



TECNICA DE CAMPO EN MAGNETOMETRIA

p o r

Otto Mastandrea y Roberto Calvelo Rios

----- . -----

AÑO 1 9 6 2



## TECNICA DE CAMPO EN MAGNETOMETRIA

### - Introducción

El presente trabajo describe la técnica usada por el Ing. Fernand Lunck, del B.R.G.M., de Francia, en el estudio de los indicios de hierro de Colipilli, Dpto. de Norquin, provincia de Neuquen; y en el yacimiento de minerales de uranio San Sebastian, de la Comisión Nacional de Energía Atómica, situado en Sañogasta, provincia de La Rioja. Los suscriptos acompañaron al Ing. Lunck en función de aprendizaje de dichas técnicas y con el fin de familiarizarse con las mismas, con vistas a su futura aplicación en tareas de prospección.

### - Nociones elementales de magnetismo

Imanes: El nombre de imán fué originariamente aplicado a los especímenes de hierro magnético o magnetita, provenientes de Magnesia, Asia Menor, los cuales tenían el poder de atraer al hierro.

Este nombre se extendió luego a cualquier pieza de hierro, acero o ciertas aleaciones, las cuales convenientemente tratadas, ejercen acciones similares a las de los imanes naturales.

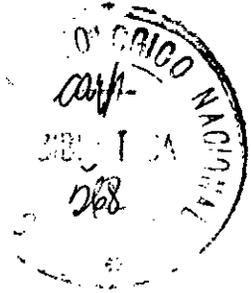
Para la práctica del trabajo es necesario conocer las leyes que gobiernan el atributo común de los imanes; atracción, inducción, polaridad y campo magnético.

### - Inducción

El proceso o propiedad de inducción se explica cuando un espécimen no magnético se convierte en un imán polarizado bajo los efectos de un campo magnético, ya sea por contacto o por colocación dentro de un solenoide.

La fuerza de magnetización, desarrollada en un material por una fuerza imanante dada, depende de la susceptibilidad del material a la magnetización.

El magnetismo inducido en el hierro se le llama "temporal" y en el acero "permanente".



### - Polaridad

Es el nombre dado a aquella propiedad por la cual un iman posee puntos donde se ejerce la máxima fuerza atractiva; esos lugares se llaman polos.

Cada imán posee dos polos con diferentes características, variando su posición con el grado de imantación y con la forma del iman. En general, se aleja de los extremos tanto más, cuando más corto es en relación con su sección transversal. En los imanes muy largos, practicamente coinciden con sus extremos.

La denominación de polo Norte y polo Sur es establecida por el hecho de que si se suspende un iman y se lo deja girar libremente, uno de los polos estará invariablemente dirigido hacia el Norte.

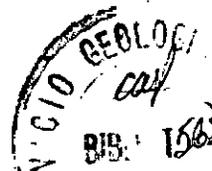
En la naturaleza, ciertas formas magnéticas tabulares (diques, vetas, etc.), la inducción del campo magnético terrestre produce, bajo condiciones ordinarias, polaridad, dependiendo la misma del rumbo y buzamiento de la forma tabular, con respecto al campo magnético mencionado.

### - Nociones de masa magnética

La noción de cantidad de magnetismo o de masa magnética de un polo puede explicarse relacionando la intensidad con que se atraen o repelen los polos de dos imanes a una distancia determinada.

Se ha convenido en considerar masas positivas (+) las del Polo Norte y negativas (-) las del Sur. La suma algebraica de las masas magnéticas de un iman es nula.

La ley de Coulomb que rige las fuerzas que se ejercen entre los polos de los imanes, entre masas magnéticas, es análoga a la ley de Newton y puede definirse así: La intensidad de la fuerza  $F$  de atracción o repulsión que se ejerce entre los polos, en el aire, está en razón directa del producto de sus masas magnéticas  $m$  y  $m'$  y en razón inversa del cuadrado de la distancia que los separa.



La experiencia del iman roto o partido, sugiere que el magnetismo está localizado, en realidad, en el interior de los constituyentes más íntimos de la materia, moléculas y átomos.

"El equivalente -dice Louis Cagniard (1), del punto material de la Gravimetría no será entonces el polo magnético aislado, simple ficción matemática, sino mas bien el dipolo magnético".

Entre otras consideraciones dice: "A causa de la asociación íntimas de las cargas bajo la forma de dipolo, los campos de los imanes decrecen en relación inversa del cubo de la distancia y no de su cuadrado".

Esta última consideración es muy importante en la interpretación en el geomagnetismo.

#### - Unidades

Con referencia a la ley de Coulomb, si la fuerza  $F$  fuera igual a una dina y la distancia  $r$ , fuera 1 cm, diríamos que los polos tienen la unidad de masa magnética.

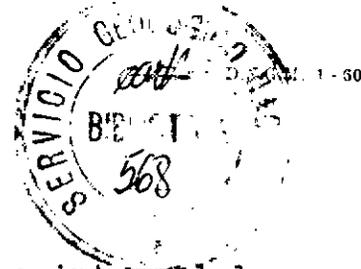
En el sistema c.g.s. de unidades, las magnitudes fundamentales son: la longitud, el tiempo y masa. Las unidades correspondientes son centímetro, segundo, gramo (el gramo se utiliza para designar un peso y una masa).

La dina: es la fuerza que imprime a la masa de 1 gramo la aceleración de 1 cm por segundo y por segundo.

En el sistema de unidades electromagnéticas c.g.s., la unidad de masa magnética ha sido elegida de manera que la constante de proporcionalidad de la ley de Coulomb sea igual a 1. Esta unidad no ha recibido ningún nombre especial.

#### - Campo magnético

El campo magnético es definido como el espacio circundante de un iman, a través del cual su influencia es detectable. El límite observable dependerá lógicamente de la sensibilidad del aparato detector.



El campo magnético posee dirección e intensidad en cada punto y por lo tanto es medible en magnitud vectorial.

El campo magnético es comunmente representado por líneas de fuerza, las cuales indican la dirección por sus rumbos y la intensidad por sus espaciados.

Las líneas de fuerza son líneas a lo largo de las cuales un polo Norte aislado, viajaría si lo dejamos libre en un campo magnético; la concepción de un grupo de líneas de fuerza que llena un campo magnético, es un mecanismo mental para visualizar las relaciones de los imanes y sus espacios circundantes.

