

## Geofísica de la Tierra Sólida 2015 - Certamen 1

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) Derivada en la Tarea 1, la energía gravitacional liberada ( $\Omega$  en [J]) durante la formación de un planeta esférico y homogéneo (es decir,  $\rho$  y  $C_p$  constantes) es:

$$\Omega = \frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}$$

Con  $M$  y  $R$  la masa y el radio del planeta, respectivamente.

(a) [2 pts] El calor específico,  $C_p$ , tiene unidades de [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]. Escriba la relación entre  $\Omega$  y el aumento de temperatura del planeta,  $\Delta T$ , durante su formación.

(b) [3 pts] Luego, muestre que para un planeta,  $\Delta T$  es proporcional al  $R^2$ .

---

A2)

(a) [2 pts] ¿Qué tipo de meteorito representa las condiciones de la frontera núcleo-manto de un planeta como el de la Tierra?

(b) [3 pts] ¿Qué tipo de meteorito representa la composición inicial del sistema solar? ¿Para qué más sirve este tipo de meteorito?

---

A3) La parte no-rotacional del potencial gravitacional terrestre puede ser representado usando armónicos esféricos:

$$U(r, \theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{1}{r}\right)^{(l+1)} [A_l^m \cos m\phi + B_l^m \sin m\phi] P_l^m(\cos \theta)$$

(a) [2 pts] ¿Qué representan los ángulos  $\theta$  y  $\phi$  para la Tierra?

(b) [3 pts] Usando  $P_2^0 = \frac{1}{2}(3\cos^2\theta - 1)$ ,  $P_2^1 = -3\sin\theta\cos\theta$  y  $P_2^2 = 3\sin^2\theta$ , escriba la ecuación para el potencial de la Tierra para el grado  $l = 2$ .

A4) [5 pts] Las anomalías de aire libre y de Bouguer son:

$$\Delta g_{FA} = g_{obs} - dg_{FA} - g_0(\lambda) \quad , \quad \Delta g_B = g_{obs} - dg_{FA} - g_0(\lambda) - dg_B$$

con

$$dg_{FA} = -2\frac{hg}{r} \quad , \quad dg_B = 2\pi G\rho h$$

Para los siguientes casos ¿Son las anomalías de aire libre y de Bouguer positiva, negativa o cerca de cero?

- (i) Un altiplano con compensación isostática.
- (ii) Un cráter sin compensación isostática.
- (iii) Una montaña con compensación isostática parcial.

A5) [5 pts] Hoy en día, estamos en un periodo de rebote post-glacial después del último deshielo. Debido al rebote post-glacial, dentro de los próximos 100 años:

- (i) ¿El momento de inercia de la Tierra aumentará o disminuirá?
- (ii) ¿La duración de un día terrestre aumentará o disminuirá?

De explicaciones por sus respuestas.

A6) [5 pts] En el polo norte geomagnético, la inclinación del campo magnético no es vertical, es decir  $I \neq 90^\circ$ . Explique en detalle ¿por qué?

A7) Para el campo magnético de la Tierra:

- (a) [3 pts] ¿Qué propiedades se requieren dentro de la Tierra para tener un campo magnético que dura miles de millones de años?
- (b) [2 pts] ¿De dónde viene la energía para mantener el campo magnético por largo plazo?

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

B1) [12.5 pts total]

En el sistema radiométrico Rubidio-Estroncio  $^{87}\text{Rb}$  decae a  $^{87}\text{Sr}$ . La ecuación que gobierna este decaimiento es:

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb}(e^{\lambda_{87}t} - 1)$$

con:

$$\lambda_{87} = 1.42 \times 10^{-11} \text{ año}^{-1}$$

(a) [2 pts] ¿Cuál es la vida media del sistema Rb-Sr?

(b) [6 pts] Tres minerales de una roca dan las siguientes abundancias para algunos isótopos de Rubidio y Estroncio. Use los datos y genere el gráfico necesario para determinar la edad de la roca.

