

ANALISIS DE MODELOS QUE DESCRIBEN EL CAMPO
MAGNETICO TERRESTRE HASTA 1955

por

A. Chargoy y M.G. de Alvarez

RESUMEN

This paper is concerned with the study of the secular variation of the geomagnetic field. Two models of the geomagnetic field, one of a central dipole and quadrupole and the other of an eccentric dipole and quadrupole, are discussed. The importance of the quadrupole terms for the description of the secular variation of the geomagnetic field is shown.

A detailed summary follows.

An analysis of the potential equation of Gauss, see equation (1), is performed in order to study the quadrupole which best describes the secular variation of the geomagnetic field.

The study can be conveniently divided into three parts:

a) The moment of the dipole and its axis remain invariant under a translation of the point of residence (see Table II). The change of the dipole's residence affects only the higher-order terms. Table I gives the coefficients of equation (1). The dipole is given by the first terms of the potential equation of Gauss.

b) A model consisting of a dipole and quadrupole both, residing in the earth's geographic center O , is studied.

The moment m_2 and the direction cosines of the quadrupole axes OH_1, OH_2 , were found using equations (9). Table IV gives the moment m_2 and the angle V between the axes. Table III shows the directions of the quadrupole axes, for different epochs, given in a spherical system of coordinates. Figure IV represents the intersections of the directions of the quadrupole with the earth's surface.

c) A model consisting of an eccentric dipole and quadrupole, both residing in the geomagnetic center C , defined by Schmidt, is studied.

Equation (15) represents the residue of the potential when the eccentric dipole term is subtracted from equation (1). C was defined by making the residue minimum. As a consequence of this condition, the axes of the dipole and quadrupole in this model are mutually orthogonal.

Equations (11) and (12), given by Schmidt, were used to compute the coordinates (x', y', z') of center C , in Km. in the geographic system of reference (see Table V).

The study of the points of residence of the geomagnetic center C , for different epochs, shows that these points lie approximately within a plane. A plane parallel to this one, passing through the geographic center O , was determined.

This parallel plane is the $\bar{x} \circ \bar{y}$ of a new appropriate system of reference, residing at the geographic center O , and obtained by rotating the geographic coordinate system. Equation (13) represents the plane of the appro-

ximate positions of center C , given in the geographic system of reference. Equation (14) gives the transformation from the geographic system into the new one.

Table VII contains the direction cosines and the moment of the quadrupole, determined using equations (9).

Table VIII and Figure VI give the points of intersections of the quadrupole axes with the earth's surface*.

Models b and c are equally valid for the representation of the dipole and quadrupole elements in equation (1). The real geomagnetic field is best described by the model which has the smallest residue of the octupole.

The interest of the analysis of the quadrupole is emphasized by the migration of its axes, as can be seen in the respective figures, and may be of importance, both in the study of secular variation of the geomagnetic field and in the study of the earth's interior.

INTRODUCCION

En el volumen I de los Anales del Instituto de Geofísica de la UNAM¹, se hizo un análisis para obtener el movimiento del campo magnético con datos publicados hasta 1945. Habiéndose obtenido nuevos datos para 1955², se trata de presentar en este trabajo un nuevo análisis, haciendo ver que se confirman los movimientos allí presentados. En aquél trabajo, no se publicó el movimiento del dipolo y se cree que es conveniente que al presentar el movimiento del cuadrupolo, dado por los términos de segundo orden, se haga también el análisis del dipolo, por ser el elemento de más peso en el campo magnético terrestre.

Para no hacer cansada la exposición, se presentarán los modelos:

a) un dipolo residiendo en 0 centro geográfico.

* These points of intersection contain a small error, as for convenience of computations the axes were considered to reside at point 0.

- b) un dipolo y un cuadrupolo centrales, siguiendo los trabajos de Umow³.
 c) un dipolo excéntrico según las definiciones de Schmidt⁴ residiendo en el Centro Geomagnético C y un cuadrupolo residiendo también en C.

Se usará la ecuación del potencial dada por Gauss⁵. El sistema de coordenadas es el terrestre, siendo el plano xoy el ecuador geográfico, y el plano xoz el que contiene al meridiano de Greenwich. Se supone que la superficie de la tierra es esférica y mientras no se especifique otra cosa se considerará el radio a igual a uno. Como es usual, las coordenadas esféricas de un punto P sobre esta superficie son $P(\theta, \lambda)$. Las funciones de Legendre se expresarán simplemente por P_j^i . Se trabajará solamente el campo aproximado hasta los términos de segundo orden con respecto a P_j^i , es decir, hasta P_2^2 . De esta manera la ecuación del potencial magnético terrestre queda:

$$V = a \left\{ g_1^0 P_1^0 + (g_1^1 \cos \lambda + h_1^1 \operatorname{sen} \lambda) P_1^1 + g_2^0 P_2^0 + (g_2^1 \cos \lambda + h_2^1 \operatorname{sen} \lambda) P_2^1 + (g_2^2 \cos 2\lambda + h_2^2 \operatorname{sen} 2\lambda) P_2^2 \right\} \quad (1)$$

donde $P_1^0 = \cos \theta$ $P_1^1 = \operatorname{sen} \theta$

$$P_2^0 = (3 \cos 2\theta + 1) / 4 \quad P_2^1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{sen} 2\theta$$

$$P_2^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{sen}^2 \theta$$

Los coeficientes g_j^i, h_j^i , se tomaron de Afanasieva⁶ y para 1955 de H. F. Finch y de B.R. Leaton²

