

Geofísica de la Tierra Sólida 2016 - Certamen 2

2 horas

Importante: Hay que elegir 5 de las 7 preguntas de la sección A, y elegir 2 de las 4 preguntas en la sección B.

La sección A consta de 25 puntos, la sección B de 25 puntos.

Sección A [Elija 5 de las 7 preguntas. Todas las preguntas constan de 5 pts (=50% en total)]

A1) [5 pts] ¿Qué observaciones físicas sobre la Tierra están afectadas por el enfriamiento de la litosfera oceánica y en qué manera?

A2) [5 pts] ¿Cuáles son las fuentes de calor dentro de la Tierra?

A3) El tensor de deformación está dado por

$$\epsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \epsilon_{13} \\ \epsilon_{21} & \epsilon_{22} & \epsilon_{23} \\ \epsilon_{31} & \epsilon_{32} & \epsilon_{33} \end{pmatrix} \quad (1)$$

(a) [2 pts] Explique lo que significan los subíndices i y j en este tensor.

(b) [1 pts] ¿Cuáles son las unidades de medida de los elementos ϵ_{ij} ?

(c) [2 pts] ¿Por qué este tensor es simétrico en sismología?

A4) Las ondas de superficie son evanescentes.

(a) [2 pts] Defina lo que significa la palabra “evanescente”.

(b) [3 pts] Para una onda, con desplazamiento del medio en la dirección y , propagándose en el plano $x - z$, está dado por

$$u_y = Ae^{i(k_x x + k_z z - \omega t)} \quad (2)$$

¿Qué restricciones sobre k_x y k_z de la ecuación (2) se requiere para una onda evanescente que se propaga horizontalmente? ¿Cómo se llamaría dicha onda en esta situación - Rayleigh o Love?

A5) El terremoto de Illapel, sentido en Concepción a unos ~ 600 km lejos, llegó como un movimiento suave de largo periodo.

(a) [2 pts] ¿Qué tipo de onda / fase sísmica probablemente se sintieron?

(b) [3 pts] Explique el razonamiento de su respuesta al parte (a) con el uso de ecuaciones.

A6) [5 pts] La figura A6 muestra una onda incidente en una interfase sólido-líquido. ¿Cuáles son las ondas 1, 2, 3 y 4? Dibuje lo que pasa cuando el rayo 4 llega a la interfase líquido-sólido.

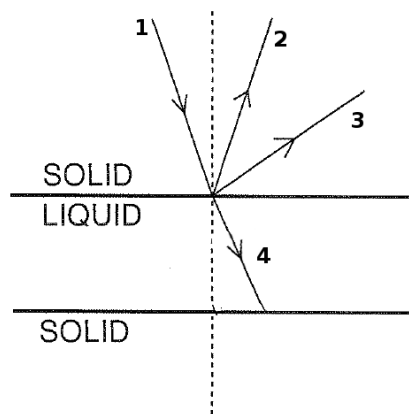


Fig A6: Onda incidente en una interfase.

A7) [5 pts]

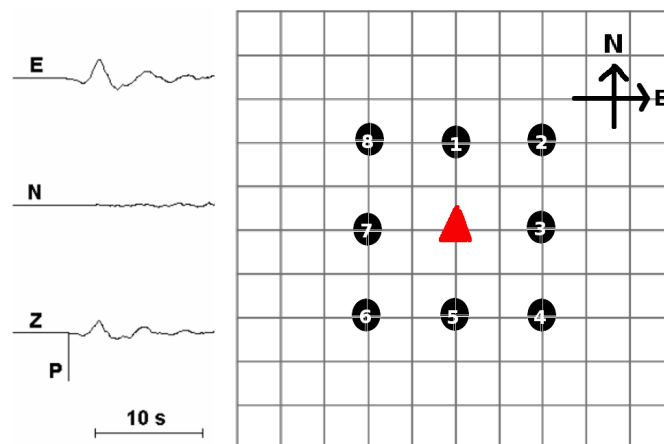


Fig A7. Izquierda: Sismograma mostrando onda P, tres componentes. Derecha: Mapa con la estación (triángulo) y 8 posibles locaciones para el sismo.

