



513335 Geofísica de la Tierra Sólida

Presentación 18
Ondas de Superficie
Versión 1.1



Ondas de Superficie

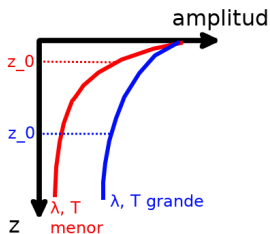
- ▶ Las ondas P y S interactúan con la superficie de la Tierra y generan ondas Rayleigh y Love.
- ▶ Se sientan las ondas de superficie a grandes distancias de la fuente.



- Las frentes de onda de las ondas de cuerpo se expanden con la forma de (aproximadamente) una semiesfera (área $\approx \frac{1}{2}(4\pi r^2)$). Entonces la energía en la onda es proporcional al $\frac{1}{r^2}$, y la amplitud es proporcional al $\frac{1}{r}$, con r la distancia desde la fuente.
- Las frentes de onda de las ondas de superficie se expanden con una forma (aproximadamente) cilíndrica (área $\approx 2\pi rz_0$, con la profundidad de penetración de la onda de superficie $z_0 \approx \frac{\lambda}{3}$). Entonces la energía en la onda es proporcional al $\frac{1}{r}$, y la amplitud es proporcional al $\frac{1}{\sqrt{r}}$, con r la distancia desde la fuente.

Ondas de Superficie

- ▶ Las ondas de superficie son ondas evanescentes (amplitud decae de forma exponencial con la profundidad).



- ▶ Las ondas están “sensibles” hasta una profundidad de $z_0 \approx \frac{\lambda}{3}$.
- ▶ Estas ondas típicamente viajan en la corteza (y en el manto superior para periodos grandes).
- ▶ La velocidad de las ondas de superficie depende de λ, μ, ρ en las capas en que “viaja” la onda.
- ▶ ¿Una onda de superficie con período mayor o menor viaja con una velocidad alta?

Ondas evanescentes

- ▶ Para una descripción matemática de evanescente, consideremos una onda que es una solución a la ecuación del movimiento:

$$\phi = \text{cte.} e^{i(k_x x + k_y y + k_z z - \omega t)} \quad (1)$$

Bajas ciertas condiciones k_z es imaginaria, $k_z = i\eta\omega$, entonces

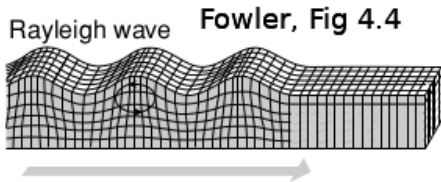
$$\phi = \text{cte.} e^{i(k_x x + k_y y - \omega t)} e^{-\eta\omega z} \quad (2)$$

y se nota que la onda se propaga horizontalmente, con la amplitud decayendo exponencialmente con la profundidad (frecuencias mas altas decaen a menores profundidades).

- ▶ Las ondas de superficie típicamente tienen periodos mayores que las ondas de cuerpo.
- ▶ Las ondas de superficie se empiezan a percibir a unos cientos de kilómetros de la fuente. Ejemplos son: terremoto de Illapel 2015 sentido en Concepción; terremoto del Maule 2010 sentido en Buenos Aires. El terremoto del 2010, adivina en que tipo de edificio fue sentido en Buenos Aires.

Ondas Rayleigh

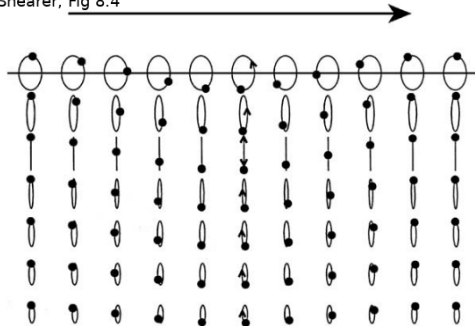
- ▶ Hemos visto que las ondas P y SV están acopladas.
- ▶ Las ondas P y SV interactúan en la superficie de la Tierra y producen una onda Rayleigh (desarrollo matemático en otro curso).
- ▶ Si definimos las coordenadas para que los rayos P y SV se propagan en el plano $x - z$, su interacción produce un movimiento de partícula en el mismo plano.



