

## *Guía de Ejercicios*

### *Magnetometría*

1) Describa cualitativamente la anomalía magnética causada por un intrusivo granodiorítico magnetizado por inducción, y que se encuentra ubicado en:

- a) El polo Norte    b) Santiago    c) Punta Arenas
- d) El polo Sur

Discuta la justificación de cada anomalía y el porqué en algunos casos la resultante es similar.

2)

- a) Si la temperatura de Curie de un gabro es de 400°C y el gradiente geotérmico del ambiente orogénico en el que se encuentra emplazado es de 30°C/Km ¿Cual sería la potencia del cuerpo gabroico magnetizado si se sabe que la profundidad a su techo es de 5 Km?
- b) ¿Que propiedad magnética de los basaltos oceánicos ha sido fundamental en el desarrollo de la teoría tectónica de placas y en que se basa su utilidad práctica?

3) Para un cuerpo con densidad y magnetización constantes, determine la relación de Poisson a partir del potencial gravitatorio:

$$U(\mathbf{r}) = -G \int \frac{\rho d^3 \mathbf{r}_0}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|}$$

y magnético:

$$A(\mathbf{r}) = -M \frac{\check{Z}}{\check{Z}\alpha} \int \frac{d^3 \mathbf{r}_0}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|}$$

¿Que utilidad práctica tiene la relación de Poisson?

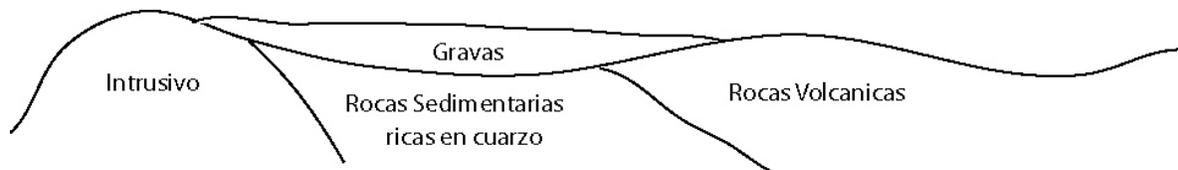
4)

i)

- a) Cuales son los pasos a considerar en un levantamiento magnético?
- b) Como varía la anomalía de campo magnético de un dique vertical similar al de la tarea, para una inclinación del campo inductor de  $-90^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ? Grafique y comente sus respuestas
- c) Para una inclinación del campo inductor dada (por ejemplo  $-45^\circ$ ), como varía la misma señal con la profundidad del dique? Con la susceptibilidad del mismo? Grafique y comente sus respuestas

ii) Considere el siguiente esquema geológico:

Este perfil esta orientado de sur a norte, ubicado en el entorno de Santiago. Grafique y comente la señal magnética que usted obtendría a través de un levantamiento terrestre a lo largo de este perfil. Suponga que la remanencia es despreciable, recuerde ordenes de magnitud de la susceptibilidad de las unidades geológicas según lo visto en clase.



5)

- a) Por que razón se utiliza el método de reducción al polo.
- b) Describa en forma cualitativa la forma en la cual se procede para aplicar el filtro al polo (Nota: hacer referencia a la relación de Poisson y la razón por la cual se trabaja en el dominio de las frecuencias).

6) Jhh

- a) Describa las variaciones externas e internas del campo magnético de la Tierra.
- b) A que escala de tiempo y en que forma inciden sobre un levantamiento magnético y en la magnetización de las rocas

7) Utilizando la fórmula de un dique magnético vertical infinito, cuyo rumbo es perpendicular al norte magnético:

$$\Delta T(x) = 2\kappa F_o (1 - \cos^2 i) * \left[ \left( \frac{\text{atan}(x+b-d)}{h} - \frac{\text{atan}(x-b-d)}{h} \right) \cos(2i) - \left( \frac{1}{2} \log_e \frac{(x+b-d)^2 + h^2}{(x-b-d)^2 + h^2} \right) \sin(2i) \right]$$

$2b$ : ancho\_cuerpo;  $h$ : profundidad;  $i$ : inclinación\_magnética  
 $F_o$ : campo\_geomagnético;  $\kappa$ : susceptibilidad\_magnética