Unidad: El campo magnético tendrá en un punto una intensidad unidad, cuando la fuerza que obre sobre la unidad de masa magnética, puesta en dicho punto valga una dina. La unidad de intensidad del campo magnético se denomina Gauss:

1 gauss = 1 dina/1 unidad de masa magnética, o también

1 gauss: 1 línea de fuerza/cm<sup>2</sup> (area tomada normal a la línea de fuerza).

Nota: La unidad electromagnética c.g.s. de campo, sin embargo, recibe el nombre de Gauss y se indica con el símbolo  $\Gamma$ .

Los físicos han convenido que el Gauss sirva para designar a la unidad de inducción y que la unidad de campo magnético se llame Oersted.

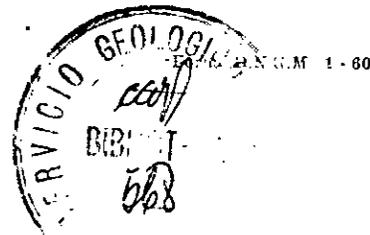
Los geofísicos miden los campos en gammas  $\gamma$  ;  
la  $\gamma = 10^{-5}$  de Oersted.

#### - Campo magnético terrestre

Nuestro planeta se comporta como un gigantesco iman, cuyo campo constituye el campo magnético terrestre. El origen de este campo está lejos de ser completamente claro.

Ya en el año 1600, en el primer tratado escrito por Gilbert "De Magnete", la tierra ha sido reconocida como un iman, teniendo las propiedades propias de un iman común, el poder de atracción e inducción, la propiedad de polaridad y el campo de fuerza.

Cagniard (1) dice "en primera aproximación, es idéntico al de un dipolo, situado en el centro de la tierra orientado el polo Norte hacia el polo Sur y donde el eje no coincide exactamente con el eje terrestre".



Según Dobrin (2), ha sido posible descomponer el campo terrestre aplicando la teoría potencial, en una serie de componentes cuyas fuentes proceden del interior de la tierra, del exterior de ella y de la misma superficie; dependiendo el 94% del campo interno.

Noel H. Stearn (3), dice: "Aunque hay y habrá algunas especulaciones inconclusas con respecto a las causas de este magnetismo terrestre (sea este debido a un centro metálico en la tierra, a un sistema arraigado profundamente, o superficialmente, sub-superficial o superficial de corrientes eléctricas o algunas combinaciones de varias causas), no obstante su prominente carácter, el cual es independiente de dichas especulaciones, es también el rasgo de real significación en la aplicación del geomagnetismo".

La concepción ideal del campo magnético de la tierra simétrico y sin distorsiones sirve para comprender las desviaciones que sufre este campo.

Dice Stearn "en consideraciones al hecho de que el campo magnético de la tierra es predominantemente debido a una fuerza magnética profunda, las líneas magnéticas que definen el campo deben pasar a través de la corteza exterior de la tierra y entrar en el aire. La corteza exterior de la tierra está formada por materiales heterogéneos lo cual supone que deben tener diferentes permeabilidades y así las líneas de fuerzas serán consecuentemente torcidas a partir de su camino simétrico en la entrada a la superficie de la tierra".

Es conocido que el campo magnético terrestre no es constante en el tiempo, sus variaciones pueden ser cíclicas, periódicas e irregulares.

Entre las variaciones más importantes tenemos:

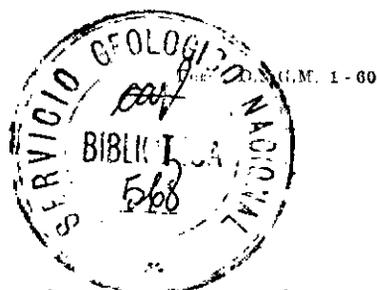
#### Variaciones seculares:

Son cambios cíclicos de más larga periodicidad. Ha sido calculado que la rotación tarda alrededor de 960 años, es decir que en 960 años el sistema magnético citado da una rotación tras la tierra.

El coeficiente de variaciones seculares, difiere en diferentes localidades, es medido y llevado sobre mapas similares a las de los otros elementos magnéticos.

#### Variación anual:

Se ha observado un cambio en la declinación



con un periodo de un año. Eso ocurre simultáneamente en direcciones opuestas en el hemisferio Norte y Sur.

Stearn dice: "En Londres la desviación oriental máxima ocurre en agosto y la occidental en febrero. La amplitud de la desviación<sup>es</sup> de alrededor de 2,25 minutos. En Toronto es alrededor de 1,1'. Esta puede ser considerada insignificante en la aplicación general del geomagnetismo".

La declinación de un lugar se define como el ángulo comprendido entre el plano meridiano astronómico y el plano meridiano magnético. La declinación magnética de un lugar es oriental u occidental (declinación E o declinación Oeste) según que la punta Norte de la aguja magnética se desvíe hacia el lado E o hacia el lado O del meridiano astronómico. Si se unen los puntos de la superficie terrestre de igual declinación, se obtienen curvas que se llaman líneas isogónicas o oisógonas.

Periodicamente se publican cartas mundiales y en nuestro país se confeccionan cartas indicadoras de las líneas de igual declinación magnéticas y de las curvas de igual variación anual, para el territorio argentino y países limítrofes.

#### Variación diurna:

Es la variación más importante en lo que respecta a la prospección magnetométrica.

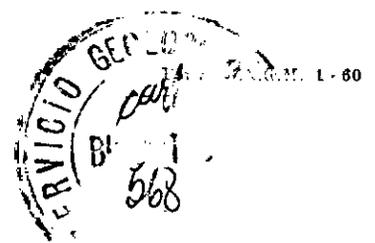
Estas desviaciones se incrementan al acercarse a los polos magnéticos y decrecen hacia el Ecuador magnético. Tienen una periodicidad de 24 horas y una amplitud de 25-30 gammas.

En los trabajos de prospección de grandes áreas se las registra automáticamente.

Además de las variaciones enumeradas, existen otras: variaciones producidas por las manchas solares, variaciones periódicas menores, variaciones irregulares (tempestades magnéticas). Estas últimas pueden originar la suspensión de los trabajos de campo.

#### Clasificación magnética:

En 1845, Faraday demostró que cada sustancia era afectada por un poderoso imán con varios grados de intensidad. El efecto sobre ciertas sustancias es repelente y a estas él las llamó diamagnéticas.



