

TPN°5

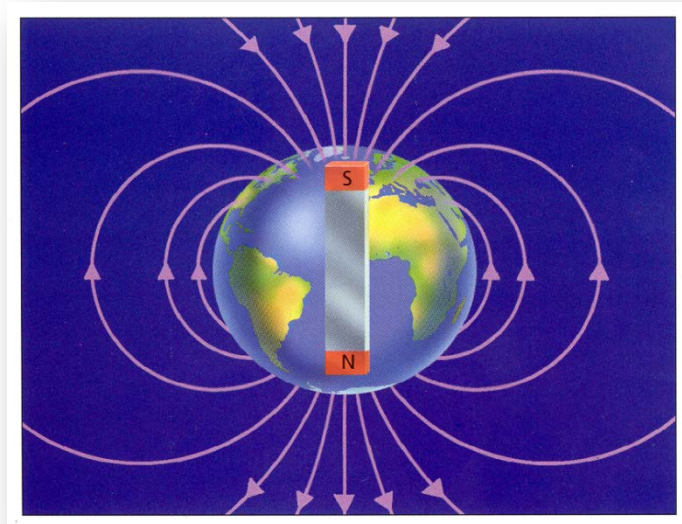
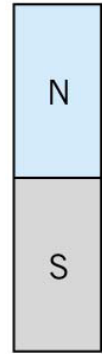
# **Respuesta magnetométrica de cuerpos simples**

*Prospección Geofísica 2014*

Existen dipolos magnéticos en ciertos materiales magnéticos

Como los imanes, tienen un polo norte y un polo sur

La convención de los dipolos magnéticos es de Sur a Norte



El relevamiento magnetométrico depende del objetivo que produce una anomalía magnética que modifica localmente el campo magnético terrestre.

# Campo magnético externo y campo magnético inducido

Un campo magnético, sea permanente o inducido, genera una fuerza magnética

**H= Campo magnético externo** ( $H = J/k$ ) J= intensidad de magnetización  
k= susceptibilidad magnética)

- H es el campo magnetizante en el espacio
- en unidades A/m (SI)
- Se lo denomina también **Intensidad del campo magnético**
- Es un vector

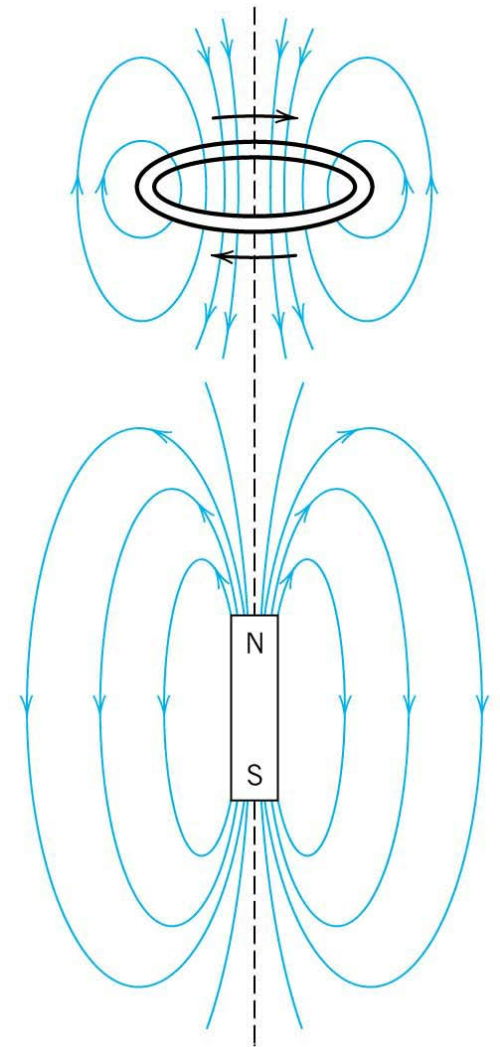
**B= Magnetización inducida** ( $B= \mu \cdot H$ )

$\mu$ = permeabilidad magnética

- Magnitud de intensidad del campo magnético interno en un material expuesto a un campo H
- en unidades T (SI)
- Se lo denomina también **densidad de flujo magnético**
- Es un vector

**Jr= Magnetización remanente**

- El remanente de un campo magnético pasado (millones de años)
- Es independiente del campo magnético actual (cualquier dirección)



