

## Geofísica de la Tierra Sólida 2023 - Evaluación 2

Fecha: 21 de julio de 2022. Tiempo: 120 minutos.

Elija 10 de las 12 preguntas. Todas las preguntas constan de 5 pts (50 pts total). Entre porcentaje y nota, la escala sigue la sugerencia del reglamento de docencia de pregrado UdeC.

Recuerden siempre escribir sus suposiciones y mostrar sus cálculos. Cuide el uso de las unidades, por ejemplo 100 [km] es 100000 [m].

1) [5 pts]

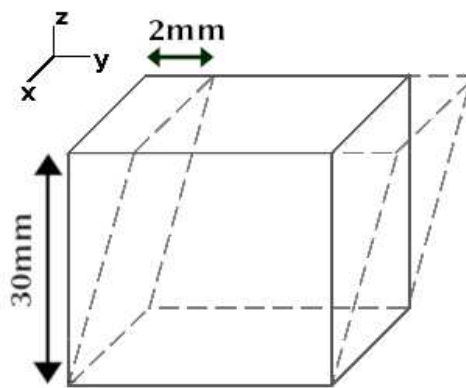


Figura 1: Un ejemplo de deformación de un elemento de volumen.

(a) [2 pts] La Figura 1 muestra una deformación relacionada con el elemento  $\epsilon_{32}$ . ¿Para un medio elástico, isotrópico, homogéneo, qué elemento de esfuerzo genera esta deformación?

(podría servir:  $c_{ijkl} = \lambda\delta_{ij}\delta_{kl} + \mu(\delta_{ik}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{jk})$ )

(b) [3 pts] El esfuerzo mencionado en la parte (a) tiene una magnitud de 40 kPa. Genera un desplazamiento de 2 mm en un cubo de dimensiones  $30 \times 30 \times 30$  mm. Calcule la rigidez de este medio.

2) [5 pts] La ecuación de movimiento en la Tierra puede estar escrita como:

$$\int_V f_i dV + \oint_S \sigma_{ij} n_j dS = m a_i$$

(a) [2 pts] Explique por qué en la realidad esta ecuación representa tres ecuaciones y escriba estas 3 ecuaciones.

(b) [3 pts] Explique qué representan los términos  $\int_V f_i dV$  y  $\oint_S \sigma_{ij} n_j dS$ . Dé razones por qué uno de estos términos es notablemente más grande que el otro (¿cuál?) cuando pasan ondas sísmicas.

3) [5 pts]

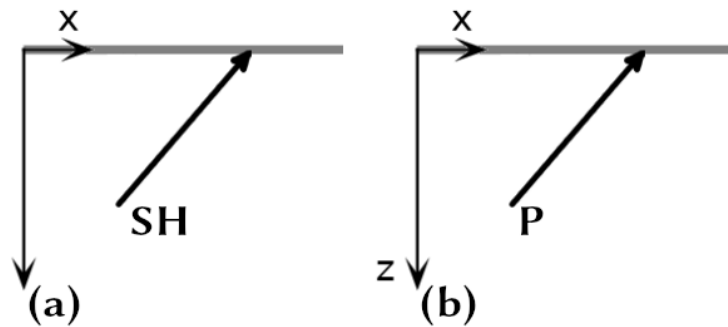


Figura 2: (a) Un rayo SH llegando a la superficie terrestre en el plano  $x - z$ . (b) Un rayo P llegando a la superficie terrestre en el plano  $x - z$ .

(a) [3 pts] La Figura 2 muestra la llegada de un rayo a la superficie terrestre. Compare los dos casos SH y P en términos de las reflexiones que generan y las direcciones en que se mueve el medio.

(b) [2 pts] ¿Cuál de los dos casos (a) o (b) generaría un sonido en el aire? Dé una razón para su respuesta.