Sobre la mayoría de las sustancias probadas, el efecto es atractivo y a estas las llamó paramagnética.

Trabajos posteriores sobre el magnetismo han demostrado <sup>que</sup> ciertas sustancias notables como el hierro, nickel, cobalto y en un muy pequeño grado manganeso, tienen propiedades magnéticas pronunciadas; se las denominó Ferromagnéticas.

Es importante hacer notar que las experiencias indican que una sustancia paramagnética puede actuar, sin embargo, como diamagnética si está circundada por un medio más paramagnético que la misma.

Al hablar de estas sustancias descriptas debemos aclarar que se introduce otra noción, la de permeabilidad magnética.

El mecanismo mental que involucra la concepción de líneas de fuerza, es muy usado para dar una idea visual de las reacciones de las sustancias en el campo de fuerza.

Cada sustancia puede considerarse como poseyendo un cierto poder de conducción de las líneas de fuerzas o para ofrecer resistencias a ellas. Esas dos reacciones, resistencia y conductibilidad, puede resumirse como permeabilidad.

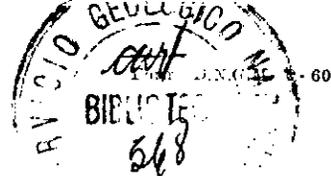
La permeabilidad magnética en el aire es 1, en los cuerpos ferro y paramagnéticos es mayor que 1 y en los diamagnéticos es menor que 1.

Existen tablas para los elementos paramagnéticos y diamagnéticos clasificados de acuerdo al índice de sus susceptibilidades magnéticas.

#### Factores mineralógicos en el geomagnetismo:

La porción observable de la tierra está compuesta de formaciones de rocas, cuya influencia sobre el campo magnetico puede ser considerada como dependiente de su composición mineralógica, forma, posición y distribución.

Los minerales ferro-magnéticos tales como: magnetita, ilmenita, pirrotita, franklinita, cromita y algunos metales nativos como platino y sus asociados (osmio, iridio, etc.) y ciertas combinaciones de nickel, pueden ser tenidos como responsables de la mayor parte de las modificaciones de las lecturas detectables en la corteza de la tierra. El trabajo en mag-



netometría de campo (siguiendo a Stearn), se basa sobre la detección de las variaciones causadas por esos pocos minerales.

De los minerales ferromagnéticos enumerados, la magnetita e ilmenita son los más comunes de la tierra y existen en casi todas las rocas. La magnetita es el mineral común que tiene una marcada influencia sobre el campo magnético de la tierra. Stearn en base a los trabajos de Wess, dice que un contenido de magnetita del 1% en una roca, puede causar el 100% de variación en el campo de la tierra.

De la tabla N° 4, del trabajo de Stearn, extrajimos algunas rocas que muestran el contenido promedio en magnetita e ilmenita:

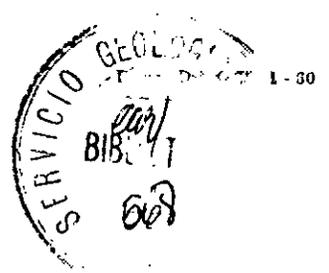
	Magnetita %	Ilmenita %	Combinadas %
Granito promedio .....	1.72	0.31	2.03
Basalto .....	5.80	0.73	6.53
Rocas sedimentarias (82% lutitas, 12% areniscas, 6% calizas) promedio ...	0.07	0.02	0.09
Término medio en rocas (96% ígneas, 5% sedimentarias) .....	2.95	0.01	2.951

Dentro de las rocas existen una amplia gama de variación tanto en el contenido de estos minerales, como en su distribución dentro de las mismas, hallándose en mayor proporción en las rocas básicas.

El mismo Stearn, hace, en su trabajo, un amplio estudio de la posición de estos minerales y llega a la conclusión que los métodos magnéticos son aptos para localizar cuerpo mineralizados de magnetita y pirrotita, diques, filones capas, vetas, intrusiones, extrusiones, contactos, depositos de placer, meteoritos y sedimentos ferruginosos.

#### Formaciones diamagnéticas y paramagnéticas

Aparte de la influencia de los pocos minerales ferromagnéticos, existe una mayoría de minerales cuyas propiedades magnéticas en muestras de laboratorio son impronunciadas y que han sido llamados no magnéticos, pero tienen permeabilidades diferentes.



Una masa de roca, por ejemplo: calcareo que está en contacto con otras rocas formadas por minerales de diferentes permeabilidades, puede causar un débil campo magnético semejante al de la tierra por la gran masa de la formación. La detección de tales formaciones, requiere una técnica muy delicada.

"Por ejemplo, la ubicación de domos de sal por mediciones magnéticas en Alemania y Texas ha sido llevado a cabo justamente sobre este principio" (Stearn (2) pag. 333).

#### - Trabajos de campo realizados

##### 1°) Principio del aparato

El primer magnetómetro de uso práctico fué inventado por el Dr. Adolf Schmidt, Director del Observatorio Magnético de Postdam (Alemania) en el año 1915.

Recibió el nombre de balanza magnética y el de variómetro; el primero por su semejanza con la balanza analítica y el segundo, por el hecho de que realiza medidas relativas de las componentes Z (componente vertical) ó H (componente horizontal) del campo magnético terrestre, entre dos estaciones.

Existen dos tipos de balanza: la que mide la componente H o componente horizontal y la que mide la componente Z o componente vertical del campo magnético.

Fundamentos de la balanza de Schmidt. Magnetómetro de componente vertical. El elemento magnético puede girar en el plano vertical, en forma perpendicular a la componente H del campo magnético terrestre. Consiste, este elemento magnético, en un imán pivotado cerca de su centro de masa, de manera que el campo magnético de la tierra, origine un par de fuerzas en torno al pivote, o puesto al par de fuerzas de la atracción gravitatoria sobre el centro. El ángulo para el cual se alcanza el equilibrio depende de la intensidad del campo.

Este tipo de magnetómetro no mide campos absolutos, sino pequeñas variaciones de las componentes del campo (H y Z), con una precisión de 2 gammas, en condiciones muy favorables.