Propiedad	cgs	SI	Factor de conversión
B (inducción)	Gauss ( <b>G</b> )	Tesla ( <b>T</b> )	$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$
H (campo)	oersted ( <b>Oe</b> )	<b>A/m</b>	$1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$
K (suscept. vol.)	<b>adimensional</b>	<b>adimensional</b>	$1 \text{ (SI)} = 1/4\pi \text{ (cgs)}$
M (momento)	<b>emu = G cm<sup>3</sup></b>	<b>A m<sup>2</sup></b>	$1 \text{ A m}^2 = 10^3 \text{ emu}$
J (magnetización)	<b>emu / cm<sup>3</sup></b>	<b>A/m</b>	$1 \text{ A/m} = 10^3 \text{ emu / cm}^3$
P (intensidad de polo)	<b>G cm<sup>2</sup></b>	<b>A m</b>	$1 \text{ Am} = 10 \text{ G cm}^2$

**En relevamientos magnetométricos se suele usar la unidad de campo magnético:  
gamma ( $\gamma$ )  $1 \gamma = 10^{-5} \text{ Oe (cgs)}$  o nanotesla (nT)  $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T (SI)}$**

$$1 \gamma = 1 \text{ nT}$$

# Susceptibilidad magnética ( $k$ )

Propiedad intrínseca de los materiales  
Gobernará la respuesta magnética de un cuerpo en presencia de un campo magnético  
Rango de valores muy grande entre distintos minerales (varios órdenes de magnitud)  
La susceptibilidad de una roca será la sumatoria de la contribución de cada mineral constituyente  
A diferencia de la densidad en gravimetría, la susceptibilidad dependerá mucho de la presencia de ciertos minerales accesorios (ej. magnetita)

Según  $k$ , los materiales se clasifican en:

Table 14.1. Magnetic constants of some materials at room temperature

Material	$\chi$ (SI) unitless	$\chi$ (cgs) unitless	$\mu$ unitless	Type of magnetism
Bi	$-165 \times 10^{-6}$	$-13.13 \times 10^{-6}$	0.99983	Diamagnetic
Be	$-23.2 \times 10^{-6}$	$-1.85 \times 10^{-6}$	0.99998	
Ag	$-23.8 \times 10^{-6}$	$-1.90 \times 10^{-6}$	0.99997	
Au	$-34.4 \times 10^{-6}$	$-2.74 \times 10^{-6}$	0.99996	
Ge	$-71.1 \times 10^{-6}$	$-5.66 \times 10^{-6}$	0.99999	
Cu	$-9.7 \times 10^{-6}$	$-0.77 \times 10^{-6}$	0.99999	
Si	$-4.1 \times 10^{-6}$	$-0.32 \times 10^{-6}$	0.99999	
Water	$-9.14 \times 10^{-6}$	$-0.73 \times 10^{-6}$	0.99999	
Superconductors <sup>a</sup>	-1.0	$\sim -8 \times 10^{-2}$	0	
$\beta$ -Sn	$+2.4 \times 10^{-6}$	$+0.19 \times 10^{-6}$	1	Paramagnetic
W	$+77.7 \times 10^{-6}$	$+6.18 \times 10^{-6}$	1.00008	
Al	$+20.7 \times 10^{-6}$	$+1.65 \times 10^{-6}$	1.00002	
Pt	$+264.4 \times 10^{-6}$	$+21.04 \times 10^{-6}$	1.00026	
Low carbon steel	$\approx 5 \times 10^3$	$3.98 \times 10^2$	$5 \times 10^3$	Ferromagnetic
Fe-3%Si (grain-oriented)	$4 \times 10^4$	$3.18 \times 10^3$	$4 \times 10^4$	
Ni-Fe-Mo (supermalloy)	$10^6$	$7.96 \times 10^4$	$10^6$	

<sup>a</sup>See Section 7.6.

Note: The table lists the unitless susceptibility,  $\chi$ , in SI and cgs units. (The difference is a factor of  $4\pi$ , see Appendix 4.) Other sources may provide mass, atomic, molar, volume, or gram equivalent susceptibilities in cgs or SI units.  $\mu$  has the same value in both unit systems, see Section 14.3.

Source: Landolt-Börnstein, *Zahlenwerte der Physik*, Vol. 11/9, 6th Edition, Springer-Verlag, Berlin (1962).