4) [5 pts]

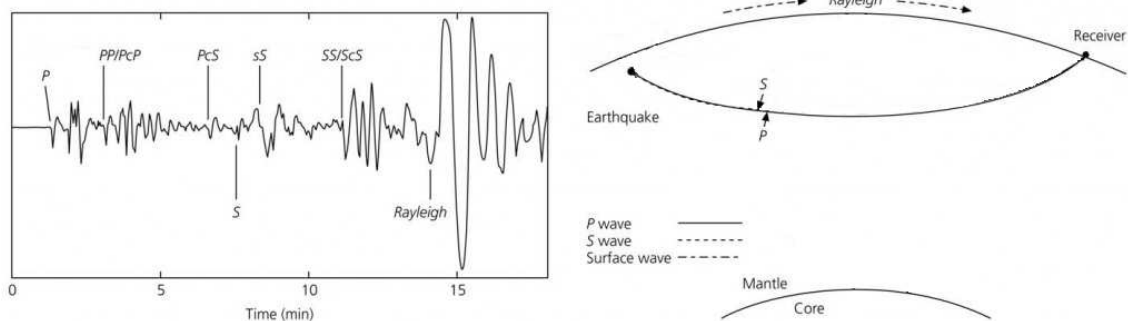


Figura 3: Un sismograma (**componente vertical Z**), con la geometría de las fases P y S (tienen geometrías muy similares, la curva S se encuentra debajo de la curva P).

(a) [2 pts] Explique por qué la amplitud de la fase S en el sismograma es menor que la amplitud de la fase P.

(b) [3 pts] Dibuje en la imagen la geometría de las fases PP y PcP. Explique por qué estas dos fases pueden llegar al mismo tiempo a pesar que una recorre mayor distancia que la otra.

5) [5 pts] El desplazamiento dentro de la Tierra puede ser escrito en términos de potenciales:  
 $\bar{u} = \nabla\phi + \nabla \times \bar{\psi}$

(a) [1 pt] ¿Qué potencial se propaga más rápido -  $\phi$  o  $\bar{\psi}$ ?

(b) [2 pts] Escribe una solución para  $\phi$  que satisface la ecuación de ondas.

(c) [2 pts] **En el plano y-z**, ¿qué derivadas parciales de  $\nabla\phi$  y  $\nabla \times \bar{\psi}$  son iguales a cero para una solución de onda plana?

6) [5 pts] La Figura 4 muestra una onda compresional, que ha pasado por el manto y el núcleo externo, y actualmente está viajando por el núcleo interno, llegando a la frontera núcleo interno-núcleo externo como una fase PKI.

Dibuje los rayos y escriba la nomenclatura sísmica de las fases que están saliendo desde la interfaz en este caso. Cuide que los ángulos de los rayos con la normal estén aproximadamente correctos.

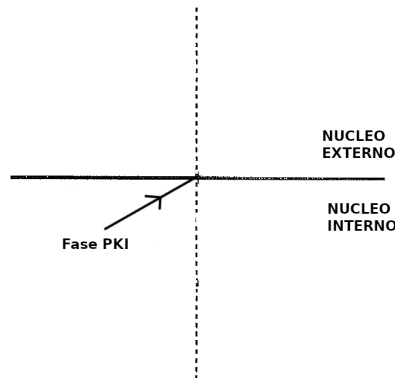


Figura 4: Una onda compresional que ha pasado por el manto, núcleo externo y núcleo interno (fase PKI), llegando a la frontera núcleo interno-núcleo externo.

7) [5 pts] Existe una fase sísmica que baja en el manto como onda compresional, luego cruza el núcleo externo como onda compresional, luego cruza el núcleo interno como onda de cizalle, y luego regresa a la superficie como una onda compresional nuevamente a través del núcleo externo y el manto.

(a) [1 pt] Escribe la nomenclatura sísmica de esta fase.

(b) [2 pts] Por qué esta fase no puede llegar a estaciones cerca el epicentro del evento?

(c) [2 pts] ¿Cómo se puede tener una onda de cizalle propagando en el núcleo interno cuando las ondas de cizalle no pueden pasar el núcleo externo?

8) [5 pts] La velocidad de la onda P en la parte exterior del núcleo externo es menor que la velocidad de la onda P en la parte profundo del manto.

(a) [1 pts] ¿Por qué?

(b) [4 pts] (En detalle) ¿Cuál es la evidencia sismológica que nos permite deducir eso?

9) [5 pts] Existen dos diferentes tipos de ondas de superficie. Haga una comparación de su generación, velocidad, movimiento particular y dispersión.

10) [5 pts] Calcula la relación entre  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $i_1$  e  $i_2$  para que una onda refractada en una interfaz cumpla con el principio de Fermat.