Supongamos que tenemos un imán aproximadamente horizontal, orientado en la dirección E-W, o sea perpendicular al meridiano magnético, para evitar que la componente horizontal del campo ejerza efecto alguno. Este imán se encuentra en equilibrio sobre una cuchilla de cuarzo, desplazada del centro de gravedad

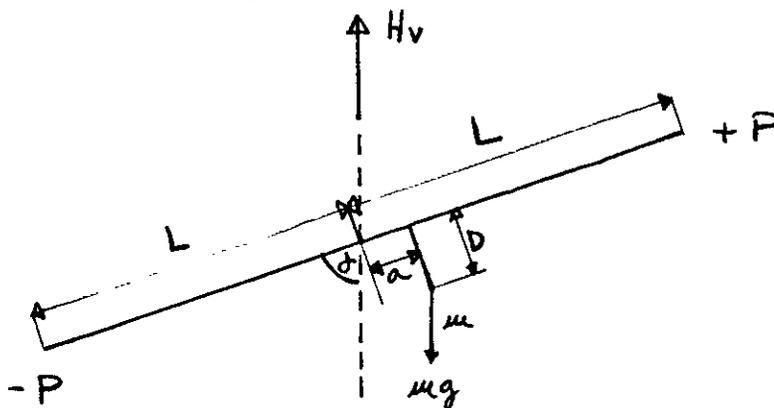


007  
B. INEEM 1-66  
068

M una distancia horizontal  $a$  y una distancia vertical  $D$ .

Al actuar sobre los polos de este imán, la componente vertical del campo magnético terrestre, origina una rotación en el sentido de las agujas de reloj. La fuerza de la gravedad origina a su vez, una rotación en el sentido opuesto. La posición de equilibrio se indica sobre una escala graduada por medio de un rayo de luz reflejado en un espejo fijado al imán.

Al cambiar el campo magnético, cosa que probablemente sucederá en una nueva estación, se desplaza esa posición de equilibrio y la diferencia de lecturas en la escala, da la medida de la diferencia de la componente vertical entre las dos estaciones.



Como ya se ha dicho, este tipo de aparato se usa para medir variaciones de las componentes del campo magnético entre dos estaciones y no para la medición absoluta de dicho campo magnético.

La sensibilidad se expresa con la siguiente

fórmula:

$$\frac{\Delta H_v}{\Delta \alpha} = \frac{mgD}{2LP \sin^2 \alpha}$$

Si  $m$  está lo suficientemente alejado del punto de apoyo como para hacer que  $\alpha$  sea casi igual a  $90^\circ$ , entonces  $\sin \alpha$  es igual a 1 y en esas condiciones  $\Delta H_v$  es proporcional a  $\Delta \alpha$ .

La sensibilidad puede ser de 20 gammas para la prospección de minerales. La posición del rayo de luz se puede leer con una precisión del 0,1 de división.



La bobina de Helmutz y su aplicación. Fórmulas y constantes:

Para calibrar la balanza, o sea, para determinar el número de gammas que corresponden a una división de la escala del magnetómetro, se superpone al campo magnético terrestre un campo magnético conocido. Esto se consigue por medio de la bobina de H.

Esta bobina consiste en dos bobinas circulares, iguales, dispuestas en planos paralelos, separadas por una distancia igual a su radio. Cuando por las dos bobinas circula una corriente de la misma intensidad, aparece un campo magnético, cuya intensidad, cerca del centro del sistema, se expresa por:

$$H = \frac{64 \pi n i}{5 \frac{1}{2} R}$$

donde H se expresa en gammas, i en miliamperios, y R en cm, siendo n el número de espiras en cada bobina.

La bobina de H se coloca rodeando la balanza por medio de un soporte especial.

Está conectada a un miliamperímetro, regulado por un reóstato a fin de poder enviar una corriente eléctrica de intensidad determinada, la cual crea un campo magnético uniforme que se mide en la balanza. La fuente de energía son dos pilas comunes de linterna.

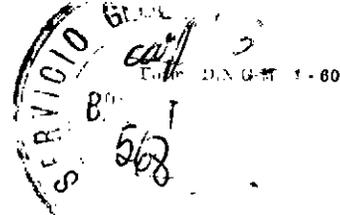
En la práctica se hacen dos lecturas con la misma intensidad de corriente pero con distinta polaridad, disponiéndose para ello de un interruptor con los signos más y menos.

El mA está graduado en una escala que va de 0 a 10, haciéndose las lecturas en las posiciones que se desee o que el trabajo aconseje.

Las lecturas en la balanza deben efectuarse rápidamente pues por el paso de la corriente la bobina sufre un calentamiento que puede cambiar su constante.

Se trabaja con dos operadores, uno en la bobina y otro en la balanza.

La calibración exige las mismas precauciones que



las tomadas al efectuar estaciones (buena nivelación, buena orientación perpendicular al meridiano magnético y ausencia de objetos metálicos en las cercanías). La bobina debe estar colocada paralelamente al sistema magnético que se usa en ese momento.

Para el cálculo, cada bobina tiene una constante  $f$ , que se aplica en la siguiente fórmula:

$$\xi = \frac{f \cdot 2i}{n}$$

donde  $f$  es la constante de la bobina en gammas por miliamperio,  $I$  intensidad de la corriente en miliamperios y  $n$  diferencia entre dos lecturas de igual intensidad y distinta polaridad.

Control de sensibilidad de la balanza magnética de componente vertical Z, en el Club Náutico San Isidro.

Para realizar el control de sensibilidad de la balanza, se situó la misma en una zona alejada de toda estructura metálica movil, eligiéndose para ello el campo de golf del Club Náutico San Isidro.

Se hizo estación, nivelando la platina con el nivel esférico por medio de los tres tornillos calantes. Con la brújula se la orientó en dirección al meridiano magnético. Se colocó la balanza y se la volvió a nivelar con sus niveles tóricos propios.

Como los sistemas de imanes vienen en estuches a parte, fué necesario desarmar la caja de la balanza para colocar el sistema vertical, que fué usado en esta calibración. Posteriormente se calibró también el sistema horizontal.

Como el montaje de los sistemas de imanes es muy delicado, es preciso impedir la entrada de polvo o tierra en la caja de la balanza y al manipular dichos sistemas, hay que lavarse las manos con alcohol para evitar el efecto de la grasa.



