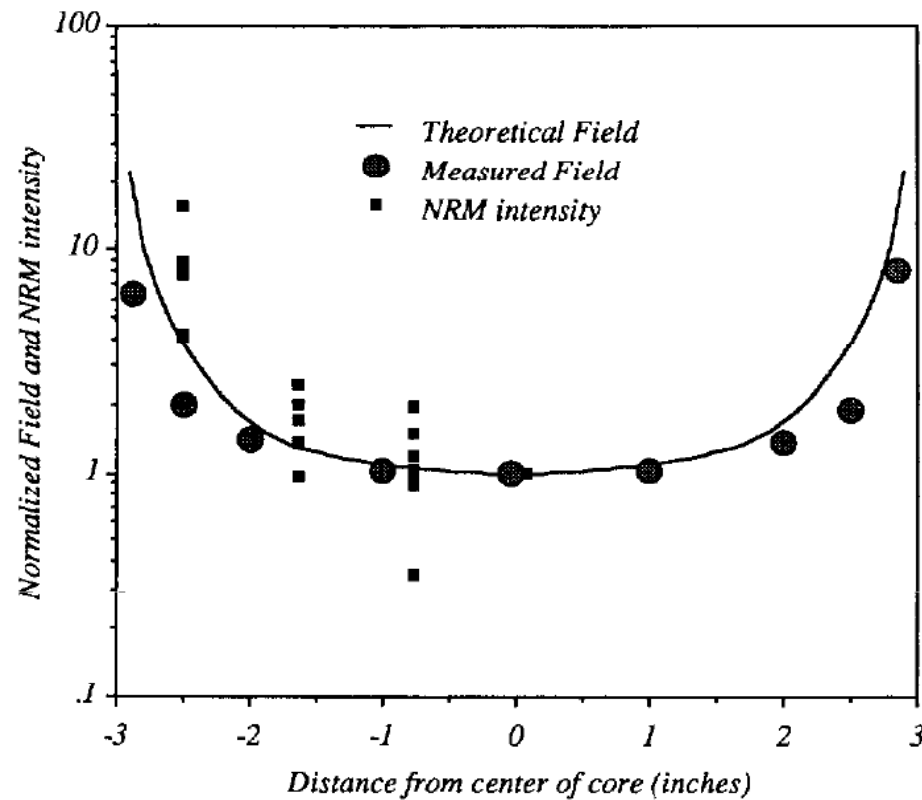


Magnetización remanente inducida por perforación (drilling)

Pinto y McWilliams 1990



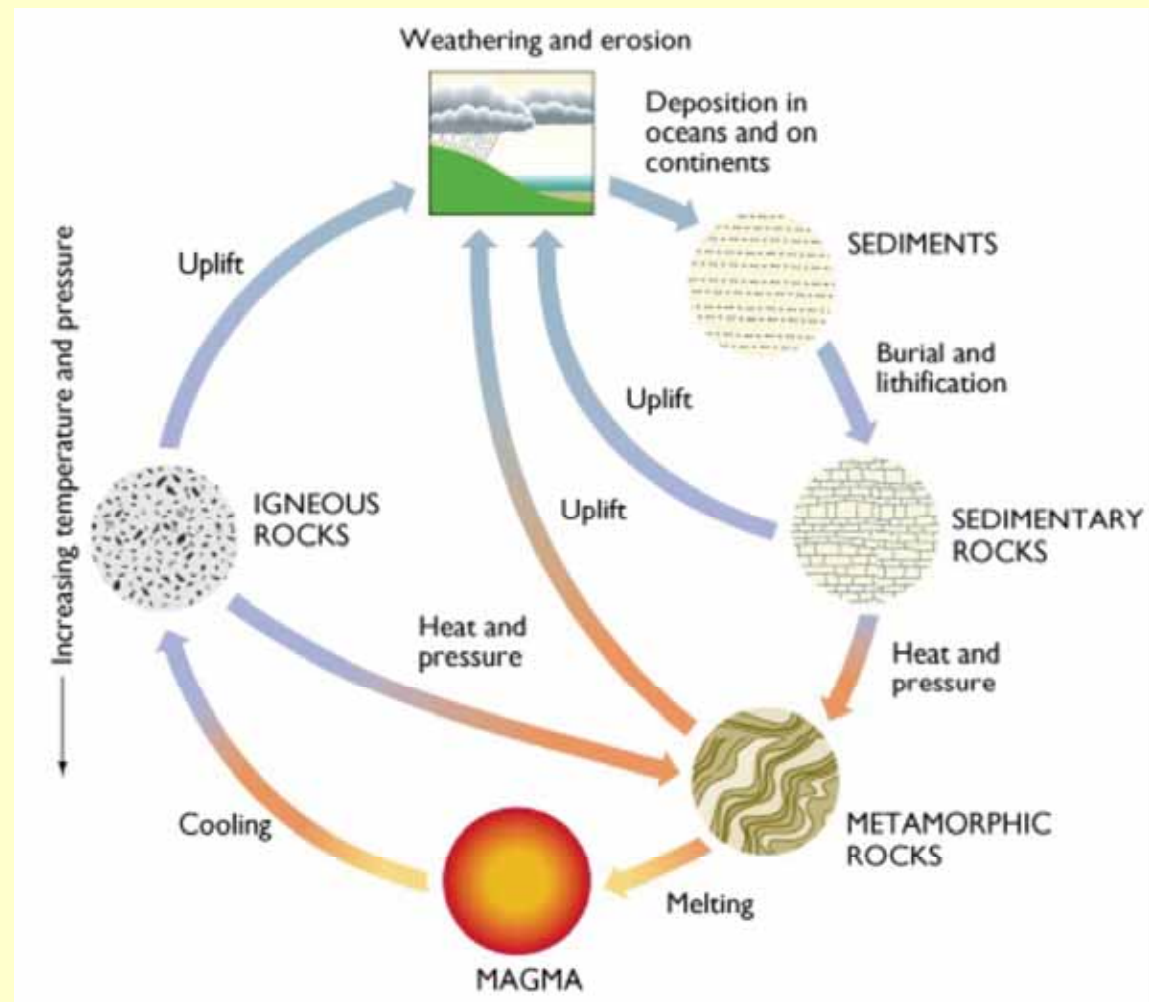
Si el tubo de perforación es magnético, puede generar un campo axial suficientemente fuerte como para ocasionar una IRM (¿VRM?).

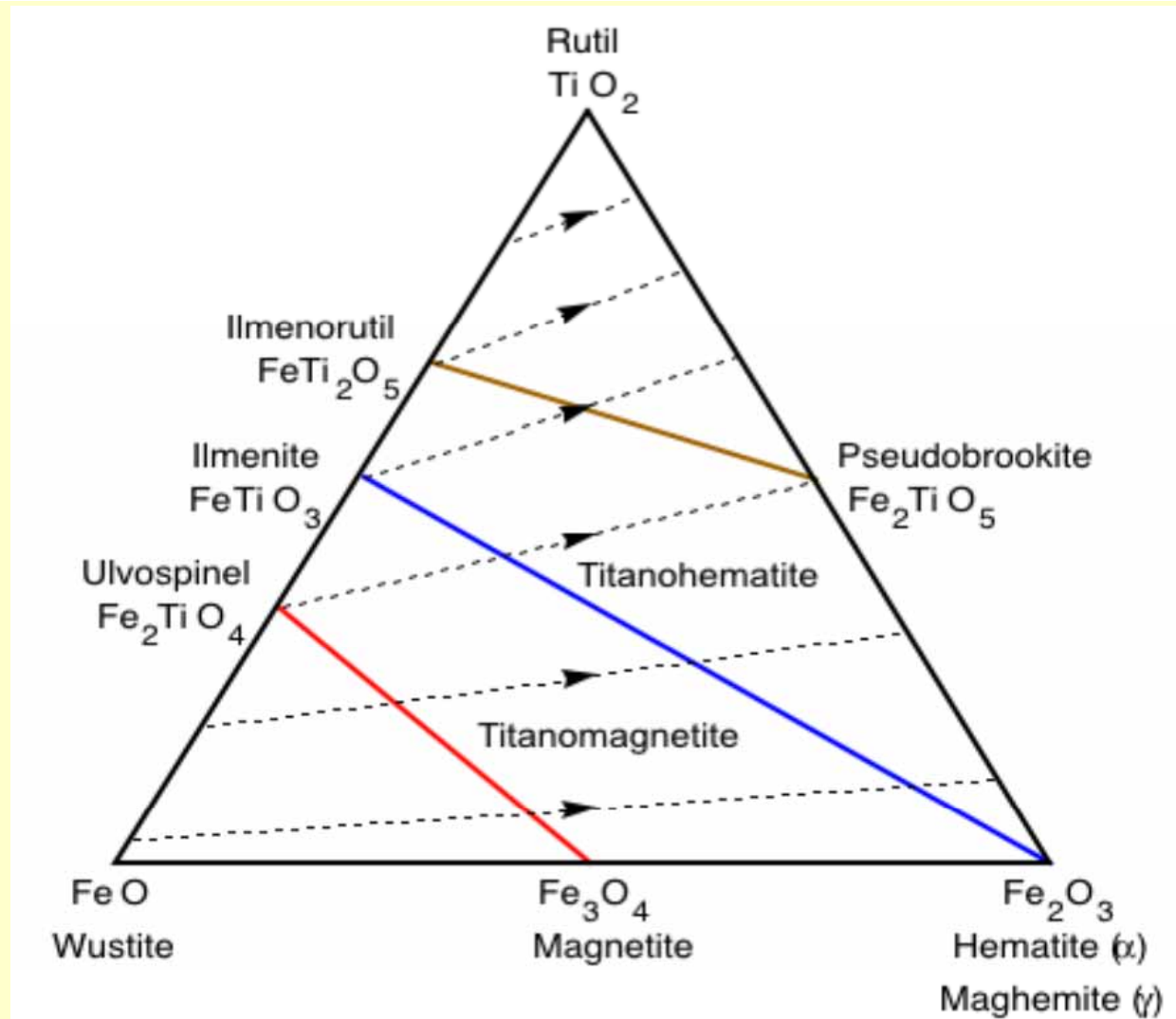
A eso se puede sumar una magnetización piezorremanente en la zona en contacto con la herramienta.

Minerales ferromagnéticos (s.l.)

Oxides		Sulfides	oxyhydroxides
Fe/Ti-oxide	Fe/Mn Oxides	Fe-sulfides	Fe-oxyhydroxides
(titano)-magnetite (titano)-maghemite (titano)-hematite	Jacobsite, Magnesioferrite	Pyrrhotite Greigite Troilite	Goethite Lepidocrocite Feroxyhyte
abundant in all types of recorders	sediments	sediments volcanic	soils sediments baked clay

Los minerales magnéticos siguen el ciclo de las rocas





A lo largo de las líneas de oxidación, $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Ti})$ se mantiene constante

Fuera del sistema ternario $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$

- Sistemas $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Mn}_3\text{O}_4$
- Sulfuros
- Oxihidróxidos

Otros sistemas de espinelos con Cr, Mg, etc.

$$M_B = 9,27 \times 10^{-21} \text{ G cm}^3 \quad \text{o} \quad 9,27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$$

Element	n=0	n=1	n=2					n=3
			3s	3p			3d	4s
Na			↑	m =				
Mg			↑↓	1 0 -1				
Al				↑				
Si				↑	↑			
P				↑	↑	↑		
S				↑↓	↑	↑		
Cl				↑↓	↑↓	↑		
Ar				↑↓	↑↓	↑↓		
K	1s ²	2s ² 2p ⁶					m =	↑
Ca							2 1 0 -1 -2	↑↓
Sc			3s ²					↑↓
Ti							↑	↑↓
V							↑	↑↓
Cr							↑	↑
Mn							↑	↑↓
Fe				3p ⁶			↑	↑↓
Co							↑↓	↑↓
Ni							↑↓	↑↓
Cu							↑↓	↑↓
Zn							↑↓	↑↓

Sistema $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Mn}_3\text{O}_4$

TABLE 3. Intrinsic properties of hausmannite-magnetite series ferrites. Data from Goodenough (1966), Olés et al.(1976); data for iwakiite from Matsubara et al. (1979), for hausmannite from NBS (1972) (lattice constants) and Boucher et al. (1970) (spin configuration), for magnetic hausmannite sample N205, this study

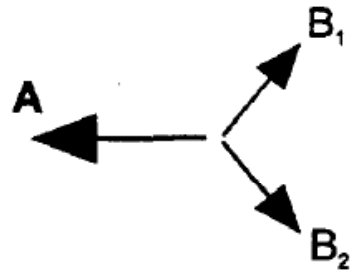
	Hausmannite	Magnetic hausmannite	Synthetic ferrite	Synthetic ferrite	Iwakiite	Jacobsite	Magnetite
Composition	$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_4$	$\text{Mn}^{2+}(\text{Mn,Fe})_2^{3+}\text{O}_4$	$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}\text{FeO}_4$	Mn_2FeO_4	MnFe_2O_4	MnFe_2O_4	$\text{Fe}^{3+}(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$
Site occupation	normal	normal (?)	normal or partly inverted	normal or partly inverted	?	normal or partly inverted	inverted
Crystallographic system	tetragonal	tetragona	tetragonal	cubic	tetragonal	cubic	cubic
Unit cell constants (Å)	$a = 5.7621$ $c = 9.4696$ $c/a = 1.638$	$a = 5.772$ $c = 9.416$ $c/a = 1.631$	$a = 8.34$ $c = 8.88$ $c/a = 1.06$	$a = 8.49$	$a = 8.52$ $c = 8.54$ $c/a = 1.002$	$a = 8.52$	$a = 8.40$
Magnetism				electron spin only			
Type of magnetic order	similar to Yafet-Kittel order	Yafet-Kittel or Neel order (?)	Neel order	Neel order	?	Neel order	Neel order
A-B spin orientations	8 discrete directions of spin orientation	?	antiparallel in (001)	antiparallel	?	antiparallel	antiparallel
Curie temperature (K)	42.5	750	413	?	?	563	858

J. GUTZMER ET AL.

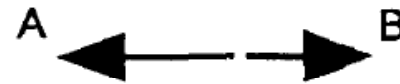
Los compuestos de Mn son mucho menos abundantes en la corteza.

Las propiedades magnéticas son menos fuertes debido a la estructura de espinelo normal.

(b) Yafet-Kittel Order
(triangular spin configuration)



(c) Neel order
(collinear spin configuration)



Gutzmer et al. 1995

Sulfuros

Troilita FeS

Pirrotina Fe_{1-x}S

Greigita Fe_3S_4

} S^{2-}

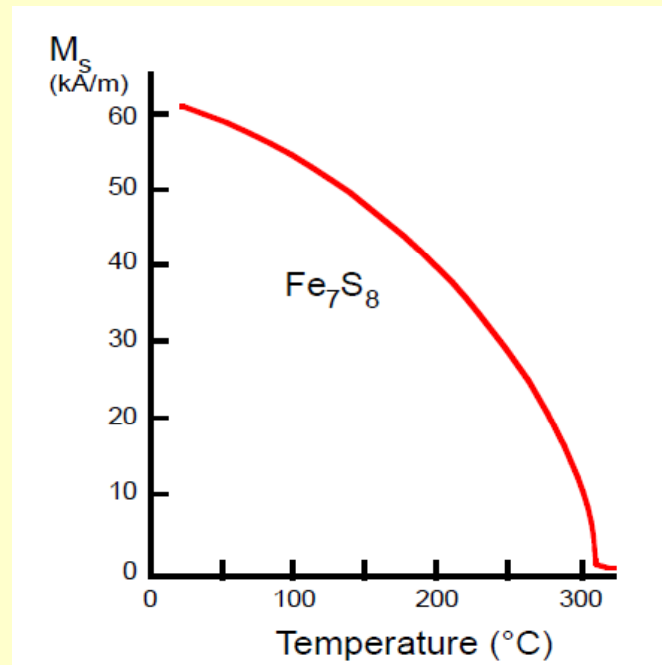
Pirita FeS_2

Marcasita FeS_2

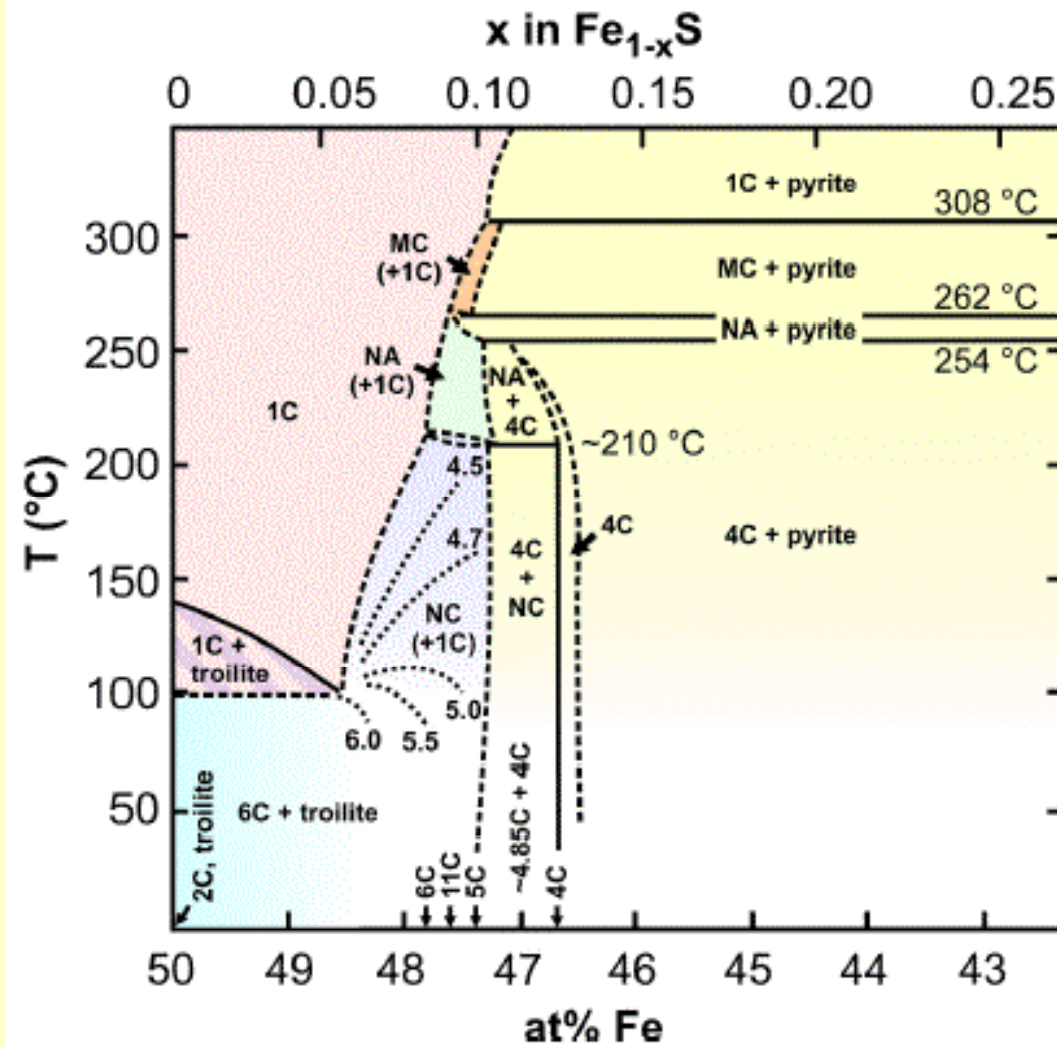
} S^-

Pirrotina (Fe_{1-x}O , $0,2 > x > 0$)

Variantes: la pirrotina monoclinica es ferrimagnética, la hexagonal es antiferromagnética.



Aparece en rocas ígneas máficas y como producto de metamorfismo de contacto.



4C: pirrotina monoclinica Fe_7S_8 (ferrimagnética); 1C hexagonal, Fe casi estequiométrica