TABLA I

Autor	Epoca	g_1^0	g_1^1	h_1^1	g_2^0	g_2^1	h_2^1	g_2^2	h_2^2
Gauss	1835	-3235	-311	625	51	292	12	-2	157
Adams	1845	-3219	-278	578	9	284	-10	4	135
Fritsche	1885	-3164	-241	591	-35	286	-75	68	142
Dyson Fumer	1922	-3095	-226	592	-89	299	-124	144	84
Afanasieva	1945	-3032	-229	590	-125	288	-146	150	48
Finch-Leaton	1955	-3055	-227	590	-152	303	-190	158	24

En esta tabla y en las demás la unidad que se usa es:

1 unidad = 10^{-4} oersteds.

MODELOS

Caso a) Se considera solamente la existencia de un dipolo residuendo en el centro O del sistema de coordenadas. Sea M_1 su momento y consideremos un observador en P (véase Fig. 1). Es bien sabido que su potencial tiene la forma

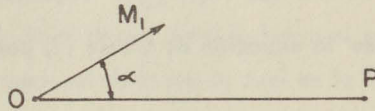


Fig. 1

$$w_1 = M_1 \cos \varphi / r^2 \quad (2)$$

Sean x_0, y_0, z_0 , los cosenos directores de M_1 y $x/r, y/r, z/r$, los cosenos directores de OP , entonces la ecuación (2) puede escribirse:

$$\begin{aligned} w_1 &= M_1 / r^2 (x_0 \cdot x/r + y_0 \cdot y/r + z_0 \cdot z/r) = \\ &= M_1 / r^3 (x_0 x + y_0 y + z_0 z) . \end{aligned} \quad (3)$$

Expresando $x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_1$, en coordenadas esféricas se tiene

$$\begin{aligned} x_i &= r \operatorname{sen} \theta_i \cos \lambda_i \\ y_i &= r \operatorname{sen} \theta_i \operatorname{sen} \lambda_i \\ z_i &= r \cos \theta_i \end{aligned} \quad (4)$$

y sustituyendo en (3),

$$w_1 = M_1/r^2 \cos \theta \cos \theta_0 + M_1/r^2 (\sin \theta_0 \cos \lambda_0 \cos \lambda + \\ + \sin \theta_0 \sin \lambda_0 \sin \lambda) \sin \theta$$

es decir,

$$w_1 = M_1/r^2 \{ \cos \theta_0 P_1^0 + (\sin \theta_0 \cos \lambda_0 \cos \lambda + \sin \theta_0 \sin \lambda_0 \sin \lambda) P_1^1 \}$$

Por otra parte en la ecuación de Gauss (1) para los primeros términos se tiene

$$v_1 = a (a/r) \{ g_1^0 P_1^0 + (g_1^1 \cos \lambda + h_1^1 \sin \lambda) P_1^1 \} .$$

Si se quiere que el potencial w_1 produzca el potencial v_1 dado por los primeros términos de Gauss, se pueden identificar término a término los coeficientes de P_1^0 y P_1^1 lo que conduce a

$$M_1 \cos \theta_0 / r^2 = a^2 g_1^0 / r$$

$$M_1 \sin \theta_0 \cos \lambda_0 / r^2 = a^2 g_1^1 / r$$

$$M_1 \sin \theta_0 \sin \lambda_0 / r^2 = a^2 h_1^1 / r$$

Suponiendo al observador situado sobre la superficie de la tierra, entonces $r = a$ quedando al despejar M_1 de las ecuaciones anteriores

$$M_1^2 = a^6 \{ (g_1^0)^2 + (g_1^1)^2 + (h_1^1)^2 \} \quad (5)$$

si $m_1 = \sqrt{(g_1^0)^2 + (g_1^1)^2 + (h_1^1)^2}$ en donde se llamará m_1 el momento reducido del dipolo, se tiene

$$M_1 = a^3 m_1$$

De las fórmulas anteriores se deducen las siguientes:

$$\cos \theta_0 = g_1^0 / m_1 \quad \tan \lambda_0 = h_1^1 / g_1^1 \quad . \quad (6)$$

Estas coordenadas (θ_0, λ_0) nos dan la intersección del eje del dipolo con la superficie de la tierra, dirigido hacia el sur, pero es costumbre dar la dirección del dipolo hacia el norte por lo cual en la Tabla II se dá la dirección hacia el norte y la longitud oeste, así como el momento reducido del dipolo para las diferentes épocas.