TABLA DE DATOS DE LA CALIBRACION DEL MAGNETÓMETRO

TOMETRO ASKANIA 570973

mA		DIVISIONES		n
+	-	+	-	
2	2	21,6	25,9	4,3
4	4	19,0	27,7	8,7
6	6	16,6	29,7	13,1
8	8	14,3	31,9	17,6
10	10	11,7	33,8	22,1

Fórmula aplicada para el cálculo de la sensibilidad:

$$E = \frac{f \cdot 2 I}{n}$$

donde f es la constante de la bobina e igual a 25,7

$$E = \frac{25,7 \cdot 4}{4,3} = 23,9; \quad E = \frac{25,7 \cdot 8}{8,7} = 23,6; \quad E = \frac{25,7 \cdot 12}{13,1} = 23,5$$

$$E = \frac{25,7 \cdot 16}{17,6} = 23,4; \quad E = \frac{25,7 \cdot 20}{22,1} = 23,2$$

Promedio de las sensibilidades obtenidas:

2 x 23,9 = 47,8	
4 x 23,6 = 94,4	
6 x 23,5 = 151,0	
8 x 23,2 = 187,2	
10 x 23,2 = 232,2	
<hr/>	
117,6	712,6
	<hr/>
	30
	<hr/>
	23,52
	712,6
	<hr/>
	23,75





$$23,9 - 23,7 = 0,2$$

$$23,7 - 23,6 = 0,1$$

$$23,7 - 23,5 = 0,2$$

$$23,7 - 23,4 = 0,3$$

$$23,7 - 23,2 = 0,5$$

$$\underline{1,3}$$

$$1,3$$

$$\frac{\quad}{5} = 0,26$$

$$5$$

$$E = 23,7 (\pm 0,2) \text{ } \gamma / \text{dior.}$$

TABLA DE DATOS DE LA CALIBRACION DEL MAGNE-

TOMETRO ASKANIA 570972

mA		DIVISIONES		n	f x 2 I
+	-	+	-		
2	2	29,0	33,4	4,4	102,8
4	4	27,3	36,3	9,0	205,6
6	6	25,1	38,2	13,1	308,4
8	8	23,3	40,6	17,3	411,2
10	10	21,3	42,7	21,4	514,0

$$E = \frac{25,7 \cdot 4}{4,4} = 23,3; \quad E = 23,0; \quad E = 23,7; \quad E = 23,8; \quad E = 24,0$$

I x E

$$2 \times 23,3 = 46,6$$

$$4 \times 23,0 = 92,0$$

$$6 \times 23,7 = 142,2$$

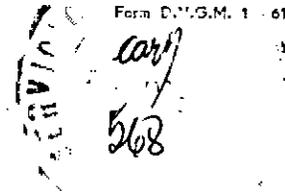
$$8 \times 23,8 = 190,4$$

$$10 \times 24,0 = 240,0$$

$$\underline{117,8 \quad 711,2}$$

$$\frac{117,8}{5} = 23,56$$

$$\frac{711,2}{30} = 23,7$$



$$23,7 - 23,3 = 0,4$$

$$23,7 - 23,0 = 0,7$$

$$23,7 - 23,7 = 0,0$$

$$23,8 - 23,7 = 0,1$$

$$23,7 - 24,0 = 0,3$$

$$1,5$$

$$\frac{1,5}{5} = 0,3$$

$$E: 23,7 (\pm 0,3) \text{ g/div.}$$

Descripción de la balanza. Ventajas y desventajas de la misma.

- Generalidades

La balanza magnética Askania consiste en una caja redonda que encierra el mecanismo de apoyo de los sistemas de imanes.

Dicho sistema se apoya con una cuchilla de cuarzo, sobre dos prismas del mismo material y tiene un mecanismo, accionado por una palanca, que sirve para liberar el sistema de imanes, colocándolo sobre sus soportes o separándolo de los mismos y sujetándolo fuertemente durante el transporte de una estación a otra.

El sistema de imanes consta de dos láminas paralelas imantadas.

La balanza usada en la comisión de Colipilli fué una balanza marca Askania (tipo Schmidt) que ofrece la particularidad de permitir la medición de las dos componentes del campo magnético, utilizando al sistema de imanes adecuado.

El sistema de imanes que sirve para medir la componente H (horizontal) va montado en forma vertical y el que sirve para medir la componente Z (vertical) ya montado en forma horizontal. La denominación de los sistemas de imanes depende de su forma de actuar y no del montaje.

- Sistemas magnéticos

La cruz de la balanza Z de aproximadamente unos 10 cm se compone de dos agujas imantadas de forma romboidal alargada, paralelas, con la misma orientación y sensiblemente horizontales en posición de medida, fijadas a un cuerpo central, liviano, de invar, el cual reposa por medio de una cuchilla de cuarzo sobre dos semicilindros del mismo material, de la misma manera que



568

la cruz de la balanza de precisión usada en los laboratorios. Como en dichas balanzas, la cruz sólo se libera muy delicadamente, en el momento de realizar la medida, para evitar el deterioro de las cuchillas. El cuerpo del sistema de imanes está munido de dos piezas fileteadas horizontales, sobre las cuales se pueden atornillar dos contrapesos (1 y 2). Una de las piezas fileteadas es de aluminio y la otra de metal invar. La compensación de temperatura es automática para una latitud magnética dada. Al subir la temperatura el imán pierde parte de su momento, la intensidad vertical aparente aumenta y por lo tanto el polo norte del sistema de imanes, tiende a girar hacia arriba. Al mismo tiempo la barra de compensación, que siempre está en el lado norte del armazón, se dilata y el par de torsión gravimétrico tiende a hacer girar hacia abajo el polo norte.

La sensibilidad se regula por medio de un peso colocado en la parte inferior del armazón central del sistema de imanes.

La parte superior del mismo, lleva un espejo que refleja un rayo luminoso sobre la escala. Esta escala se lee por medio de un pequeño anteojo colocado en la parte superior de la balanza.

La escala tiene una graduación de sesenta divisiones, pero se puede ampliar en otras sesenta utilizando los trazos marcados + y - de que está provista la escala y que están separados por espacios de treinta divisiones.

La balanza magnética Askania, está compuesta de las siguientes partes:

1º) Trípode: Construido en madera y duraluminio, para darle ligereza, lleva en su parte superior una base o cabeza de bronce, móvil alrededor de su eje vertical, de manera que se la pueda orientar con ayuda de una brújula adaptable a la misma, dicha brújula está provista de un saliente que facilita su colocación en la posición correcta.