- Determine la formula correspondiente para la anomalía de un dique vertical finito, cuyo techo esta a una profundidad  $h$  y su base a una profundidad  $2h$ .
  - Cual es la amplitud de la señal magnetica para el dique finito en  $x=0$ , y una inclinación magnética de  $0, -45, -90$  grados (considere  $b=h=1$ , y magnetización unitaria).
  - Cual es el decaimiento del campo magnético con respecto a la distancia observador/fuente, justifique considerando el modelo del dique.
- 8) El campo magnético producido por un dique vertical, infinitamente extendido a profundidad, de ancho  $2d$ , y a profundidad  $h$  de la superficie esta definido por:

$$\Delta T = 2M \left\{ \begin{array}{l} U_{xx} [\cos^2(i) \cdot \cos^2(d - \delta) - \sin^2(i)] + \\ 2 \cdot U_{xz} [\cos(i) \cdot \cos(d - \delta) \cdot \sin(i)] \end{array} \right\}$$

donde:

$$U_{xx} = \arctan \left[ \frac{h}{x_o - d} \right] - \arctan \left[ \frac{h}{x_o + d} \right] \quad U_{xz}(x_o) = \frac{1}{2} \log \frac{(d + x_o)^2 + h^2}{(-d + x_o)^2 + h^2}$$

Si el cuerpo esta magnetizado por inducción magnética en la zona central de Chile (inclinación  $30^\circ S$ ; declinación  $4^\circ E$ , campo magnético  $24500$  nT), y se orienta en dirección EW (en consecuencia el perfil medido es NS):

- Determine la amplitud de la señal magnética (amplitud entre máximo y mínimo) para un cuerpo granodiorítico (susceptibilidad magnética  $\sim 0.003$  cgs), parametrizado en el ancho y profundidad del cuerpo. (Nota: considere que los bordes norte y sur del cuerpo corresponden aproximadamente a la ubicación de los puntos máximo y mínimo de la señal magnética, (esto es valido si  $h < d$ )).
- Si  $h \gg d$ , la aproximación del punto anterior para la determinación de la amplitud en la señal magnética es una cota mínima o máxima, justifique.

9) Utilizando la fórmula de un dique magnético vertical, cuyo rumbo es perpendicular al norte magnético:

$$\Delta T(x) = 2\kappa F_o (1 - \cos^2 i) * \left[ \left( \frac{\text{atan}(x+b-d)}{h} - \frac{\text{atan}(x-b-d)}{h} \right) \cos(2i) - \left( \frac{1}{2} \log_e \frac{(x+b-d)^2 + h^2}{(x-b-d)^2 + h^2} \right) \sin(2i) \right]$$

*2b: ancho\_cuerpo, h: profundidad; i: inclinación\_magnética*  
*F<sub>o</sub>: campo\_geomagnético; κ: susceptibilidad\_magnética*

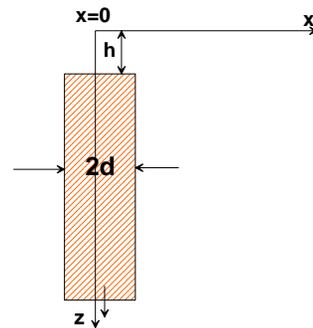
- a) Determine la amplitud máxima (distancia entre máximo y mínimo) de la señal magnética para una susceptibilidad de 0.001 [cgs], un campo terrestre de 25000 [nT], para un ancho del cuerpo de 1000m y una profundidad al techo del cuerpo de 100m.
- b) Si el ambiente de medición tiene una envolvente de ruido de 20 [nT] y los cuerpos magnetizados por inducción presentan una susceptibilidad magnética de 0.002 [cgs], a que profundidad máxima se podría detectar un cuerpo de 100m de ancho?. Que intervalo de muestreo sería aconsejable para la detección del cuerpo anómalo.

10)

- a) Describa los tipos de magnetización remanente en las rocas.
- b) Describa las variaciones temporales del campo magnético terrestre.

11) Modelación: Para la expresión teórica del campo magnético asociado a un dique vertical, desarrollado en clases:

$$\Delta T = 2M \left\{ \begin{array}{l} U_{xx} \left[ \begin{array}{l} \cos^2(i) \cdot \cos^2(D - \delta) \\ - \sin^2(i) \end{array} \right] + \\ 2 \cdot U_{xz} [\cos(i) \cdot \cos(D - \delta) \cdot \sin(i)] \end{array} \right\}$$



$$U_{xx} = \arctan \left[ \frac{h}{x-d} \right] - \arctan \left[ \frac{h}{x+d} \right]$$

$$U_{xz} = \frac{1}{2} \log \frac{(d+x)^2 + h^2}{(-d+x)^2 + h^2}$$

- a) Describa el significado de los parámetros *M, i, D, δ*
- b) Demuestre que el campo asociado es nulo alejado del cuerpo y aumenta a medida que la profundidad al techo del cuerpo (h) disminuye.