TABLA II

Epoca	θ_0	λ_0	m_1
1835	12° 11'	63° 33'	3309
1845	11° 16'	64° 19'	3282
1885	11° 24'	67° 49'	3228
1922	11° 35'	69° 06'	3159
1945	11° 47'	68° 47'	3097
1955	11° 42'	68° 57'	3120

Caso b) Con este modelo se pretende describir: por la parte V_1 , un dipolo igual que en el caso a) y por la parte V_2 , un cuadrípulo residiendo también en 0, siendo

$$V_2 = a \{ g_2^0 P_2^0 + (g_2^1 \cos \lambda + h_2^1 \operatorname{sen} \lambda) P_2^1 + (g_2^2 \cos 2\lambda + h_2^2 \operatorname{sen} 2\lambda) P_2^2 \} \quad (7)$$

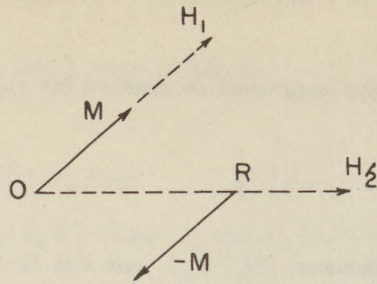


Fig. 2

La noción de cuadrupolo⁷ que se usa en este trabajo es la de considerar un sistema de dos dipolos paralelos, como se ve en la Fig. 2, de igual valor absoluto de momento M pero de sentido contrario entre sí. Se definen las direcciones de OH_1 y OH_2 como los ejes del cuadrupolo con residencia en O según la figura. Se define como momento del cuadrupolo a: $|M_2| = 2 |M| |OR|$.

En forma similar al potencial del dipolo dado (2), el potencial w_2 para el cuadrupolo residiendo en O y de ejes OH_1 y OH_2 está dado por la fórmula de C. Maxwell⁸, (según la Fig. 3)

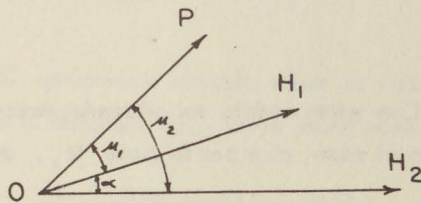


Fig. 3

$$w_2 = (3/2 \cos u_1 \cos u_2 - 1/2 \cos \alpha) M_2 / r^3 \quad . \quad (8)$$

Sean x_1, y_1, z_1 , los cosenos directores de OH_1 ; x_2, y_2, z_2 , los cosenos directores de OH_2 y como anteriormente $x/r, y/r, z/r$, los cosenos directores de OP . Se substituye en (8) $\cos u_1, \cos u_2$ y $\cos \alpha$ en función de los cosenos directores, y se transforma a coordenadas esféricas como se hizo en el dipolo. Se compara la expresión obtenida con la expresión (7), con el objeto de que W_2 produzca el efecto de los términos de V_2 . Haciendo $M_2 = m_2 a^4$ se obtienen las siguientes relaciones que deben satisfacer los coeficientes g_2^i y h_2^i

$$m_2 (z_1 z_2 - y_1 y_2) = g_2^0 + \frac{g_2^2}{\sqrt{3}}$$

$$m_2 (x_1 z_2 + x_2 z_1) = \frac{2 g_2^1}{\sqrt{3}}$$

$$m_2 (y_1 z_2 + y_2 z_1) = \frac{2 h_2^1}{\sqrt{3}}$$

$$m_2 (x_1 x_2 - y_1 y_2) = \frac{2 g_2^2}{\sqrt{3}}$$

$$m_2 (x_1 y_2 + x_2 y_1) = \frac{2 h_2^2}{\sqrt{3}}$$

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = 1, \quad i = 1, 2. \quad (9)$$

Con estas ecuaciones se obtienen los valores de los cosenos directores de OH_1 y OH_2 así como el momento reducido m_2 , con los cuales se encuentran las coordenadas que determinan las intersecciones de estas direcciones con la superficie de la tierra y las cuales están dadas en la Tabla III y pueden verse representadas en la Figura IV.