La cabeza del trípode está provista de un nivel esférico para poder nivelarla por medio de los tres tornillos calantes y poder así orientarla con la brújula ya citada. Una vez que la base está orientada con respecto al norte magnético se bloquea su rotación por medio de un tornillo adecuado. Se retira y se aleja la brújula de orientación y se coloca en su lugar la balanza propiamente dicha, cuya base está provista, también de tres salientes para facilitar su correcta colocación.



Una vez colocada sobre la cabeza del trípode y asegurada a la misma por un mecanismo adecuado, la balanza puede girar libremente alrededor de su eje vertical y en relación con su propia base que se encuentra sujeta a la cabeza del trípode, ya bloqueada como se ha dicho anteriormente.

En la parte inferior de la base del trípode hay un tubo de latón móvil en el sentido vertical, al cual se pueden adaptar, en posición horizontal o vertical, los diversos imanes compensadores que acompañan a cada balanza, dicho tubo está provisto de una escala graduada en mm.

2º) Balanza: Dos topes situados en la base de la balanza limitan la rotación de la misma a 180° exactamente. La construcción es tal que la cruz de la balanza o sistema de imanes se coloca perpendicularmente al meridiano magnético cuando la balanza está apoyada contra uno u otro de los topes, el polo Norte del sistema se encuentra así, orientado hacia el E o el W magnéticos.

Esta orientación de la balanza, que supone a su vez la colocación de las aristas de las cuchillas en el meridiano magnético, es indispensable para que la cupla magnética que actúa sobre el sistema de imanes, sólo dependa de Z y no de H, cualquiera que sea el ángulo de rotación alrededor de la cuchilla.

La balanza propiamente dicha está cubierta por una caja metálica provista de una cubierta interior aislante (corcho). Posee además un termómetro de mercurio (dividido en dos partes debido al tamaño de la balanza) graduado en grados centígrados (las divisiones son cada dos grados, pudiendo apreciarse hasta 0,5 de grado), que permite conocer la temperatura interna del aparato y realizar la correspondiente corrección térmica si la compensación no es perfecta.

Para que la arista de la cuchilla, cuando la balanza se encuentra en posición de medida, esté horizontal, es necesario asegurar la verticalidad del eje de rotación, lo que se logra actuando sobre los tornillos calantes de la cabeza del trípode, una vez que se ha sujetado la balanza a la misma.

Esta nivelación debe ser efectuada con el máximo cuidado y a la manera que se nivela un teodolito. Para ello la balanza va provista de dos niveles tóricos perpendiculares entre si y de los tornillos calantes ya citados y que



van en la cabeza del trípode. Una vez hecha la nivelación, se empuja la balanza a fondo con mucha suavidad contra uno de los dos topes; se libera la cruz o sistema de imanes con mayor suavidad aún y, en estas condiciones, la balanza se encuentra en posición de medida.

- Trabajo topográfico necesario para la prospección

Para realizar un trabajo de magnetometría es necesario establecer anticipadamente una base topográfica para el mismo.

En el caso de la prospección de los indicios de hierro de Colipilli (C° Negro Este) se estableció una red de 460 m de largo por 480 m de ancho, <sup>con</sup> estacas numeradas y separadas por 40 m. Las estaciones se hicieron cada 20 m, tanto en los perfiles como entre los mismos y estas distancias se midieron con ayuda de una cuerda (elemento práctico y necesario debido a la ausencia de propiedades magnéticas que pudieran interferir en las mediciones).

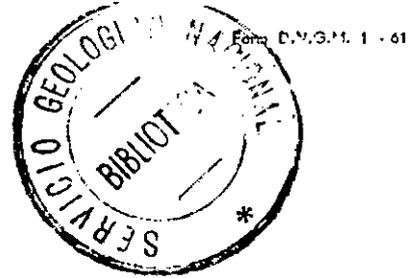
El trabajo topográfico debe tener cierta precisión pero ésta no debe ser excesiva, estando ligada con la sensibilidad del aparato, las características del yacimiento y la escala de los planos.

Excepto para el trabajo topográfico de Pichi Huenul (donde se utilizó una brújula), en C° Negro Este, C° Negro Oeste, Santa Laura y Adriana, se usó un teodolito y las distancias se tomaron taquimétricamente. Se hizo también la altimetría y un plano geológico, con las observaciones hechas en cada estación y que constan en la libreta de campo. Esto se hizo con la finalidad de establecer una correlación entre la geología y las mediciones magnéticas.

En C° Negro Oeste se hicieron dos reticulados: uno de 40 x 90 m, con estacas niveladas cada 20 estaciones cada 10 metros. Se hicieron además dos perfiles de 350 m cada uno, con estaciones cada 10 m.

En Pichi Huenul se hicieron 6 perfiles en un reticulado de 50 por 80 m, con estaciones cada 10.

En Santa Laura se hicieron tres perfiles de 600 m,



con estacaâ cada 40 y estaciones cada 20 metros.

- Establecimiento de la base para el control del aparato.

Los magnetómetros son aparatos poco fieles, por ello es necesario controlar su funcionamiento en forma casi constante. Esto se logra estableciendo una base en un punto cercano a la zona de trabajo o que puede ser una de las estaciones del reticulado que se va a cubrir. Al comienzo y al final de cada medio día de trabajo se realiza una medida en dicha base. Estas medidas inicial y final no deben diferir en más de 50 gammas; en caso contrario se debe repetir el trabajo realizado en esa media jornada.

Con las medidas realizadas en la base se puede trazar una curva que da una idea del comportamiento del aparato (derivadas, modificaciones mecánicas, etc.). Las lecturas en la base deben hacerse con tanto o más cuidado que en las otras estaciones. La altura del aparato debe ser siempre la misma, así como la orientación del trípode (un pié de dicho trípode-siempre el mismo- debe estar orientado hacia el norte en cada estación).

La diferencia entre las dos lecturas de la base (lecturas hechas en cada media jornada) se distribuye a prorrata del tiempo, entre todas las estaciones realizadas en dicha media jornada.

Estas diferencias de lectura son debidas: por una parte a la variación diurna del campo magnético y por la otra a la "deriva" del aparato, deriva provocada por los cambios mecánicos que experimenta el mismo durante el trabajo.