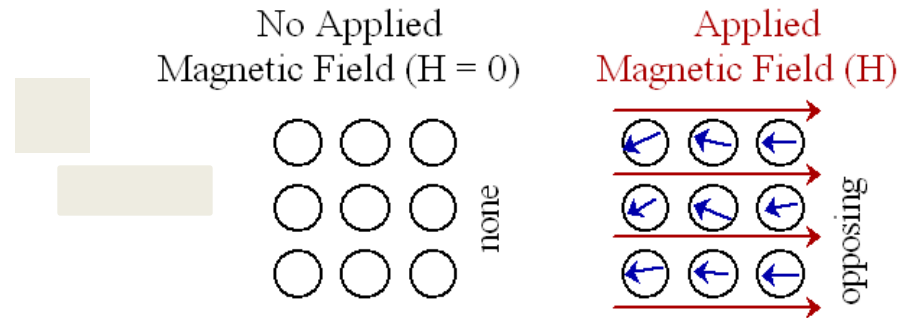
## Diamagnetismo:

= No magnético (sólo ocurre en la presencia de un campo externo H)

Aún con un H, el magnetismo es muy débil

No es permanente

**Opuesto a H**

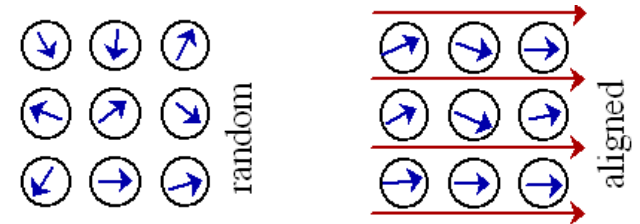


## Paramagnetismo:

-Sin un H, los momentos magnéticos se orientan al azar

-No existe magnetización macroscópica “neta”

-En un campo externo H, los momentos se alinean débilmente con el campo → lo refuerzan