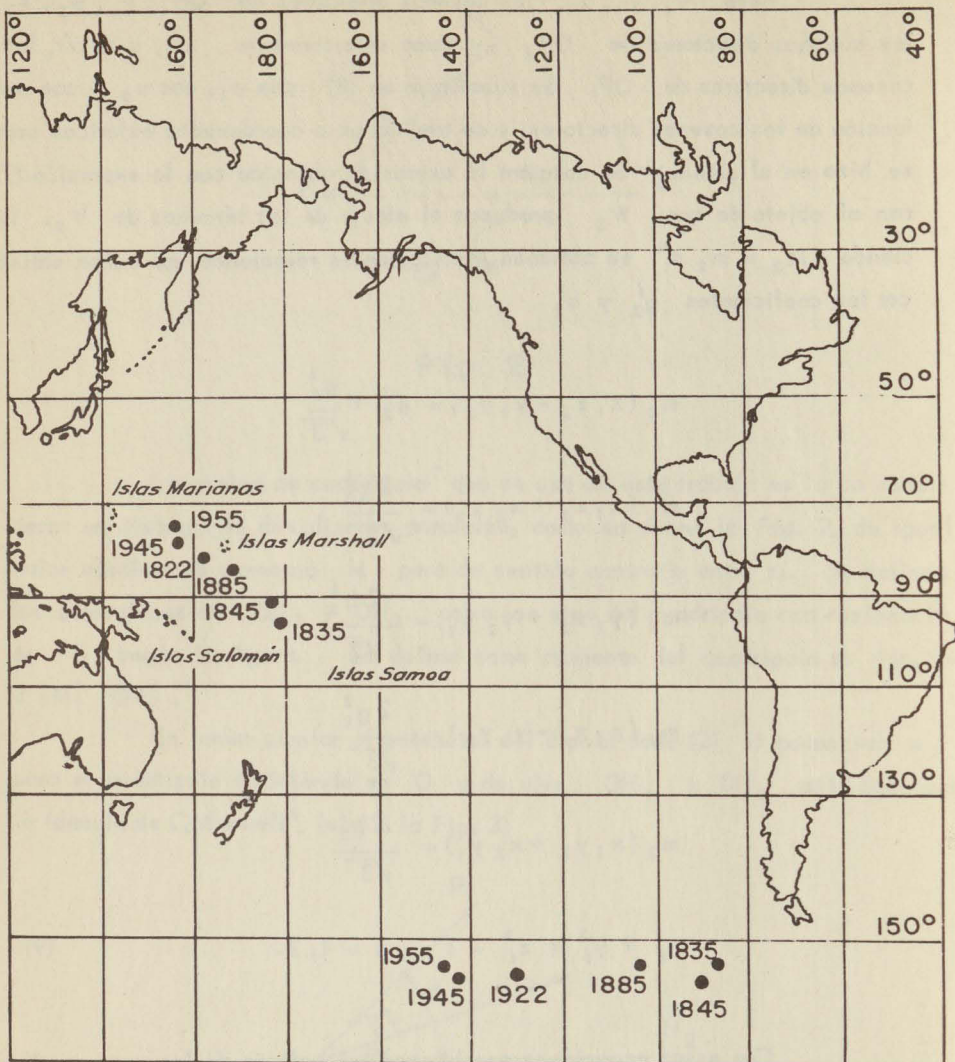


Fig.4 Intersecciones de los ejes del cuadrípolo central con la superficie de la tierra para diferentes épocas

TABLA III

Año	λ_1	θ_1	λ_2	θ_2
1835	178° 19'	97° 32'	-87° 41'	151° 50'
1845	177° 35'	90° 50'	-89° 17'	154° 53'
1885	168° 10'	84° 39'	-103° 45'	151° 58'
1922	161° 14'	82° 11'	-130° 59'	153° 19'
1945	158° 14'	78° 13'	-140° 30'	154° 59'
1955	153° 48'	75° 59'	-144° 54'	156° 55'

El ángulo V formado por los ejes OH_1 y OH_2 así como el valor m_2 varían según la Tabla IV.

TABLA IV

Año	V	m_2
1835	85° 14'	386.85
1845	90° 36'	363.46
1885	93° 48'	388.61
1922	87° 20'	432.64
1945	89° 12'	439.21
1955	92° 23'	485.04

Caso c) Consideremos un sistema de referencia ortogonal, de manera que el eje del dipolo coincida con el eje oz , con el mismo centro O , mediante una rotación del primer sistema. En este nuevo sistema el potencial V queda reducido a la forma:

$$V = \bar{g}_1^0 P_1^0 + \bar{g}_2^0 P_2^0 + (\bar{g}_2^1 \cos \lambda + \bar{h}_2^1 \operatorname{sen} \lambda) P_2^1 + (\bar{g}_2^2 \cos 2\lambda + \bar{h}_2^2 \operatorname{sen} 2\lambda) P_2^2 .$$

El término $\bar{v} = \bar{g}_1^0 P_1^0$ describe al mismo dipolo que en los casos anteriores. La parte restante del potencial describe el mismo cuadrípolo que se tenía en la ecuación (1).