- c) Demuestre que el campo magnético asociado es máximo en los polos magnéticos y mínimo en el ecuador, y que en ambos casos la anomalía está centrada sobre el cuerpo sin efectos dipolares.

12)

- a) Describa las variaciones temporales del campo magnético terrestre.  
b) Describa las consideraciones pertinentes de muestreo y orientación de líneas para el diseño de un experimento magnético.  
c) Indique 3 aplicaciones del método magnético, justifique el tipo de anomalía magnética esperada en cada caso (amplitud, intensidad, signo, morfología)

13) Bajo que condiciones se obtiene una anomalía magnética de polaridad reversa en la zona central de Chile (polo magnético positivo al sur del polo magnético negativo). Discuta los efectos de remanencia, superposición y susceptibilidad magnética negativa.

14) El potencial gravitatorio de una esfera está dado por  $U = -\rho G \frac{A}{\sqrt{(x^2 + z^2)}}$ ,

determine la anomalía magnética asociada bajo el supuesto de una magnetización definida por los cosenos directores: l, m, n (componentes norte, este, y vertical), y expuestas a un campo externo definido por una intensidad  $F_o$ ; cosenos directores: L, M, N; y susceptibilidad magnética  $k$ .

Nota: Utilice la relación de Poisson:  $\Delta T = \frac{M}{\rho G} \nabla[\nabla U \cdot \hat{\alpha}] \cdot \hat{k}$ , donde

$\hat{\alpha}, \hat{k}$  corresponde a la dirección de magnetización y del campo magnético, definido a partir de los cosenos directores antes descritos.

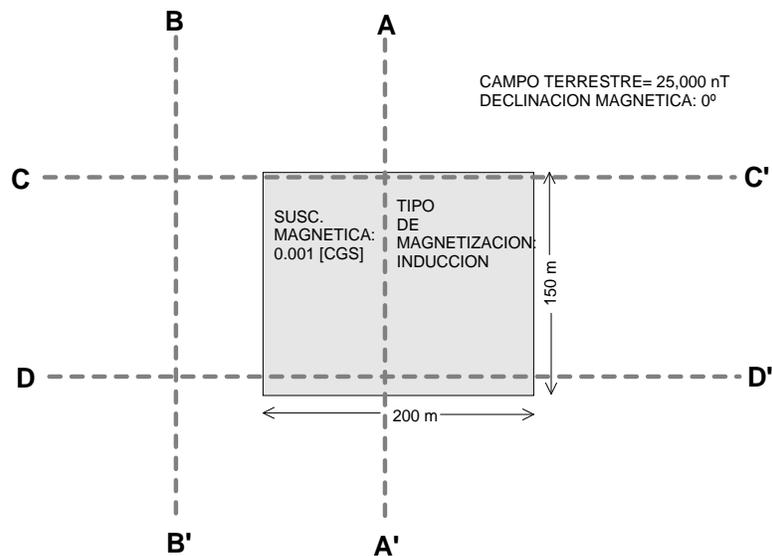
¿Qué condiciones están implícitas en la aplicación de la relación de Poisson?

15) Defina:

- a) Temperatura de Curie. b) Remanencia termal. c) Remanencia detrítica.  
d) Campo magnético reducido al polo.

- 16) Para el diagrama de la figura determine la anomalía magnética asociada al cuerpo prismático cuya vista en planta corresponde al sector de color gris. Determine la anomalía resultante para los cuatro perfiles indicados en la figura, considerando las siguientes configuraciones (justifique):
- Inclinación magnética:  $-10^\circ$  ; profundidad al techo de 100 m.
  - Inclinación magnética:  $-50^\circ$  ; profundidad al techo de 500 m.

