conjunto finito de puntos localizados en el dominio en los que se desea hallar la solución. Entonces lo que se hace es discretizar el problema. Estos puntos se ubican en una malla, y se usan para subdividir el espacio del problema (p.15). Además García Martínez (2009) aclara que en las diferencias finitas las ecuaciones diferenciales que gobiernan el movimiento son remplazadas por ecuaciones recursivas. Estas son las que forman una malla, así la solución en cada nodo en sucesivos intervalos de tiempo se calcula (p.2).

Los siguientes conceptos se basan en lo estudiado por García Martínez (2009):

Esfuerzos

Un esfuerzo es la razón de fuerza actuando en un área, por lo tanto, las unidades en que se mide es de fuerza entre unidad de área. Entonces al ser aplicado un esfuerzo este se distribuye e influye antrvés del cuerpo. hay dos tipos de fuerzas: fuerza de cuerpo y fuerza de superficie (p.12-13).

Ley de Hooke

Cuando se aplica un esfuerzo a un cuerpo y éste se deforma, dicha deformación es proporcional al esfuerzo, a ésta relación se le denomina ley de Hooke. Cuando se de ja de aplicar el esfuerzo el cuerpo deformado tiende a regresar a su forma inicial, sin embargo, está limitada ya que si el esfuerzo es mayor que la resistencia del material se ocasiona una ruptura en éste (p.10).

Impulso de Ricker

El impulso de Ricker u ondícula de Ricker cuenta con atributos como su amplitud, frecuencia y fase. La ondícula se origina como un paquete de energía proveniente del punto fuente, que tiene un origen específico en el tiempo y retorna a los receptores como una serie de eventos distribuidos en el tiempo y como energía. La distribución es una función de los cambios de velocidad y densidad producidos en el subsuelo y de la posición relativa de la fuente y el receptor. La energía que retorna no puede exceder la energía de entrada, de manera que la energía de cualquier ondícula recibida decae con el tiempo conforme se produce una separación posterior en las interfases. Las ondículas también decaen debido a la pérdida de energía como calor durante la propagación. Esto es más extensivo con las frecuencias altas, de modo que las ondículas tienden a contener menos energía de alta frecuencia respecto de las bajas frecuencias con tiempos de viaje más largos. Algunas ondículas son conocidas por su forma y su contenido espectral, tal como la ondícula de Ricker (Castillo Zavala, 2018, párr.1).

Presentación de resultados

Figura 1.

Liberación de energía dada por el impulso de Ricker.

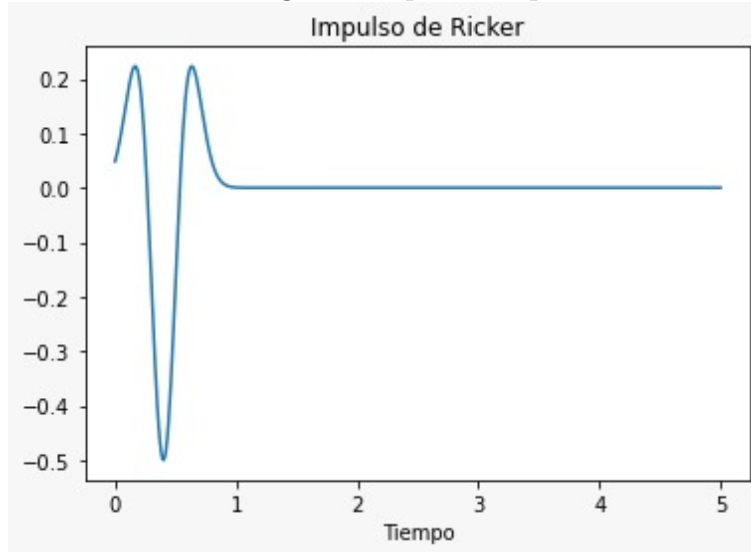


Figura 2.

Sismograma en el nodo (212,204) en todo el tiempo.



Figura 3.

Sismograma en el nodo (224,234) en todo el tiempo



Figura 4.

Sismograma en el nodo (189,120) en todo el tiempo.



Figura 5.

Sismograma en el nodo (123,140) en todo el tiempo.



Figura 6.

Sismograma en el nodo (357,281) en todo el tiempo.

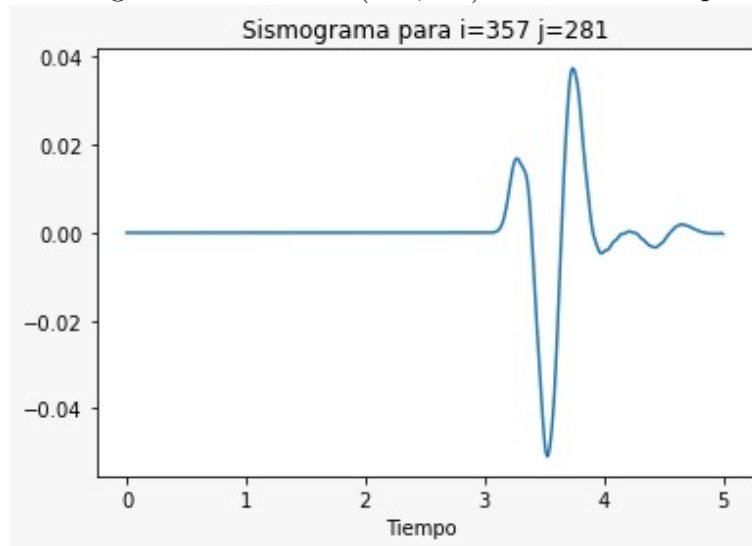


Figura 7.