Se toma una translación del dipolo en O a un punto C (x', y', z'), cercano al origen, de tal manera que en un desarrollo de Taylor se considere solamente la primera aproximación. Fig. 5

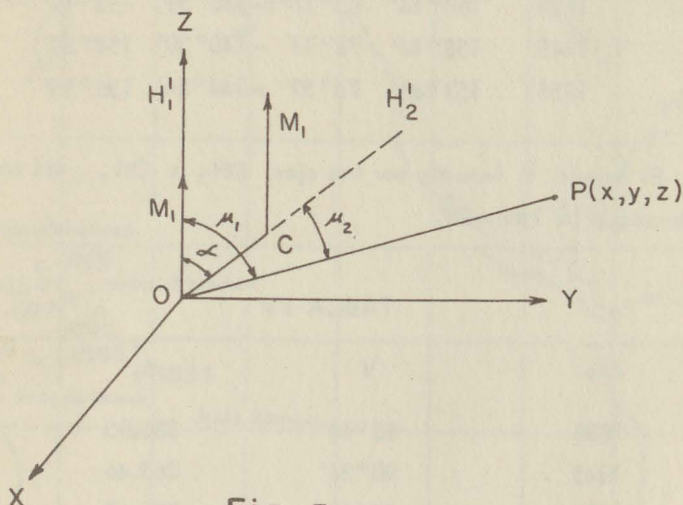


Fig. 5

El primer término del desarrollo de Taylor Δv_1 es el potencial de un cuadrípolo cuyos ejes van a ser OH'_1 y OH'_2 , con momento m'_2 .

En este cuadrípolo su potencial puede escribirse en la forma

$$\bar{w}_2 = \bar{M}_2 / r^3 (3/2 \cos u_1 \cos u_2 - 1/2 \cos \alpha) ,$$

con

$$\cos u_1 = \cos \theta$$

$$\cos u_2 = \text{sen } \theta \cos \lambda \text{ sen } \theta' \cos \lambda' + \text{sen } \theta \text{ sen } \lambda \text{ sen } \theta' \text{ sen } \lambda' + \cos \theta \cos \theta'$$

$$\cos \alpha = \cos \theta' ,$$

siendo las coordenadas esféricas de $C(\theta', \lambda')$.

Substituyendo en \bar{w}_2 y agrupando los términos convenientemente, se tiene

$$\bar{w}_2 = \bar{M}_2/r^3 \cos \theta' P_2^0 + \sqrt{3/2} \bar{M}_2/r^3 \sin \theta' (\cos \lambda \cos \lambda' + \sin \lambda \sin \lambda') P_2^1.$$

Como se ve, al suponer al dipolo residiendo en otro punto distinto al origen O , se modifica la expresión del cuadrípulo correspondiente a los términos en P_2^0 y P_2^1 , dejando invariante la parte de P_2^2 . Es conveniente entonces escoger este punto C de tal manera que se anulen los coeficientes de P_2^0 y P_2^1 quedando entonces reducida la ecuación del potencial a dos términos, uno para el dipolo y otro para el cuadrípulo

$$V = \bar{g}_1 P_1^0 + (\bar{g}_2 \cos 2\lambda + \bar{h}_2^2 \sin 2\lambda) P_2^2. \quad (10)$$

Este punto así determinado fue definido por Thomson⁹ como el centro magnético terrestre. Schmidt¹⁰ definió el centro magnético C de tal manera, que el valor medio cuadrático del potencial del cuadrípulo $v_2 - \Delta v_1$ fuera el valor mínimo posible. Pero él mismo demostró que este centro es el mismo que el definido por Thomson.

Además los ejes del nuevo cuadrípulo serán perpendiculares entre sí y perpendiculares al eje oz , puesto que si se suponen los ejes OH_1 y OH_2 contenidos en el plano xoy y perpendiculares entre sí, dan un potencial v_2 el cual queda expresado exclusivamente en función de P_2^2 . Como hay una relación biunívoca entre cada modelo y el potencial que le corresponde, el potencial de la ecuación (10) corresponderá al modelo descrito anteriormente. Este cuadrípulo está residiendo en O ; su traslado al punto C nos incrementaría los términos del octípulo, lo que no se toma en cuenta por ser del orden siguiente. Entonces se tiene un modelo de un dipolo y un cuadrípulo residiendo en C cuyos ejes forman un sistema ortogonal con el eje del dipolo, o sea un modelo

simple que describe el potencial de Gauss de la ecuación (1) totalmente hasta los términos del cuadrípulo, es decir, los primeros 8 coeficientes.