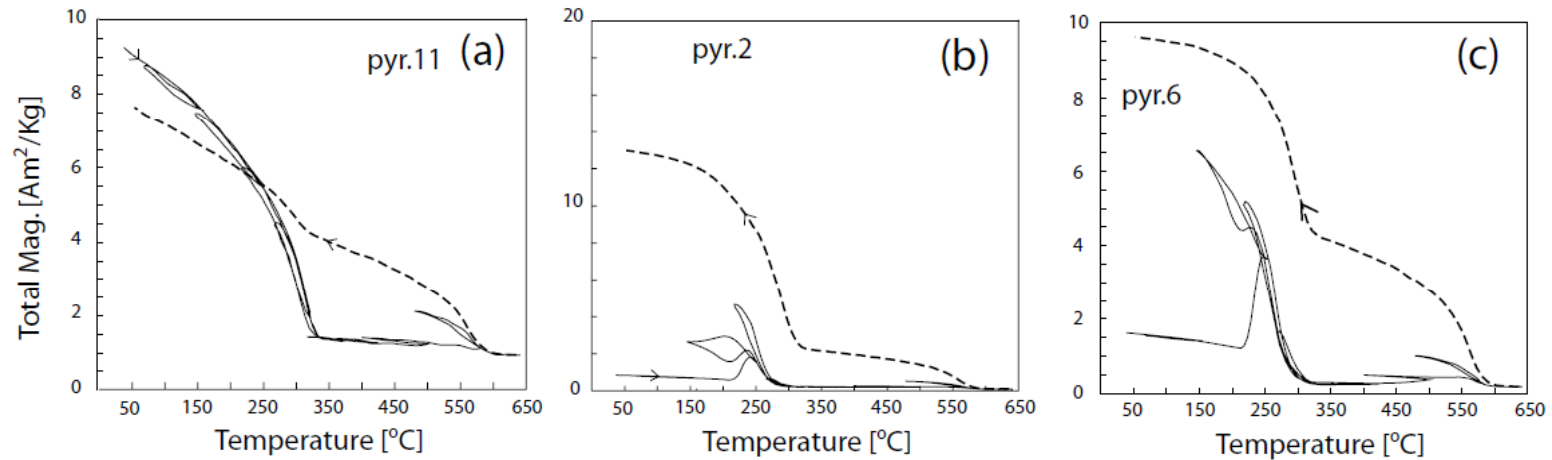
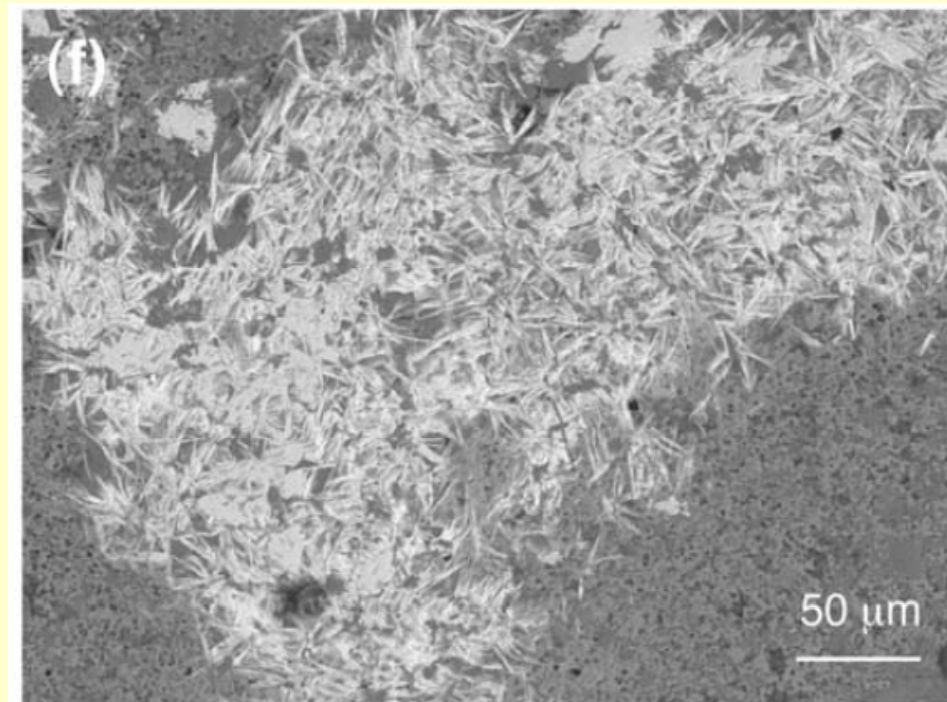
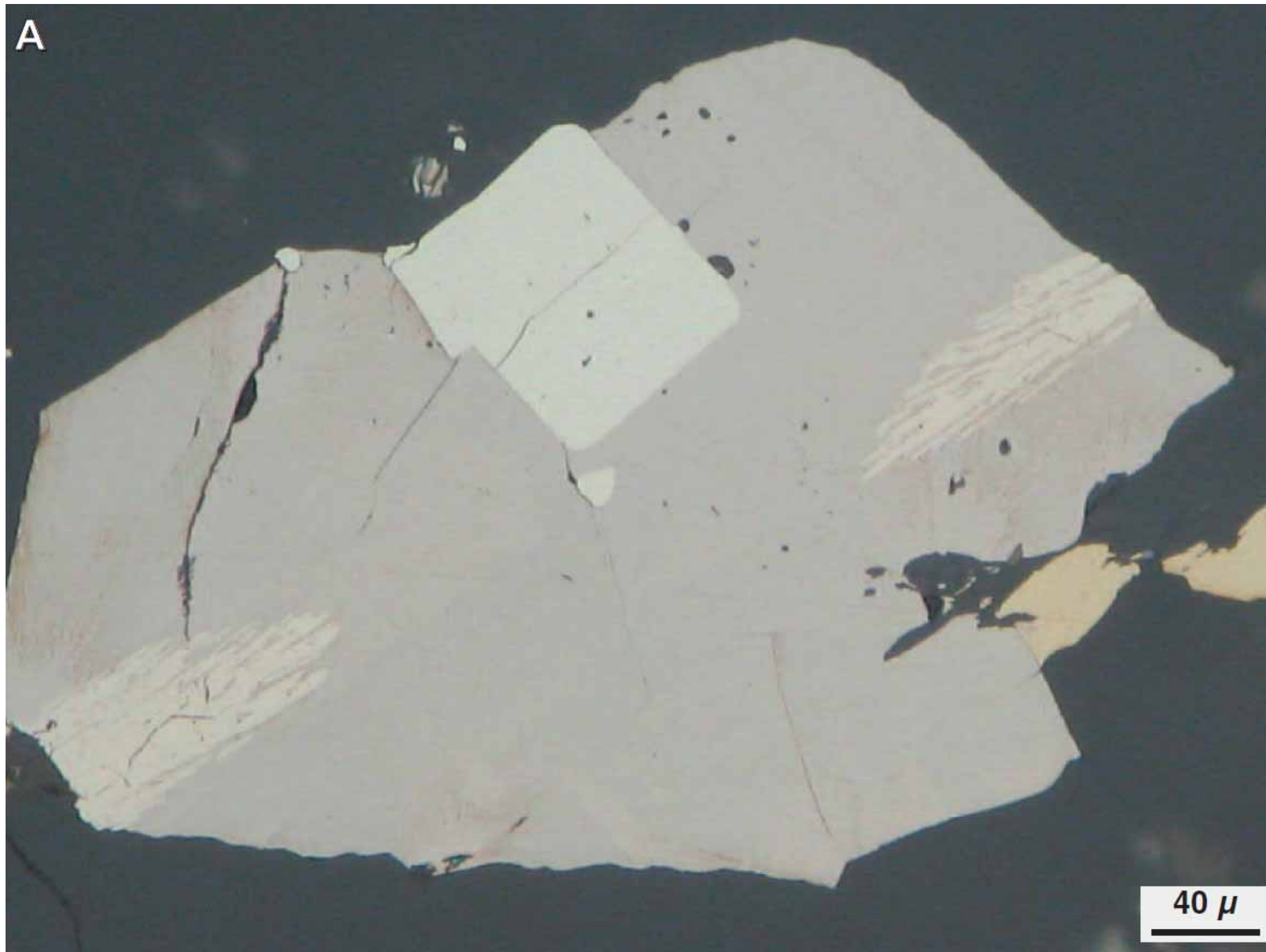
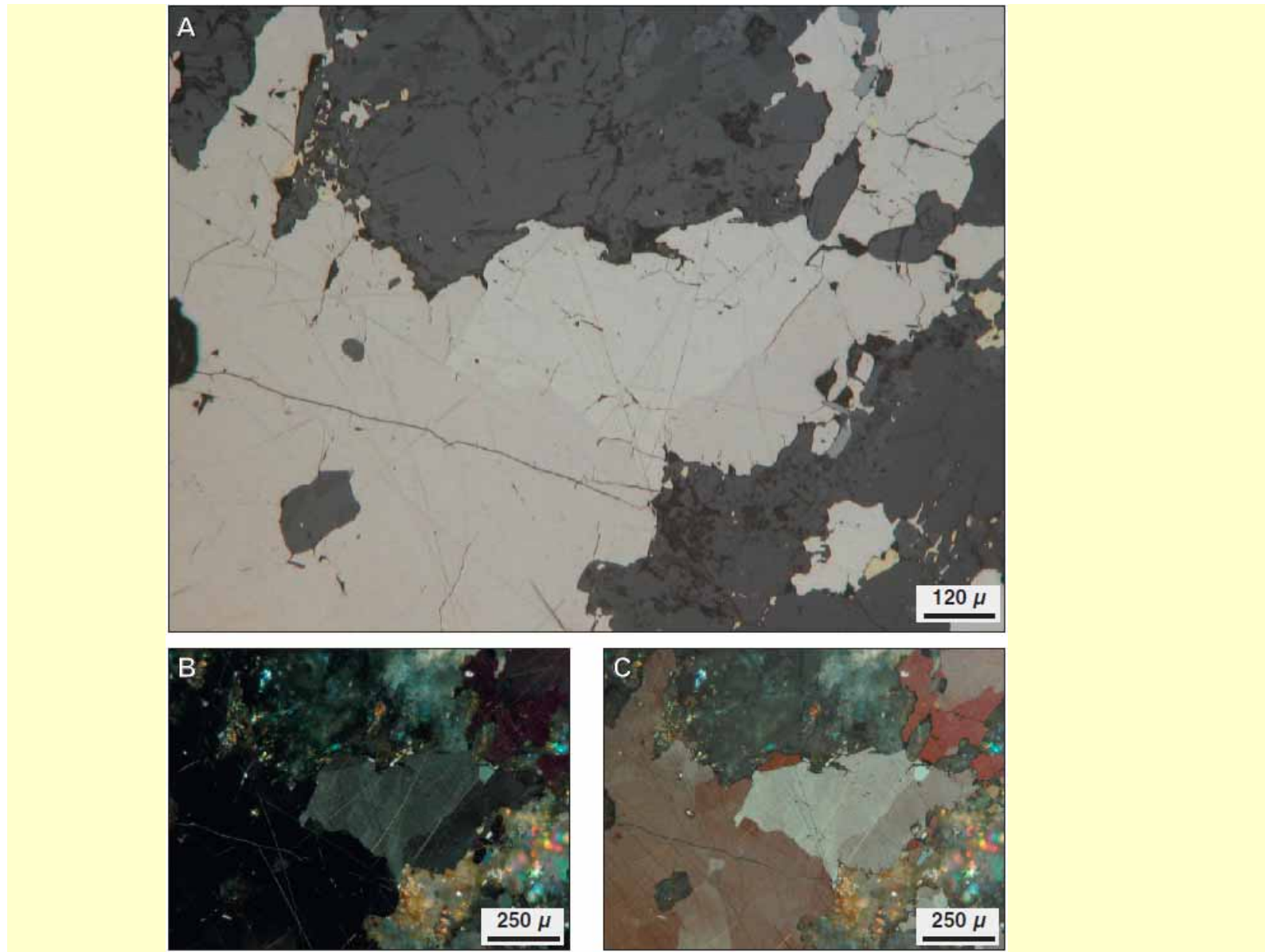


Figure 1. Representative thermomagnetic runs showing the three characteristic pyrrhotite features. Solid lines correspond to the warming curves and dashed lines to the final cooling curves. (a) monoclinic pyrrhotite, (b) hexagonal pyrrhotite displaying the characteristic 'λ-transition' and (c) mixture of hexagonal and monoclinic pyrrhotite.

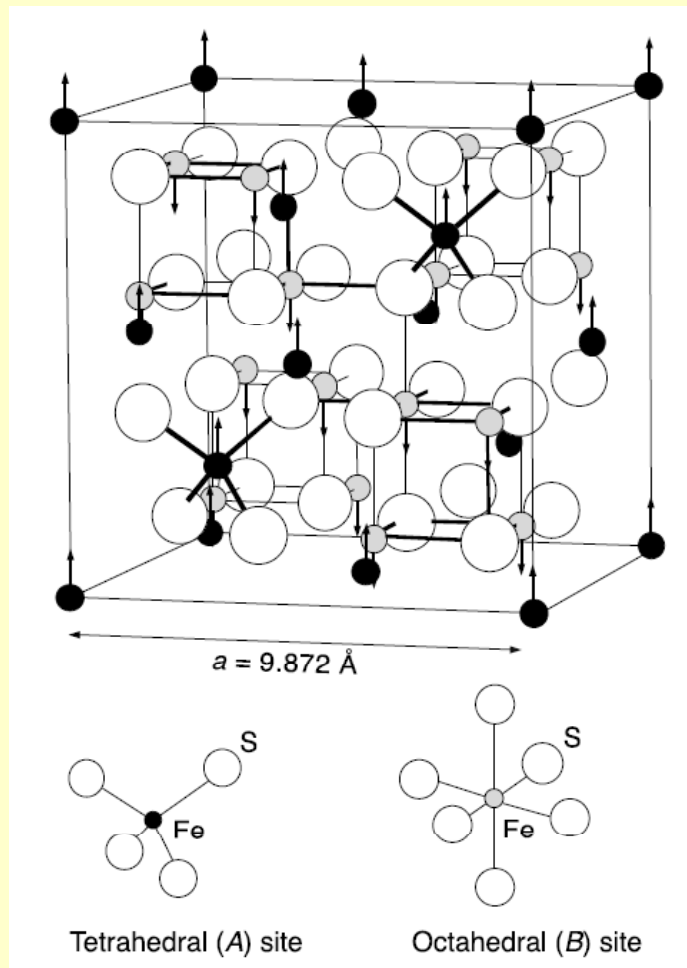
Atención: al calentar a más de 500°C, pirrotina puede convertirse en magnetita, y ésta a su vez, a más de 600°C, en hematita







Greigita (Fe_3S_4)



Thio-espinelo de Fe.

Ferrimagnética.

Se forma en ambientes reductores.

Es precursora de pirita en ambientes sedimentarios anóxicos.

Puede ser primaria o producto de alteración.

La sintetizan bacterias.

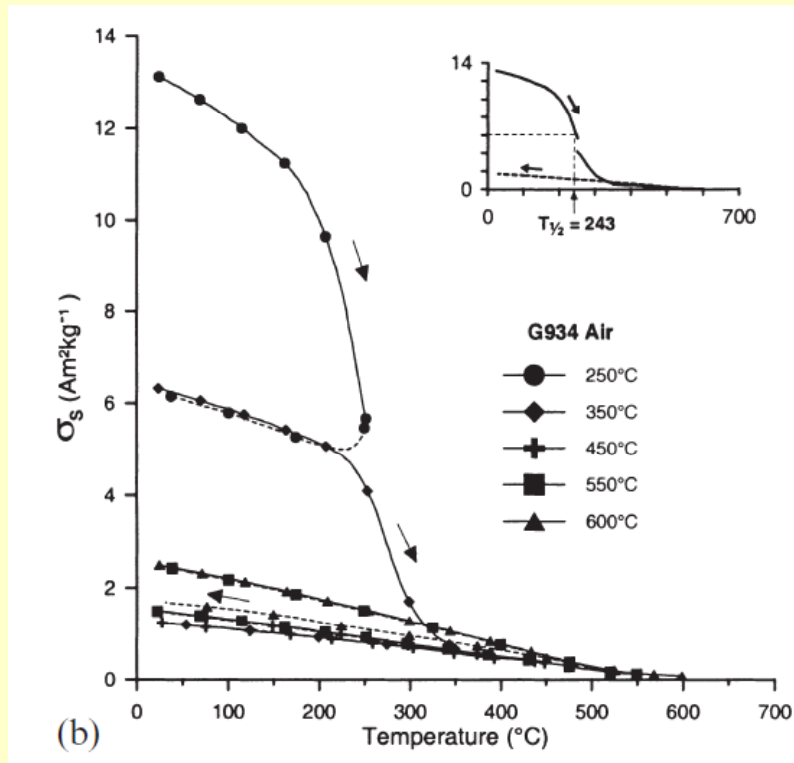
Común en sedimentos lacustres.

Eje fácil de magnetización (100),
propiedades dominadas por anisotropía
magnetocristalina.

Roberts et al. 2011

Greigita (Fe_3S_4)

$M_s \approx 125 \text{ kA/m @ 300 K}$



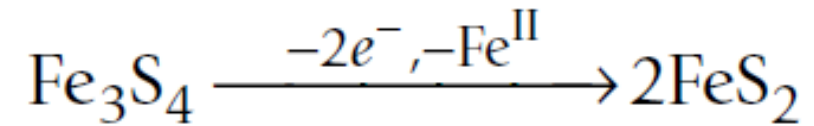
La temperatura de Curie no se conoce porque es inestable frente al calentamiento.

Al calentar se transforma en pirrotina + pirita

No experimenta transiciones a bajas temperaturas

Fuerza coercitiva $\approx 60 \text{ mT}$

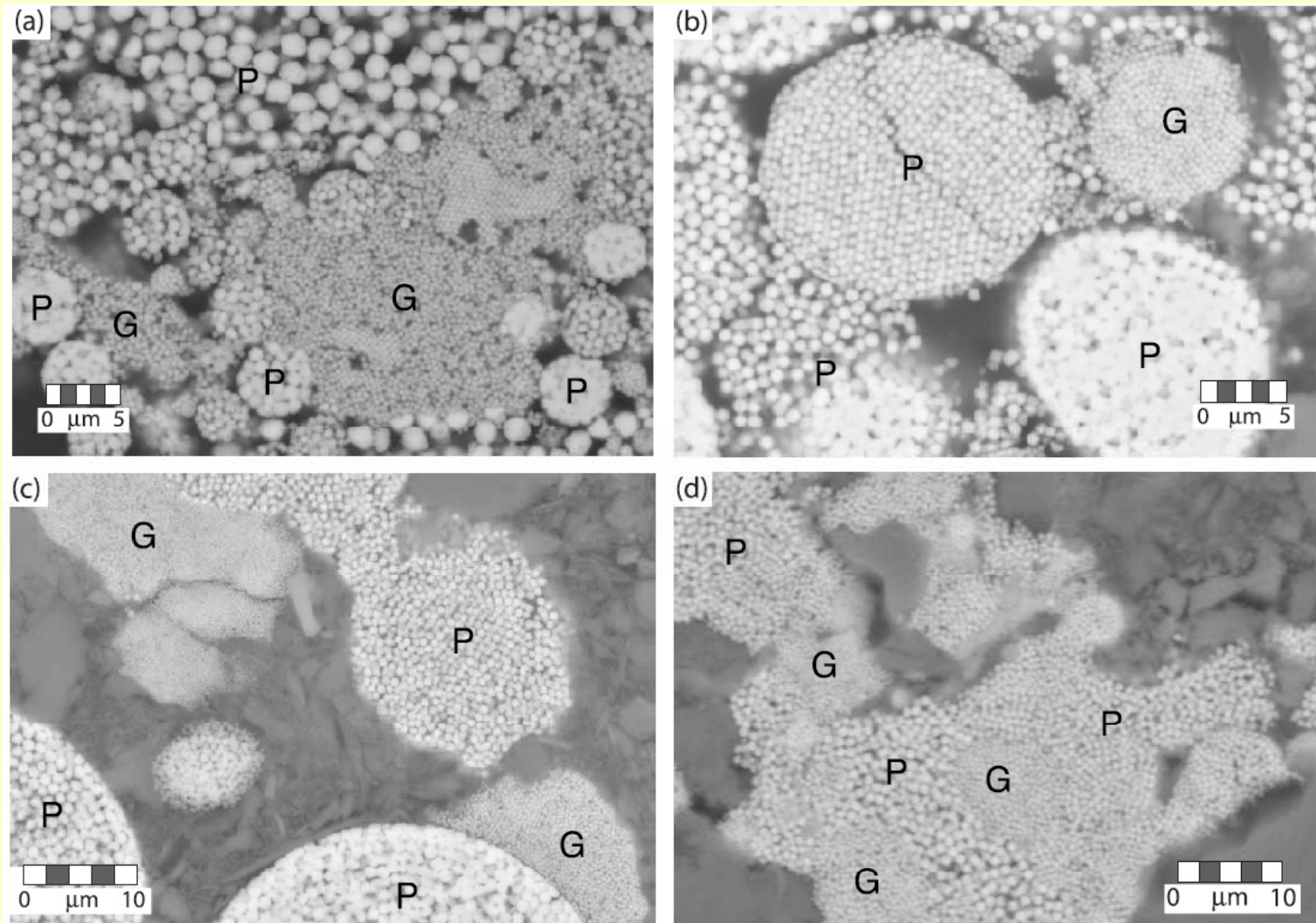
Dekkers et al. 2000



La reacción greigita-pirita en estado sólido requiere la difusión hacia afuera de Fe, la reducción de Fe^{3+} y la oxidación de S^{2-} (sulfuro) a S^{1-} (disulfuro)

El agente oxidante es la presencia de S cero-valente en el sistema.

Si no hay suficiente aporte de S^0 , la preservación de greigita es posible.



Parches de greigita (G) en agregados framboidales de pirita (Roberts et al. 2011)

Hidróxidos (FeOOH)

Goethita (α -FeOOH) y lepidocrocita (γ -FeOOH) son rómbicos con empaquetamiento hexagonal y cúbico, respectivamente, con estructuras análogas a las variantes anhidras hematita y maghemita.

Son producto de meteorización: oxidación e hidrólisis de minerales hipogénicos con Fe.

Goethita



Lepidocrocita

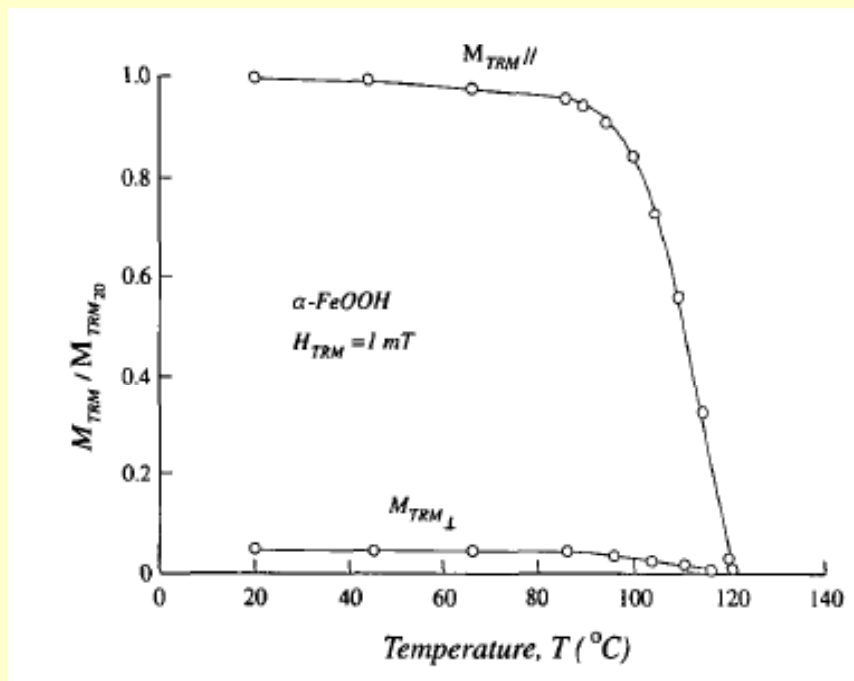


Goethita es más estable que lepidocrocita, característico de suelos y zona meteorizada.

Lepidocrocita se forma por oxidación de Fe^{2+} en ambientes con deficiencia de oxígeno (suelos con humedad excesiva)

Goethita (α -FeOOH)

$M_s \approx 2 \text{ kA/m @ } 300 \text{ K}$



Goethita es antiferromagnético con leve ferromagnetismo.

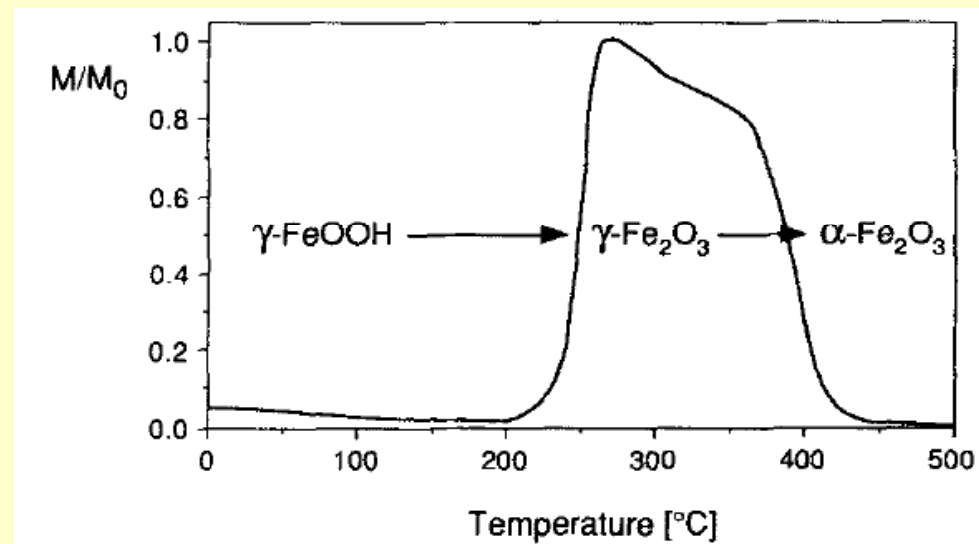
Temperatura de Néel 60-170 $^{\circ}\text{C}$.

A 250-400 $^{\circ}\text{C}$ se deshidrata y pasa a hematita.