La figura A7 muestra la llegada de una onda P a una estación sísmica. Hay 3 componentes: E (positivo es hacia el este, negativo hacia el oeste), N (positivo es hacia el norte, negativo hacia el sur) y Z (vertical). También hay un mapa con la estación en el centro y 8 posibles locaciones para el sismo. ¿Que locación es lo más probable para el movimiento registrado en la estación? De una razón para su respuesta.

Sección B [Elija 2 de las 4 preguntas, 12.5 pts cada una (=50% en total)]

B1) [12.5 pts total]

La ley de Fourier de conducción dice

$$\mathbf{q} = -k\nabla T \quad (3)$$

(a) [1.5 pts] ¿Qué representa \mathbf{q} y cuáles son sus unidades?

La ecuación de conducción dice

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{q} + A \quad (4)$$

 A es la producción de calor en [W/m^3].

(b) [2 pts] Muestre que las ecuaciones (3) y (4) se pueden combinar para formar

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \nabla^2 T \quad (5)$$

¿Qué suposición se requiere?

(c) [2 pts] La difusividad térmica, κ , tiene unidades de [m^2/s]. Use análisis dimensional para definir un tiempo de difusión.(d) [3 pts] Calcule el tiempo de difusión (en unidades de millones de años) para una corteza continental, con espesor de 35 km, hecho de granito con $\kappa \approx 1 \times 10^{-6}$ [m^2/s]. Explique lo que representa este valor.

(e) [4 pts] Paleo-observaciones indican que anomalías térmicas (grandes flujos de calor) emitidas del núcleo externo pueden pasar el manto (espesor 2890 km) y la corteza (espesor 35 km) en unos 50 millones de años, llegando a la superficie de la Tierra en la forma de grandes erupciones volcánicas. Use su respuesta a la parte (d) para estimar el tiempo en que la anomalía térmica demora atravesar el manto, y explique por qué este valor es distinto de lo que sugeriría el tiempo de difusión para el manto.

Sección B [Elija 2 de las 4 preguntas, 12.5 pts cada una (=50% en total)]

B2) [12.5 pts total]

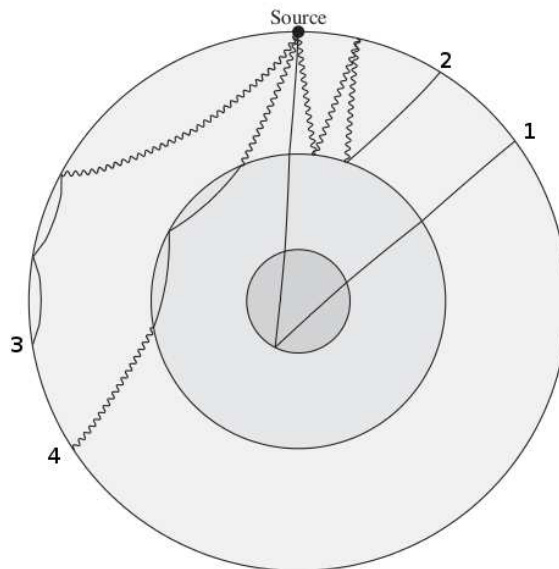


Fig B2a: Cuatro fases sísmicas dibujadas. Líneas rectas son rayos de ondas compresionales. Líneas curvadas son rayos de ondas de cizalle.

- (a) [0.5 pts] Identifique las tres secciones de la Tierra mostradas en la figura B2a.
- (b) [4 pts] Escriba la nomenclatura de las cuatro fases sísmicas mostradas en la figura B2a.
- (c) [5 pts] En la figura B2b de las curvas de tiempo de viaje de algunas fases sísmicas:
- ¿Qué significa Delta ($^{\circ}$)?
 - ¿Por qué llegan fases a $\Delta = 0^{\circ}$ muchos minutos después del terremoto?
 - La curva para la fase PcS no es mostrada en la figura. ¿Dónde debería estar?
- (d) [3 pts] Use las curvas de tiempo de viaje para identificar las fases marcadas con flechas en el sismograma en figura B2c.