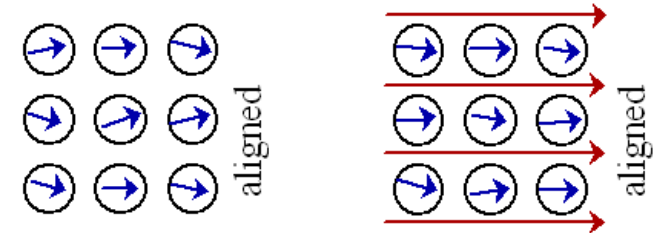


## Ferromagnetismo:

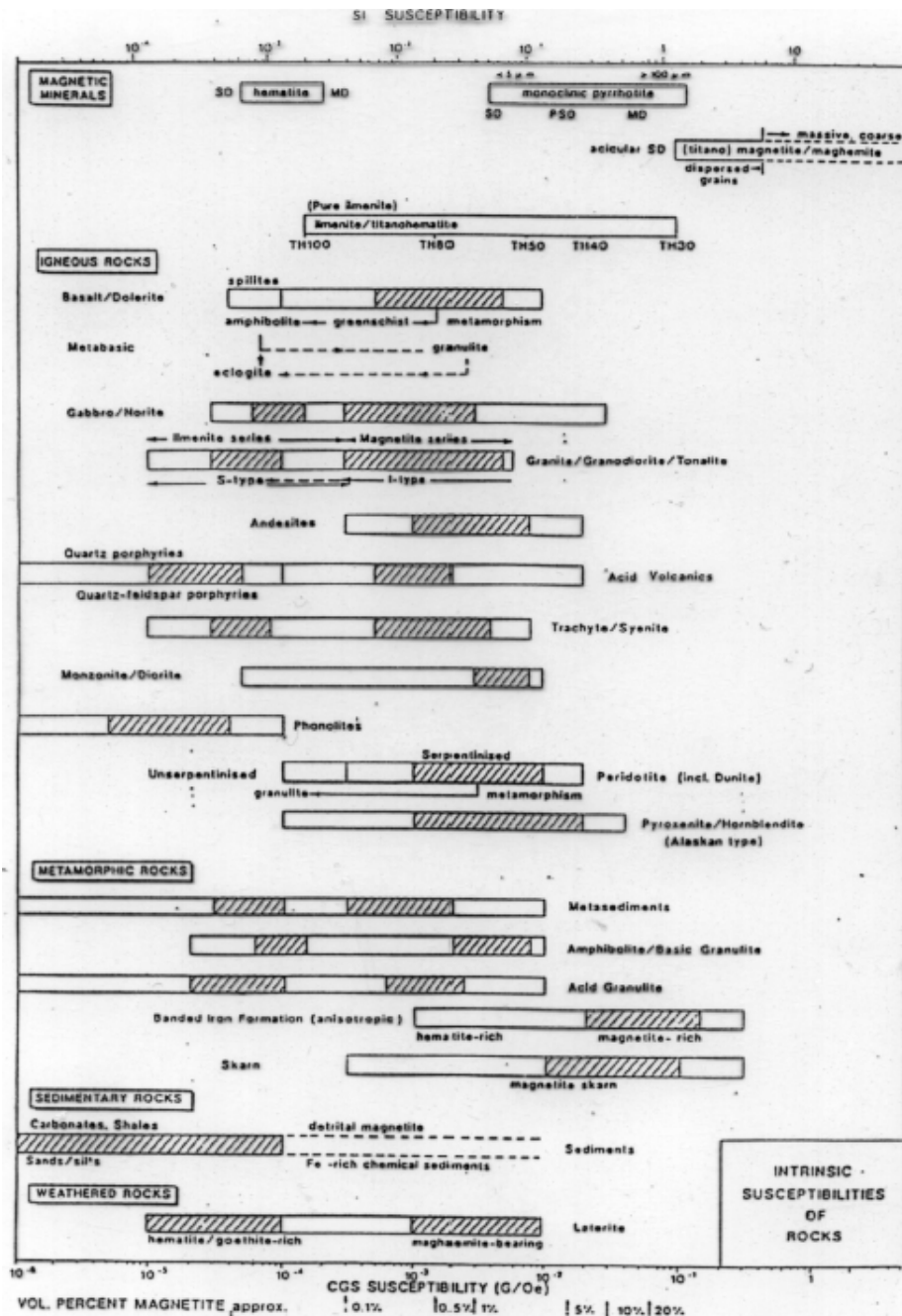
-Muy magnético

Es permanente

Los momentos permanentes son reforzados por los momentos magnéticos de átomos adyacentes que se alinean aún sin un H.



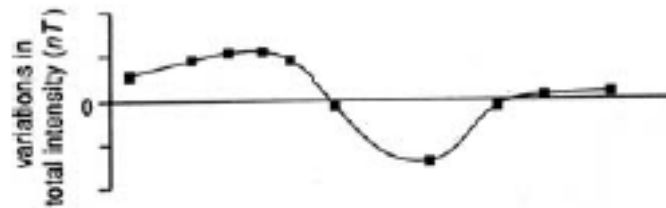




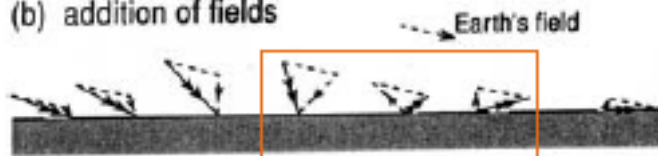
Las rocas básicas tienen  $> k$  que las ácidas

En general,  $k$  rocas ígneas  $>$  r.metam.  $>$  r.sed.