Fuerza coercitiva $> 4 \text{ T}$

Lepidocrocita (γ -FeOOH)

Lepidocrocita es paramagnética a temperatura ambiente. Sin embargo al calentar se deshidrata y pasa a maghemita, que a su vez se transforma en hematita



Principales minerales magnéticos: Síntesis

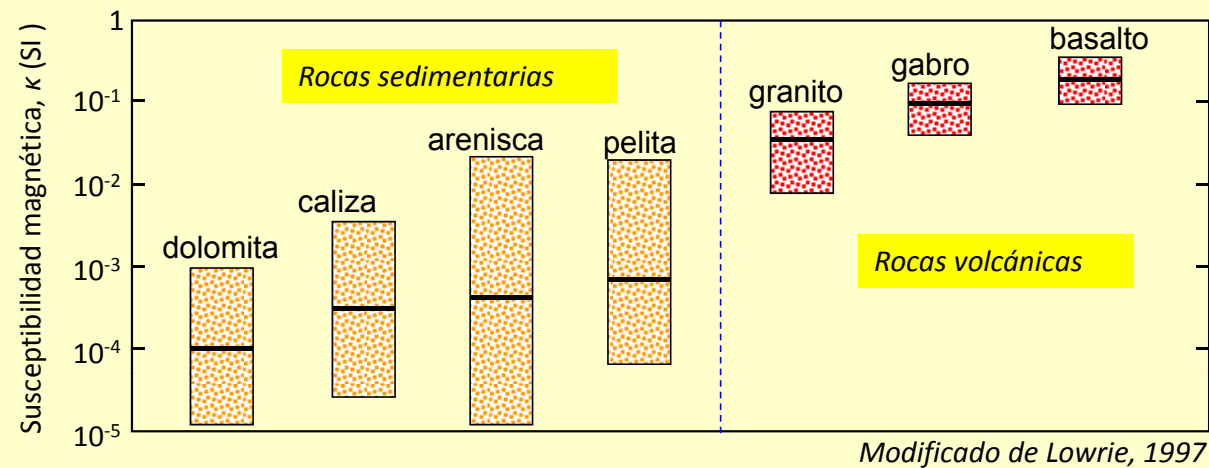
	Fórmula química	M _s (kA/m)	T _c (°C)	Estructura magnética
Hierro	Fe	1715	765	ferromagnética
Magnetita	Fe ₃ O ₄	480	585	ferrimagnética
Maghemita	γ-Fe ₂ O ₃	380	590-675	ferrimagnética
Titanomagnetita (x = 0.6)	Fe _{2.4} Ti _{0.6} O ₄	125	150	ferrimagnética
Hematita	α-Fe ₂ O ₃	≈ 2.5	675	antiferromagneto imperfecto
Titanoilmenita (y ≈ 0.5)	Fe _{1.5} Ti _{0.5} O ₃	100	20	ferrimagnética
Goethita	α-FeOOH	≈ 2	120	antiferromagneto imperfecto
Pirrotina	Fe ₇ S ₈	≈ 80	320	ferrimagnética
Greigita	Fe ₃ S ₄	≈ 125	≈ 330	ferrimagnética

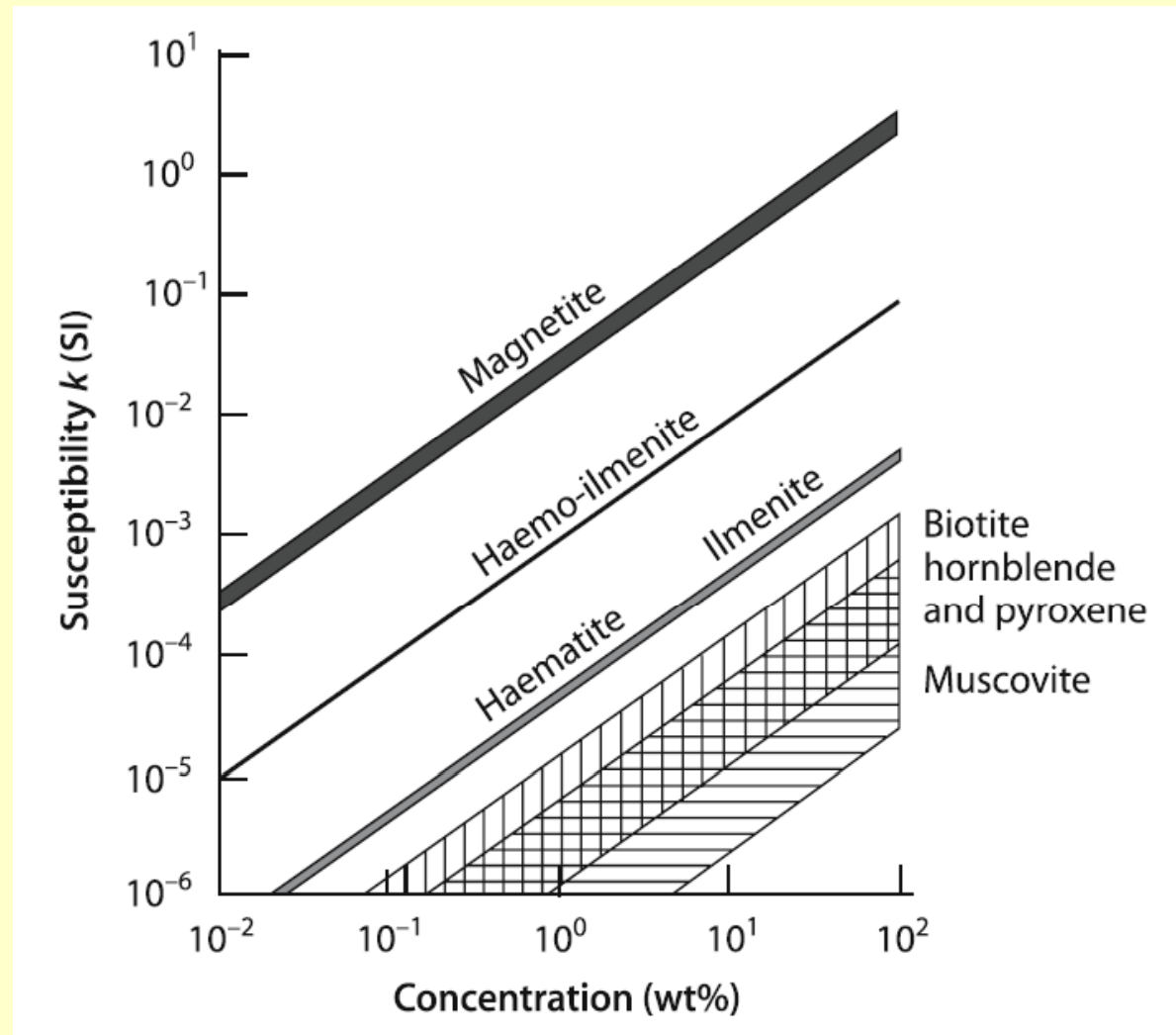
Identificación de minerales magnéticos en las rocas

Las rocas son conjuntos de minerales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos.

La concentración de minerales ferromagnéticos generalmente es muy pequeña ($< 1\%$)

Valores medios y rangos de susceptibilidad magnética en los tipos de roca más comunes





Identificación de minerales magnéticos en rocas

- Observación directa
- Técnicas diagnósticas no magnéticas
- Mediciones magnéticas
 - a temperatura ambiente
 - a altas temperaturas
 - a bajas temperaturas

Table 3-1. Diagnostic criteria for iron oxide minerals

Mineral	Color (Munsell)	Usual crystal shape	Most intense XRD spacings ^d , nm	DTA events, °C	IR bands, cm ⁻¹	Magnetic hyperfine field (T)		
						295 K	77 K	4 K
Hematite	Bright red 5R – 2.5YR	Hexagonal plates	0.270, 0.368, 0.252	Nil	345, 470, 540	51.8	54.2/53.5 ^a	54.2/53.5 ^a
Maghemite	Red to brown	Cubes	0.252, 0.295	Exotherm 600–800	400, 450, 570 590, 630	50	—	52.6
Magnetite	Black	Cubes	0.253, 0.297	see footnote ^c	400, 590	49.1/46.0 ^b	—	—
Goethite	Yellowish-brown 7.5YR – 10YR	Needles, laths	0.418, 0.245, 0.269	Endotherm 280–400	890, 797	38.2	50.3	50.6
Lepidocrocite	Orange 5YR – 7.5YR	Laths	0.626, 0.329, 0.247 0.1937	Endotherm 300–350 Exotherm 370–500	1026, 1161, 753	—	—	45.8
Akaganeite	Yellowish-brown 5YR – 10 YR	Somatoids, rods	0.333 0.255 0.747	Endotherm 270	840, 640	—	47.1, 46.7, 45.3	48.9, 47.8, 47.3
Ferrihydrite	Reddish-brown 5YR – 7.5YR	Hexagonal plates ^e	0.254, 0.224, 0.197 0.173, 0.147	Endotherm 150		—	—	47–50
Feroxyhyte	Reddish-brown 5YR – 7.5YR	Fibers, needles	0.254, 0.222, 0.169 0.147	Endotherm 250	1110, 920, 790, 670	42.0	53.0	53.5

^a With and without Morin transition (spin flip at 260K), respectively.

^b For tetrahedral and octahedral Fe, respectively.

^c Magnetite converts via maghemite or directly to hematite, depending on particle size.

^d Arranged in order of decreasing relative intensity

^e Poorly developed.

Schwertmann y Cornell, 1991

Observación directa

(microscopía electrónica de barrido SEM, de transmisión TEM, petrografía óptica, etc.)

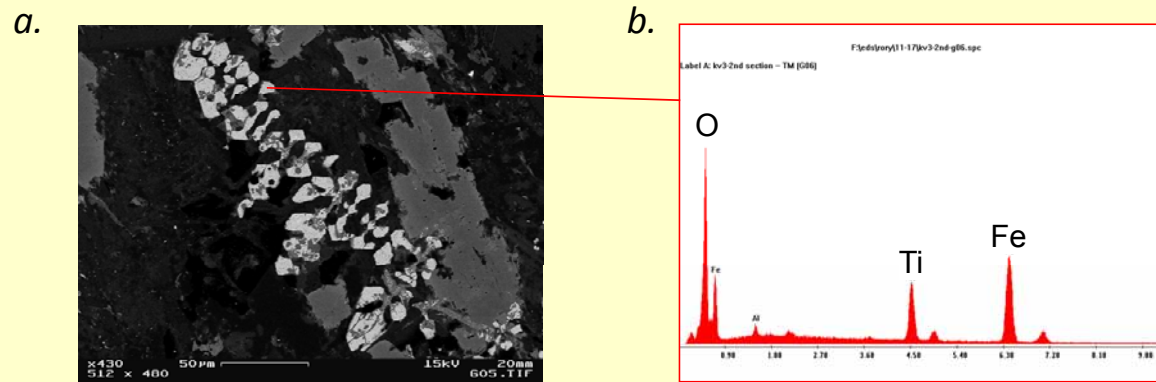


Imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) (a) y espectro de energía dispersiva (EDS) (b) de un grano de titanomagnetita (TM60). No distingue valencia.

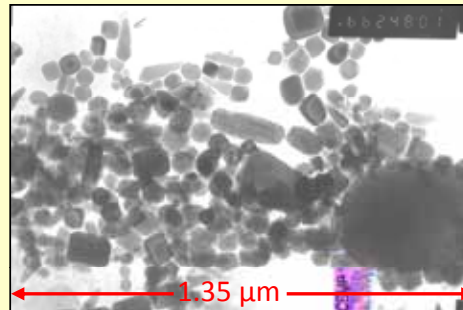
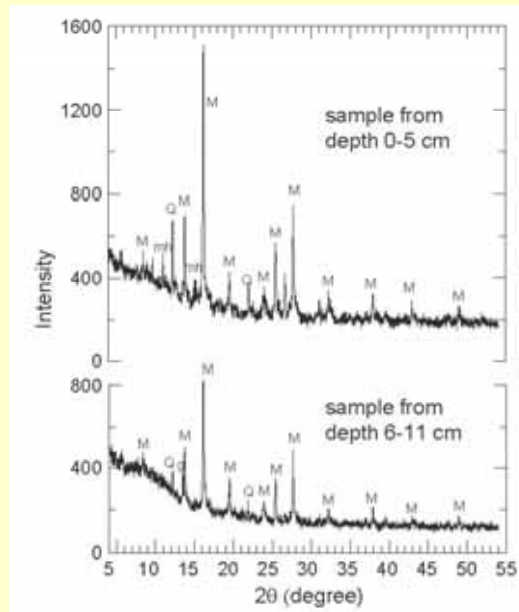


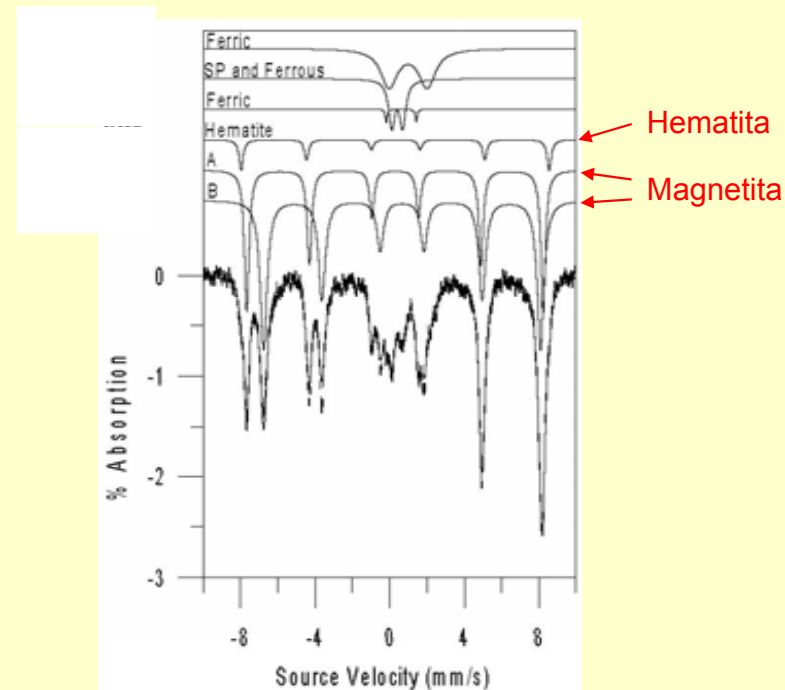
Imagen de microscopía electrónica de transmisión (TEM) de magnetosomas del Ocean Drilling Program, Sitio 1006D

Técnicas analíticas no magnéticas

(difracción de rayos X, análisis Mößbauer, etc.)

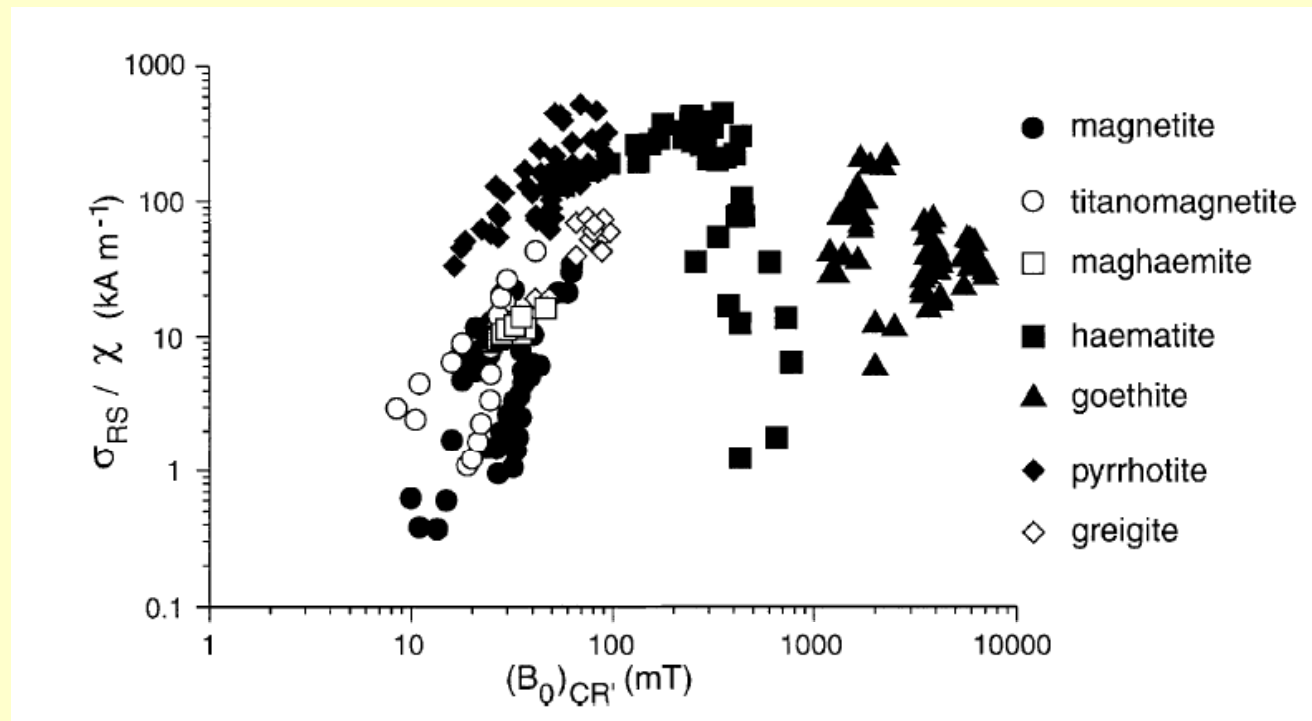


Espectro de difracción de rayos X de sedimentos del lago Chiemsee (*Pan et al., 2005*); M – magnetita, mh – maghemita, Q - cuarzo



Espectro Mössbauer de muestras del loess de Alaska (*Solheid, 1998*)

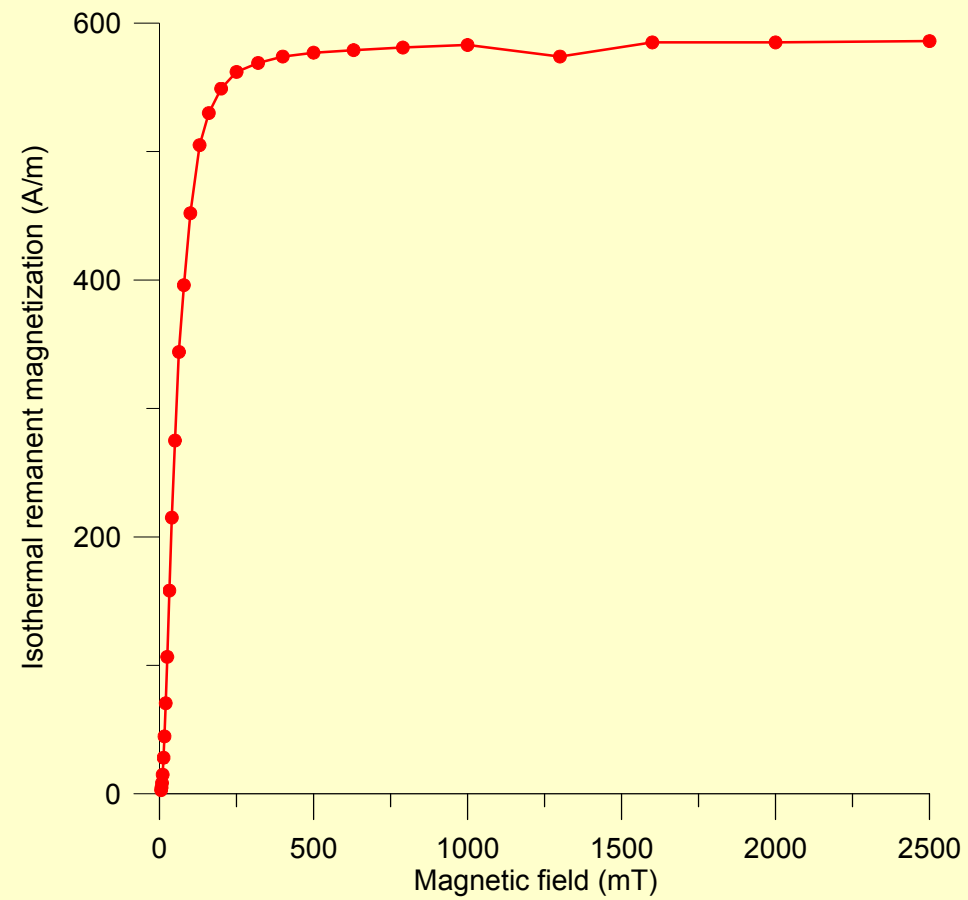
Emisión y absorción resonante de rayos gamma. Distingue valencia.



Peters y Dekkers, 2003

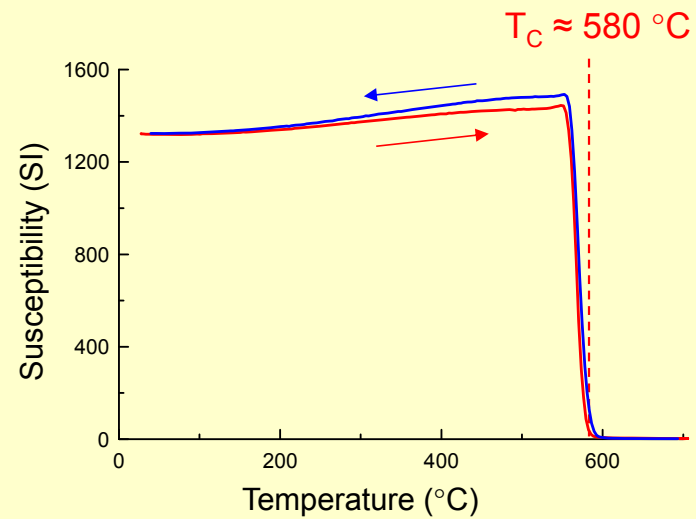
Mediciones magnéticas a temperatura ambiente

(adquisición de IRM, histéresis magnética, etc.)



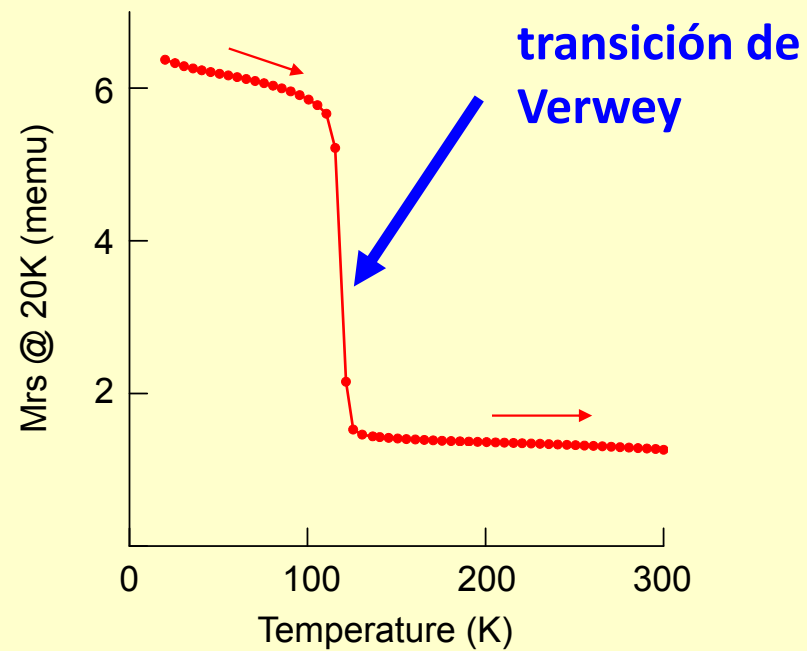
Mediciones magnéticas a altas temperaturas

(comportamiento magnético al calentar/enfriar, temperatura de Curie)



Dependencia de susceptibilidad magnética con la temperatura para un dique dolerítico (*Smirnov y Tarduno, 2004*)

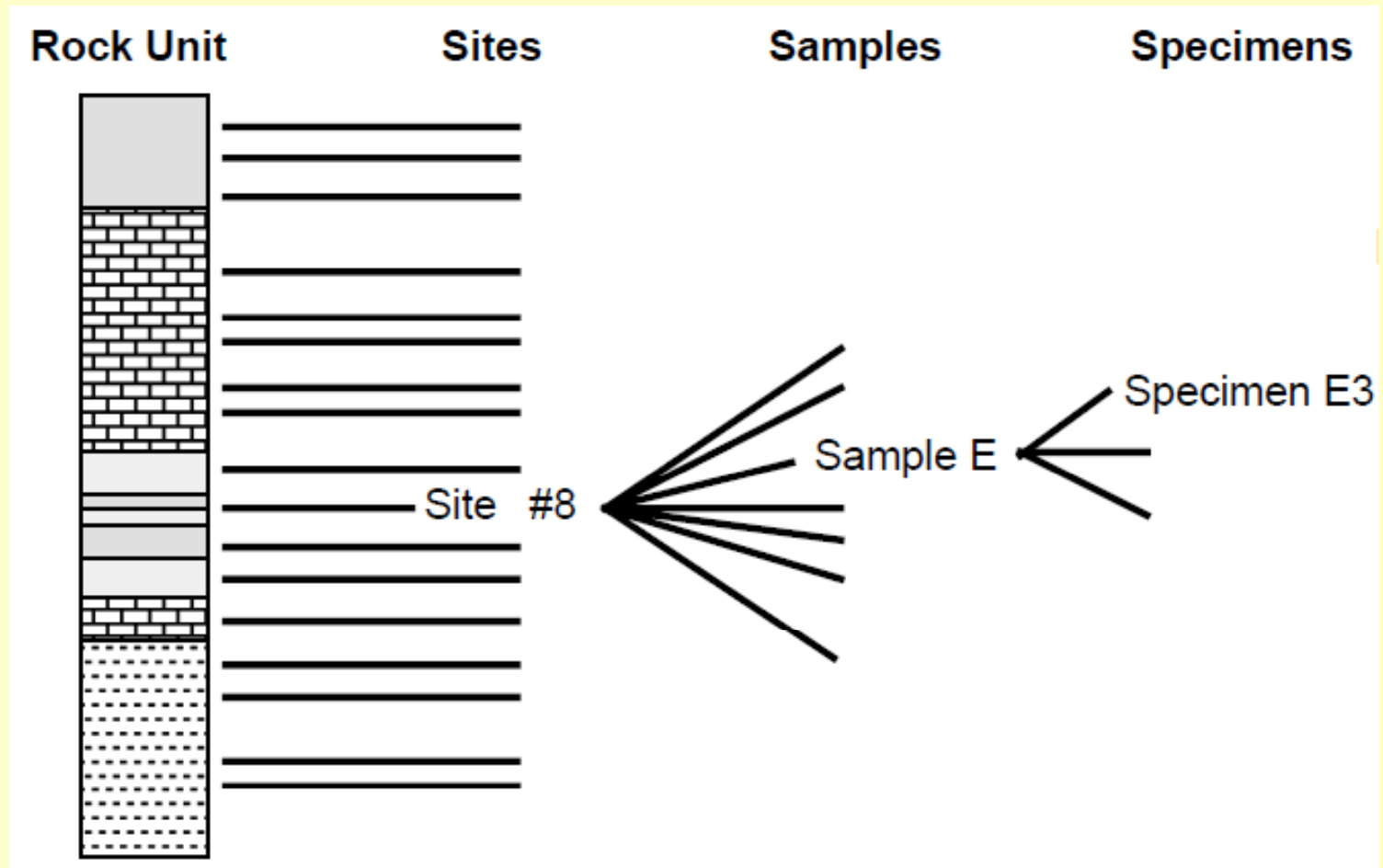
Mediciones magnéticas a bajas temperaturas (identificación de transiciones magnéticas)



Desmagnetización térmica de un M_{rs} impartido a 20 K en un dique dolerítico arqueano.

