

Geofísica de la Tierra Sólida 2024 - Evaluación 1

Fecha: 7 de mayo de 2024. Tiempo: 120 minutos.

Elije 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]

(a) [3 pts] Utilice los siguientes datos y el principio de conservación del momento angular para estimar la tasa de rotación inicial del sistema solar, suponiendo que era inicialmente una esfera homogénea.

- $\bar{L} = I\bar{\omega}$
- Momento angular actual del sistema solar = $3.3 \times 10^{45} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$
- Masa del sistema solar actual = $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Radio estimado del sistema solar inicial = $1.5 \times 10^{13} \text{ m}$

(b) [2pts] ¿Esa tasa de rotación está equivalente a una revolución completa cada cuántos años?

2) [5 pts]

(a) [2 pts] Calcule la energía gravitacional liberada en [J] por la caída de un meteorito tipo Chicxulub a la superficie terrestre.

- Masa del meteorito Chicxulub = $1 \times 10^{15} \text{ kg}$
- Masa de la Tierra = $6 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Radio terrestre = $6.4 \times 10^6 \text{ m}$
- $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ [m}^3/\text{kg/s}^2]$

(b) [3 pts] Suponiendo que el 5% (una fracción de 0.05) de esta energía calienta la atmósfera terrestre, calcule el aumento de temperatura en la atmósfera debido a este meteorito.

- Masa de la atmósfera terrestre = $1 \times 10^{18} \text{ kg}$
 - Calor específico de la atmósfera terrestre $C_P = 1000 \text{ [J/kg/K]}$
-

3) [5 pts]

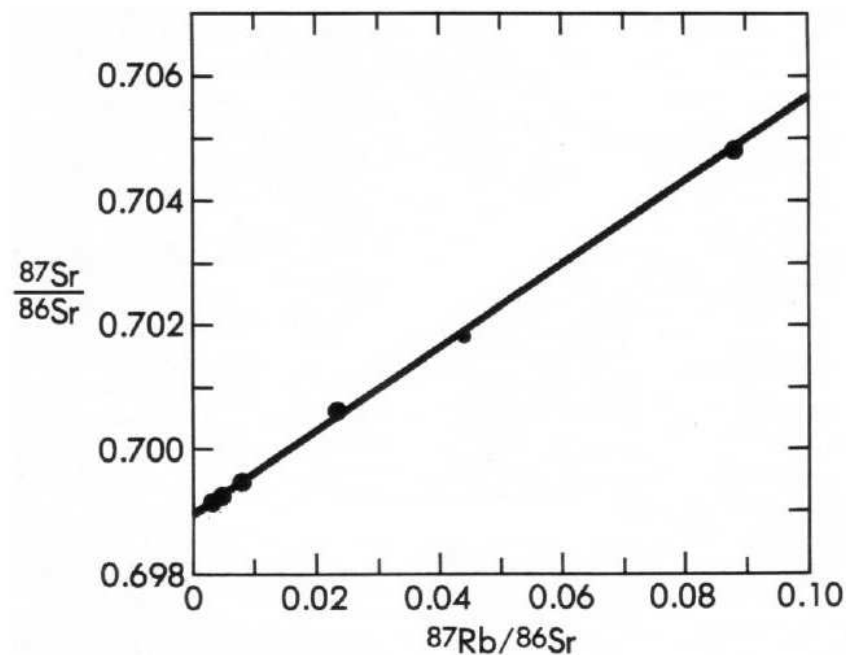


Figura 1: Datación Rb-Sr para una roca

(a) [3 pts] La figura muestra mediciones de Rb-Sr para una roca. Calcule su edad.

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

(b) [2 pts] Basado en su edad, describa qué tipo de roca es.

4) [5 pts]

“La Tierra estaba en un estado fundido cuando se formó.” Resume brevemente, sin ecuaciones, la evidencia que apoya esta declaración y que proviene de:

- (i) Modelos térmicos de formación de la Tierra.
 - (ii) El momento de inercia de la Tierra.
 - (iii) Mediciones radiométricas tomadas en rocas terrestres.
-

5) [5 pts]

Explique cómo se utilizaron mediciones con estrellas para hacer algunas de las primeras estimaciones del radio terrestre.