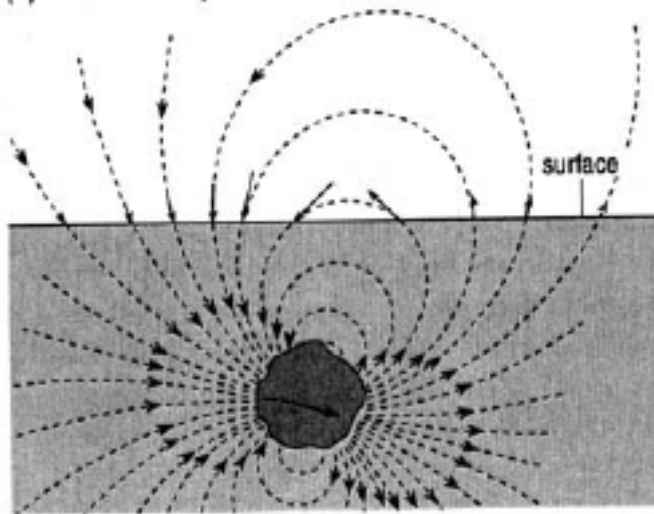
(a) anomaly



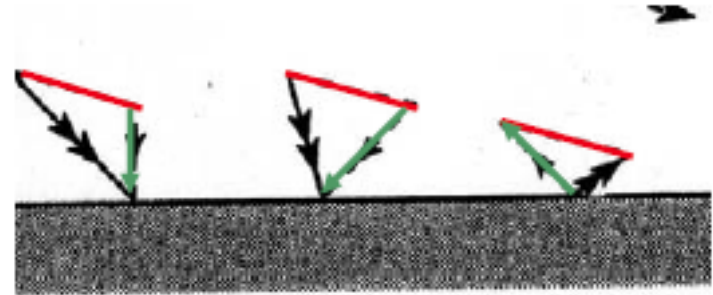
(b) addition of fields



(c) field of body



**Figure 11.1** Magnetic field of a buried dipole.



**Mido intensidad del campo magnético total (IMT o TMI)**

Es el módulo del vector resultante de sumar:

- 1) El CM terrestre (principal, de entre 30000 y 70000 nT)
- 2) La contribución anómala debida al campo local del cuerpo magnetizado (variable entre decenas y miles de nT)