- El campo magnético terrestre como sistema de referencia fijo
- Las rocas como brújulas con capacidad de memorizar el sistema de referencia
- Reconstruyendo las posiciones de los continentes en el pasado con paleomagnetismo

Muestreo Paleomagnético



Muestreo Paleomagnético

- Testigos con perforadora portátil
- Bloques («muestras de mano»)

Objetivos: promediar la variación secular
minimizar los errores no sistemáticos
(orientación, ruido propio del sistema)

Precauciones: afloramiento fresco, evitar:
alteración (venas, etc.), áreas deformadas,
puntos salientes (rayos).



Testigos: requiere disponibilidad de agua y accesibilidad

Ventajas: muestra fresca, orientación más precisa, ahorra tiempo de preparación en laboratorio.





Bloques. Ventajas: muestreo más rápido, apto para zonas de difícil acceso.

Algunos tipos de roca no proporcionan bloques (ej. granito)





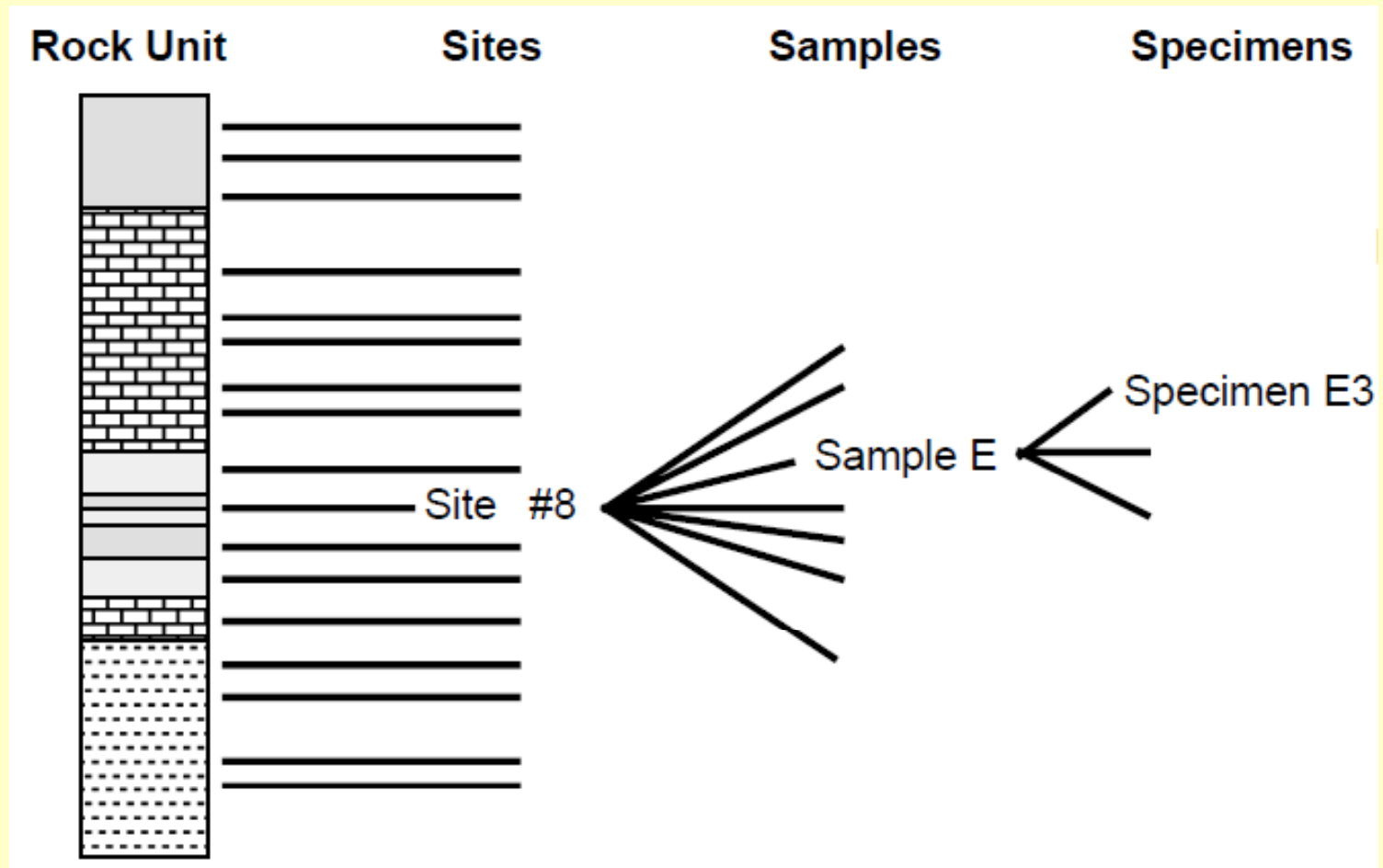








Muestreo Paleomagnético



Date:	7/14/06	Site:	NS034	Who:	red team
Local Time	13:00	Zulu:	18:00		
Lat.	47.01688	Long.	-91.66029		
strike:	48	dip:	12	Lithology:	basalt
Img files:	IMG-1460:		look 0650		
Samp	Mag_Az	BS	Hade	Shad_Az	hh_mm
A	354		18	325	14:16
B	004		31	331	14:23
C	015		26	343	14:25
D	156		53	118	14:29
E	272		32	232	14:36
F	343		62	301	14:40
~G	299		49	256	14:42
Mag Dec set to \emptyset					
GPS ellipsoid: NAD27					
Pomeroy orientation device					
GMT = Local time plus 5 hrs.					

Determinación de propiedades magnéticas en laboratorio

Magnetización remanente natural (MRN)

En primera instancia se determina el vector de remanencia magnética (intensidad y dirección).

Este vector será la resultante de la suma vectorial de todas las componentes de magnetización presentes en la roca.

Magnetización remanente natural (MRN)

$$M = M_{\text{inducida}} + M_{\text{remanente}}$$

$$\text{MRN} = \text{MRN primaria} + \text{MRN secundaria}$$

Útil para
paleomagnetismo,
información sobre el
campo magnético en un
tiempo geológico
determinado

Magnetizaciones parásitas
adquiridas a lo largo de la
historia geológica de la roca

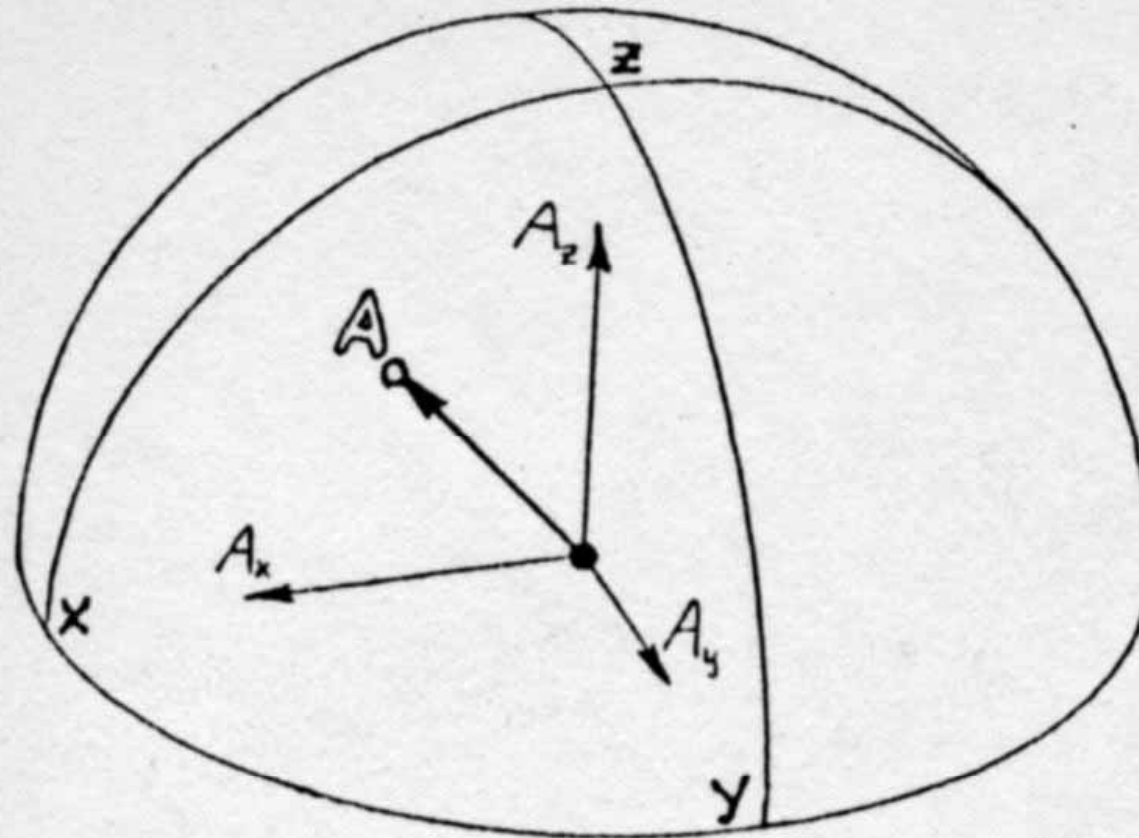
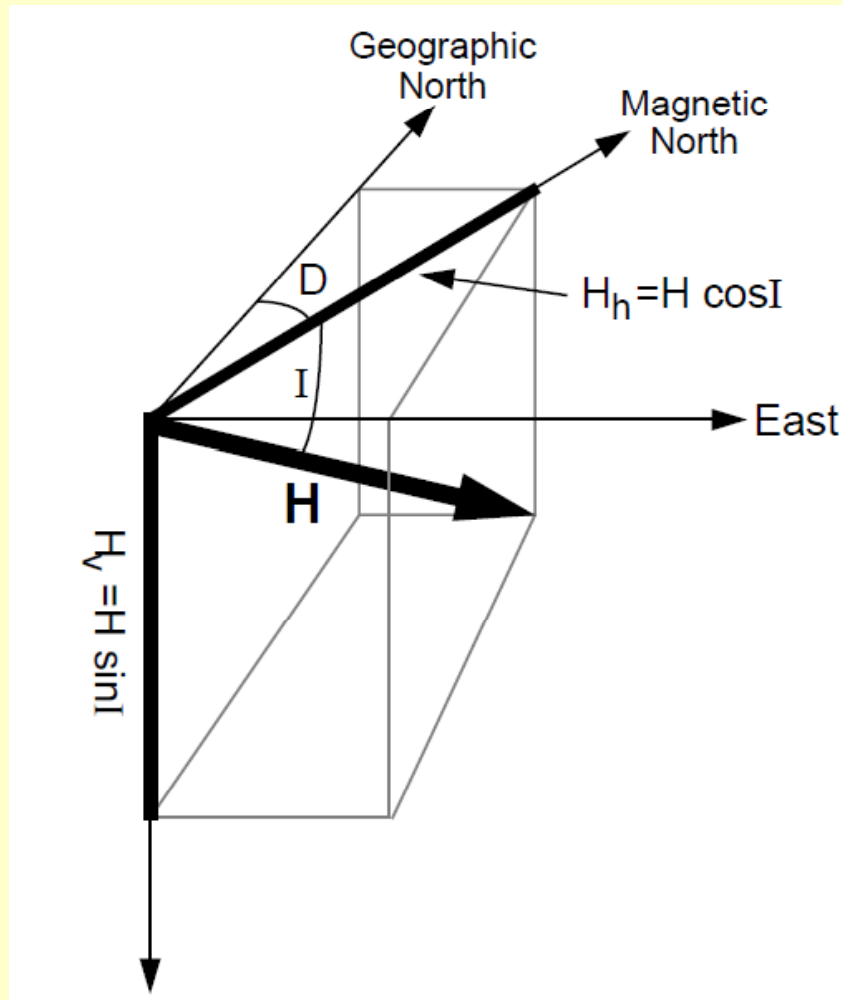


Figure 3-12.
Cartesian components of vector \mathbf{A} .



Componente vertical

$$H_v = H \sin I$$

Componente norte

$$H_n = H \cos I \cos D$$

Componente este

$$H_e = H \cos I \sin D$$

¡Respetar los cuadrantes!
Butler, pag. 70

Remanencia magnética

Se determina el vector de remanencia magnética (intensidad y dirección).

- **Magnetómetro astático:** el primer magnetómetro de alta sensibilidad diseñado para medición de remanencia en rocas.
- **Magnetómetro rotativo:** alcanza alta sensibilidad sin ser afectado por variaciones en el campo magnético ambiente.
- **Magnetómetro SQUID:** máxima sensibilidad y velocidad de medición.

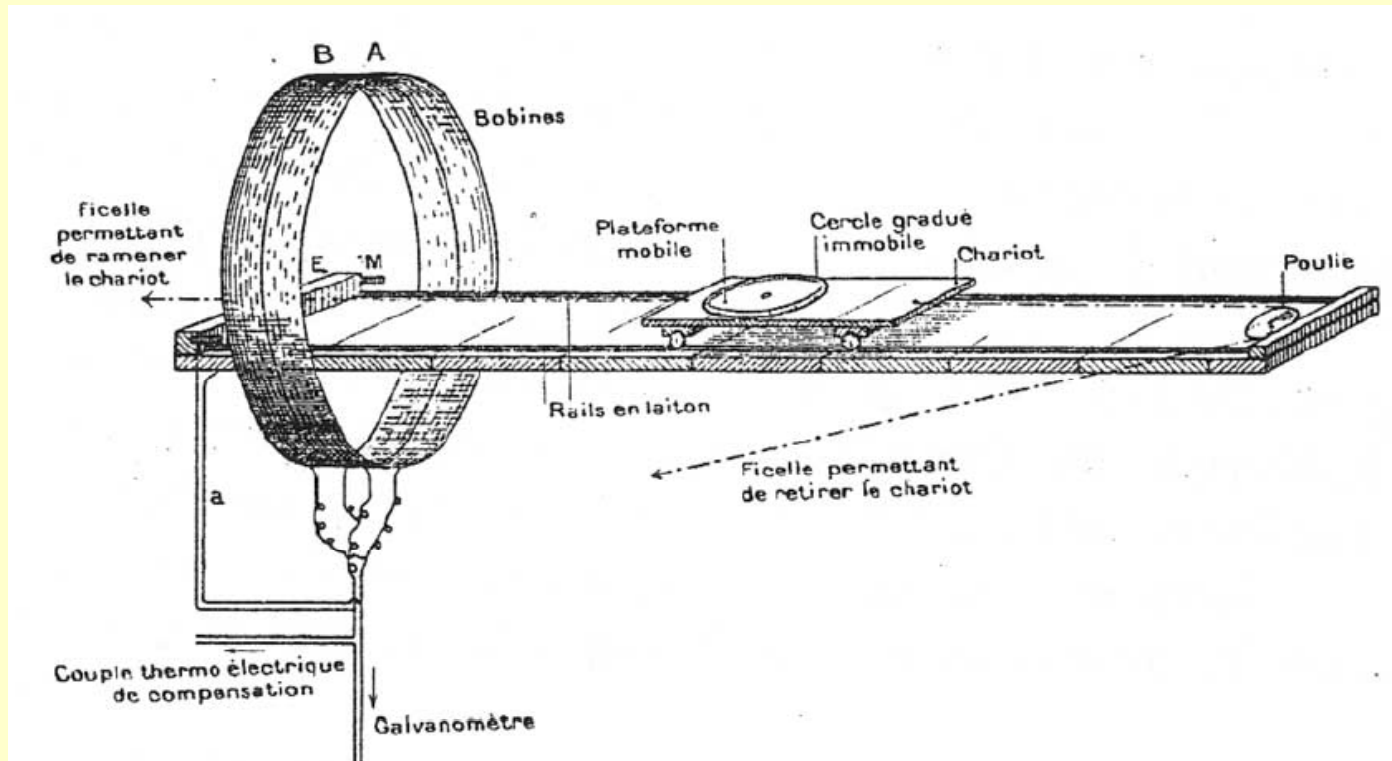
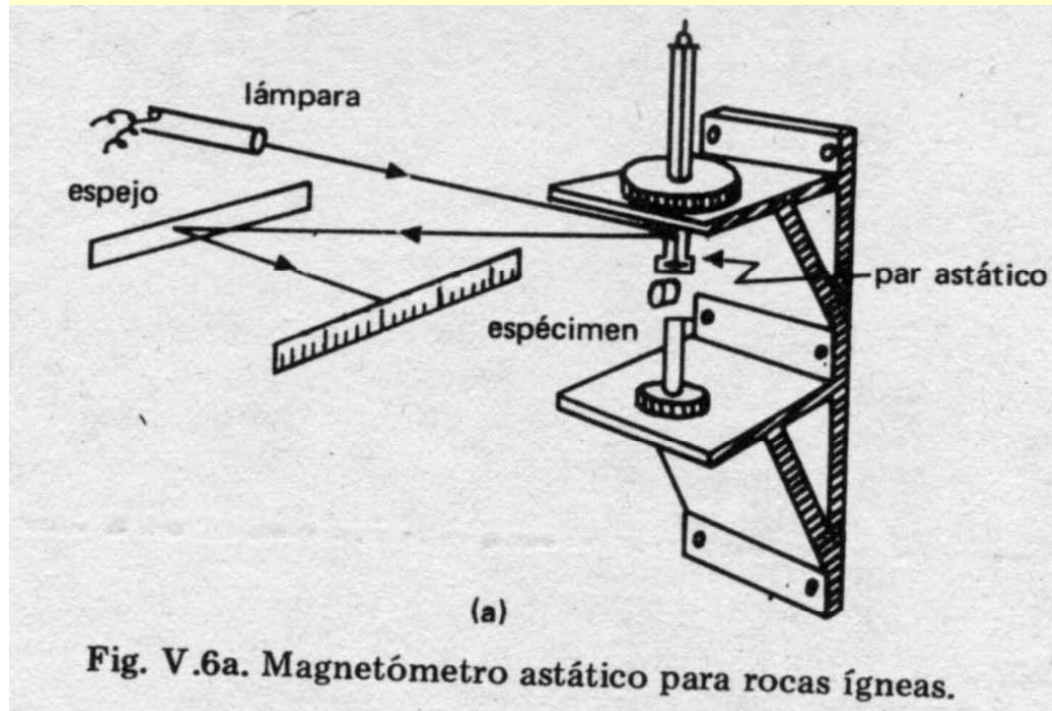


Figure 11. Mobile tray and coils used in conjunction with a ballistic galvanometer by *Chevallier* [1925b] to measure rock sample magnetization. Reprinted from *Chevallier* [1925b, Figure 4] with kind permission from Springer Science and Business Media.

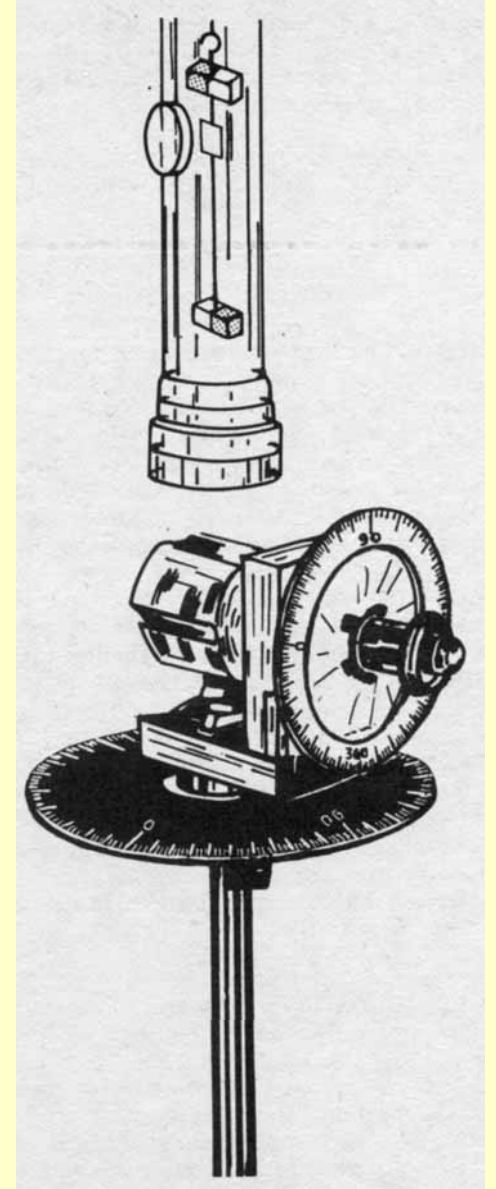
En Courtillot y Le-Mouél 2007.