Volviendo al sistema de referencia geográfico, un traslado del origen al punto C descrito en el párrafo anterior produce un incremento Δv_1 dado por

$$\Delta v_1 = a_2^0 P_2^0 + (a_2^1 \cos \lambda + b_2^1 \operatorname{sen} \lambda) P_2^1 + \\ + (a_2^2 \cos 2\lambda + b_2^2 \operatorname{sen} 2\lambda) P_2^2$$

y cuyos coeficientes a_2^i y b_2^i han sido calculados por Schmidt¹¹.

$$\begin{aligned} a_2^0 &= 2 g_1^0 z' - g_1^1 x' - h_1^1 y' \\ a_2^1 &= (g_1^1 z' + g_1^0 x') \sqrt{3} \\ b_2^1 &= (h_1^1 z' + g_1^0 y') \sqrt{3} \\ a_2^2 &= (g_1^1 x' - h_1^1 y') \sqrt{3} \\ b_2^2 &= (h_1^1 x' + g_1^1 y') \sqrt{3} \end{aligned} \tag{11}$$

donde x', y', z' , están dadas por las expresiones;

$$\begin{aligned} x' &= a (L_1 - g_1^1 E) / 3 m_1^2 \\ y' &= a (L_2 - h_1^1 E) / 3 m_1^2 \\ z' &= a (L_0 - g_1^0 E) / 3 m_1^2 \\ L_0 &= 2 g_1^0 g_2^0 + (g_1^1 g_2^1 + h_1^1 h_2^1) \sqrt{3} \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 L_1 &= -g_1^1 g_2^0 + (g_1^0 g_2^1 + g_1^1 g_2^2 + h_1^1 h_2^2) \sqrt{3} \\
 L_2 &= -h_1^1 g_2^0 + (g_1^0 h_2^1 - h_1^1 g_2^2 + g_1^1 h_2^2) \sqrt{3} \\
 E &= (L_0 g_1^0 + L_1 g_1^1 + L_2 h_1^1) / 4 m_1^2 \quad . \quad (12)
 \end{aligned}$$

Los valores de x', y', z' , en kilómetros, tomando el radio de la tierra igual a 6368 Km., y para las diferentes épocas están dados en la

TABLA V

Año	x'	y'	z'	r
1835	- 279	- 40	- 65	289
1845	- 284	- 6	- 25	285
1885	- 297	60	12	305
1922	- 340	115	61	364
1945	- 345	150	96	388
1955	- 367	205	118	436

donde r es la distancia de C al centro O .

Buscando un plano que se aproxime a las posiciones de los puntos C para las diferentes épocas, se encuentra que éste es¹²

$$- 3.625 x - 2.722 y + 1.719 z = 1000 \quad . \quad (13)$$

Este plano es paralelo al plano $\bar{x}\bar{o}\bar{y}$, donde el sistema $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, se encuentra girando el sistema anterior de manera que las fórmulas de transformación estén dadas por

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0.428 x + 0.904 z \\ \bar{y} &= -0.507 x + 0.827 y + 0.241 z \\ \bar{z} &= -0.748 x - 0.561 y + 0.355 z\end{aligned}\tag{14}$$

De ésta manera se obtiene para C, en el nuevo sistema, las siguientes coordenadas:

TABLA VI

Año	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}
1835	- 178	92	208
1845	- 144	133	207
1885	- 121	204	193
1922	- 91	282	210
1945	- 61	322	207
1955	- 50	384	201

Tomando (\bar{x}, \bar{y}) como coordenadas y suponiendo \bar{z} como constante (aproximadamente 204) se observa el desplazamiento de C según la Fig. 6.

Usando las fórmulas (9) con los nuevos coeficientes para el desarrollo de la forma

$$\begin{aligned}V - (v_1 + \Delta v_1) &= (g_2^0 - a_2^0) P_2^0 + [(g_2^1 - a_2^1) \cos \lambda + \\ &+ (h_2^1 - b_2^1) \operatorname{sen} \lambda] P_2^1 + [(g_2^2 - a_2^2) \cos 2\lambda + (h_2^2 - b_2^2) \operatorname{sen} 2\lambda] P_2^2\end{aligned}\tag{15}$$

se obtiene los cosenos directores de los ejes del cuadrípolo trasladado al centro magnético C, los cuales están dados en la Tabla VII.