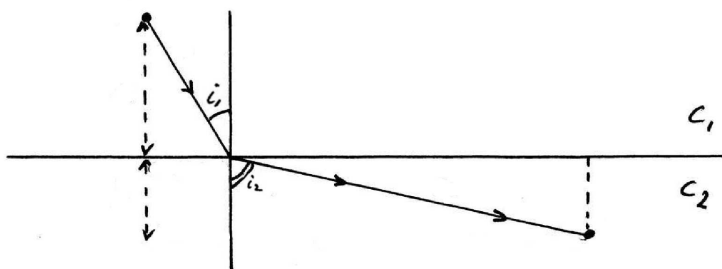


Figura 5 : Una onda refractada.

11) [5 pts] La ecuación de ondas sísmicas en la Tierra se puede representar por:

$$\rho \ddot{\mathbf{u}} = (\lambda + 2\mu) \nabla(\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}}) - \mu \nabla \times (\nabla \times \bar{\mathbf{u}})$$

(a) [2 pts] Escriba las unidades (S.I.) de  $\rho$ ,  $\ddot{\mathbf{u}}$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$ .

(b) [3 pts] Demuestre que un desplazamiento compresional,  $\mathbf{u} = \nabla\phi$ , se propaga a una velocidad:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

(Recuerde que el módulo de volumen  $\kappa = \lambda + \frac{2}{3}\mu$ ).

12) [5 pts]

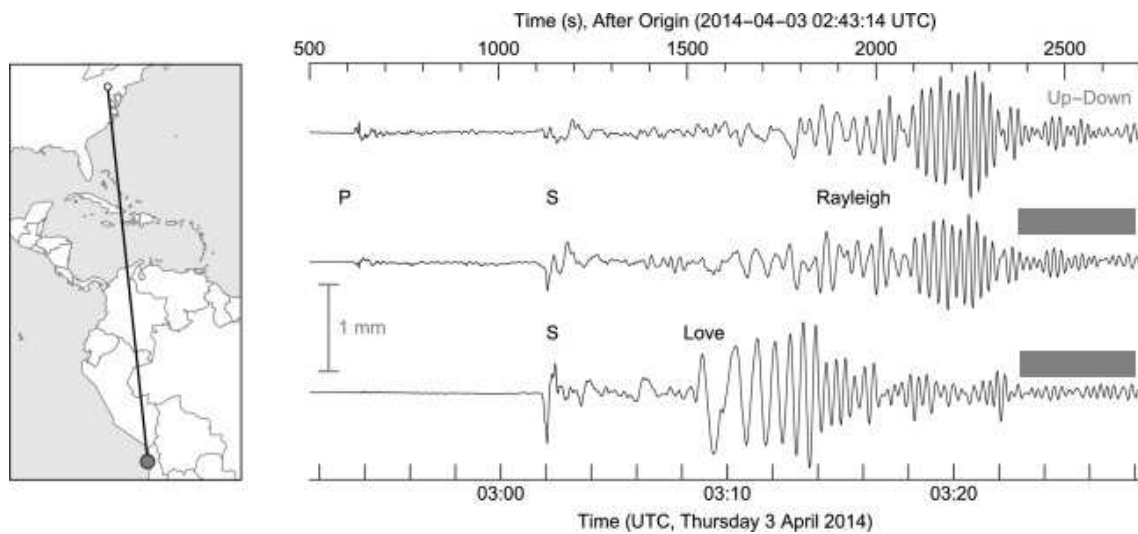


Figura 6: Sismograma de la estación SSPA (Standing Stone, Pennsylvania, EE. UU.) de un terremoto de magnitud 7.7 en Chile. (Izquierda) Mapa que muestra el terremoto y la estación. (Derecha) los tres componentes, el componente superior es vertical (Up-Down). La cantidad de segundos después del tiempo del origen del terremoto se encuentra arriba, la escala del tiempo UTC abajo.

(a) [3 pts] La Figura 6 muestra un sismograma de 3 componentes. El componente vertical está anotado, los otros dos corresponden a Norte-Sur y Este-Oeste en un orden desconocido (rectángulos grises). ¿Cuál es cuál? Dé razones para su elección.

(b) [2 pts] El terremoto se encuentra a una distancia epicentral de aproximadamente  $62^\circ$ . Entonces, usando esta información, calcule la velocidad aproximada de la onda Love en km/s.