Magnetómetro astático

Se mide la desviación diferencial de los imanes del par astático, por el gradiente provocado por la muestra



Valencio, 1980

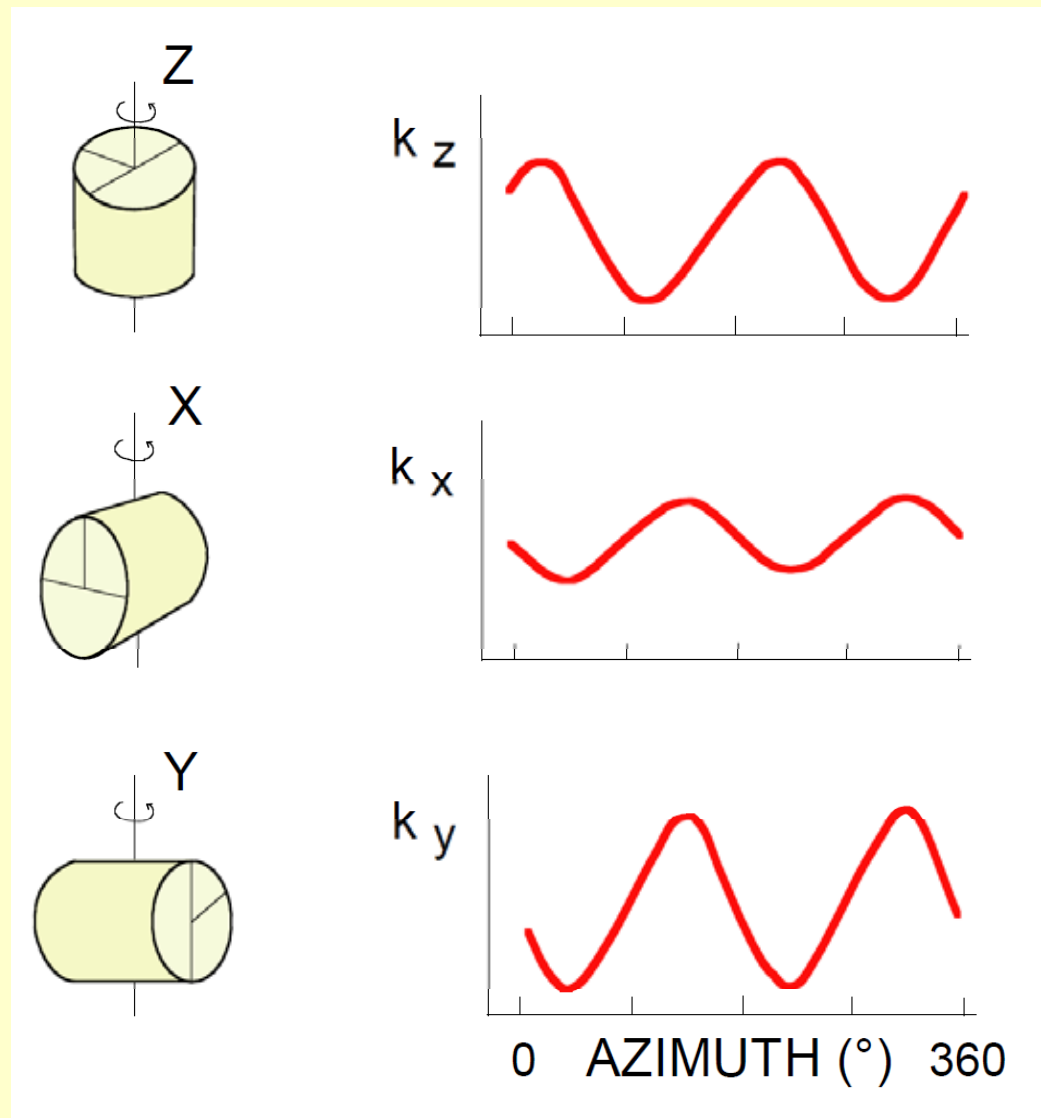


Magnetómetro rotativo (*spinner*)

No se mide J , sino el campo B generado por J en su entorno (aislando a la muestra de campo externo).

A partir de B se calcula J , lo que requiere una muestra aproximadamente esférica (relación alto/diámetro 0,9) y homogénea.

El espécimen en rotación genera una fem en una bobina pickup

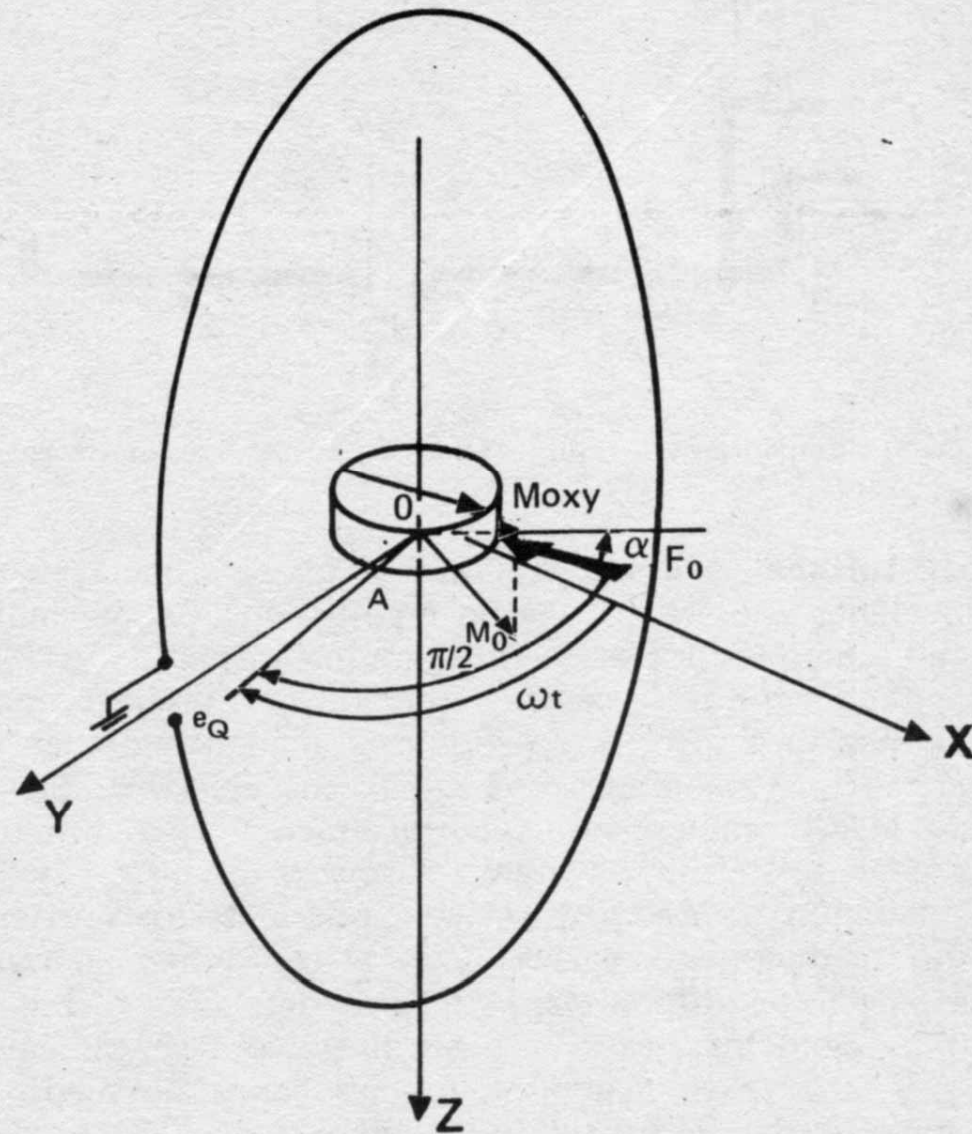


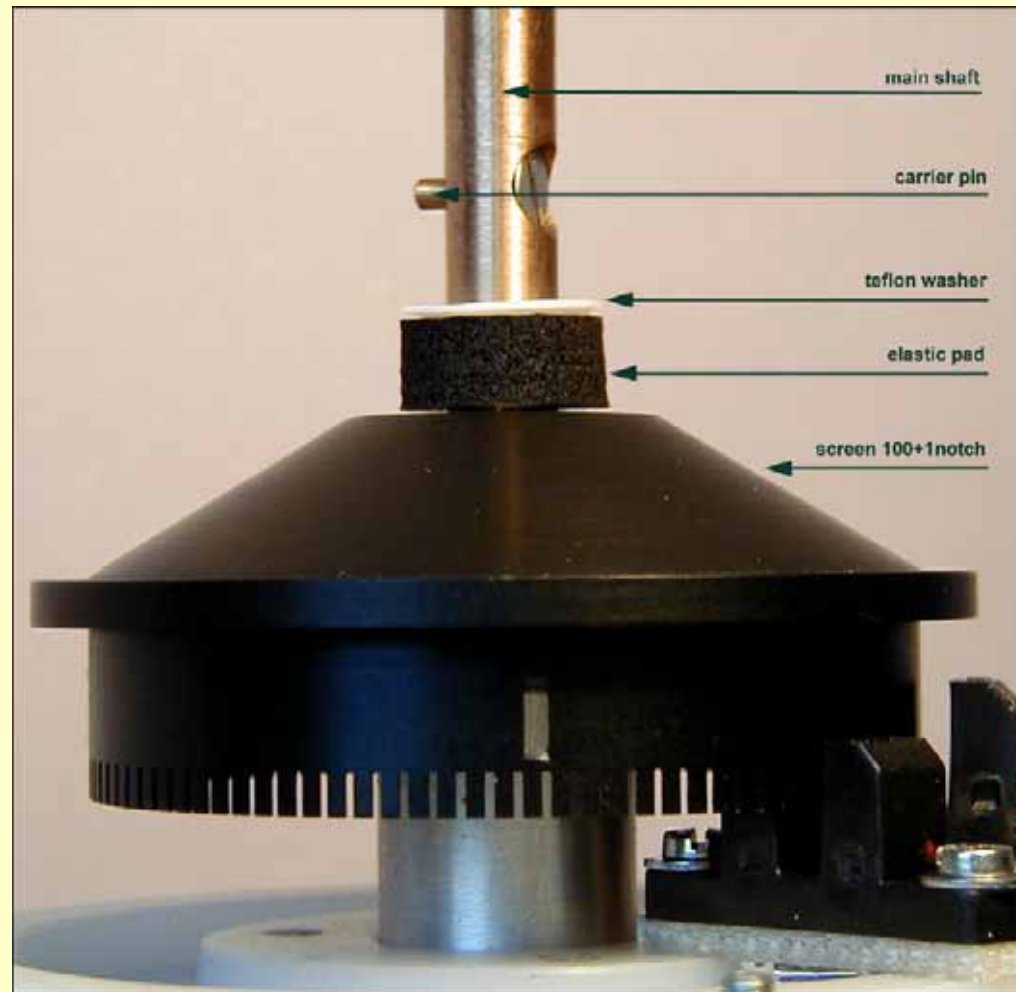
Frecuencia es la tasa de rotación.

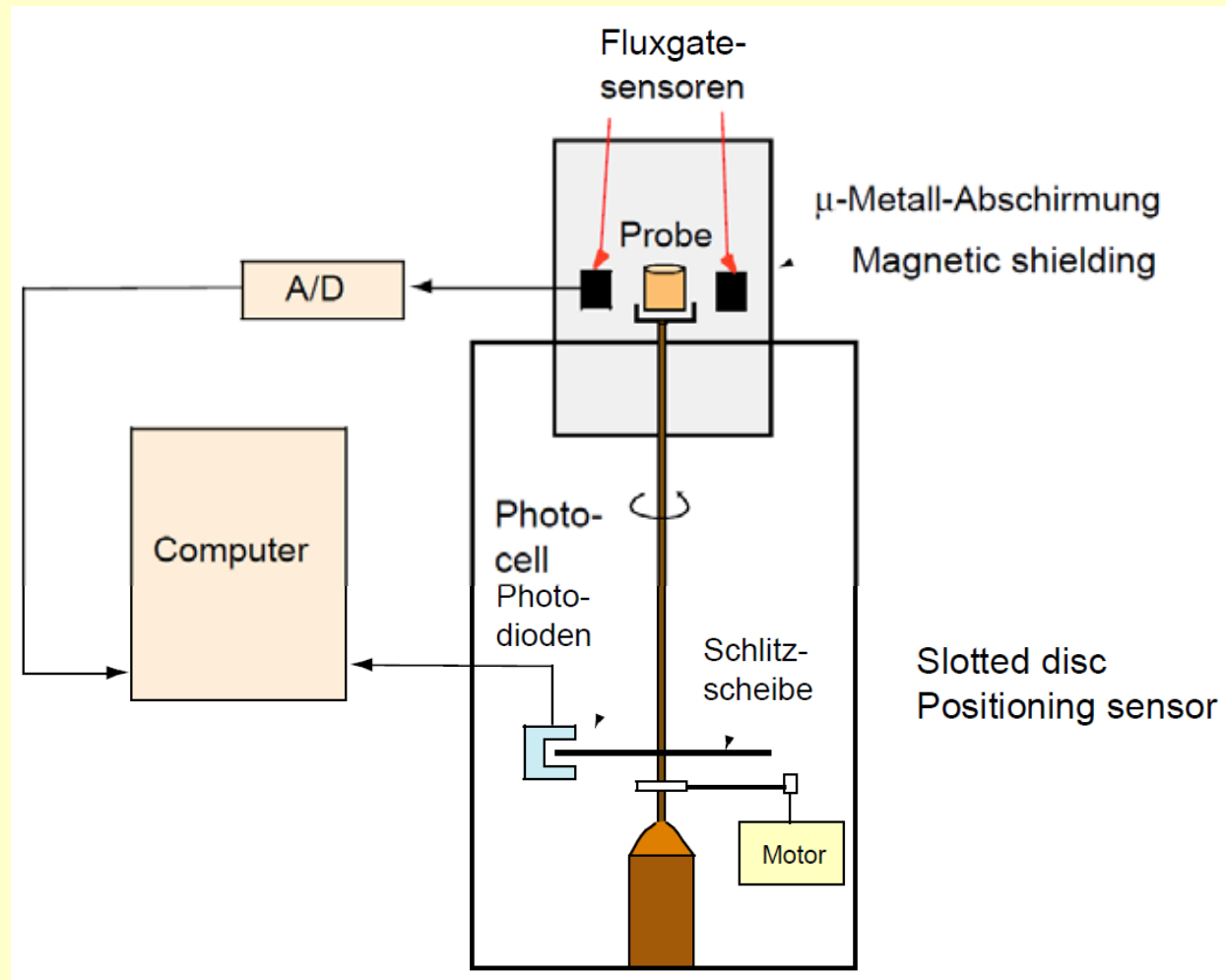
Amplitud proporcional a la componente de J perpendicular al eje de rotación

Fase permite descomponer a esta componente en dos ortogonales.

La repetición de la medición en distintas orientaciones de la muestra permite medir todas las componentes del vector en el espacio.







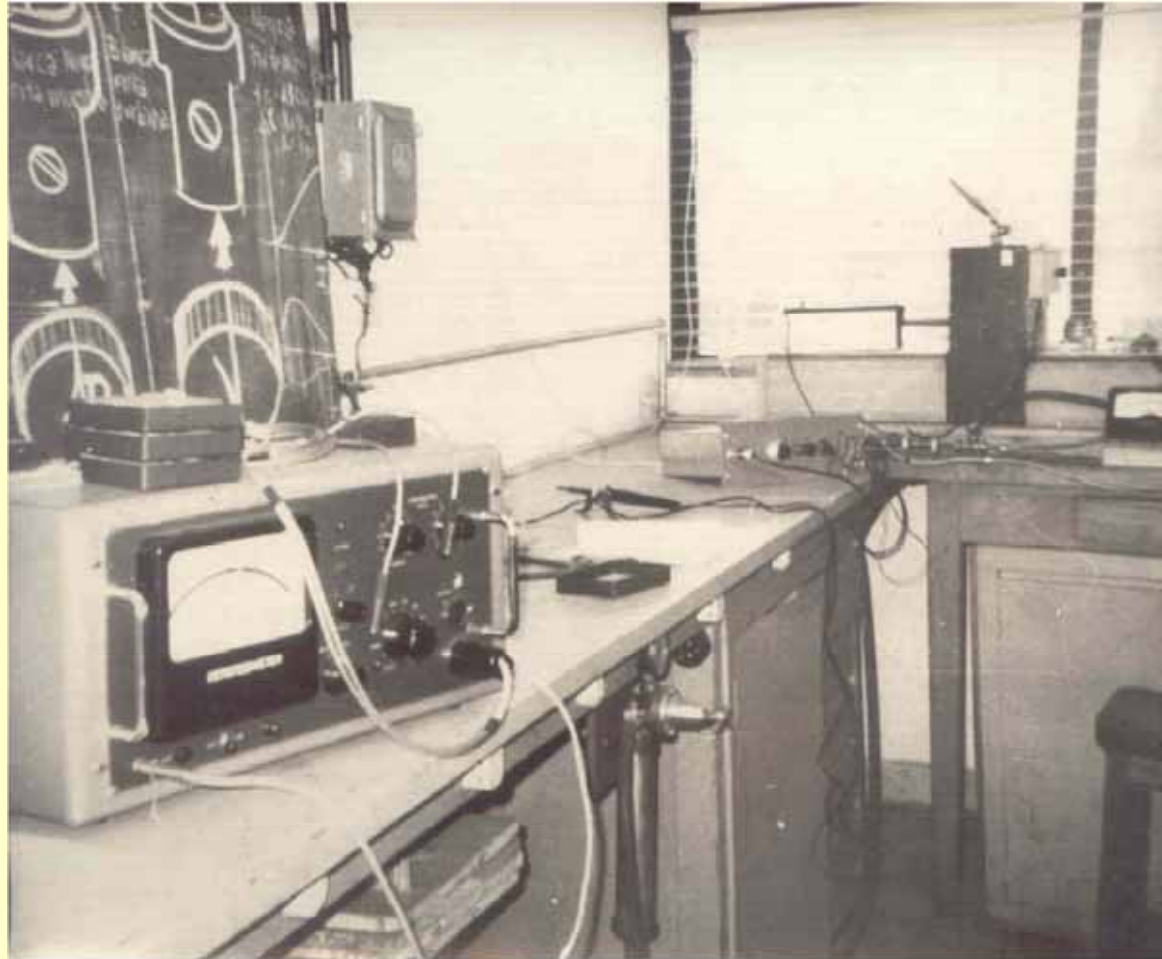


Figure 5. The first spinner magnetometer built at the Laboratory of Paleomagnetism of Buenos Aires.

El espécimen se hacía rotar mediante una turbina accionada por aire comprimido.

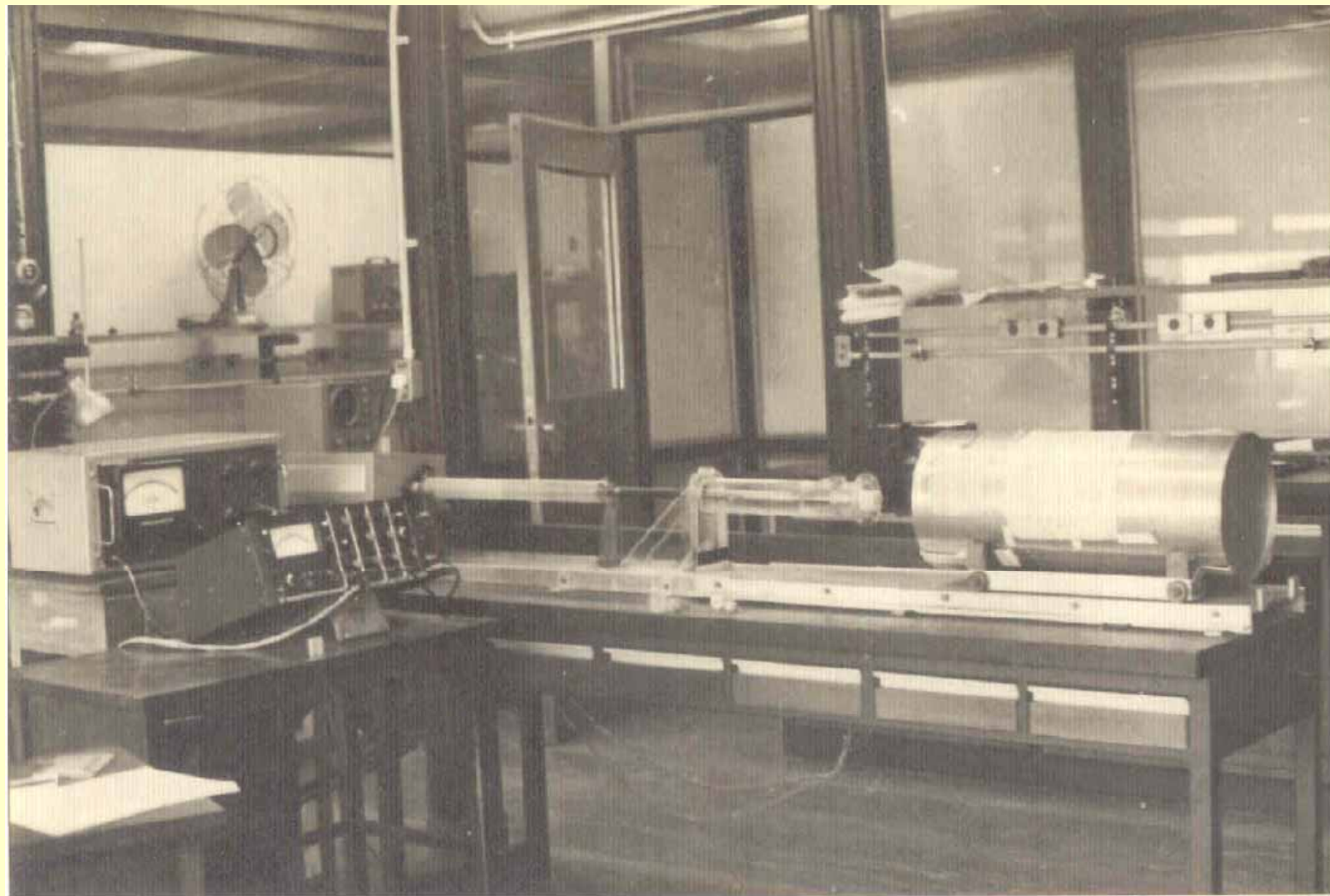


Figure 18 Spinner magnetometer UBA 8Hz that started working in 1972 (Vilas, 1980).

Molspin



Digico



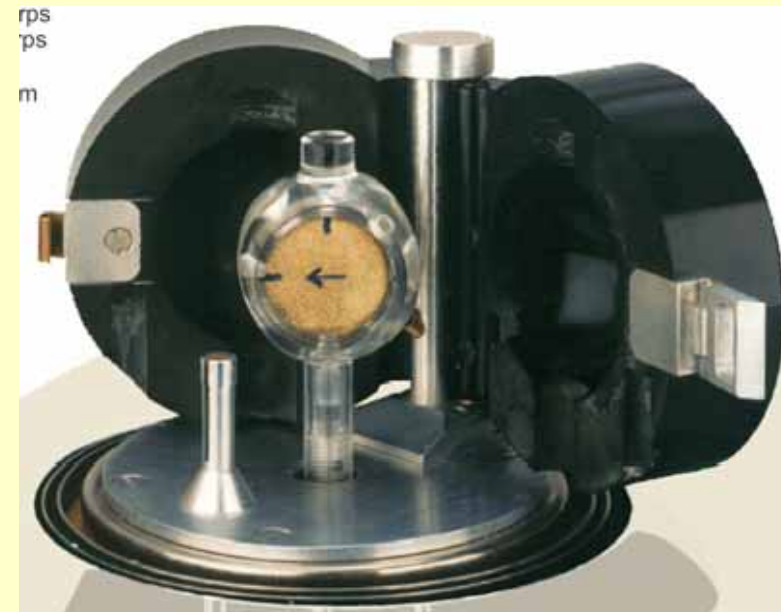
AGICO JR6



Dos velocidades de rotación: 87,7 rps (máxima sensibilidad) y 16,7 rps (apto para muestras blandas).

El espécimen rota a velocidad angular constante en la unidad de pickup, dentro de un par de bobinas de Helmholtz. En las bobinas se induce un voltaje AC cuya amplitud y fase dependen de la magnitud y dirección del vector J.