- ▶ El movimiento de la onda Rayleigh es retrogrado-elíptico en la superficie terrestre.
- ▶ La velocidad de la onda Rayleigh es $\approx 0.9\beta_{\text{superficial}}$

Ondas Rayleigh

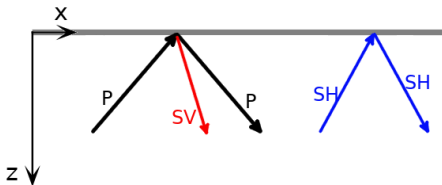
Shearer, Fig 8.4



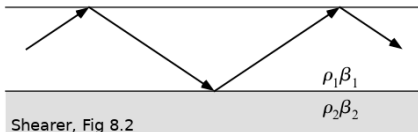
- ▶ El movimiento de partícula, retrogrado-elíptico en la superficie, cambia su comportamiento con la profundidad.
- ▶ A una profundidad de $\approx \frac{\lambda}{5}$ el movimiento de esta onda es puro vertical.
- ▶ A mayores profundidades el movimiento es progrado-elíptico.
- ▶ Define retrogrado-elíptico. ¿Cómo se podría usar este tipo de movimiento para determinar la dirección hacia la fuente sísmica?

Ondas Love

- ▶ Antes cuando vimos la interacción del campo de ondas SH con la superficie terrestre, vimos una reflexión total de la onda SH que no atrapa energía.



- ▶ Entonces, necesitamos una capa de baja velocidad encima la superficie terrestre para atrapar la energía SH. (Similar a una guía de ondas).

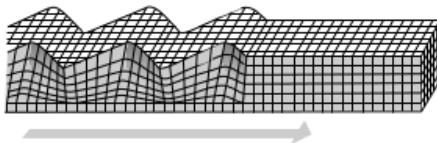


Shearer, Fig 8.2

Ondas Love

- ▶ Ejemplos de una capa de baja velocidad:
 - El centro de Concepción, rellenado con sedimentos fluviales.
 - La Valle Central de Chile.
 - La corteza oceánica.
 - La corteza continental.
- ▶ Capas de baja velocidad con diferentes espesores pueden “atrapar” diferentes frecuencias.
- ▶ La velocidad de la onda Love es $\approx \beta_{\text{superficial}}$
- ▶ Si definimos las coordenadas para que los rayos SH se propagan en el plano $x - z$, su interacción produce un movimiento de partícula en la dirección \hat{y} .

Love wave Fowler, Fig 4.4



La dispersión de ondas de superficie

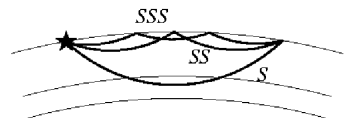
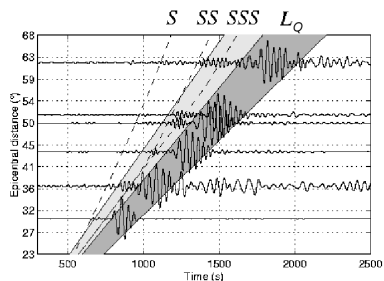
- ▶ La velocidad de las ondas Rayleigh y Love depende de los parámetros elásticos en las capas dentro de las cuales viajan.
- ▶ La sensibilidad de las ondas de superficie es hasta una profundidad de $\approx \frac{\lambda}{3}$.
- ▶ En general, los parámetros elásticos κ y μ aumentan dentro de la corteza y el manto superior.
- ▶ **Entonces altas frecuencias, que penetran menos, viajan más lentas.**

Por ejemplo, antes hemos visto que para la onda Rayleigh, su velocidad es $\approx 0.9\beta_{\text{superficial}}$. **¿Cómo se define $\beta_{\text{superficial}}$? Se puede pensar en promedio ponderado de β dentro de las capas en que viaja la onda; la ponderación siendo relacionada con la amplitud de la onda a diferentes profundidades.**

Existe una complicación más, ondas que muestran dispersión tienen una velocidad de fase $c = \frac{\omega}{k}$, y una velocidad de grupo $u = \frac{\partial\omega}{\partial k}$. Veremos la distinción entre ellas en otros cursos.

