



513335 Geofísica de la Tierra Sólida

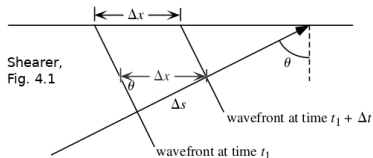
Presentación 19

Trayectorias de Rayos

Versión 1.0



Geometría de Rayos



Por la ley de Snell, sabemos que el ángulo que hace el rayo con la vertical, θ_n , en una capa con velocidad c_n , cumple la ecuación

$$\frac{\sin \theta_n}{c_n} = p \quad (1)$$

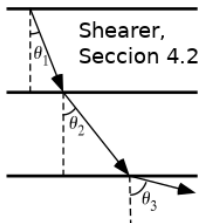
Con p , una constante, denominado el parámetro del rayo. Viendo la figura

$$\sin \theta = \frac{\Delta s}{\Delta x} = \frac{c \Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

Y entonces podemos ver que p representa la lentitud horizontal del rayo

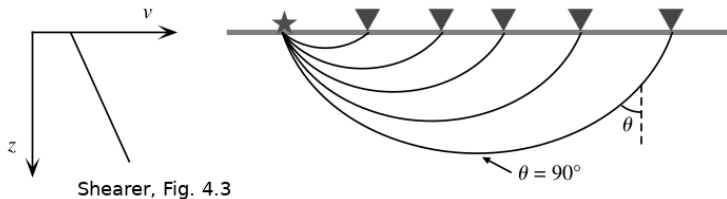
$$\Rightarrow p = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{c_x} \quad (3)$$

Geometría de Rayos



- ▶ Usando la ley de Snell podemos calcular la geometría de los rayos dentro de la Tierra.
- ▶ Si los espesores de las capas tiendan a distancias infinitesimales, cada una con velocidad distinta, los rayos aparecen como curvas en el medio.

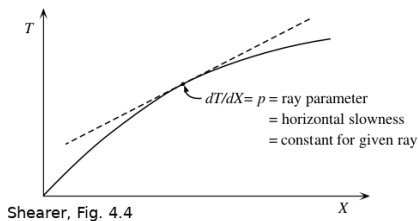
Curvas de tiempo de viaje



- ▶ Curvas de tiempo de viaje están curvas de $T(X)$ o $T(\Delta)$, el tiempo que demora la onda sísmica a viajar una distancia de X [km] o Δ [$^{\circ}$] de la fuente.
- ▶ En la figura, los diferentes rayos que llegan a diferentes distancias, entran la Tierra a un diferente ángulo de incidencia, entonces tienen diferentes parámetros de rayo.

Quando la distancia esta definida por Δ en grados, ¿qué significa este ángulo?
¿Cuántos kilómetros cubre un grado de distancia?

Curvas de tiempo de viaje



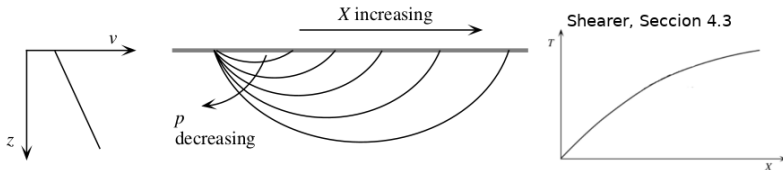
El tiempo de viaje se puede escribir como

$$T(X) = \tau + \frac{dT}{dX} X \quad (4)$$

- ▶ El gradiente de la curva nos da el parámetro del rayo que llega a una distancia X de la fuente.
- ▶ τ nos entrega información acerca de la profundidad máxima que alcanza el rayo.

Caso A: Aumento de velocidad con la profundidad

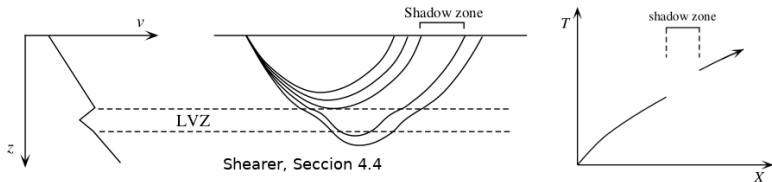
Como hemos visto, en esta situación, la distancia, y el tiempo, viajado por el rayo aumenta mientras que p disminuye.