Sensibilidad 2×10^{-6} A/m, rango hasta 12500 A/m



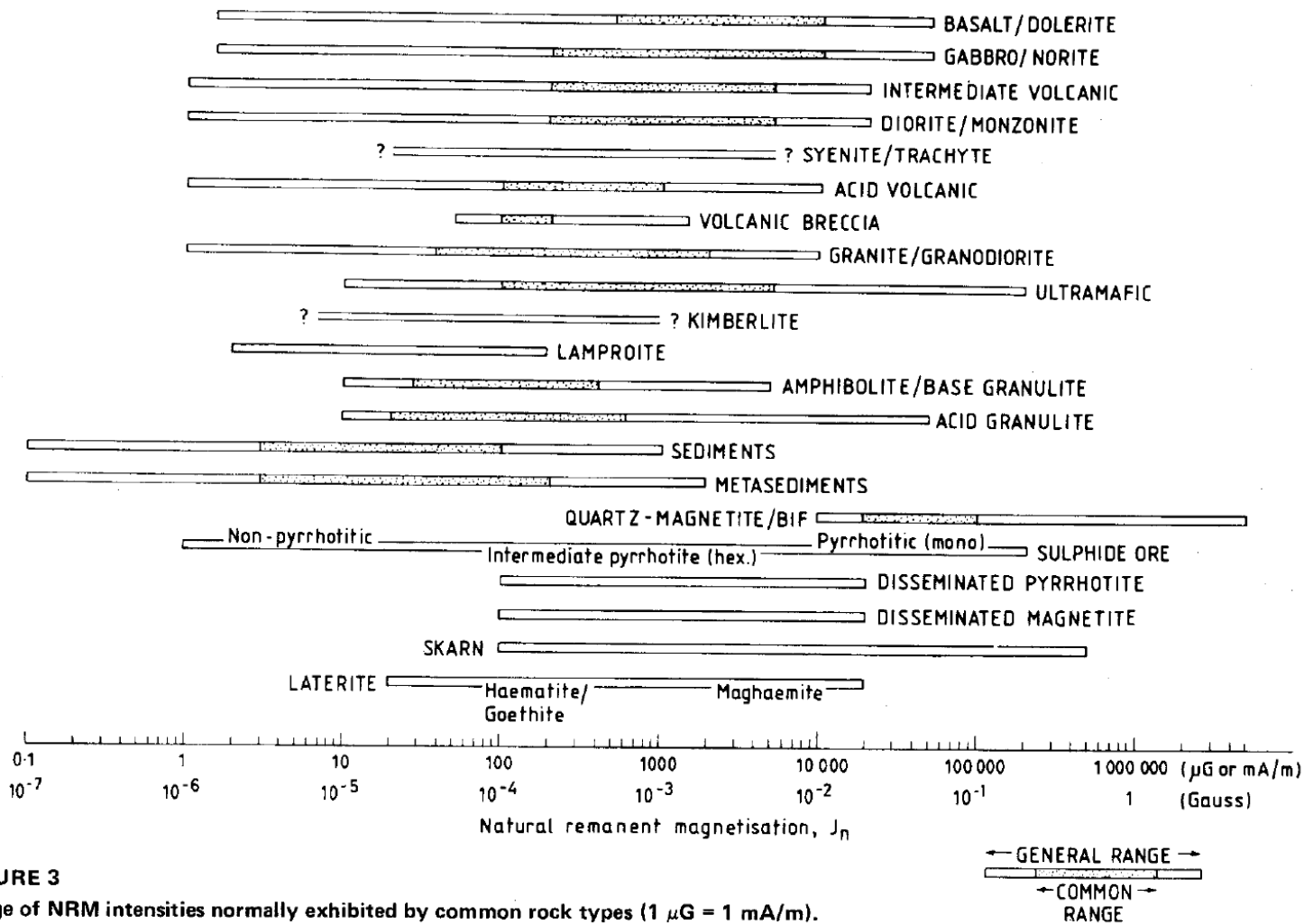


FIGURE 3

Range of NRM intensities normally exhibited by common rock types ($1 \mu\text{G} = 1 \text{ mA/m}$).

Clark 1983

Rema6W - C:\Documents and Settings\VLAS\Mis documentos\Silvana\ACH400.jr6 (N = 225)

File Execute Graphics Settings About

Specimen

Name: ACH086-11D

Magnetic state: NRM

Orientation		Orientation parameters				Volume
Azimuth	Dip	P1	P2	P3	P4	[ccm]
256	90	3	0	3	90	11.15

Foliation		Lineation	
Strike	Dip	Trend	Plunge

Results

Modulus [A/m]:

Error:

Orientation of remanence vector

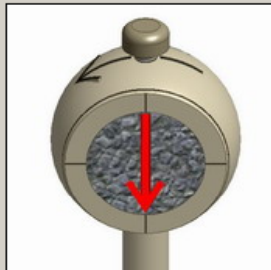
Coordinate system	Dec	Inc
Specimen		
Geographic		
Tilt correction		
Full correction		

Measurements

Components of remanent magnetization

Position	M(x)	M(y)	M(z)	Exp.
P1	3.72		0.05	E-4
P2				
P3				
P4				

Mean:



Repeated measurements



Buttons: NEW SPECIMEN, P1, P2, P3, P4, SAVE, CANCEL, STOP, STOP REPEAT

Data acquisition

INSTRUMENT IS READY

Specimens: Manual (4) Cylinder Low speed Short time Repeat: 10/10

Magnetic states: CALIB HCORR

Windows taskbar: Inicio, Rema6W - C:\Docum..., 10:31 AM

Rema6W - C:\Documents and Settings\VILAS\Mis documentos\Silvana\SNORTE.JR6 (N = 285)

File Execute Graphics Settings About

Specimen

Name: N024-2-1

Magnetic state: 30

Orientation		Orientation parameters				Volume
Azimuth	Dip	P1	P2	P3	P4	[ccm]
190	76	3	0	3	90	11.15

Foliation		Lineation	
Strike	Dip	Trend	Plunge

Measurements

Components of remanent magnetization

Position	M(x)	M(y)	M(z)	Exp.
P1	-3.03		0.60	E-3
P2				
P3				
P4				

Mean:



Repeated measurements



Results

Modulus [A/m]:

Error:

Orientation of remanence vector

Coordinate system	Dec	Inc
Specimen		
Geographic		
Tilt correction		
Full correction		

NEW SPECIMEN

P1 P2 P3 P4

STOP

SAVE CANCEL

STOP REPEAT

Data acquisition

Specimens: Manual (4) Cylinder Low speed Short time Repeat: 10/10

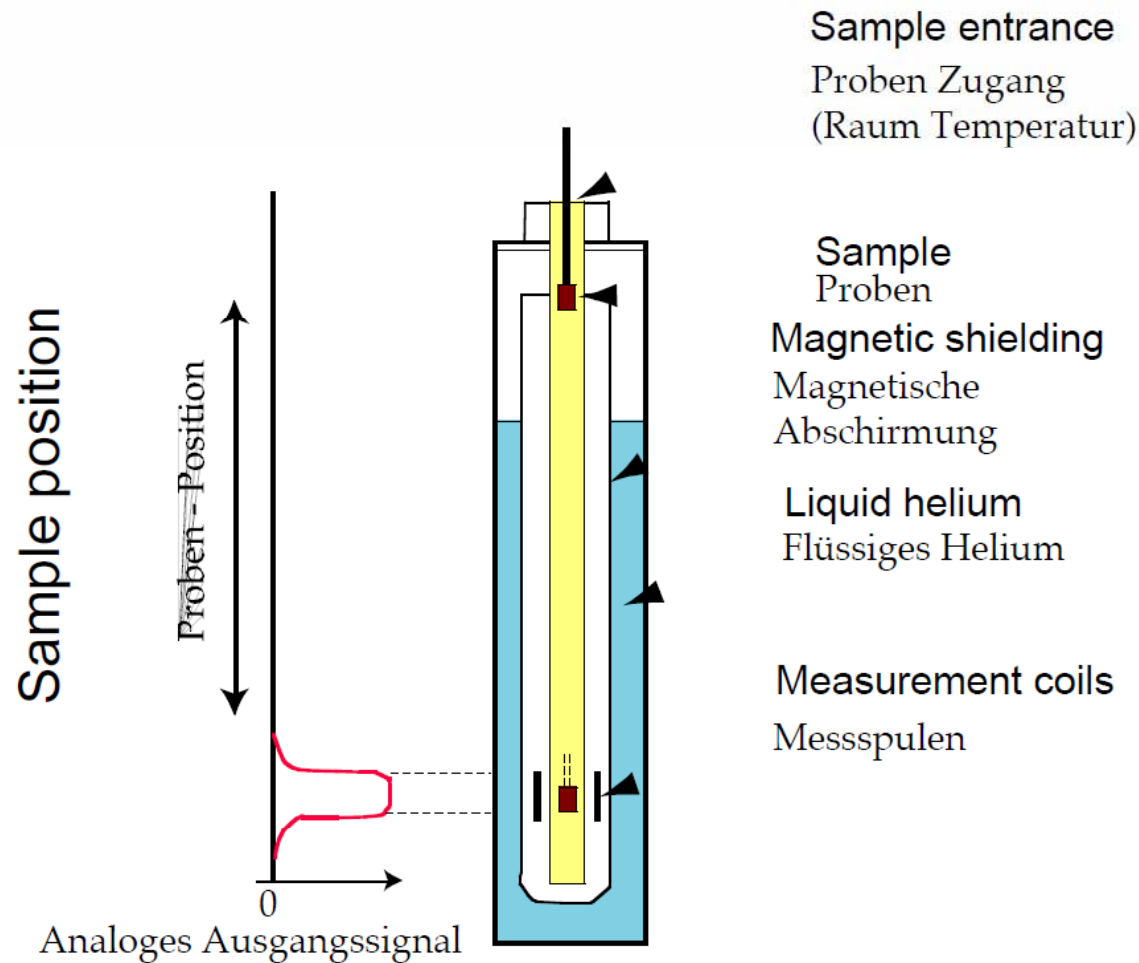
Magnetic states: CALIB HCORR

INSTRUMENT IS READY

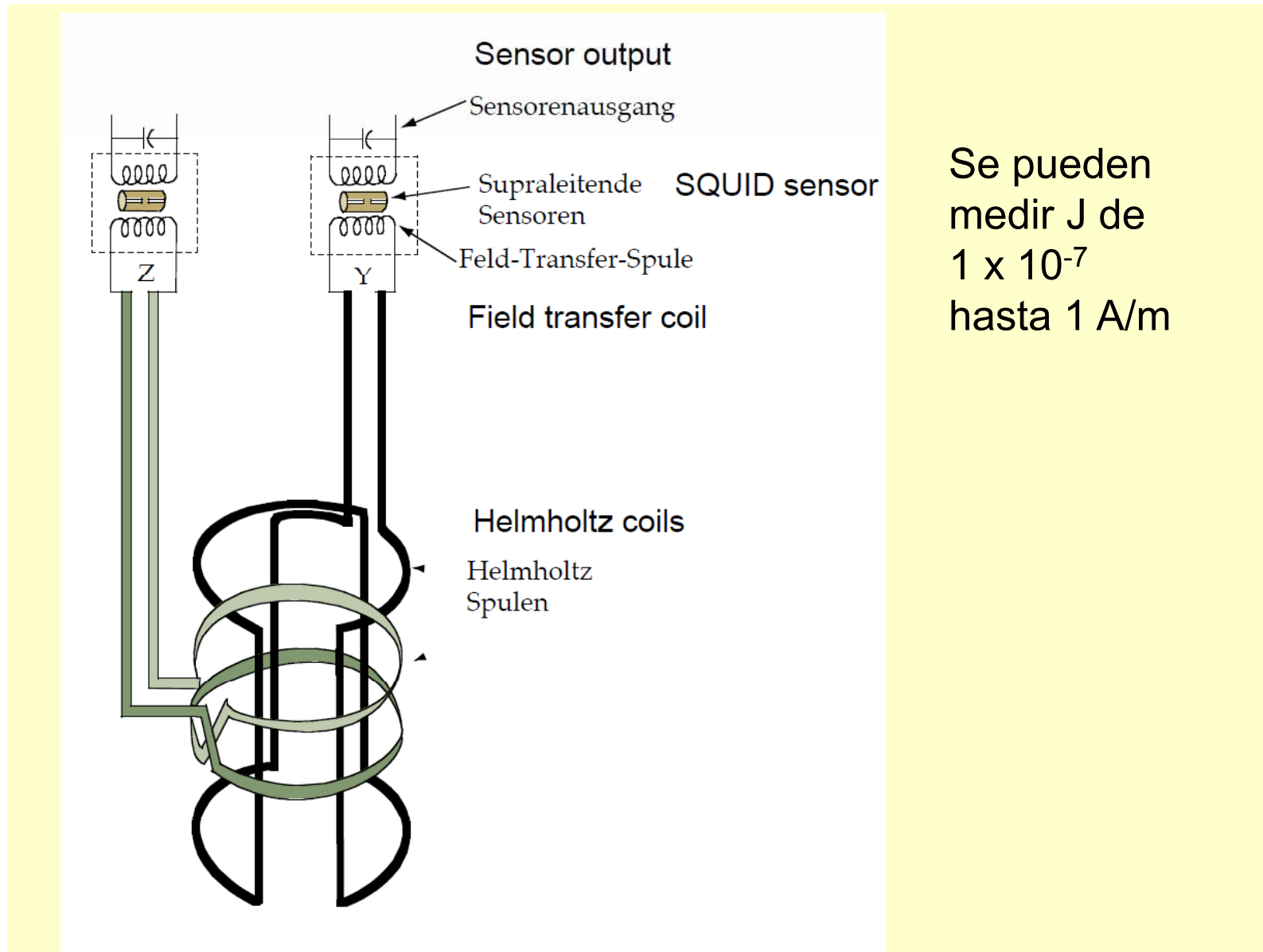
Inicio Rema6W - C:\Docum... viscosa_n024 - Paint

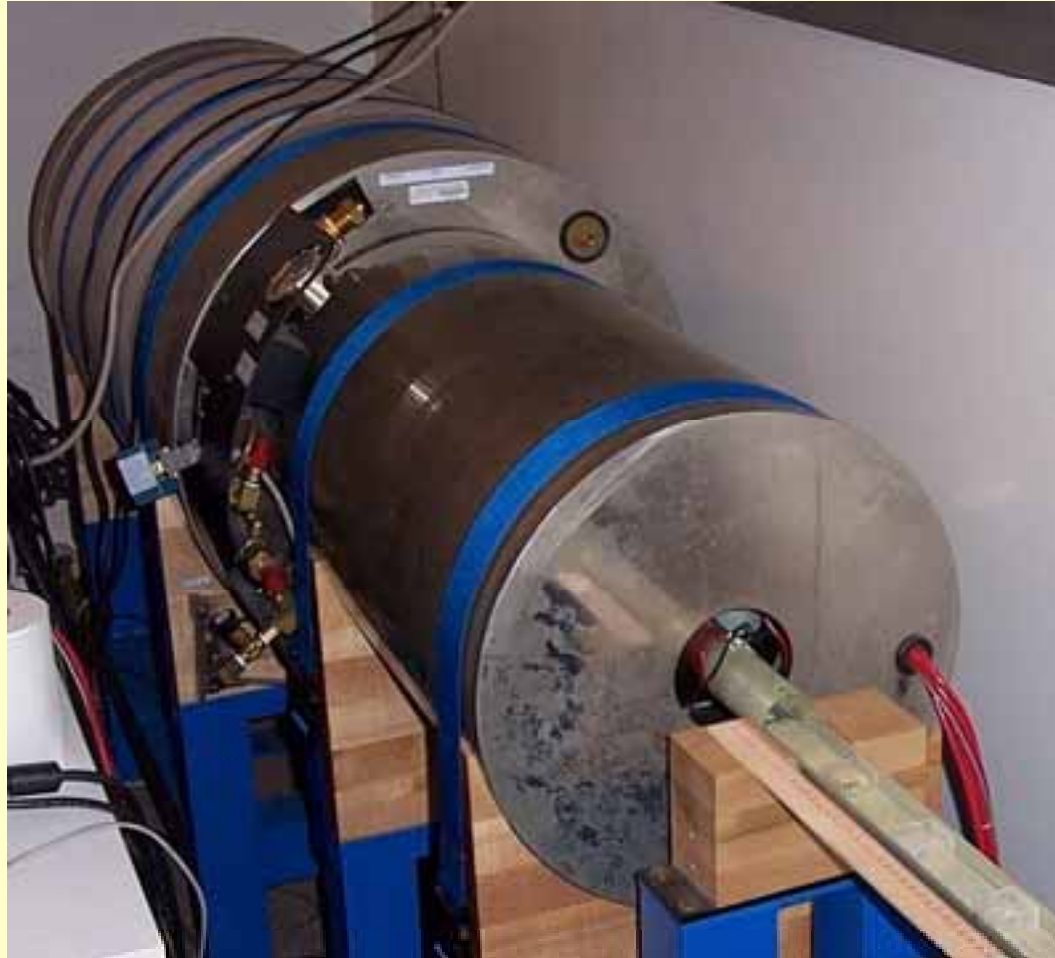
ES << 12:03 PM

Magnetómetro SQUID



Basado en sensores superconductores (SQUID, *superconducting quantum interference device*). Un anillo de material superconductor se mantiene a una temperatura por debajo de la crítica. Al acercar el espécimen, el flujo magnético en el anillo cambia, induciendo una corriente eléctrica de intensidad proporcional a la componente de B paralela al eje del anillo.





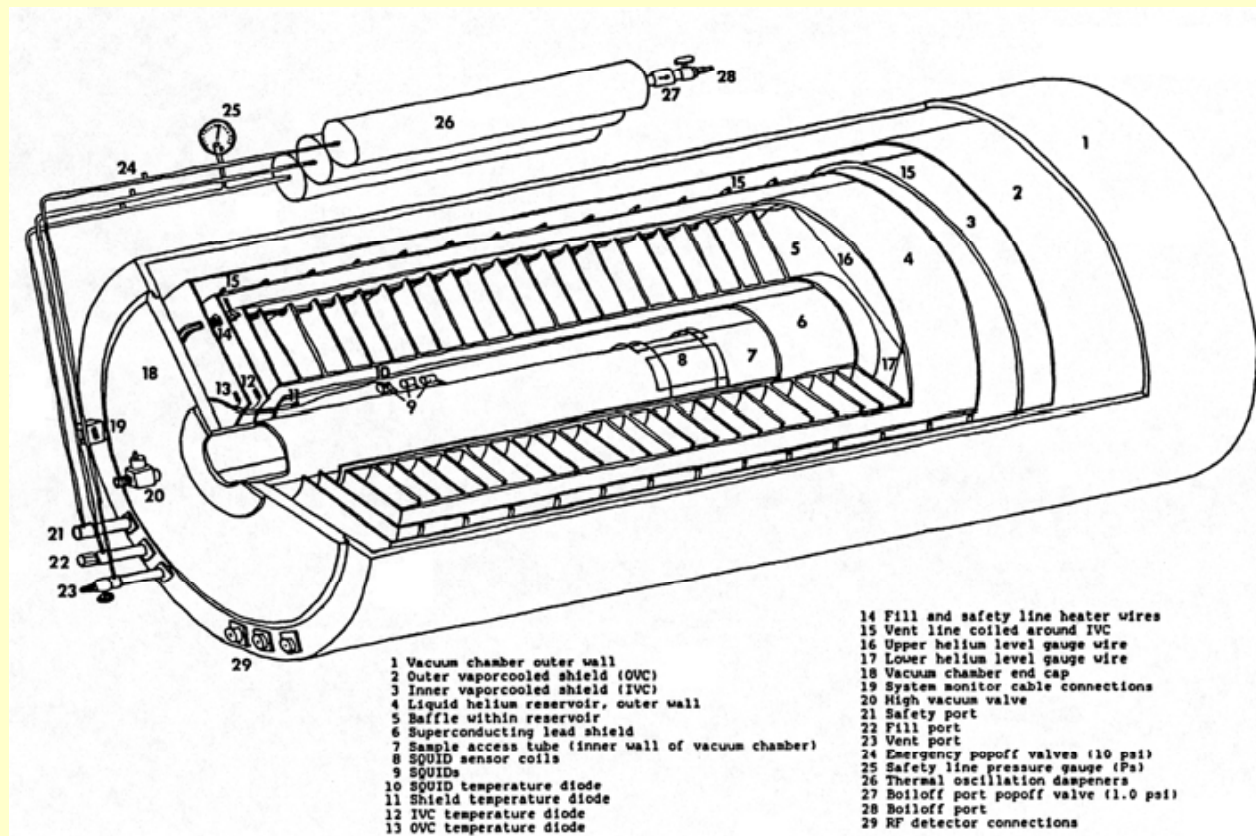
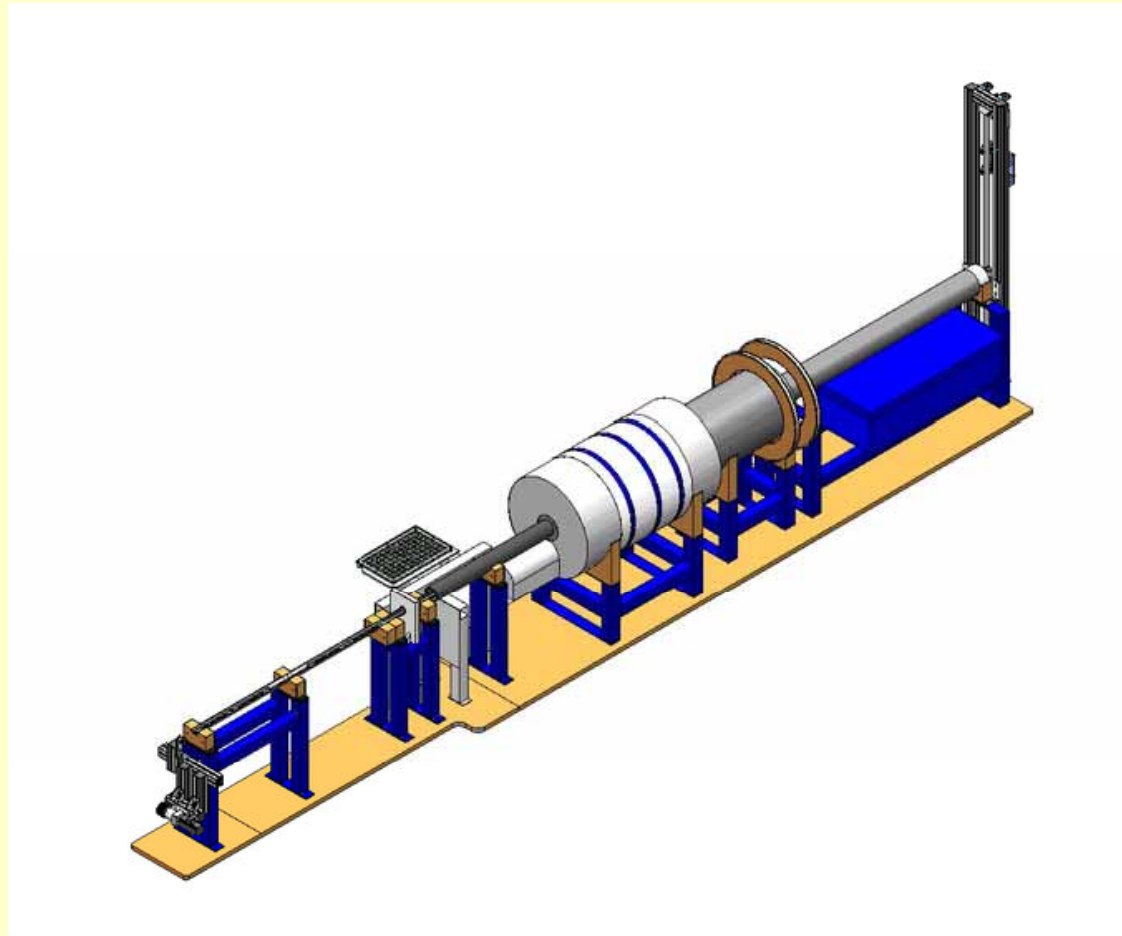


Figure 3.4 Cutaway view of the cryogenic magnetometer.