¿Por qué κ y μ aumentan con la profundidad dentro de la corteza y el manto superior?

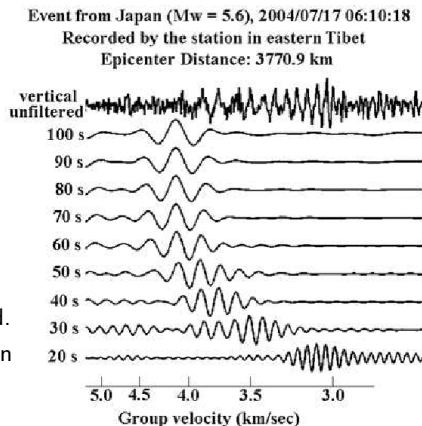
Ejemplo: onda Love

Fuente: ocw.mit.edu curso 12.201

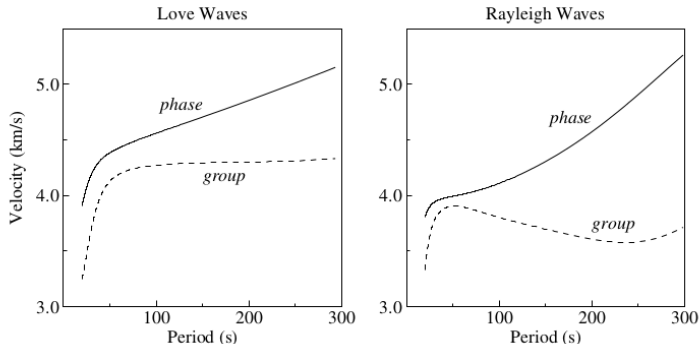
- ▶ Hemos visto que la velocidad de la ondas de superficie depende de su frecuencia.
- ▶ El efecto de la dispersión es que la onda de superficie llega durante un periodo de tiempo. Las frecuencias menores primero, las frecuencias mayores al final.
- ▶ La figura muestra las fases S , SS , SSS y Love en la componente transversal (SH) de sismogramas a diferentes distancias de la fuente.
- ▶ La onda Love corresponde a la fase S_∞ .

Ejemplo: onda Rayleigh

- ▶ La figura muestra una onda Rayleigh (componente vertical) medida a una distancia de 3771km de la fuente.
- ▶ El mismo sismograma filtrado alrededor de diferentes periodos esta mostrado debajo de la traza medida.
- ▶ Podemos ver que la parte de la onda Rayleigh con periodos > 60 [s] viaja a mayor velocidad.
- ▶ La parte de la onda Rayleigh con un periodo alrededor de 20 [s] viaja a mejor velocidad.



Ondas de superficie: velocidades típicas



La figura, tomada de Shearer Fig. 8.6, muestra las curvas de dispersión para las ondas de superficie computadas por la velocidad de referencia de la Tierra PREM (Preliminary Earth Reference Model).

Lectura adicional

- ▶ Apuntes del curso, Capítulo 4. Sección 4.14.

Entender:

Componentes Vertical, Radial y Transversal:

<https://ds.iris.edu/media/webservedoc/irisws/rotation/1/zrt.png>

Preguntas prácticas

1.
 - (a) ¿Qué es un semi espacio (half space)?
 - (b) ¿Pueden ondas de Rayleigh existir en un semi espacio? ¿Y ondas Love? ¿Por qué si/no?
 - (c) ¿Para la Tierra actual, ¿es más probable producir qué tipo de onda de superficie por una explosión nuclear - Rayleigh o Love? Explique su respuesta.