Mineral	$^{87}\text{Rb}$	$^{87}\text{Sr}$	$^{86}\text{Sr}$
1	145.1	112.6	144.0
2	203.4	100.9	127.1
3	199.9	130.9	166.6

Tabla: Abundancias relativas (en  $\% \times 10^{-6}$ ) de isótopos del sistema Rb-Sr para tres minerales.

(c) [3 pts] El error en las mediciones típicamente significa que la pendiente del gráfico generado en la parte (a) tiene un error de  $\sim 0.001$ . Estime la edad mínima de una roca para que se pueda usar el método Rb-Sr para determinar su edad.

(d) [1.5 pts] Estudios arqueológicos usan carbono radiactivo  $^{14}\text{C}$  que decae al  $^{14}\text{N}$  para determinar la edad de desechos orgánicos, típicamente de unos miles de años. Estime cuántos órdenes de magnitud es distinta la constante de decaimiento entre el sistema C-N y el sistema Rb-Sr.

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

B2) [12.5 pts total]

La ecuación para el potencial gravitacional de un cuerpo casi-esférico y girando se escribe:

$$U = -\frac{GM}{r} + \frac{GJ_2Ma^2}{r^3} \left( \frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} r^2 \omega^2 \sin^2 \theta$$

(a) [1.5 pts] ¿Qué representan  $a$ ,  $r$  y  $\omega$  en esta expresión?(b) [2 pts] Muestre que, suponiendo que  $g \approx g_r$ , el campo que produce está dado por:

$$g \approx \underbrace{\frac{GM}{r^2}}_1 - \underbrace{3 \frac{GJ_2Ma^2}{r^4} \left( \frac{3}{2} \sin^2 \lambda - \frac{1}{2} \right)}_2 \underbrace{- r\omega^2 \cos^2 \lambda}_3$$

(c) [3 pts]  $J_2$  es una medida de elipticidad para la Tierra, dada por:

$$C - A = J_2Ma^2$$

 $J_2$  es positiva, entonces ¿Cuál, entre  $C$  y  $A$ , es el momento de inercia alrededor del eje de rotación de la Tierra, y qué representa el otro? De una razón para su respuesta.

(d) [6 pts] ¿Qué representan los tres términos en la ecuación de la parte (b)? Calcule y explique las contribuciones relativas de cada término, en ambos: polo y ecuador.

*Los siguientes valores podrían ser útiles:*

Radio ecuatorial de la Tierra = 6378 [km]

Radio polar de la Tierra = 6357 [km]

Masa de la Tierra =  $5.974 \times 10^{24}$  [kg]

Periodo de rotación de la Tierra = 86160 [s]

 $G = 6.673 \times 10^{-11}$  [ $\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ ] $J_2 = 1.083 \times 10^{-3}$

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

B3) [12.5 pts total]

(a) [2 pts] Explique, en sus propias palabras, ¿qué es el principio de isostasia?

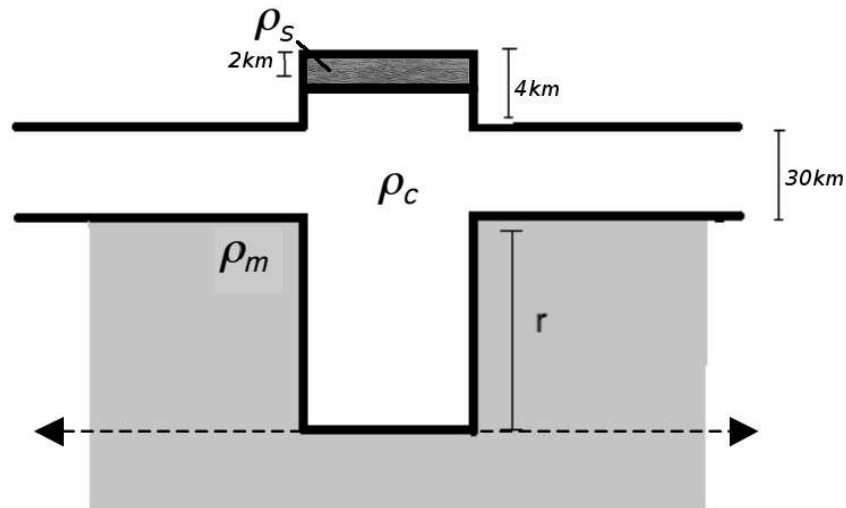


Figura: Un altiplano de 4 km altura, con 2 km de rocas sedimentarias en su parte superior.