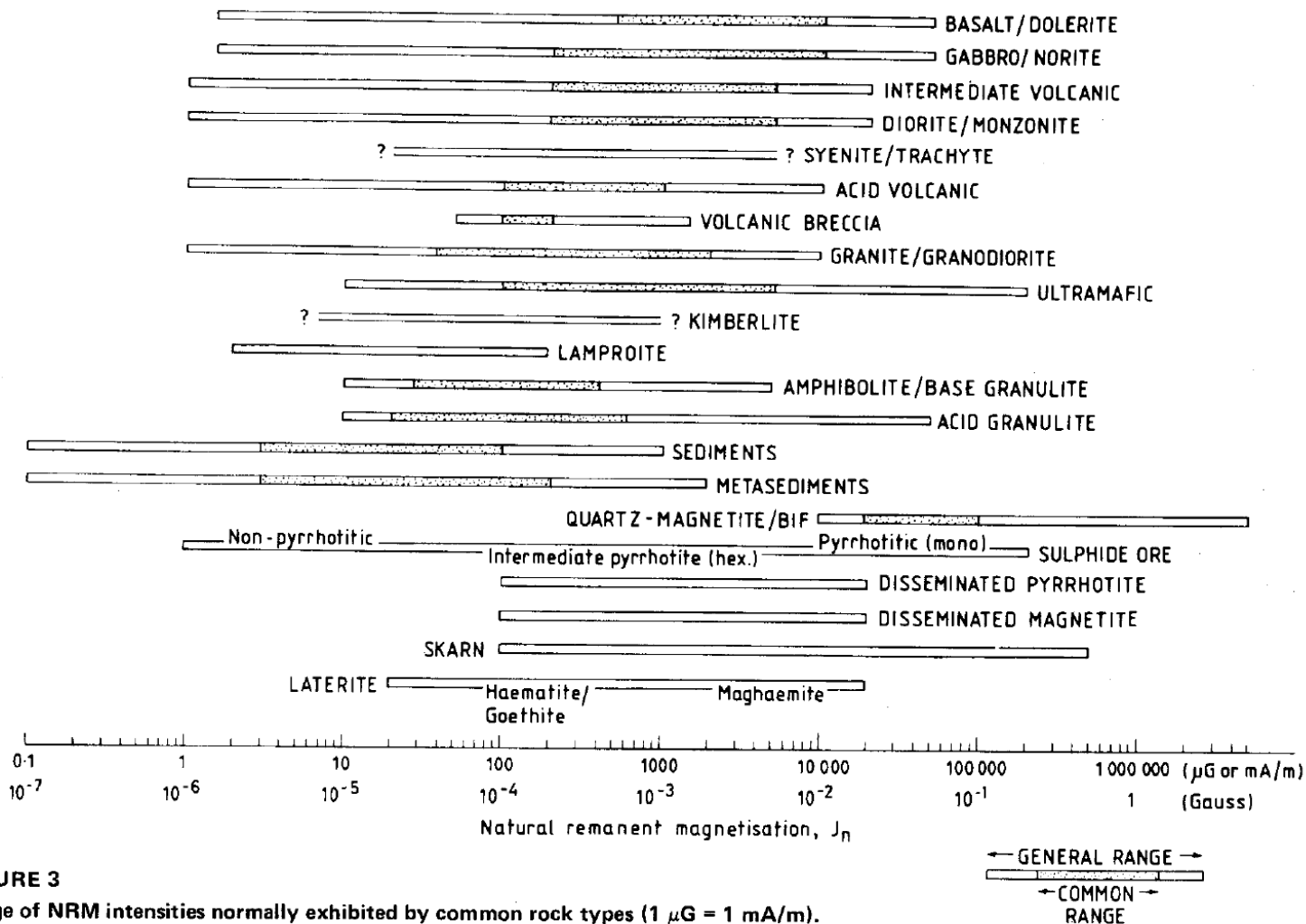
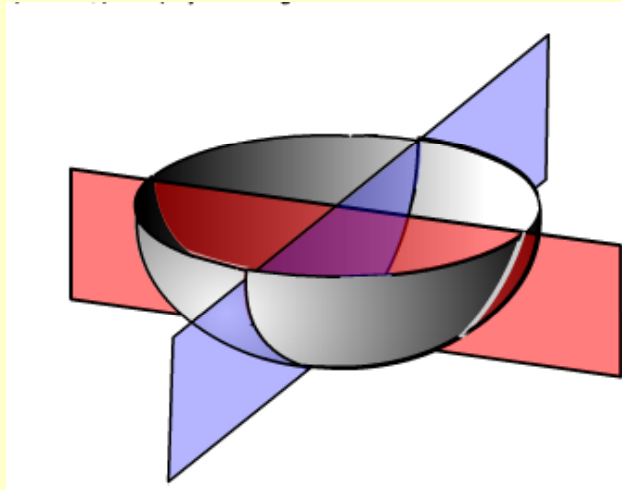


FIGURE 3

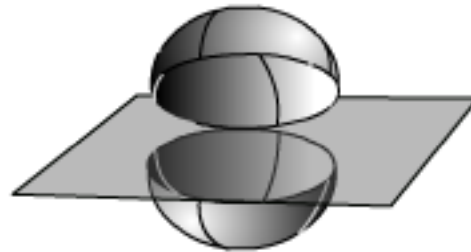
Range of NRM intensities normally exhibited by common rock types ($1 \mu\text{G} = 1 \text{ mA/m}$).

Clark 1983

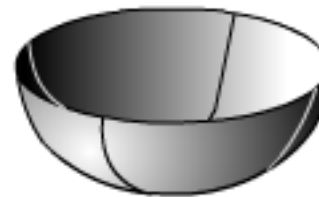
Representación de la MRN Proyección estereográfica



Esfera



Esfera cortada
por un plano
horizontal

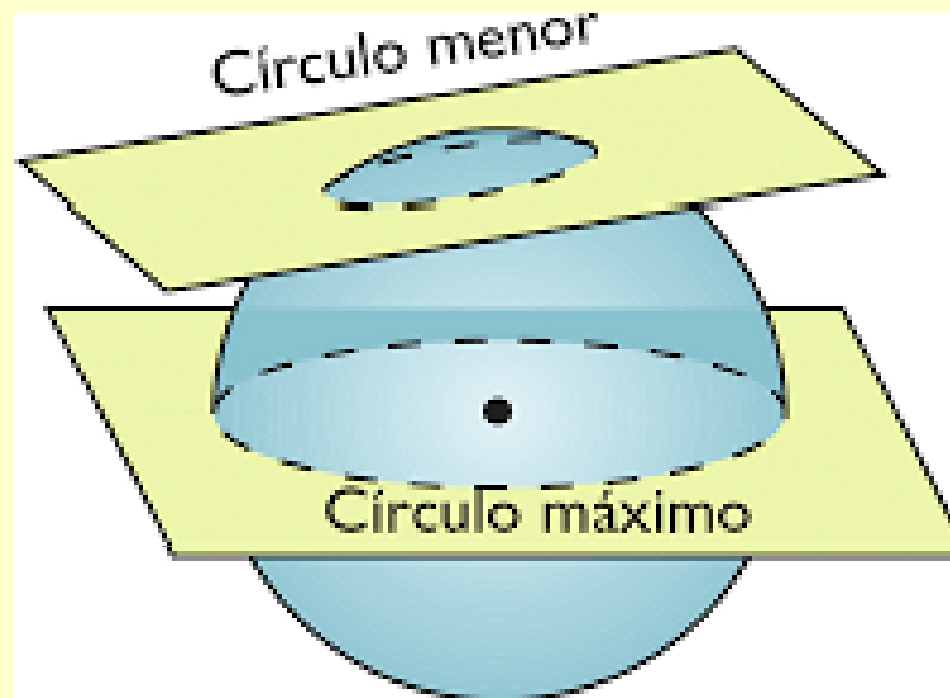


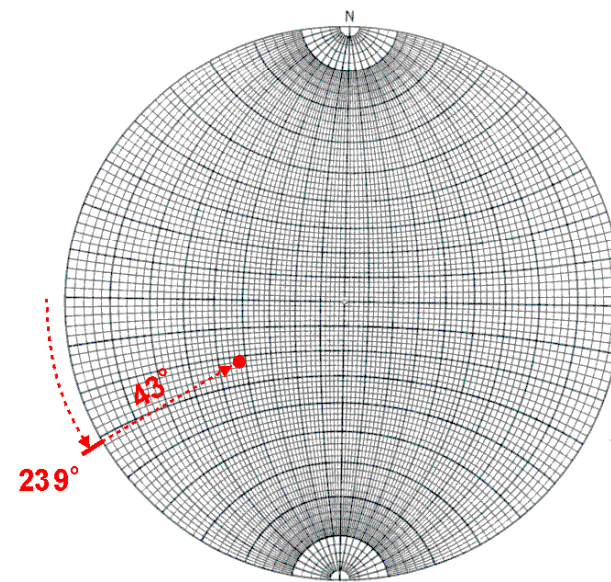
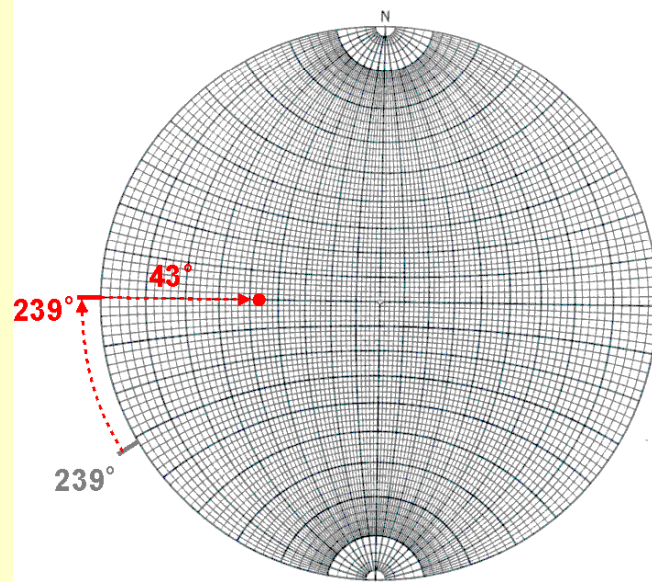
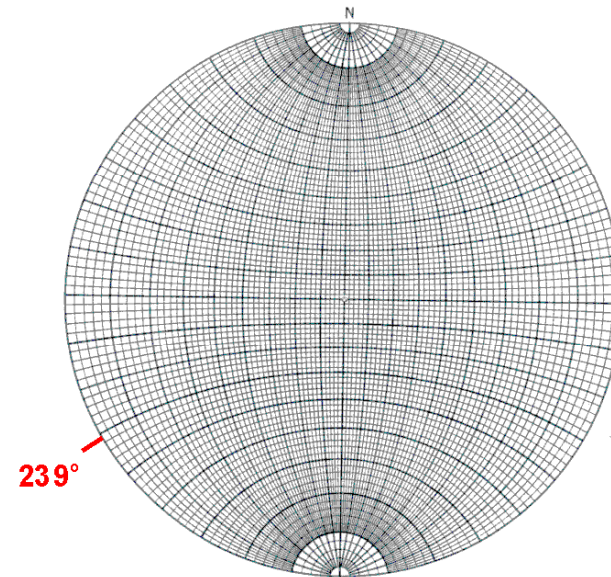
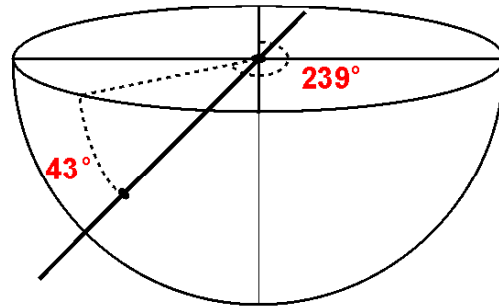
Proyección de
una mitad de la
esfera

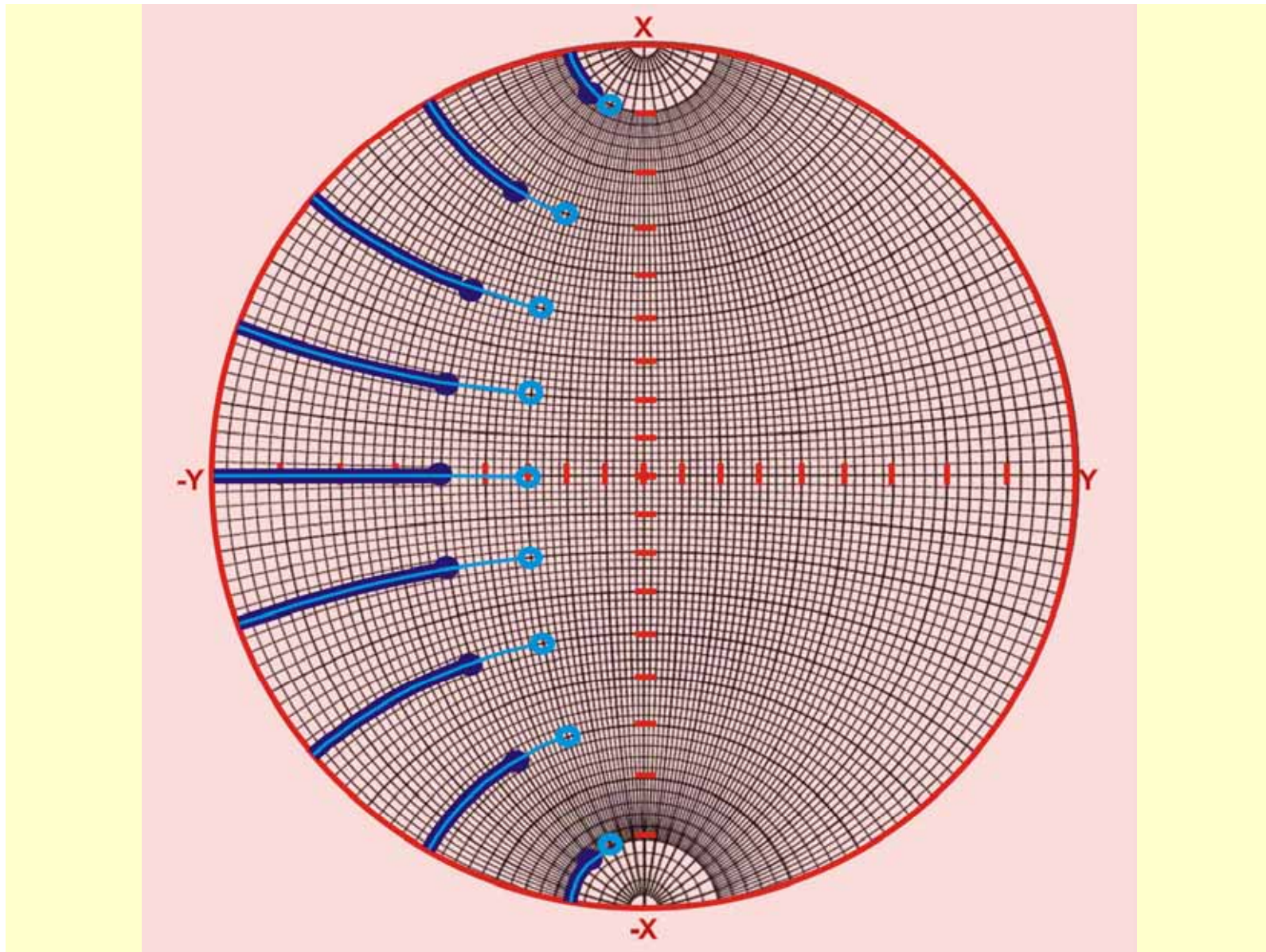


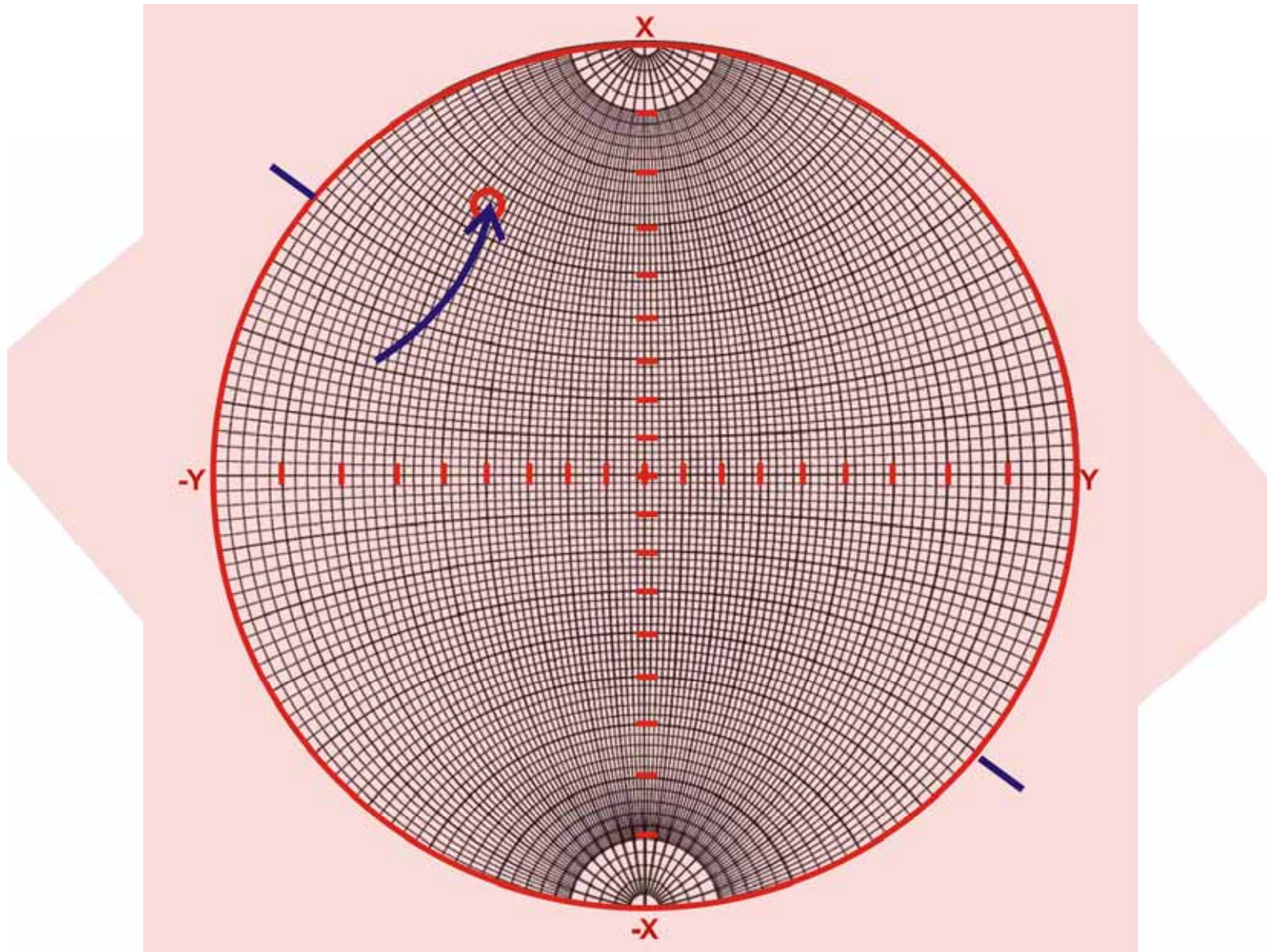
Círculo

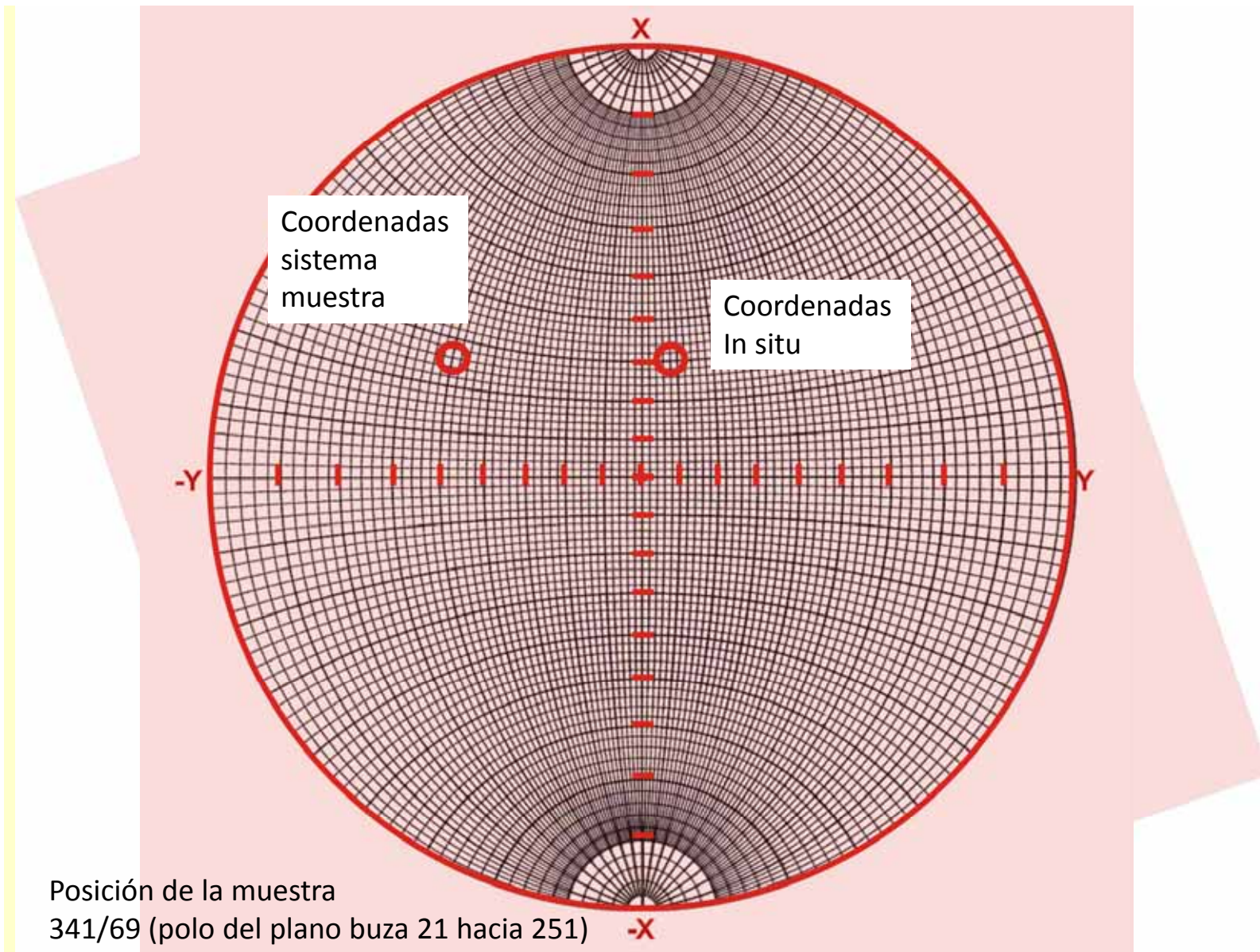
Representación de la MRN Proyección estereográfica











Determinación de propiedades magnéticas en laboratorio

Susceptibilidad magnética

Si bien no es estrictamente necesario conocer la susceptibilidad para un estudio paleomagnético, su determinación permite evaluar expeditivamente las características y variabilidad en una colección de muestras.