6) [5 pts]

Derivada en las clases, una manera de escribir un potencial gravitacional de referencia U , en una cierta posición $P(r, \theta, \phi)$, es:

$$U(P) = \underbrace{-\frac{GM}{r}}_{\text{masa puntual}} + \underbrace{\frac{GJ_2Ma^2}{r^3} \left[\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right]}_{\text{corrección por el "bulto ecuatorial"}} + \underbrace{-\frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \omega^2}_{\text{rotación}}$$

- (a) [1 pt] ¿Qué representa la letra a en esta ecuación?
- (b) [2 pts] ¿En que dos puntos en la superficie terrestre es el efecto de la rotación negligible?
- (c) [2 pts] ¿Qué debo hacer para cambiar entre U y \bar{g} ?
-

7) [5 pts]

- (a) [2 pts] Defina el geoide terrestre.
- (b) [3 pts] Explique cómo se diferencia el geoide del elipsoide de referencia, en términos de:
- (i) La variación espacial en la dirección de ϕ
- (ii) La variación espacial en la dirección de θ
-

8) [5 pts]

Manipulación de la ecuación de Laplace ($\nabla^2 U(\bar{r}) = 0$) conduce a la siguiente expresión:

$$\underbrace{\frac{1}{R} \left[2r \frac{\partial R}{\partial r} + r^2 \frac{\partial^2 R}{\partial r^2} \right]}_{\text{const.}} + \underbrace{\frac{1}{\Theta \sin \theta} \left[\cos \theta \frac{\partial \Theta}{\partial \theta} + \sin \theta \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \theta^2} \right]}_{-\text{const.}} + \frac{1}{\Phi \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} = 0$$

- (a) [3 pts] Explique por qué aparecen r, θ, ϕ en minúscula en esta ecuación, y también en mayúscula.
- (b) [2 pts] La clave para llegar a la solución es que tanto la parte radial como la parte angular de esta ecuación deben ser constantes que sumen a cero. Explique por qué esta condición es necesaria para obtener la solución de la ecuación de Laplace en todos r, θ, ϕ .
-

9) [5 pts]

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

(a) [2 pts] Explique qué son los armónicos sectoriales y dibuje el armónico sectorial asociado con $l = 3$.

(b) [3 pts] Los modelos del campo gravitacional terrestre utilizan la suma de armónicos hasta $l = 36$. Calcule la separación entre los nodos en el ecuador para este armónico sectorial en kilómetros, para obtener una estimación de la escala más fina que se puede representar con un modelo de armónicos esféricos hasta este grado.

(Radio terrestre = 6378 km)

10) [5 pts]

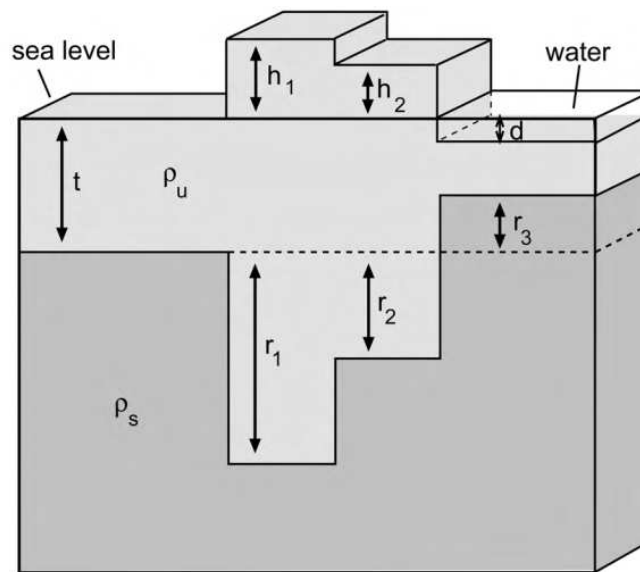


Figura 2: Esquema de la isostasia de Airy.

Un altiplano originalmente de 4 km de altura, en equilibrio isostático, sufre 10 km de erosión vertical a lo largo de millones de años. Asumiendo que la erosión ocurre suficientemente lenta para mantener el equilibrio isostático, ¿cuál es la elevación final del altiplano después de este período de erosión?