Diez sismogramas generados en diferentes nodos en todo el tiempo.

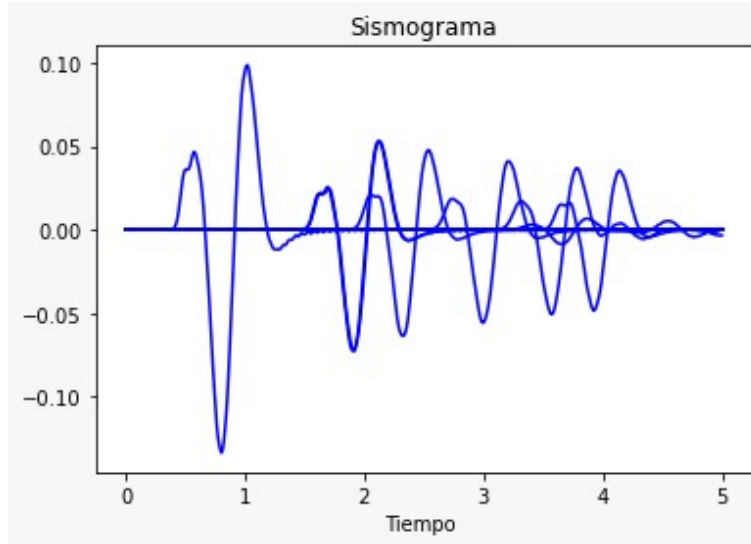


Figura 8.

Onda sísmica generada en el tiempo 50.

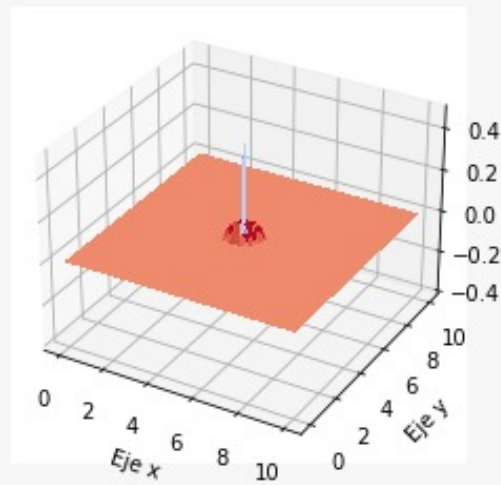


Figura 9.
Onda sísmica generada en el tiempo 290.

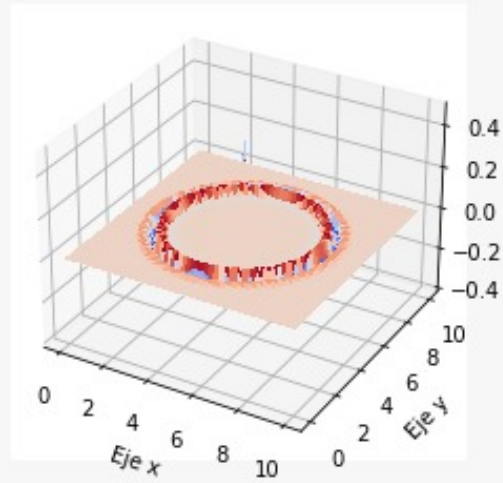
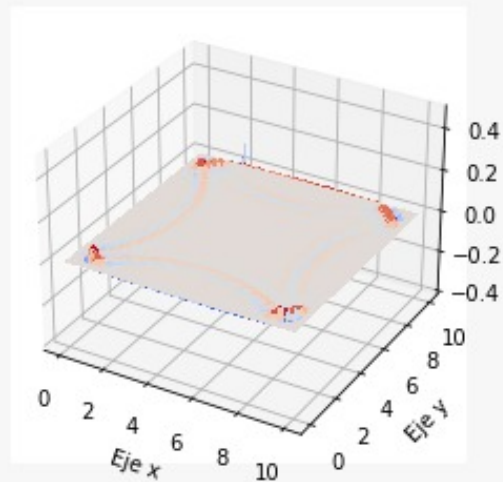


Figura 10.
Onda sísmica generada en el tiempo 480.



Referencias Bibliográficas

Aldea Ramos, N. (2015). *Modelado Numérico de la propagación de ondas electromagnéticas mediante el método de las Diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD): aplicación a medio Tellegen*. [Tesis para obtener el grado de física, Universidad de Valladolid]. Repositorio UVaDOC-UVa. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13431>

CourseHero. (28 de mayo, 2018). *Ondícula Ricker*.
<https://www.coursehero.com/file/85546586/Ondicula-Rickerdocx/>.

García Martínez, M, R. (2009). *Cálculo de sismogramas sintéticos mediante el método de número de onda discreto en un medio estratificado (caso SH)*. [Tesis para obtener el grado de ingeniero geofísico, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://repositorio.unam.mx>.