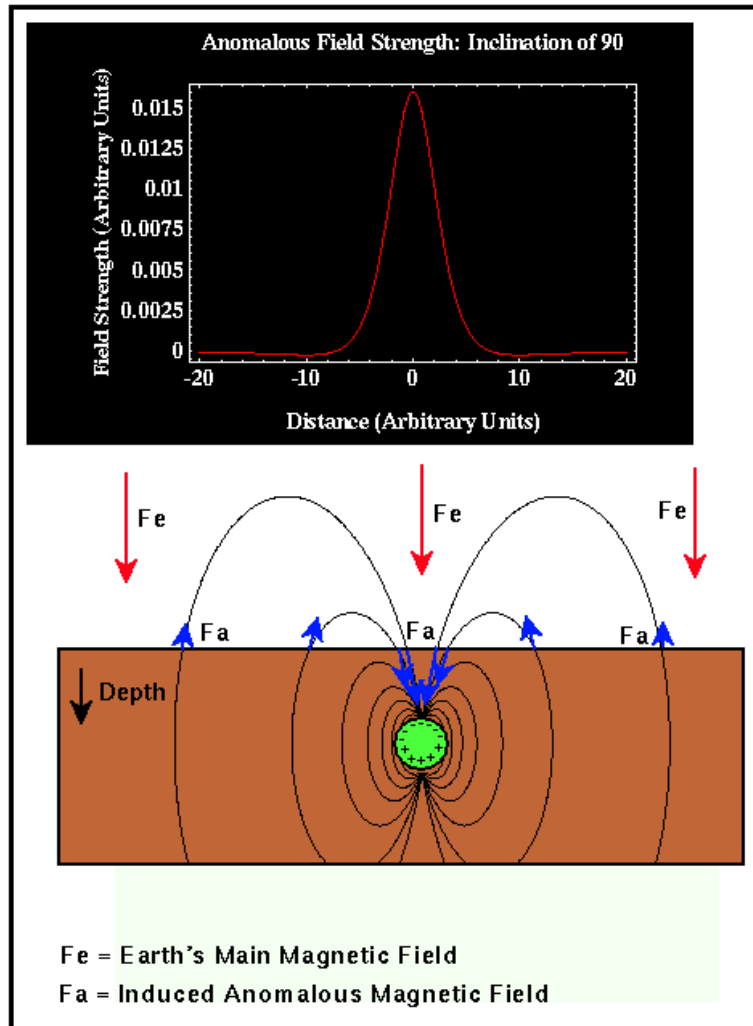


# Interpretación de anomalías magnéticas

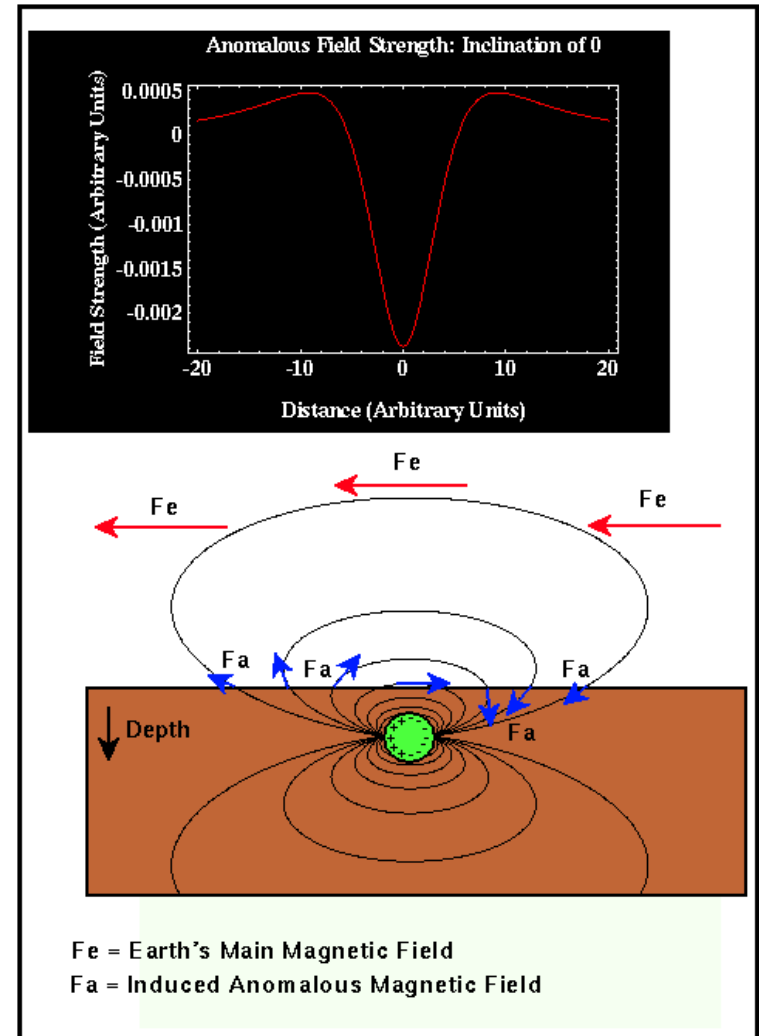
La forma de las anomalías magnéticas depende de varios factores

- Latitud
- Forma del cuerpo
- Propiedades magnéticas del cuerpo
- Dirección del relevamiento
- profundidad del cuerpo
- Remanencia del cuerpo

# La respuesta magnética de un cuerpo varía con la latitud



Sobre el polo

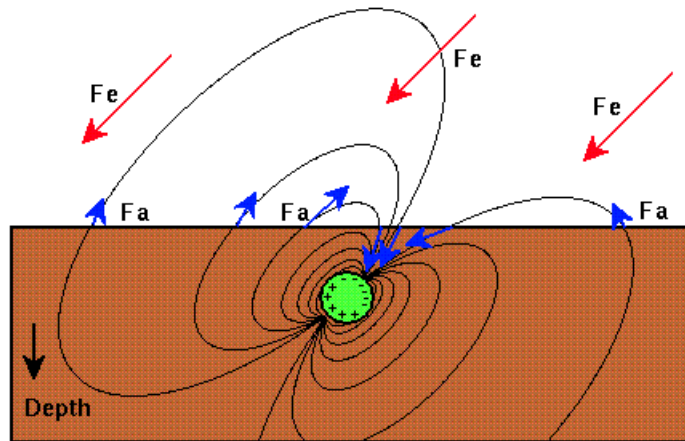
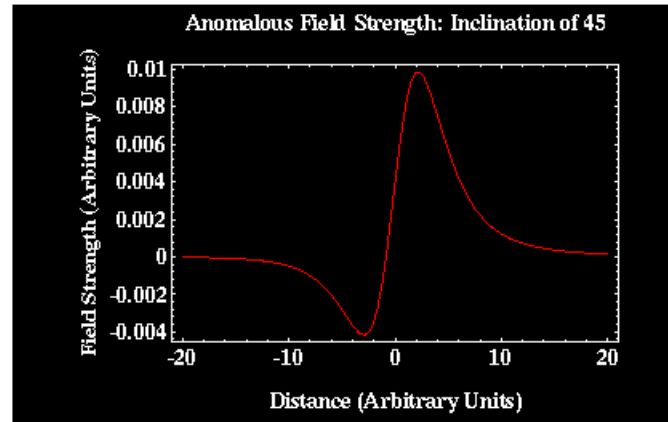