(Se puede usar densidad de corteza continental = 2700 kg/m³; densidad del manto = 3300 kg/m³)

11) [5 pts]

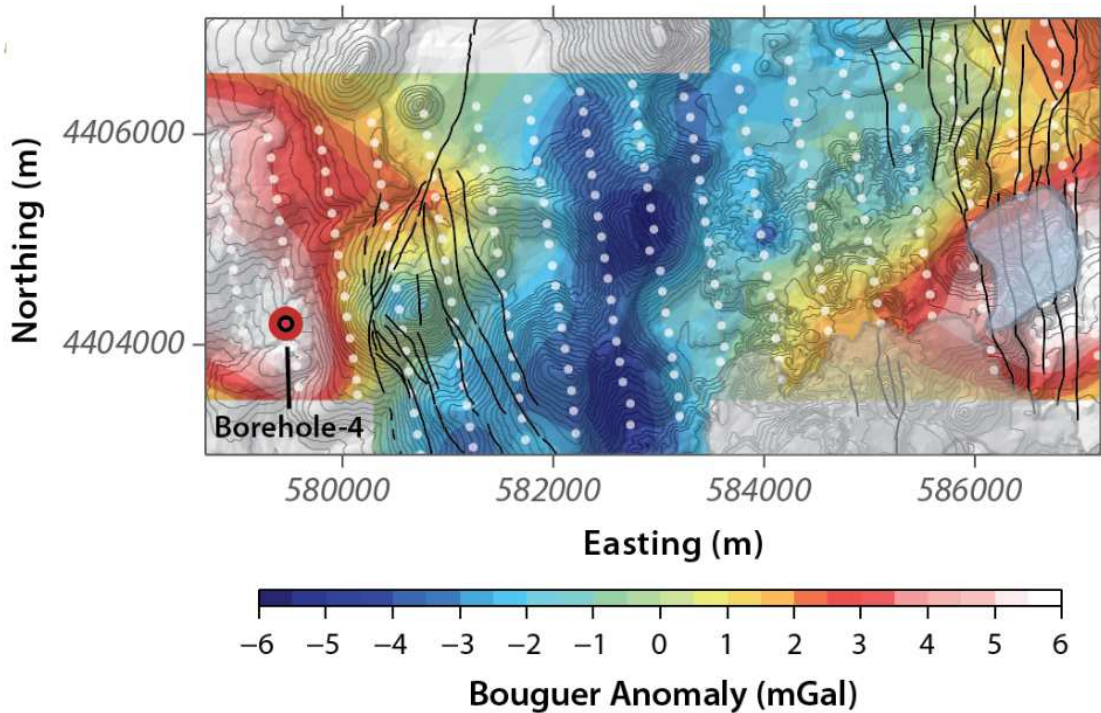


Figura 3: La anomalía de Bouguer en un valle sedimentario geotérmico, generada por la diferencia de densidad entre el granito en los bordes del valle y los sedimentos que lo llenan. Puntos blancos muestran las posiciones de las mediciones, los contornos muestran la topografía, y las líneas negras indican las fallas locales. Las unidades están en metros respecto a una zona UTM (es decir, la imagen muestra aproximadamente 8 km en la dirección oeste-este).

Un proyecto desea modelar las aguas subterráneas en este valle para entender el origen de los fluidos que circulan y necesita las dimensiones del valle. Mediciones de las rocas estiman que $\rho_{\text{granito}} = 2700 \text{ kg/m}^3$ y $\rho_{\text{sedimentos}} = 1800 \text{ kg/m}^3$. Utilice los datos de gravedad para estimar la geometría del valle y su profundidad, y explique sus suposiciones.

$$(1 \text{ mGal} = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s})$$

$$(G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ [m}^3/\text{kg/s}^2])$$

12) [5 pts]

(a) [3 pts] Explique el mecanismo de rebote postglacial.

(b) [2 pts] ¿Qué medición específica tomada en áreas que están pasando por el rebote postglacial nos permite estimar la viscosidad de la astenosfera?