

# Auxiliar 3

## Propagación de Ondas y Ley de Snell

Profesor: Mario Pardo P.  
Prof. auxiliar y ayudante: Daniela Benavente y Bruno Quezada D.

GF4001-1 Sismología

## Ecuaciones de Onda:

- Ecuación Navier Stokes:

$$(\lambda + 2\mu) \nabla (\nabla \vec{u}) - \mu \nabla \times (\nabla \times \vec{u}) + \vec{f} = \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}$$

- Ecuación Onda P:

$$\frac{(\lambda + 2\mu)}{\rho} \nabla^2 \theta = \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}$$

- Ecuación Onda S:

$$\frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{\omega} = \frac{\partial^2 \vec{\omega}}{\partial t^2}$$

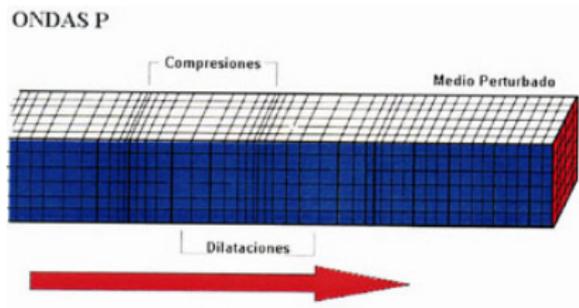
## Velocidades de Ondas P y S

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad \beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

- Onda P:

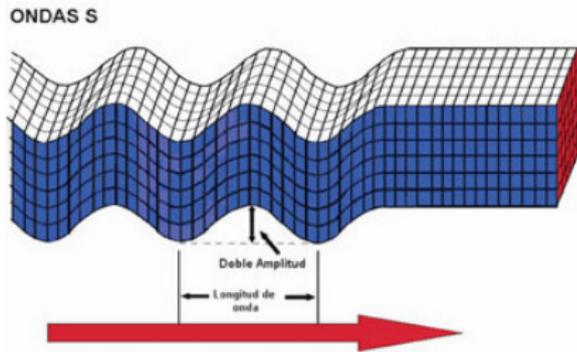
Las ondas P son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material.

Velocidades típicas son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito.

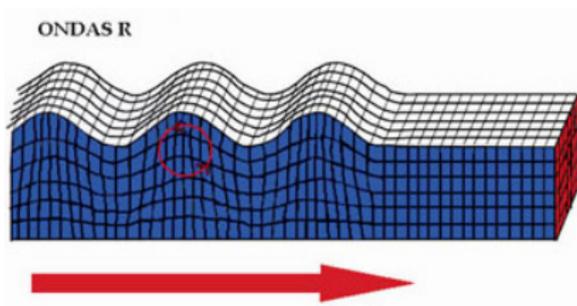


- Onda S:

Las ondas S son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido

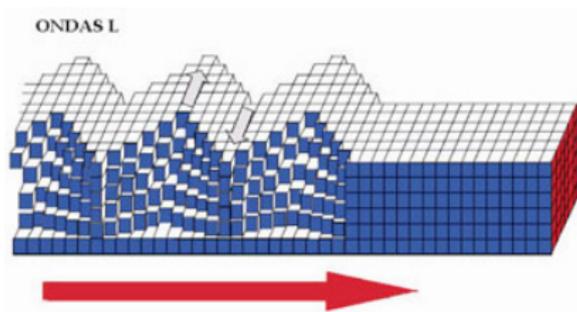


- Onda Rayleigh (r):  
Las ondas Rayleigh son ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua. Estas serán una combinación de Ondas S y P de la forma  $\sum P + S_v$ .



- Onda Love (l):

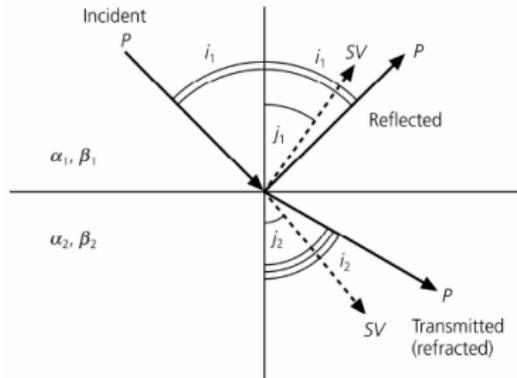
Las ondas "Love" son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra. Fueron bautizadas por A.E.H. Love, un matemático británico que creó un modelo matemático de las ondas en 1911 . Las ondas Love son levemente más lentas que las ondas de Rayleigh. Estas serán parte de la onda S, de la forma  $\sum S_h$ .