Sobre el Ecuador

N

S

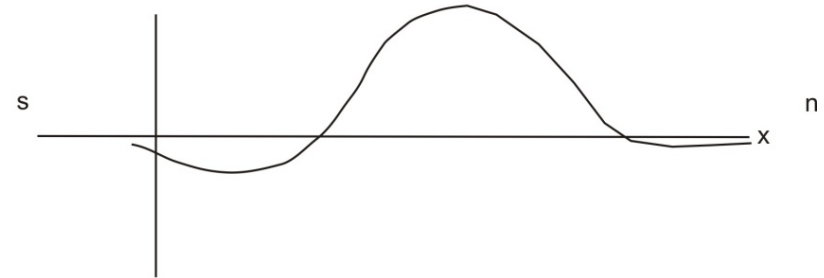
## Latitudes intermedias



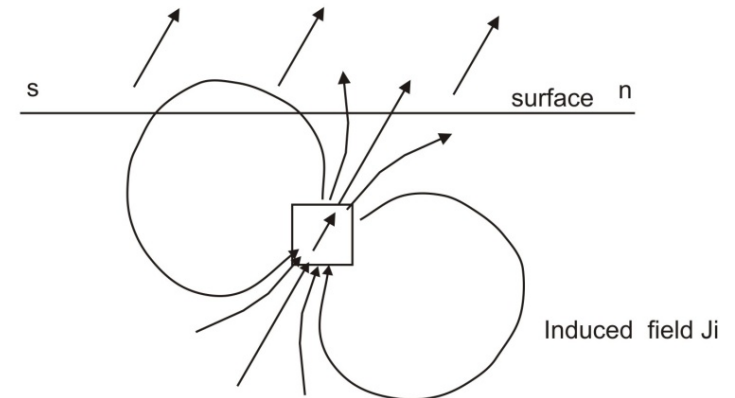
Fe = Earth's Main Magnetic Field  
Fa = Induced Anomalous Magnetic Field

Hemisferio Norte

Magnetic anomaly (Observed - expected)

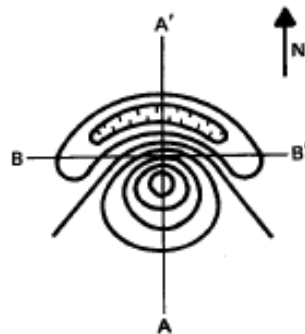
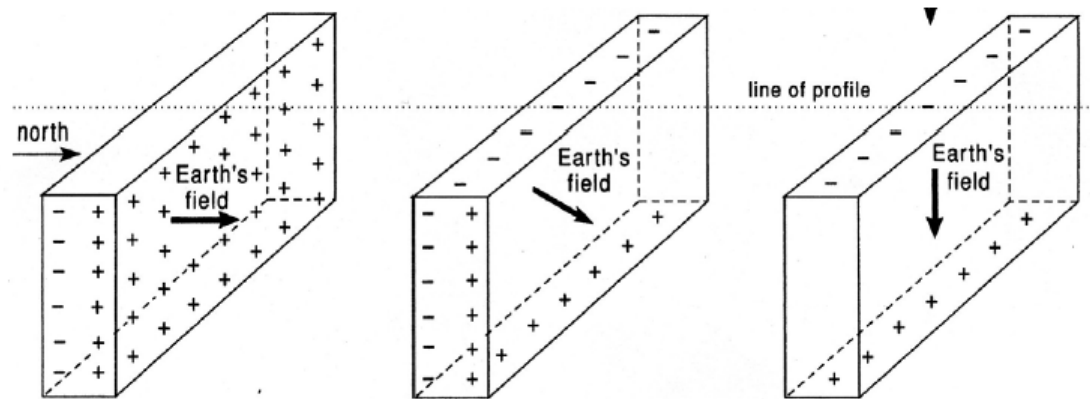