Susceptibilidad magnética

Su medición se basa en que $J = \kappa H$

$$B = \mu_0 H + \mu_0 J = \mu_0 (H + \kappa H) = \mu_0 (1 + \kappa) H = \mu H$$

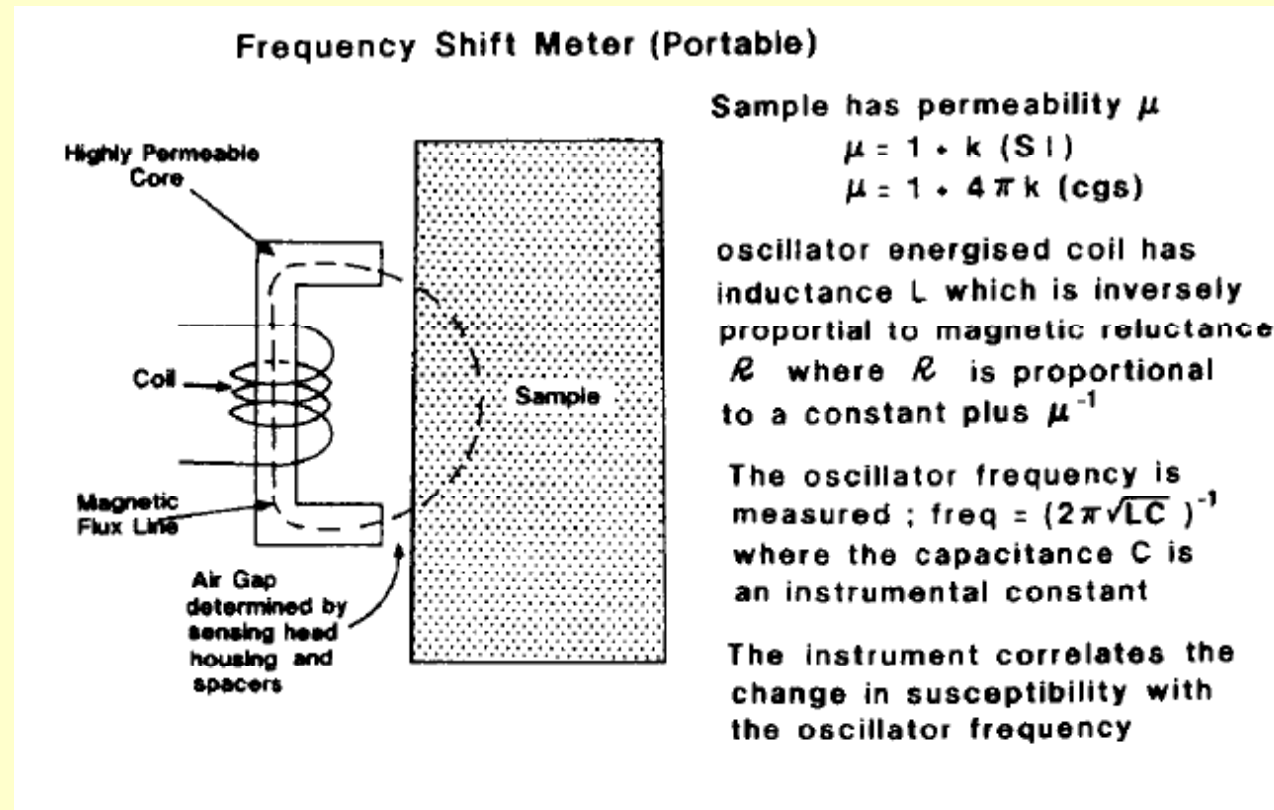
Las características de un circuito que contiene elementos inductivos y por donde circula corriente alterna, dependen de B y por lo tanto de μ

$$L = \mu_0 \mu_r N^2 A / l$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 = \mu_0 N^2 A / l \cdot (\mu_{rs} - \mu_{ra}) \approx C(\kappa_s - \kappa_a)$$

Se detectan cambios en la reluctancia de un circuito magnético, debidas a la presencia de un espécimen magnético

Colocar una muestra en cercanías de la bobina, cambia la inductancia del circuito, y por lo tanto la frecuencia resonante del oscilador



Principio de los susceptibilímetros portátiles, incluyendo Bartington

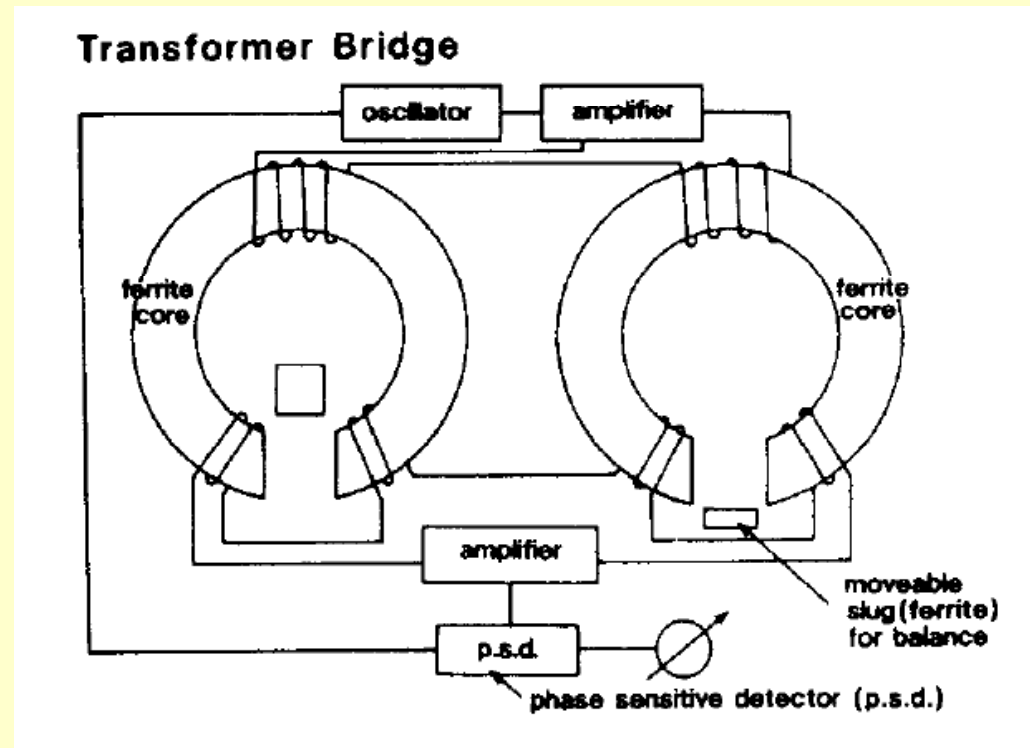
Clark 1983

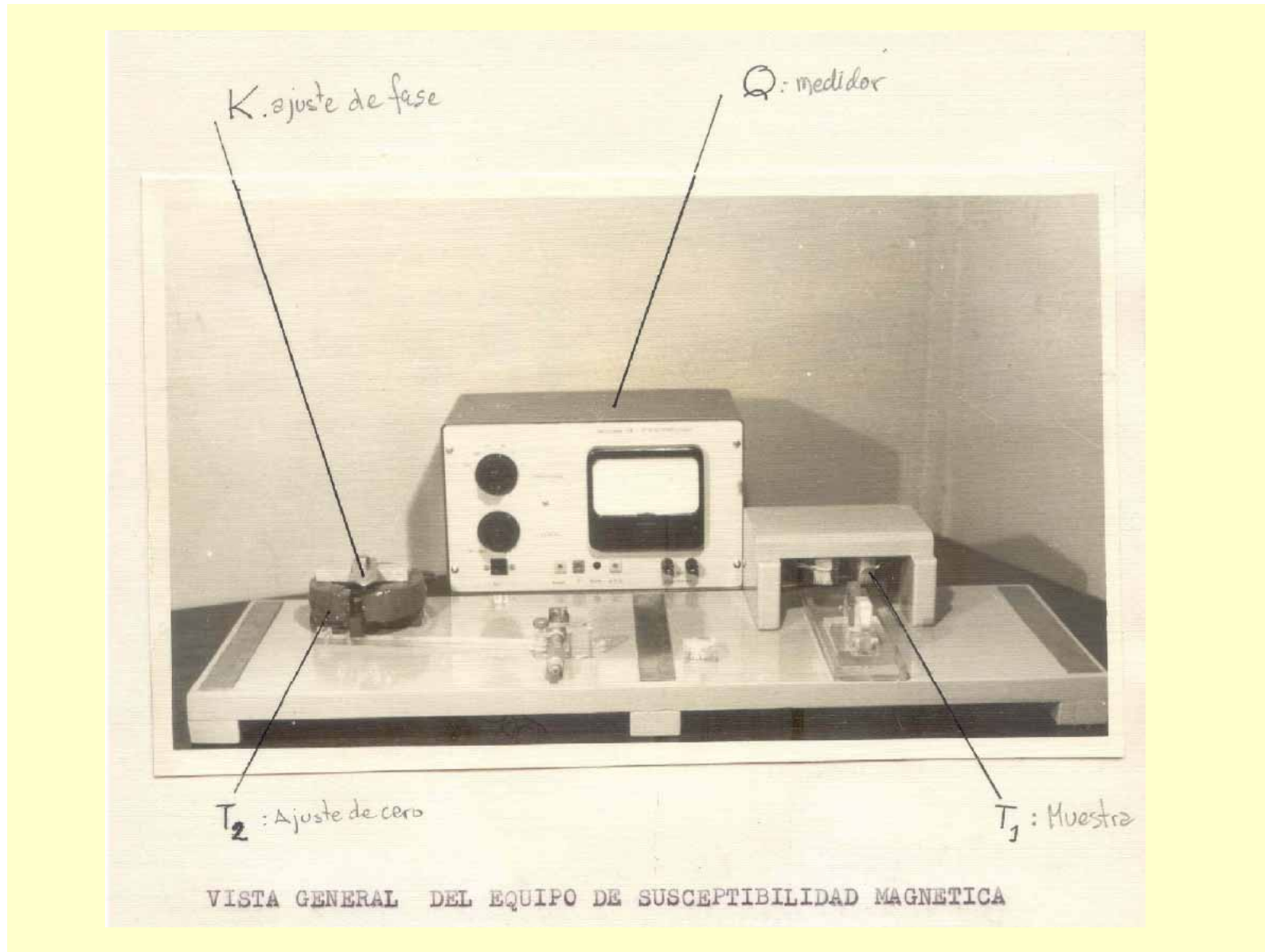
Bartington MS2. Frecuencias 465 y 4650 Hz.
Rango 2×10^{-6} a 26 SI



Se detectan cambios en la reluctancia de un circuito magnético, debidas a la presencia de un espécimen magnético

Un puente o «bridge» formado por dos anillos de ferrita abiertos (con «gaps»). El cableado en cada anillo lleva una corriente que produce un campo magnético alterno a través de los gaps.







AGICO MFK1. Campo de 2 a 700 A/m, frecuencias 976, 3904 y 15616 Hz
Rango 3×10^{-8} hasta 0,5 (SI)

El resultado se corrige por factores como: que la bobina no está completamente inmersa en el medio, el factor desmagnetizante, etc.

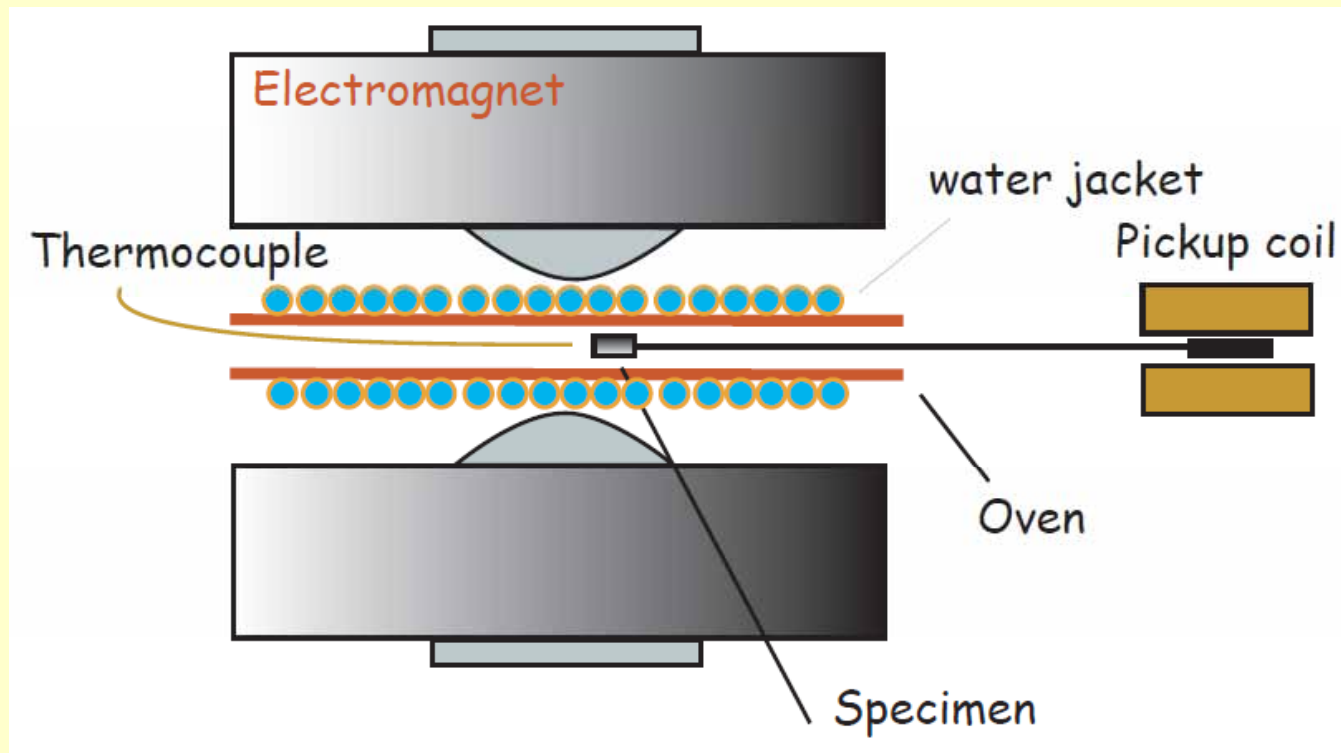
Luego se normaliza por volumen (κ) o por peso (χ), donde $\chi = \kappa/\rho$ y tiene unidades m^3/kg

La medición a distintas frecuencias permite detectar viscosidad. A mayores frecuencias, la susceptibilidad medida es menor para muestras con viscosidad. J y H se desfasan (a bajas frecuencias el desfasaje es menor). Midiendo a 1 kHz y a 10 kHz se pueden obtener diferencias de 20-25 % para materiales con tamaño de grano SP-SD.

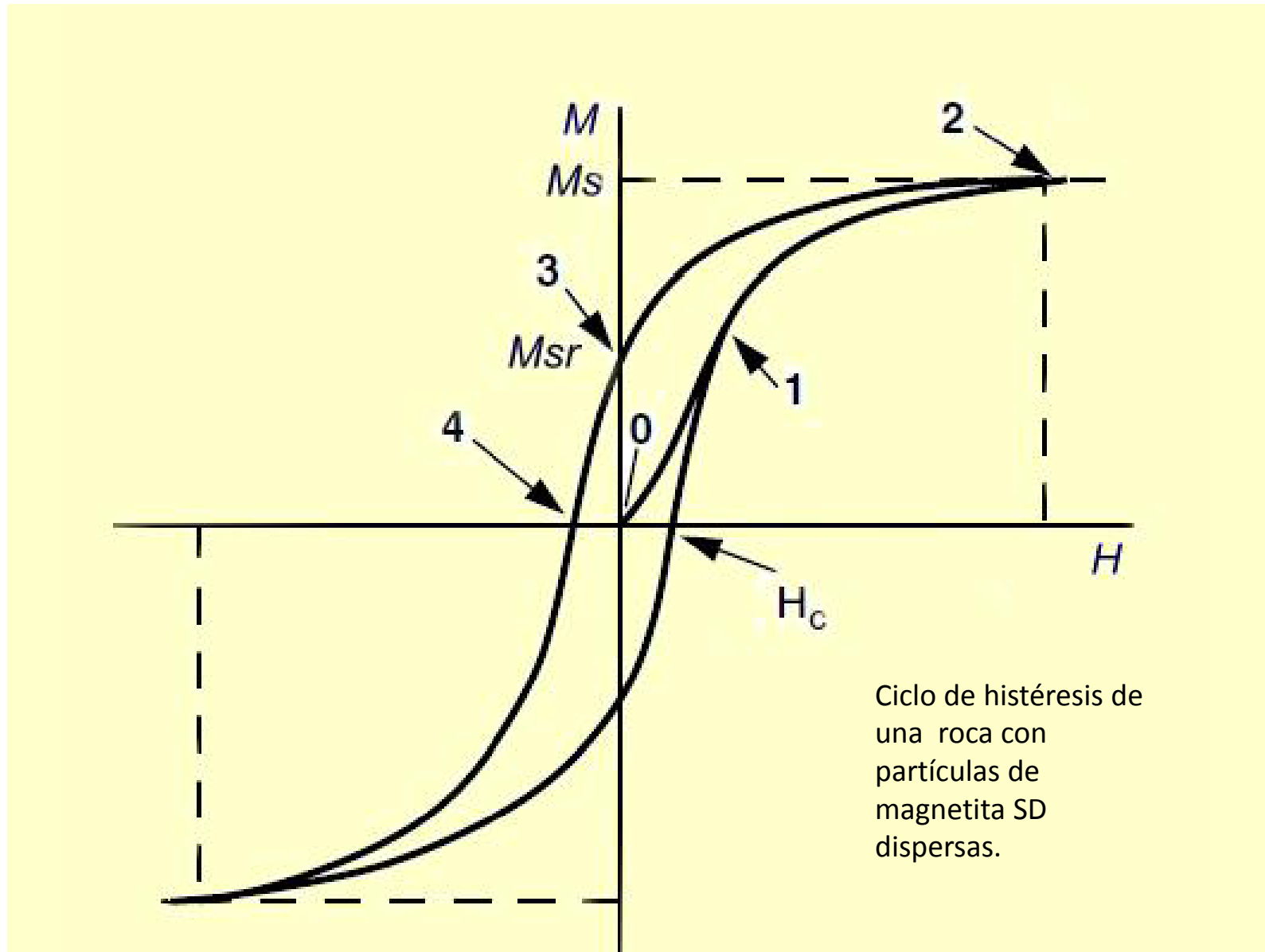
Horno y crióstato permiten determinar la variación de susceptibilidad a altas y bajas temperaturas, respectivamente

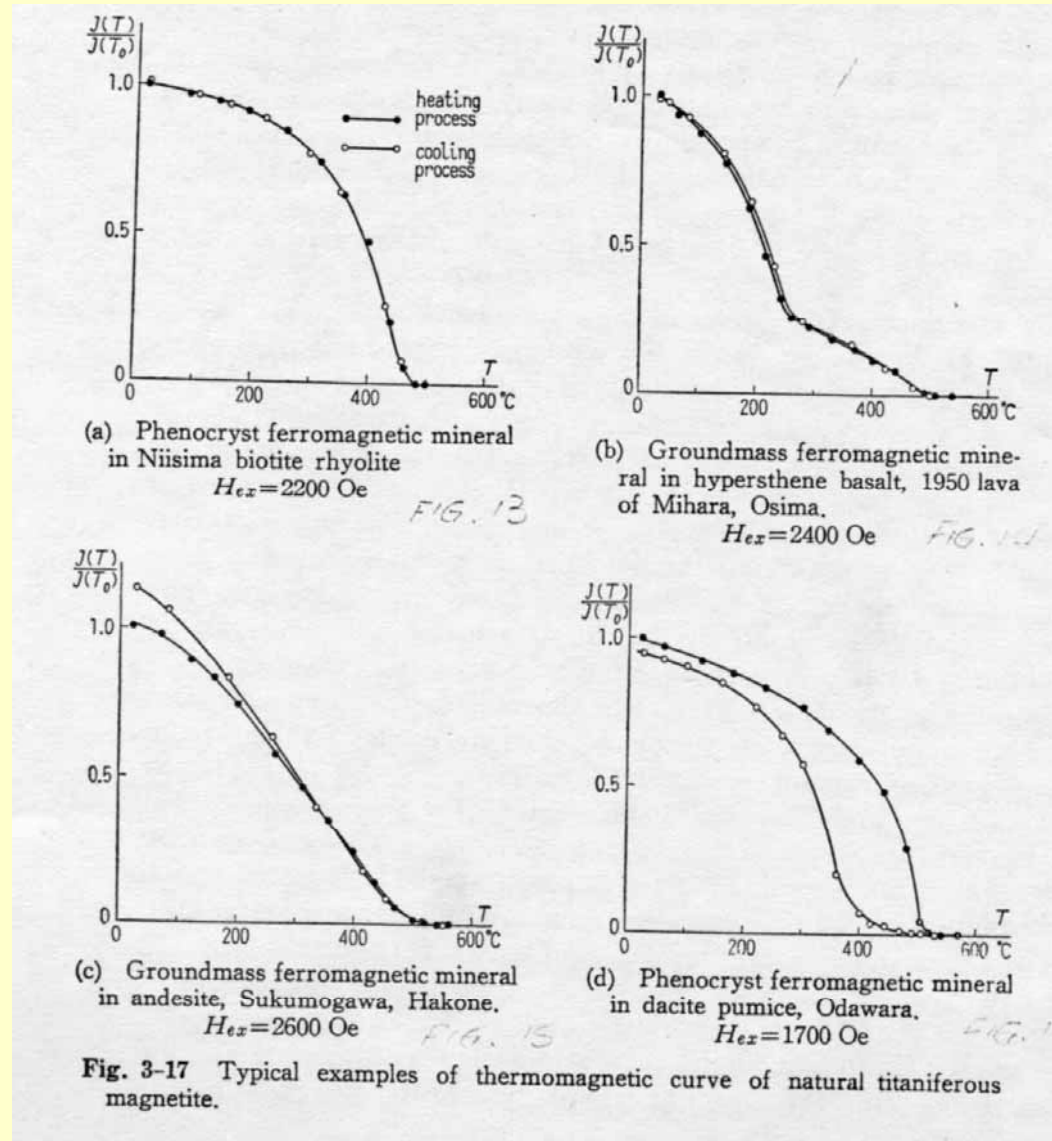
Balanza de Curie

Diseñada para medir magnetización de saturación y su variación con T

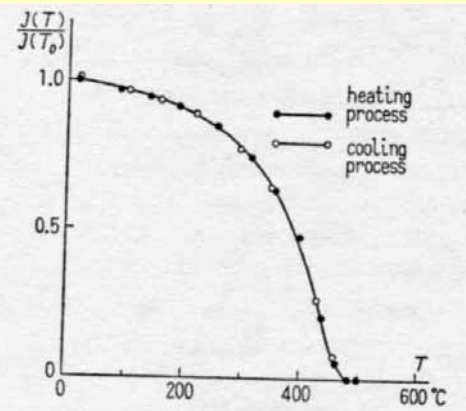


La muestra se inserta en un campo magnético con gradiente, y se varía T. La fuerza del campo sobre la muestra es proporcional a M. Esta fuerza es compensada con una fuerza igual y opuesta producida por un imán. La señal se amplifica y registra en la bobina pickup.



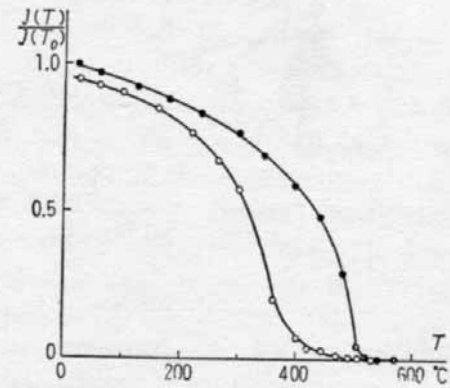


Nagata, 1961



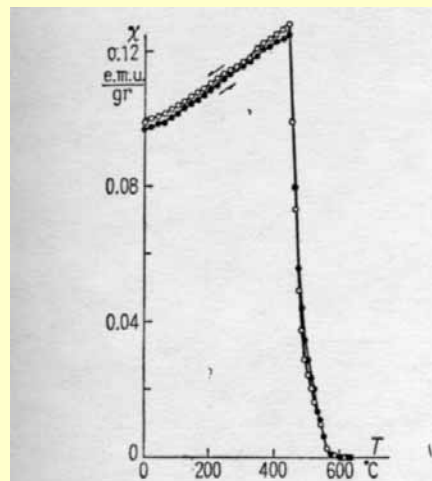
(a) Phenocryst ferromagnetic mineral
in Niisima biotite rhyolite
 $H_{ex}=2200$ Oe

FIG. 13



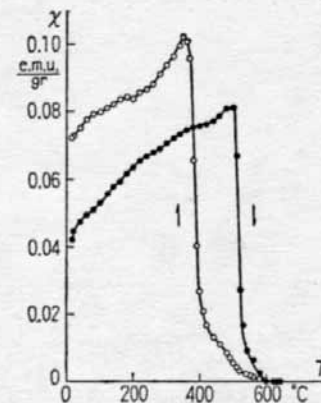
(d) Phenocryst ferromagnetic mineral
in dacite pumice, Odawara.
 $H_{ex}=1700$ Oe

FIG.



(a) Phenocryst ferromagnetic mineral
in Niisima biotite rhyolite.
 $H_{ex}=1.13$ Oe

FIG. 17



(b) Phenocryst ferromagnetic mineral
in dacite pumice, Odawara.
 $H_{ex}=1.35$ Oe

FIG.

$$I(T) = \frac{I_s(T) h^2}{H_c^2(T)} .$$

Nagata, 1961

Otros instrumentos:

Magnetizador de pulsos

Magnetómetro de muestra vibrante (VSM)

Magnetizador anhistérico

Equipos de desmagnetización:

- Térmica
- Por campos alternos