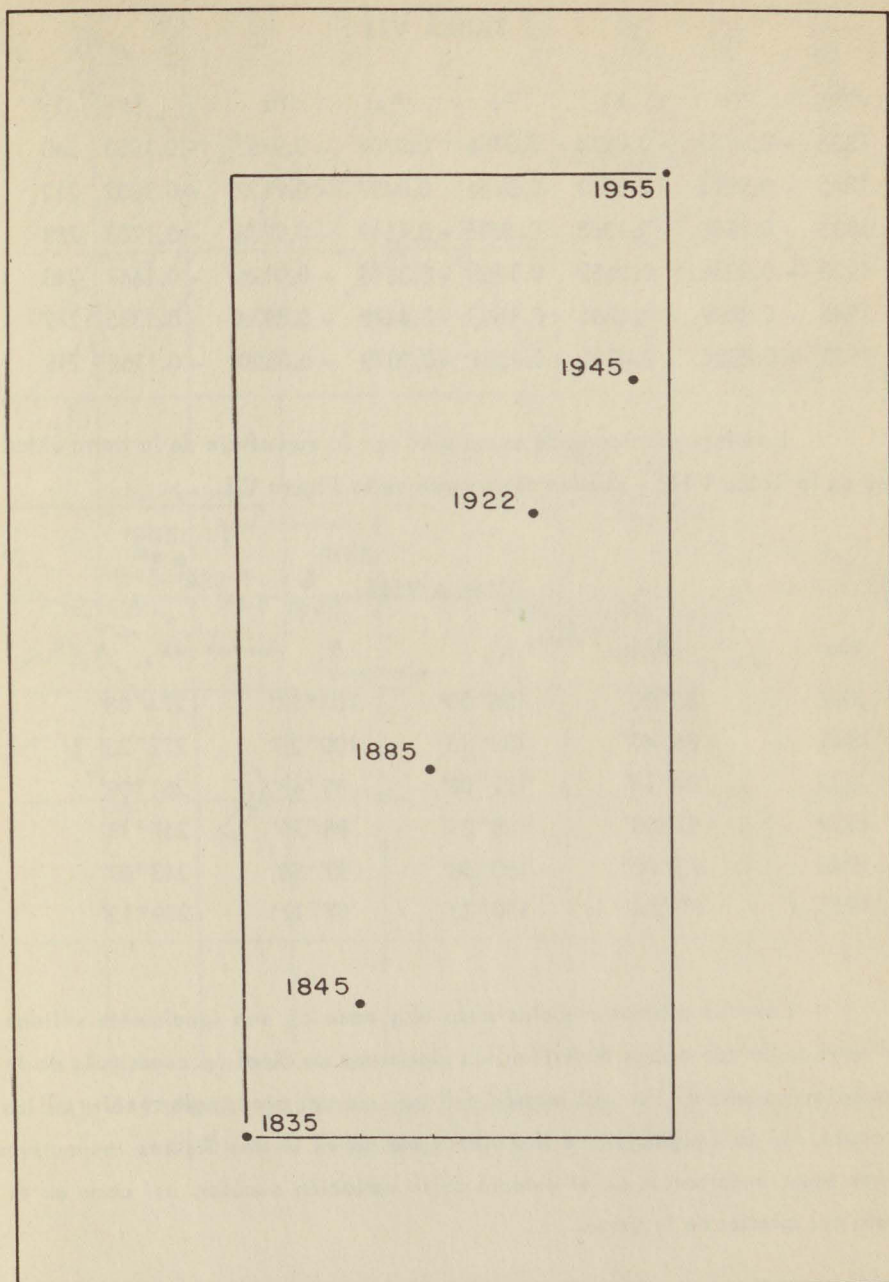


Fig. 6 Posiciones del centro magnetico C, definido por Schmidt, en el plano mas aproximado (13)

TABLA VII

Año	x_1	y_1	z_1	x_2	y_2	z_2	m_2^1
1835	- 0.9931	- 0.0874	0.0786	0.0706	- 0.9781	- 0.1958	240
1845	- 0.9955	- 0.0581	0.0756	0.0437	- 0.9827	- 0.1802	212
1885	- 0.9856	0.1363	0.1005	- 0.1519	- 0.9736	- 0.1703	238
1922	- 0.9216	0.3632	0.1368	- 0.3816	- 0.9126	- 0.1467	240
1945	- 0.8899	0.4285	0.1563	- 0.4478	- 0.8834	- 0.1385	219
1955	- 0.8584	0.4881	0.1581	- 0.5079	- 0.8520	- 0.1268	218

Las intersecciones de estos ejes con la superficie de la tierra están dados en la Tabla VIII y pueden observarse en la Figura VII.

TABLA VIII

Año	θ_1	λ_1	θ_2	λ_2
1835	85° 30'	185° 00'	101° 17'	274° 08'
1845	85° 40'	183° 15'	100° 23'	272° 33'
1885	84° 14'	172° 08'	99° 48'	261° 08'
1922	82° 08'	158° 29'	98° 26'	247° 18'
1945	81° 00'	153° 58'	97° 58'	243° 07'
1955	80° 54'	150° 23'	97° 17'	239° 12'

Los dos últimos modelos caso b) y caso c), son igualmente válidos en el sentido de que ambos describen los elementos de dipolo y cuadrípolo de la ecuación de potencial (1). El interés del análisis del cuadrípolo resalta en los dos casos con la emigración de los ejes como se vé en las figuras respectivas y puede tener importancia en el estudio de la variación secular, así como en el estudio del interior de la tierra.