También debe realizarse, si ello es necesario, una corrección por aumento o disminución de la temperatura. Para ello, durante un día completo se hacen medidas cada 30 ó 60 minutos, en un mismo punto; con esas medidas se traza la curva de variación de la temperatura con la hora y de variación de las lecturas o medidas con la hora. Se multiplica cada lectura por la sensibilidad del aparato y finalmente se hace el promedio de todos los productos. De esa manera se llega a conocer el número de gammas en que varía cada lectura por cada grado de aumento de la temperatura.



Tabla de los valores de las medidas efectuadas con el magnetómetro en la mina "San Sebastian", Sañogasta (dpto. Chilecito), La Rioja:

Medidas	Hora	Temperatura	lectura Este	lectura Oeste	Imán	Promedio
1	12,30	10	36.4	37,2	+ 30	66,8
2	13.00	15	36.9	37.7	"	67.3
3	13,30	18	37.2	38.2	"	67.7
4	14.00	20	37.4	38.7	"	68.05
5	14.30	20	37.0	38.9	"	67.95
6	15.00	21	38.1	38.4	"	68.25
7	15.30	21	38.3	38.4	"	68.35
8	16.00	22	38.4	38.6	"	68.5
9	16.30	22	38.7	38.8	"	68.75
10	17.00	22	38.9	39.1	"	69,0
11	17.30	20	38.7	39.1	"	68.9
12	18.00	18	38.6	38.9	"	68.75

C A L C U L O S

	t°	LE	LW	LM	LE x e	LW x e	LM x e	gammas/t°
1	0:10	0:67,2	0:66,8	66.8	0	0	0	
2	5	0,5	0,5	0,5	13.7	13.7	13.7	2.74
3	8	0.8	1.0	0.9	23.92	27.4	24.66	3.06
4	10	1.0	1.50	1.25	27.4	41.1	34.25	3.4 3.08
5	10	0.6	1.7	1.15	16.44	46.58	31.51	3.15
6	11	1.7	1.2	1.45	46.58	32.88	39.73	3.64
7	11	1.9	1.2	1.55	52,06	32.88	42.47	3.86 3.73
8	12	2.0	1.4	1.7	54,8	38.36	46.58	3.88
9	12	2.3	1.6	1.55	63,02	43.84	42.5	3.56
10	12	2.7	1.9	2.2	74,0	52.06	60.28	5.00
11	10	2.3	1.9	2.1	63,02	52.06	57.54	5.75 5.80
12	8	2.2	1.7	1.95	60.28	46.58	53.43	6.65

44.69/11 = 4.0



- t° : Temperatura
- LM : Promedio
- LE : diferencia entre la primera lectura y las subsiguientes al Este.
- LW : Pdem al Oeste
- e : sensibilidad (27,4 gammas) (div.)

Esto quiere decir que las lecturas varían cuatro gammas por cada grado de aumento o disminución de la temperatura. O que cada grado de aumento o disminución de la temperatura hace que la correspondiente medición varíe en más o menos cuatro gammas.

En general, esta corrección, se hace por medio de las tablas que, al efecto y a pedido, provee cada fabricante.

#### - Cálculo de la libreta de campo

A los efectos del cálculo de la libreta se comienza multiplicando las divisiones que corresponden a cada lectura (en realidad al promedio de las dos lecturas E y O), por la sensibilidad del aparato, previamente establecida calibrándolo con la bobina de Helmholtz. Se obtienen así las gammas correspondientes a cada una de ellas.

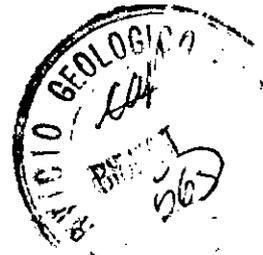
Se establece la diferencia entre las dos lecturas efectuadas en la base al comenzar y al finalizar cada media jornada de trabajo. Esa diferencia (en gammas) se distribuye de acuerdo con el tiempo que se tardó en cada estación, entre todas las estaciones realizadas.

Si la lectura final es mayor que la inicial, la corrección debe restarse, sumándose en caso contrario.

Si es necesario realizar la corrección de temperatura, ésta se hace antes.

Como ejemplo transcribimos las mediciones realizadas durante media jornada del día 2 de febrero de 1962, en Colipilli (C° N.E.).

Colipilli (Cerro Negro), Perfil F, 2-2-62; E = 23,4



Estación	H	t°	LE	LO	n	Z1	C1	C2	C3	C4	Z2
Fo (base)	10,45	16	63,0	62,8	62,9	1472	-0				1472
F1,8	10,54	18	60,0	59,8	59,9	1402	1				1401
F 4	10,59	19	57,3	57,1	57,2	1338	2				1336
F 6	11,04	19	55,3	55,3	55,3	1294	2				1292
F 8	11,09	20	53,8	53,5	53,7	1257	3				1254
F 10	11,14	22	51,7	51,3	51,5	1205	3				1202
F 12	11,20	23	46,7	46,4	46,55	1089	4				1085
F 13,9	11,28	23	48,8	49,1	48,95	1146	5				1141
F 16	11,34	24	47,6	48,1	47,85	1120	6				1114
F 17,7	11,39	25	47,1	47,3	47,2	1105	6				1099
F 20	11,44	25	47,0	47,4	47,2	1105	7				1098
F 22	11,49	26	47,4	47,4	47,4	1109	8				1101
F 24	11,54	26	46,7	46,8	46,75	1094	9				1085
F 26	12,01	26	50,1	49,9	50,0	1170	9				1161
F 28	12,09	27	49,4	49,5	49,45	1157	10				1147
F 29	12,17	27	51,0	50,7	50,85	1190	11				1179
Fo (base)	12,26	27	63,5	63,3	63,4	1484	-12				1472

Fo base

F 1,8 y siguientes estaciones de medida numeradas en decámetros

H hora de la medición

T° temperatura en el magnetómetro

LE lectura al Este

LO lectura al Oeste

n promedio de las dos lecturas

Z1 producto del promedio de las lecturas por la sensibilidad del aparato (en gammas).

C1 corrección por variación diurna (positiva o negativa)

C2 corrección por diferencia de lecturas en la base

C3 corrección por temperatura

C4 corrección geográfica

Z2 valores en gammas, una vez hechas todas las correcciones

Zo cero regional

Z diferencia absoluta entre el cero regional en los valores en gammas de cada lectura.