Earth's field



Hemisferio Sur

# Los cuerpos se magnetizan dependiendo de su orientación respecto al CMT

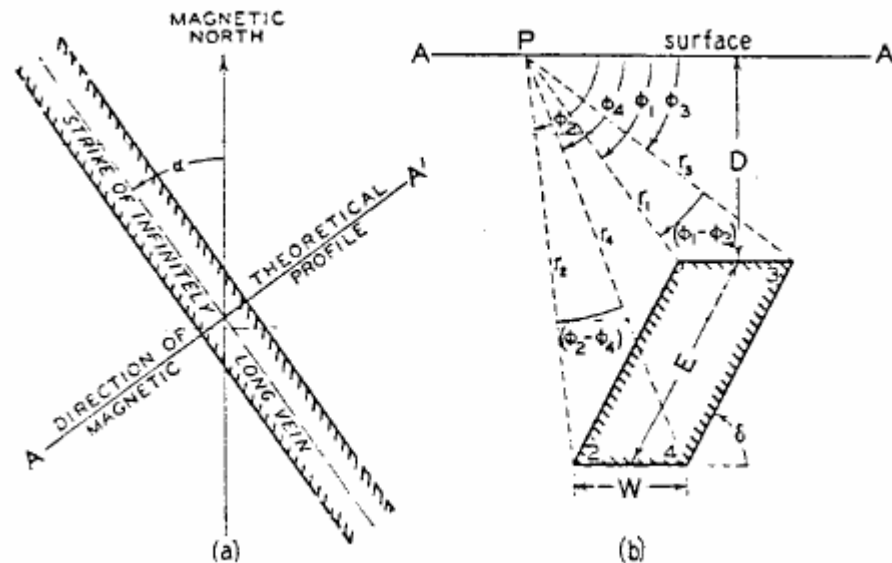


DIPOLE, INCLINATION OF F,  $60^\circ$   
(FOR INCLINATION  $-60^\circ$ , I.E., SOUTHERN HEMISPHERE, N IS  $\downarrow$ )

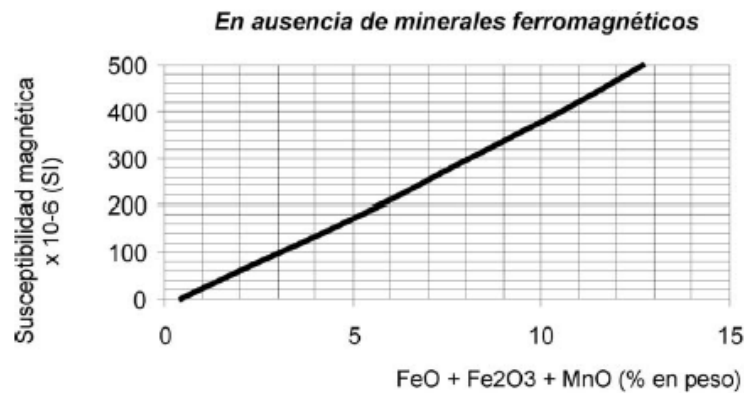
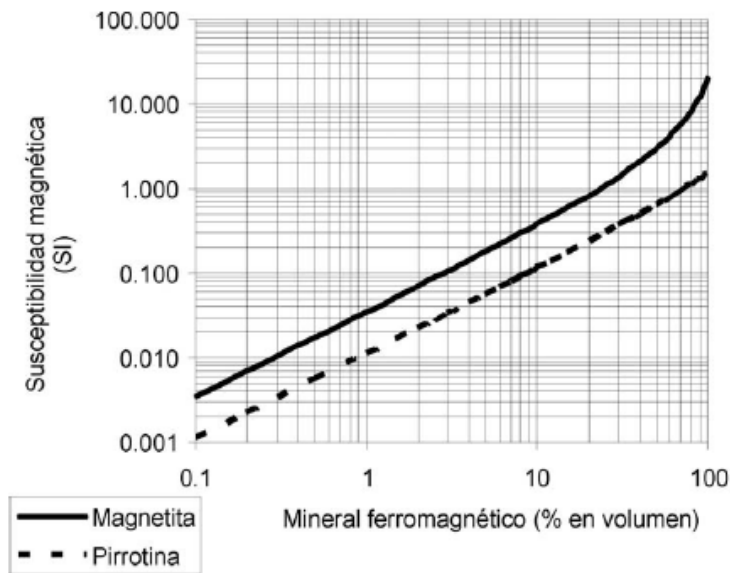
La anomalía magnética depende de la orientación del cuerpo

Para un dique de extensión infinita en el rumbo, uniformemente magnetizado, la componente vertical de la anomalía del campo magnético causado por él en cualquier punto se aproxima a (Cook, 1950):

$$\Delta Z = 2\kappa \sin \delta \left[ \begin{array}{l} (H_o \sin \alpha \sin \delta + Z_o \cos \delta) \log_e r_2 r_3 / r_1 r_4 \\ - (H_o \sin \alpha \cos \delta - Z_o \sin \delta) (\phi_1 - \phi_2 - \phi_3 + \phi_4) \end{array} \right]$$



## La respuesta magnética varía con k (contenido de magnetita)



Relaciones teóricas aproximadas de acuerdo a Rochette et al. (1992) y Clark (1999). El gráfico superior asume un aumento gradual de la densidad de la roca con el aumento del contenido de Fe.