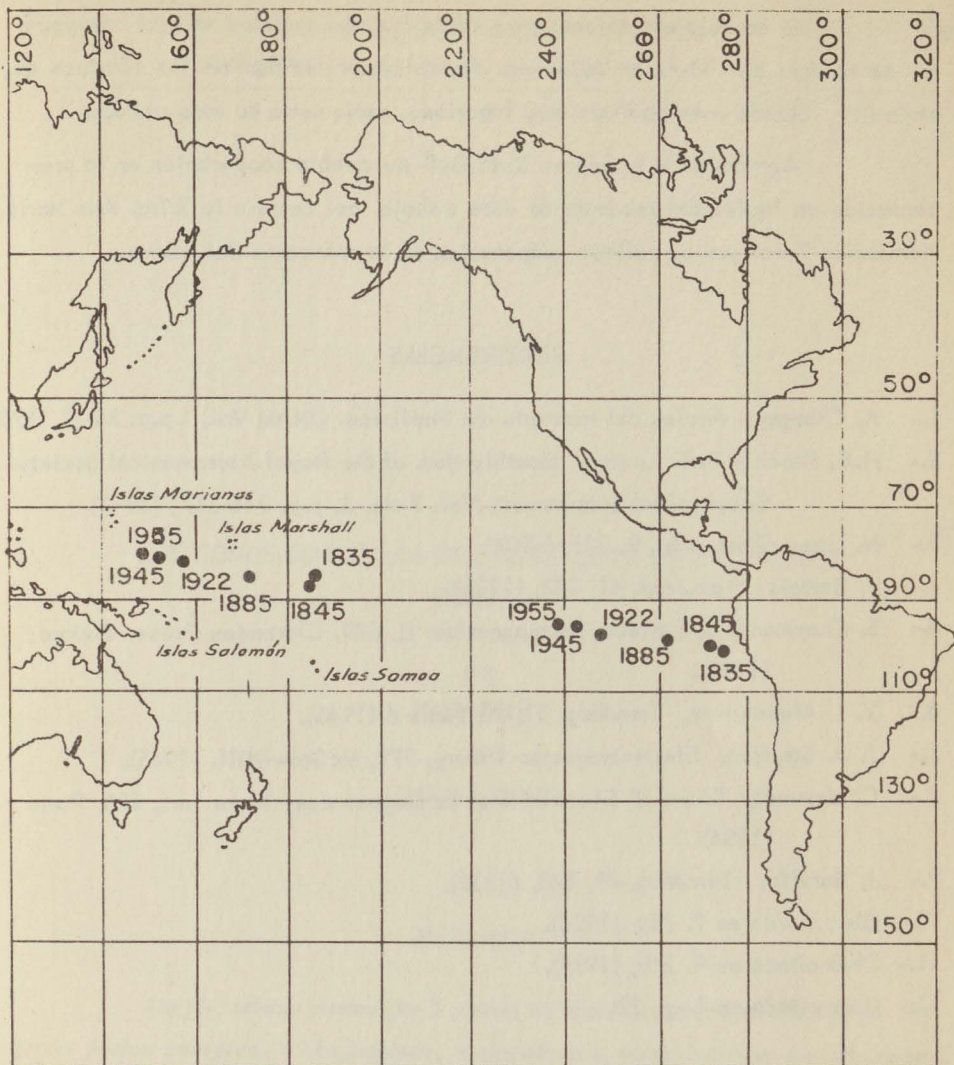


Fig. 7 Intersecciones de los ejes del cuadrípulo cuando el dipolo y el cuadrípulo residen en C .

Si se quisiera determinar cuál de los dos modelos es más conveniente, se tendría que analizar aquél que dejara menor residuo en los términos de octipolo. Siendo este análisis muy laborioso, sería tema de otro trabajo.

Agrademos a la Señora Ruth Gall su amable cooperación en la presentación en inglés del resumen de este trabajo, así como a la Srita. Ana María Hernández Terán por su valiosa cooperación en la redacción del mismo.

REFERENCIAS

- 1.- A. Chargoy. Anales del Instituto de Geofísica. UNAM Vol. I p.p. 24-37, (1955).
- 2.- H.F. Finch y B.R. Leaton. Monthly Not. of the Royal Astronomical Society. Geophysical Supplement. Vol. 7 No. 6. p.p. 314-317, (1957).
- 3.- N. Umow. Terr. Mag. 9, 105, (1904).
- 4.- J. Bartels, Terr.Mag. 41, 248, (1936).
- 5.- S. Chapman y J. Bartels, Geomagnetism II, 639, Clarendon Press. Oxford, (1940).
- 6.- V. I. Afanasieva, Terr.Mag. 51, 26 Table 6 (1946).
- 7.- J. A. Stratton. Electromagnetic Theory, 179, McGraw-Hill. (1945).
- 8.- C. Maxwell, Traité d' Electricité et de Magnetisme, Tome Ier., 226, Paris (1885).
- 9.- J. Bartels, Terr.Mag. 41, 248, (1936).
- 10.- Obra citada en 9. 248, (1936).
- 11.- Obra citada en 9. 249, (1936).
- 12.- Obra citada en 1 - p. 30.