Nota : La intensidad de las anomalías sólo debe ser cualitativa



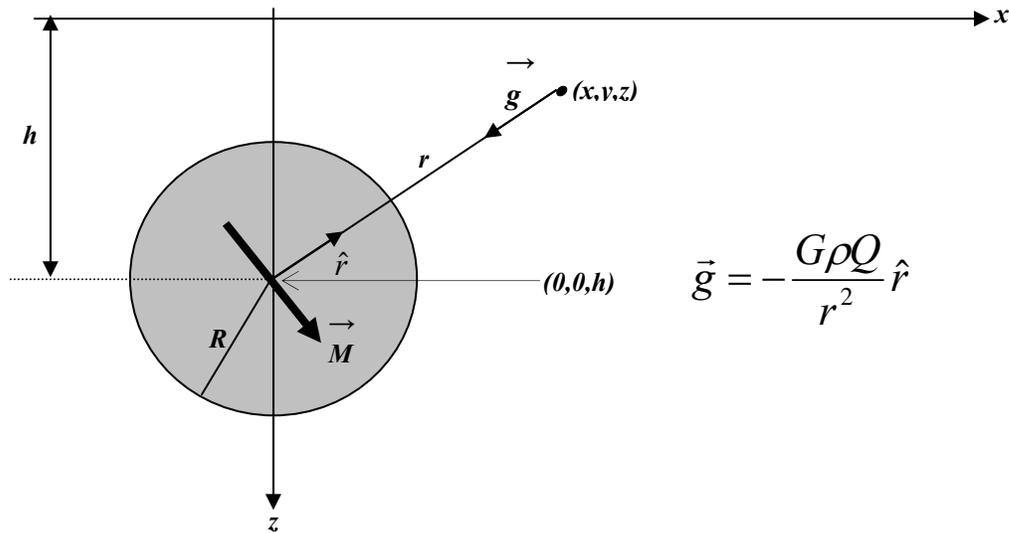
- 17) Describa los tipos de magnetización remanente:
- térmica
  - química
  - detrítica
  - viscosa
- 18) Utilizando la relación de Poisson:  $\bar{T} = \frac{M}{\rho G} \frac{\partial^2 U}{\partial \alpha \partial \kappa}$

Determine el campo magnético para un campo gravitacional:

$$U(x, y, z = 10) = \frac{-\rho G}{(x^2 + y^2 + 100)^{1/2}}$$

considerando una inclinación magnética de  $45^\circ$  y una declinación magnética de  $0^\circ$  (desarrolle explícitamente la formula correspondiente).

19)



Considere una esfera de radio  $R$  (volumen  $Q = (4\pi R^3) / 3$ ), uniformemente magnetizada según el vector:

$$\vec{M} = M\hat{\alpha} = M(l, m, n)$$

y centrada en el origen a una profundidad  $h$  (centro en  $(0,0,h)$ ).

- a) Utilice la relación de Poisson y obtenga el potencial escalar  $V$  tal que el campo magnético producido por esta esfera es:

$$\vec{B} = -\nabla V$$

- b) Considere una magnetización a lo largo del eje  $x$

$$\vec{M} = M\hat{x}$$

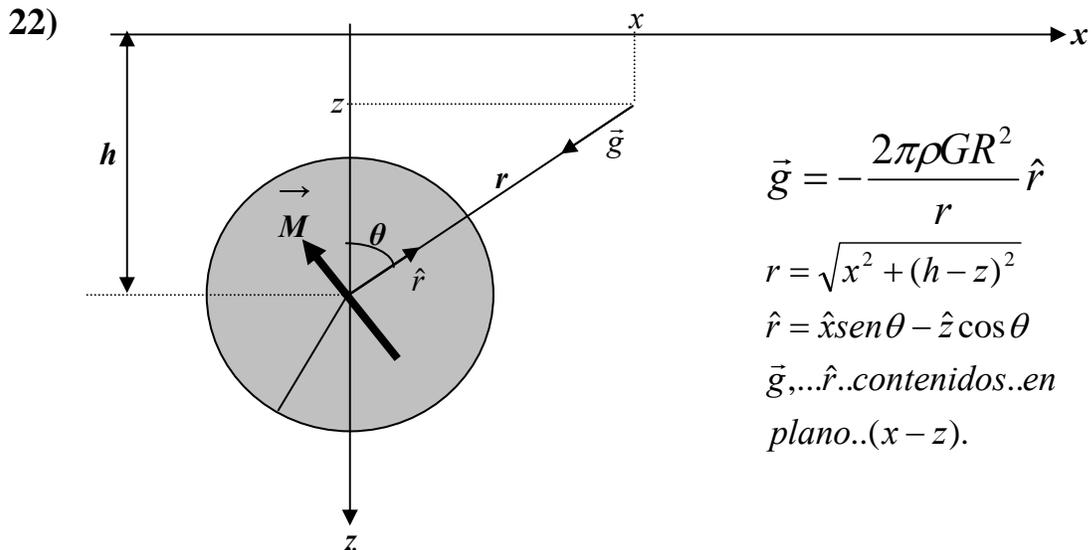
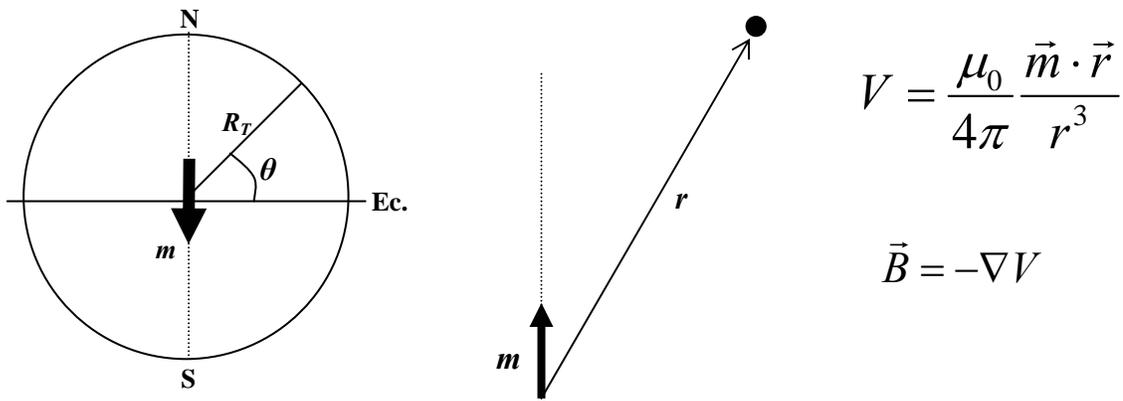
y especialice para este caso el resultado de la parte a).