(b) [3 pts] Un altiplano tiene una altura de 4 km, con 2 km de rocas sedimentarias en su parte superior. Calcule la profundidad,  $r$ , de la raíz continental debajo del altiplano. Use las siguientes densidades para el manto, la corteza, y la capa sedimentaria:  $\rho_m = 3200\text{gcm}^{-3}$ ,  $\rho_c = 2700\text{gcm}^{-3}$ ,  $\rho_s = 2300\text{gcm}^{-3}$ .

(c) [6 pts] Un cambio climático causa fuertes lluvias sobre el altiplano que provocan una erosión de la roca sedimentaria del orden de  $\sim 1$  metro cada siglo. Calcule la tasa de rebote del altiplano debido de esta erosión de su capa superior.

(d) [1.5 pt] ¿Esta tasa de levantamiento parece viable? De una razón.

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

B4) [12.5 pts total]

(a) [2 pts] En el paleomagnetismo se puede medir la declinación y la inclinación de la magnetización de las rocas. ¿Qué representan  $D$  e  $I$ ?

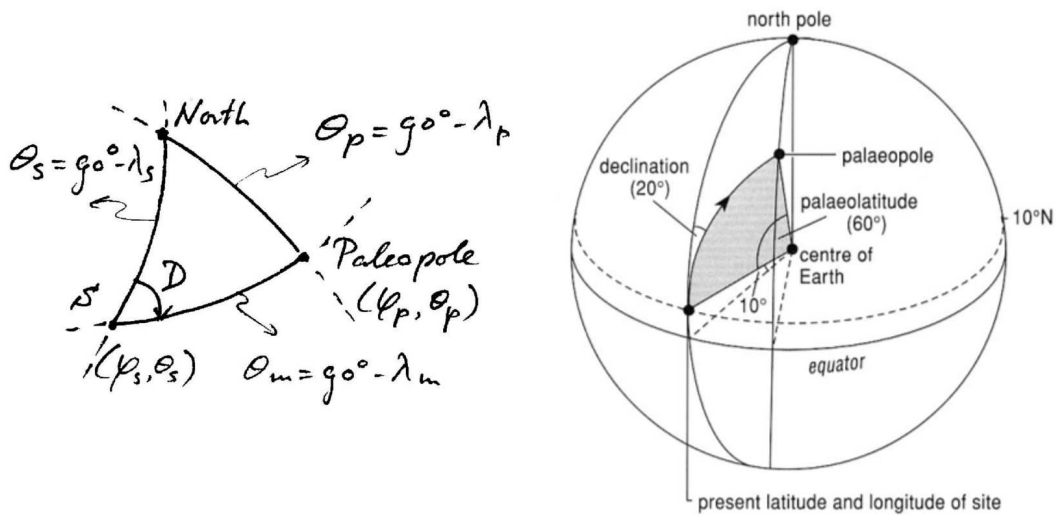


Figura: Los ángulos y posiciones asociados con el paleopolo.

Se pueden usar  $D$  e  $I$  para calcular la posición del paleopolo para un cierto sitio para las rocas de una cierta edad.

(b) [3 pts] Es necesario tomar varias mediciones de declinación e inclinación de rocas de alrededor de la misma edad ( $\pm \sim 10000$  años) y promediar las posiciones del paleopolo que entregan. ¿Por qué hay que hacer eso?

(c) [2 pts] Explique lo que representa la paleolatitud, y cómo se calcula a través de las mediciones de  $D$  e  $I$ .

(d) [3 pts] ¿Por qué se puede calcular la paleolatitud, pero la paleolongitud no es conocida?

(e) [2.5 pts] Los paleopolos se mueven en el tiempo (con respecto a los continentes). Use su conocimiento de paleopolos para estimar la distancia que se mueve un paleopolo cada millón de años (dé un orden de magnitud).