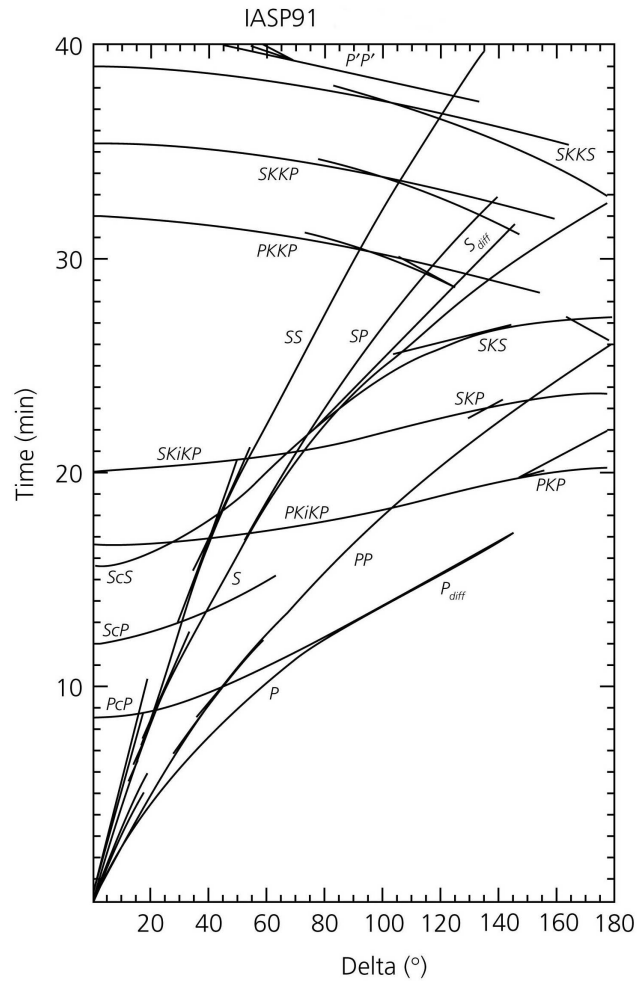


Fig B2b: Curvas de tiempo de viaje para unas fases sísmicas.

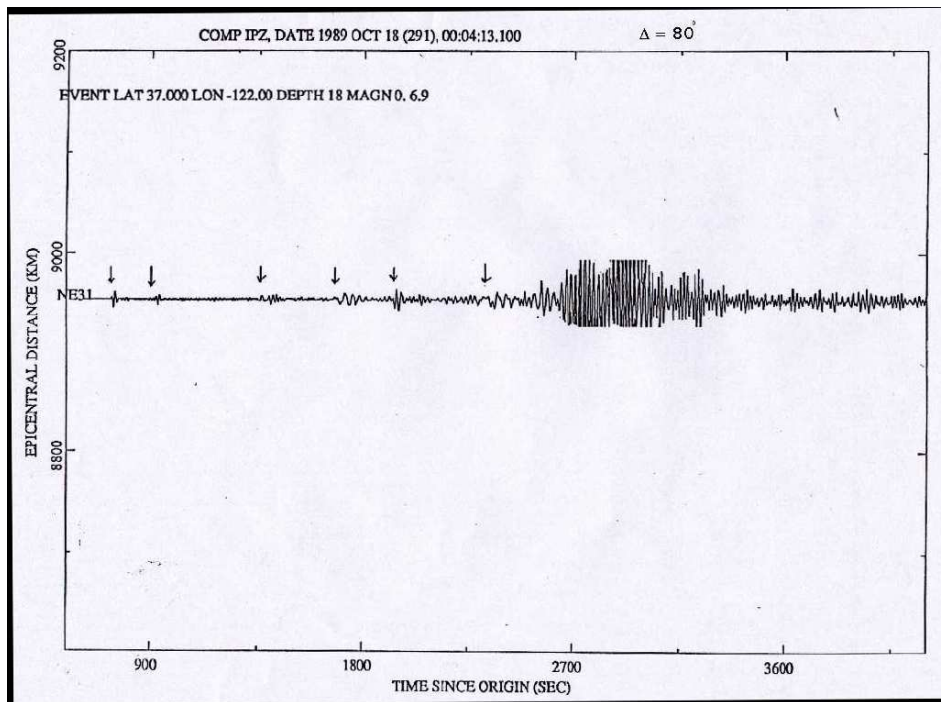


Fig B2c: Sismograma del terremoto de Loma Prieta en California (1989), registrado a una estación 80° del epicentro (componente vertical).

Sección B [Elija 2 de las 4 preguntas, 12.5 pts cada una (=50% en total)]

B3) [12.5 pts total]

La ecuación de ondas para la onda P es

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = \alpha^2 \nabla^2 \Phi \quad (6)$$

(a) [0.5 pts] ¿Qué representa Φ ?