## Ley de Snell:

- Capas Planas:

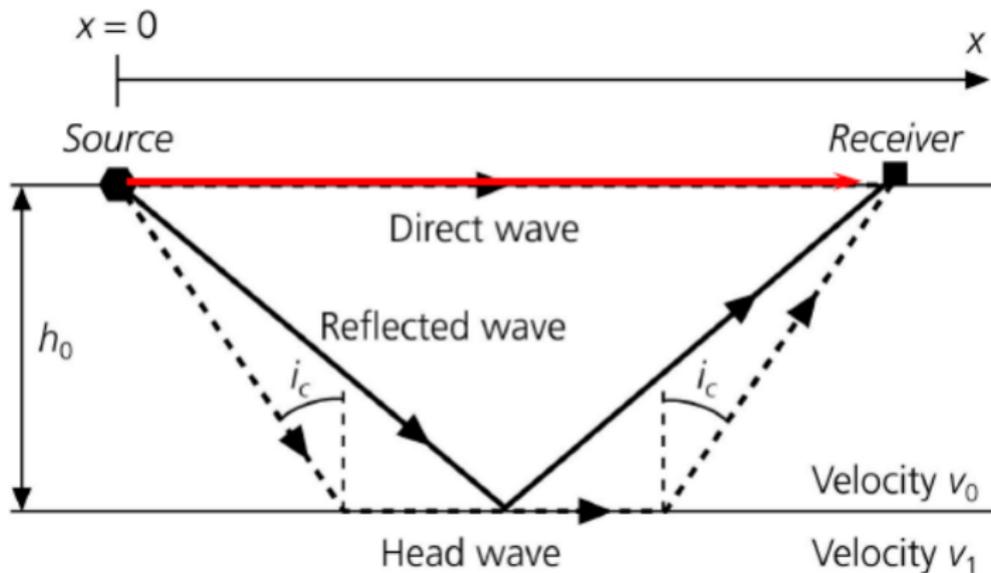
$$\frac{\text{sen}(i_1)}{\alpha_1} = \frac{\text{sen}(i_2)}{\alpha_2}$$



## Capas Planas:

Onda Directa:

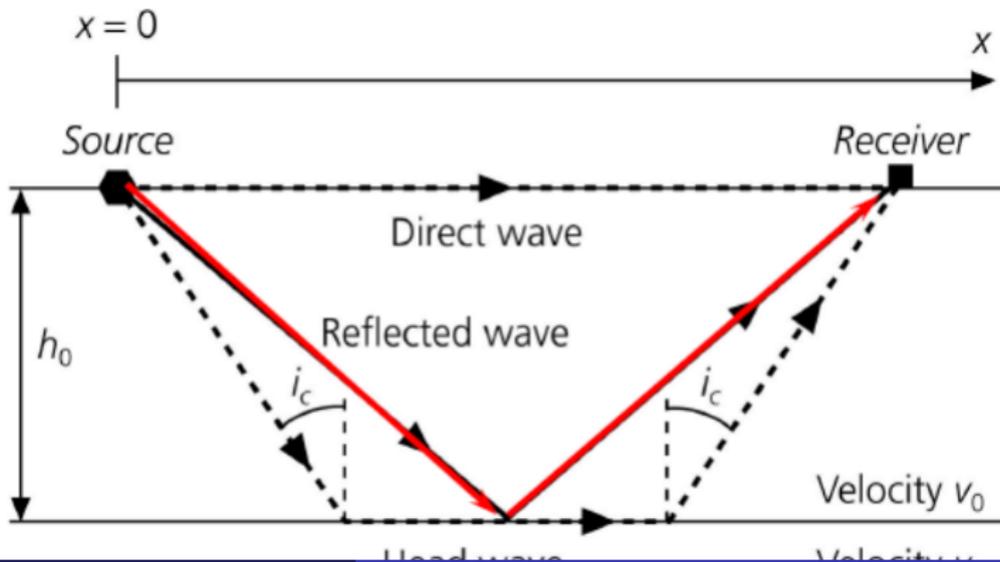
$$T_D(x) = \frac{x}{V_0}$$



## Capas Planas:

### Onda Reflejada:

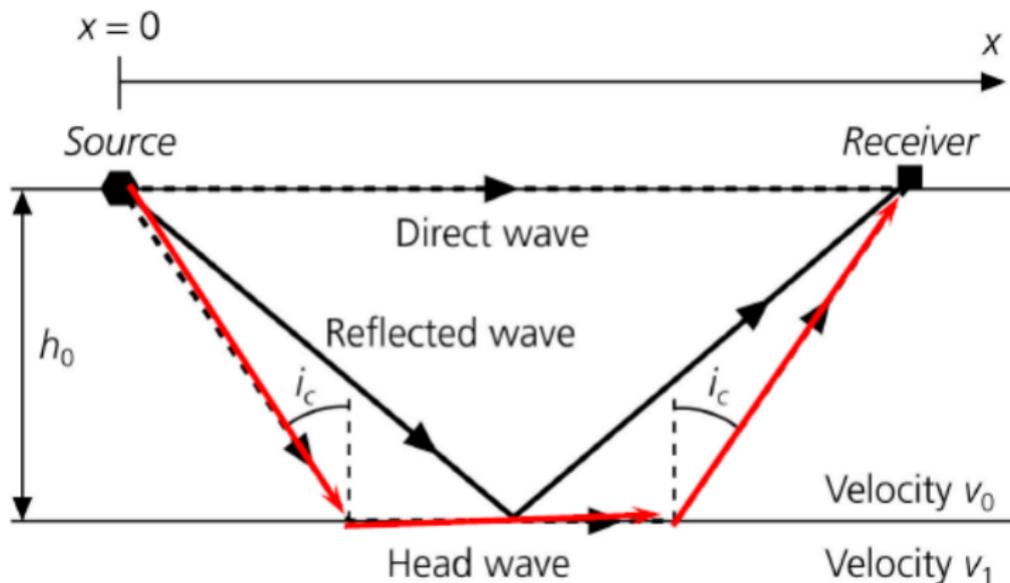
$$T_R(x) = \frac{2\sqrt{h_0^2 + (x/2)^2}}{V_0}$$



## Capas Planas:

Onda Refractada:

$$T_r(x) = \frac{2h_0 \cos(i_c)}{V_0} + \frac{x}{V_1}$$



## Capas Planas:

Onda Refractada Para N Capas:

$$T_{rN}(x) = \sum_{k=1}^N \frac{2h_k \cos(i_k)}{V_k} + \frac{x}{V_{N+1}}$$

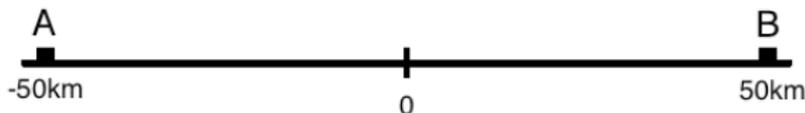
## Problemas

## P1.

Encuentre la relación entre las velocidades de Ondas P y S, considerando un sólido de Poisson.

## P2.

A y B son dos estaciones sismológicas que se ubican en  $-50\text{km}$  y  $50\text{km}$  respectivamente sobre una recta. Si ocurre un sismo superficial colineal entre las dos estaciones, considerando sólido de Poisson, determinar:



a) Ubicación del evento utilizando las diferencias de tiempo de llegada de las Ondas S y P:

$$(T_S - T_P)_A = 18,95[s] \quad (T_S - T_P)_B = 8,12[s]$$

b) Calcular los tiempos de viaje de las Ondas P y S a las estaciones A y B.

## P3.

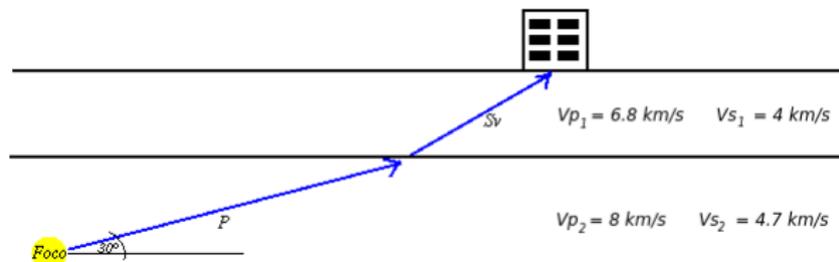
En una cierta zona se realiza un perfil sísmico, obteniéndose para los tiempos de las primeras llegadas de las ondas P las siguientes rectas:

$$T_1 = 0,286x \quad T_2 = 0,0063 + 0,220x \quad T_3 = 0,010 + 0,182x$$

Determine el modelo de velocidades de onda P y la estratificación de la zona (considere que todas las unidades están en SI)

## P4.

Ocurre un sismo con una profundidad focal de 60 km. El rayo de la onda P que emerge desde el foco con un ángulo de  $30^\circ$  se convierte en una onda Sv en la interfaz con un estrato sedimentario de espesor de  $h$  km, y luego afecta a una estructura en la superficie. Considere tiempo de viaje total = 16.1 s



- Calcular el ángulo de incidencia a la superficie.
- Encontrar el espesor  $h$  del primer estrato  $x$ .
- PROPUESTO: encontrar distancia epicentral (distancia estructura - foco)