- c) Para la magnetización dada en b), calcule ahora el campo magnético en un perfil superficial ( $z = 0$ ) a lo largo del eje  $x$ . Grafique esquemáticamente su resultado.

20) Considere una formación rocosa aproximadamente esférica que se encuentra enterrada a cierta profundidad. Este cuerpo se magnetiza de acuerdo al campo magnético terrestre (inducción) y produce una anomalía que se mide en la superficie. Muestre esquemáticamente la anomalía de campo total para un perfil Sur-Norte que pasa por el centro (epicentro) de la formación rocosa, en las siguientes situaciones geográficas:

- a) Polo Sur. b)  $45^\circ$  S. c) Región ecuatorial. d)  $45^\circ$  N. e) Polo Norte.

- 21) En la aproximación más simple, el campo magnético observado en la superficie de la Tierra puede ser descrito como proveniente de un dipolo magnético  $\vec{m}$  ubicado en el centro de la Tierra y alineado con su eje de rotación.
- Para el campo magnético generado por este dipolo, encuentre su magnitud en función de la latitud  $\theta$ .
  - Estime el momento del dipolo terrestre si la magnitud del campo en los polos es de  $60000\gamma$ . Datos: radio terrestre  $R_T = 6370$  km,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  N A<sup>-2</sup>.
  - Obtenga una expresión para la inclinación  $I$  del campo magnético generado por este dipolo en función de la latitud.
  - A partir del resultado obtenido en c), ¿Cuál sería la inclinación del campo magnético terrestre en las inmediaciones de Santiago, digamos  $33.5^\circ$ S? ¿Cómo se compara su valor con el valor  $I = -33.4^\circ$  dado por el IGRF (International Geomagnetic Referente Field)? ¿A que atribuiría las diferencias?



Considere un cilindro infinitamente extendido saliendo y entrando de la página (sentido  $y$ ), uniformemente magnetizado según el vector:

$$\vec{M} = M\hat{\alpha} = M(l, m, n)$$

- a) Utilice la relación de Poisson y obtenga el potencial escalar  $V$  tal que el campo magnético producido por este cuerpo es:

$$\Delta\vec{B} = -\nabla V$$

- b) Utilice esta última fórmula, y obtenga las componentes  $B_x$  y  $B_z$  del campo magnético. Justifique porque  $B_y$  es nula.  
 c) Considere que la magnetización del cilindro es inducida por el campo terrestre que es horizontal en la zona:

$$\vec{B}_0 = B_0\hat{x}$$

En estas condiciones, encuentre una expresión para la anomalía de campo total  $A_T$  en la superficie ( $z = 0$ ) a lo largo del eje horizontal  $x$ . Haga un gráfico esquemático de su resultado.

23)

- a) Utilice la relación de Poisson y encuentre la anomalía magnética de una placa horizontal infinitamente extendida y que posee una magnetización constante  $M$ .



- b) Considere ahora que la placa contiene una cavidad  $C$  y utilizando el resultado de la parte a), demuestre que la anomalía que observaría en este caso es equivalente a la de un cuerpo de la misma forma que la cavidad, pero con magnetización  $-M$ .