(b) [4 pts] Muestre que, usando separación de variables, se puede encontrar una solución exponencial de forma

$$\Phi = (A_1 + iA_2)e^{i(\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} - \omega t)} \quad (7)$$

y escriba la relación entre α , ω , y $|\mathbf{k}|$.(c) [4 pts] Para una oscilación que tiene $\Phi = 0$ en posición $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ a $t = 0$, ¿qué restricciones existen sobre A_1 y A_2 ?

(d) [4 pts] Muestre que la solución exponencial (ecuación 7) corresponde a una oscilación escrita en la forma de

$$\Phi = A \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega t + f) \quad (8)$$

y encontrar la relación entre A_1 , A_2 , A y f .*las siguientes fórmulas pueden ayudar:*

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

$$\sin(X + Y) = \sin X \cos Y + \cos X \sin Y$$

Sección B [Elija 2 de las 4 preguntas, 12.5 pts cada una (=50% en total)]

B4) [12.5 pts total]

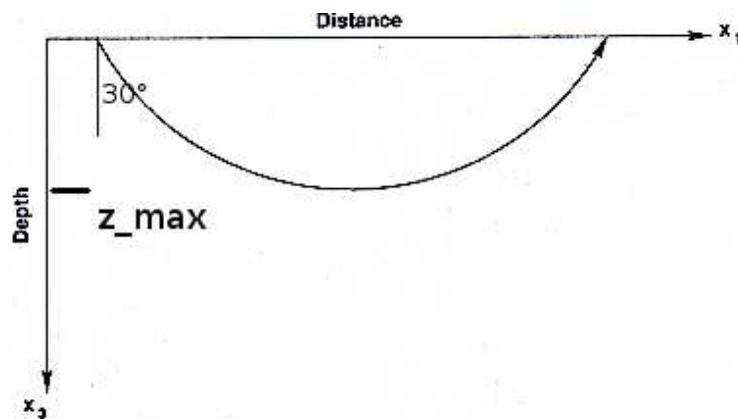
(a) [2.5 pts] Explique la ley de Snell:

$$\frac{\sin i}{c} = p \quad (9)$$

(b) [5 pts] Un planeta tiene una variación de velocidad P dada por:

$$\alpha = 5 + 0.1z \text{ [km/s]} \quad (10)$$

con z la profundidad en [km]. Para una onda P que sale de la superficie de este planeta, con un ángulo de 30° con la vertical, ¿hasta qué profundidad máxima (z_{max}) llega?



(c) [5 pts] Una onda P en un medio con velocidad de 6 km/s viaja por una estructura de forma de una “esquina” como muestra la figura B4, con sus ángulos de entrada y salida anotados en la figura. Escriba una fórmula que relaciona los diferentes ángulos y velocidades, y calcule la velocidad de la onda P dentro del medio con forma de una “esquina”.

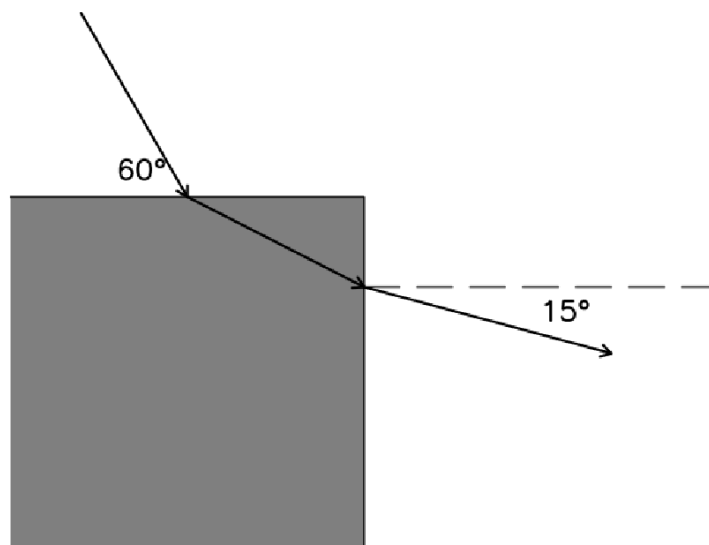


Fig B4: Onda P pasando por una estructura de forma de una “esquina”.