Estas situaciones generan curvas en los gráficos de $T(X)$.

De un ejemplo en que esta situación se aplica para la Tierra.

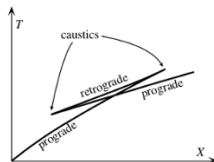
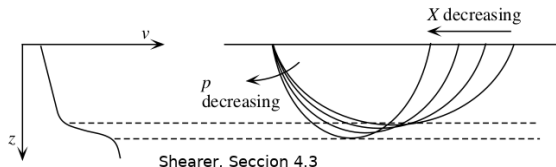
Caso B: Una zona de baja velocidad



- ▶ Zonas de baja velocidad (LVZ), causan una la curvatura negativa de los rayos en la parte del medio donde $\frac{dv}{dz} < 0$.
- ▶ Zonas de baja velocidad generan zonas de sombra en la superficie terrestre, en que no llegan ningún rayo.

De un ejemplo en que esta situación se aplica para la Tierra.

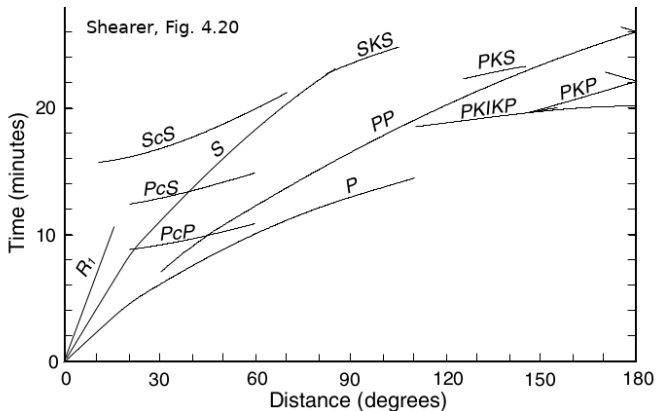
Caso C: Un aumento brusco en la velocidad



- ▶ Para los rayos que se doblan justo en la zona donde aumenta bruscamente la velocidad, cuando p disminuye, X y T disminuyen también.
- ▶ Esta situación causa un punto de triplicación, en que tres rayos con diferentes trayectorias pueden llegar a la misma distancia de la fuente.

De un ejemplo en que esta situación se aplica para la Tierra.

Tiempos de viaje globales



La figura muestra los tiempos de viaje de algunas fases sísmicas (periodo corto, componente vertical). **La geometría de estas curvas nos puede entregar la estructura de velocidad interna de la Tierra.**

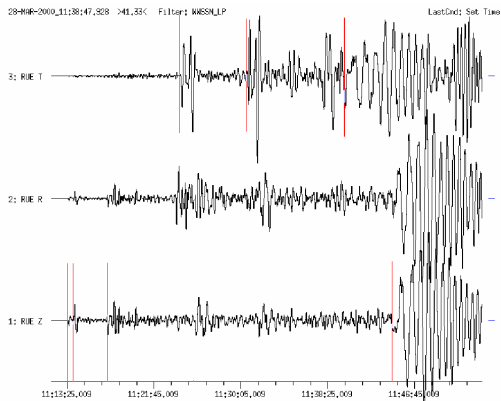
Lectura adicional

- ▶ Apuntes del curso, Capítulo 4. Secciones 4.14 y 4.15.
- ▶ Shearer, Introduction to Seismology, 2^o Ed. Sección 4.3 “Travel time curves and delay times”.
- ▶ Shearer, Introduction to Seismology, 2^o Ed. Sección 4.4 “Low-velocity zones”.

Preguntas prácticas

1. La figura en la próxima diapositiva muestra un sismograma de tres componentes (arriba: T (transversal); centro: R (radial); abajo: Z (vertical)). ¿Qué significan transversal y radial en esta situación? Identifique las llegadas de las ondas P , pP , PP , S , SS , Love y Rayleigh y explique su forma (en qué componentes están, cuánto tiempo duran, sus velocidades relativas).

Preguntas prácticas



Ejemplo de un registro de un sismómetro de tres componentes. La distancia entre el epicentro y el instrumento es alrededor de 80° .