---

CO	Z	Observaciones
----	---	---------------

---

andesita

"

"

"

"

"

"

"

andesita y calc.

calcita

calcita

"

"

"

Aflor. Fe

---



- Efecto de los imanes auxiliares para medir las anomalías

Sucede a veces que, si las anomalías son demasiado grandes, no se pueden realizar las lecturas pues la escala sale del campo de visión del operador. En este caso, se vuelve la misma a su posición con la ayuda de los imanes de que está provisto el aparato.

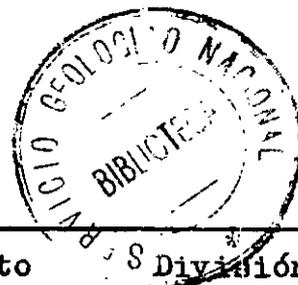
Teóricamente, basta con conocer el momento magnético de dichos imanes y hacerlo intervenir en los cálculos cuando se trabaja con ellos, pero en la práctica, es necesario saber cuantas divisiones se corre la escala para el iman en una posición (o altura) dada.

Para ello primero se hace una lectura sin imán y despues otra con él; la diferencia de lecturas indica cuantas divisiones se ha corrido la escala y cual es el efecto del iman cuando se lo coloca en esa posición (anteriormente ya hemos hablado de la forma en que los mismos se sujetan en la parte inferior de la cabeza del trípode). Este efecto del imán debe ser tenido en cuenta al realizar los cálculos de la libreta.

Cuando la anomalía es demasiado grande, será necesario "aproximarse" a ella o abordarla realizando estaciones intermedias (a veces es necesario hacer estaciones cada 50 cm) y trabajando con los distintos imanes.

Efecto de los imanes en el trabajo de la manifestación "Santa Laura" -zona de Colipilli- pcia. de Neuquén.

Estación	Lectura	Iman Nº Posición	Efecto	División
A	48,0	-----	---	48,0
	5,1	II 361,5 mm	42,9	48,0
A1	24,6	II 361,5 mm	42,9	67,5
A2	72,9	II 361,5 mm	42,9	115,8
	10,6	II 265,0 mm	105,2	115,8
	6,2	II 265,0 mm	105,2	111,4
	6,2	III 338,2 mm	105,2	111,4



Estación	Lectura	Iman Nº Posición	Efecto	División
A3	73,9	III 338,2 mm	105,2	179,1
	- 30,0	III 267,8 mm	209,1	179,1
	- 29,6	III 267,8 mm	209,1	179,5
	- 29,5	IV 336,9 mm	209,1	179,6
A4	36,9	IV 336,9 mm	209,1	246,0
	- 30,9	IV 306,2 mm	276,9	246,0
A5	7,0	IV 306,2 mm	276,9	283,9
	- 29,9	IV 293,5 mm	313,8	283,9
A6	69,2	IV 293,5 mm	313,8	383,0
	- 30,0	IV 267,2 mm	413,0	283,0
B	62,9	IV 267,2 mm	413,0	475,9

sensibilidad del aparato 23,4 gammas/división

#### - Las curvas isogámicas y su trazado

Curvas isogámicas son las que unen los puntos de igual número de gammas.

Para su trazado es necesario poseer un plano con la red de estaciones realizadas. Se anota en cada punto su valor en gammas y por medio de curvas se unen los puntos de igual valor.

Antes de ello, se debe tomar un valor determinado para el cero regional. Este valor puede ser elegido de acuerdo con la experiencia o se lo puede decir trazando la curva de Gauss o de frecuencias y tomando como cero el valor que más frecuentemente se presentó.

La equidistancia de las curvas sigue una progresión aritmética o geométrica y se establece de acuerdo con los valores de los puntos, dependiendo de estos últimos y de la escala del plano.



- Cuidados y mantenimiento al aparato

Los magnetómetros deben ser calibrados al comenzar y finalizar cualquier trabajo.

Cuando se noten variaciones en su comportamiento, con respecto a la temperatura, se lo debe controlar de la forma indicada anteriormente.

Antes y después del trabajo se lo debe limpiar cuidadosamente, manteniendo su interior completamente libre de polvo y tierra.

Todas sus piezas deben estar perfectamente ajustadas y se debe poner especial cuidado en los tornillos que sujetan la base del trípode, pues cualquier movimiento de éstos dará lugar a una defectuosa orientación del aparato.

Para el transporte del aparato, los sistemas magnéticos debe sacarse del mismo y guardarse en su correspondiente estuche, evitando en todo momento golpes y suciedades.

En caso de lluvia, es preferible suspender el trabajo y resguardar perfectamente el magnetómetro, pues su secado es un proceso muy laborioso y supone la pérdida de varios días de trabajo.

- Indicios estudiados

Los distintos indicios estudiados carecen, a juicio del Ing<sup>o</sup> Fernand Munck, de interés económico. Con la malla citada (40 x 40) no se registraron anomalías apreciables, pues se observó que los indicios de Fe aflorantes están oxidados, razón por la cual la magnetita que pudiera haber existido ya ha desaparecido en dicho proceso.

Las andesitas registran medidas promedio de 1400 gammas. Los calcáreos 1100 gammas.

En Santa Laura se registró una anomalía de 11100 gammas, con inversión de polaridad en el espacio de uno o dos metros, debida, según se supone, a la caída de un rayo en esa zona.



El yacimiento de hierro en sí no produjo anomalías.

Es de hacer notar que un yacimiento de hierro, interesante desde el punto de vista económico, debe dar anomalías con una cuadrícula de estaciones cada 50 metros.

R. CALVELO RIOS

Perito Minero

O. MASTANDREA

Geólogo

MK





BIBLIOGRAFIA

- (1) La Prospección Geofísica - Louis Caignard - Presses Universitaires de France.
- (2) Introducción a la Prospección Geofísica - Dobrin - Omega
- (3) A Background for the Application of Geomagnetism - Noel H. Stearn, St. Louis, Mo. - August 1928 - A.I.M.E. - 1929

Introducción a la Geofísica - Howell - Omega

Exploration Geophysics - J.J. Jakosky - 2a. Edición - 1960

Certain Aspects of Magnetic Surveying - L.B. Slichter - Madison, Wisconsin 1928 - A.I.M.E. 1929

Theory of Adolf Schmidt's Horizontal Field Balance - C.A. Heiland, 1928 - A.I.M.E. 1929.

----- . -----