

Historia del Campo Geomagnético de Costa Rica

J. Páez, M. Jiménez
 Grupo de Astrofísica Teórica
 Escuela de Física, Universidad de Costa Rica

G. Leandro
 Instituto Costarricense de Electricidad
 Departamento de Geofísica

Resumen: El estudio del campo geomagnético se inicia con Sir William Gilbert (1540-1603) al publicar su libro *De Magnete* (1600). Por influencia de Sir Edmund Halley se obliga al almirantazgo inglés a que hagan medidas de la declinación magnética en sus viajes. Es por eso que Sir Edward Belcher de la nave británica Sulphur la determinó el 3 de abril de 1838 en la isla del Coco, con un valor de $8^{\circ}23'49''$ Este. A finales del siglo XIX y principios de este, Henri Pittier realiza medidas de la declinación del campo magnético en el territorio de Costa Rica permitiendo publicar la primera carta isogónica correspondiente al año de 1901. No es sino hasta 1965 que Gutiérrez Braun publica una carta isogónica mas actualizada. Pero en 1978 G. Leandro y J. Páez hacen el estudio más detallado del campo magnético de Costa Rica, permitiendo la carta para 1978 y actualizada después por G. Leandro en 1984.

Encabezado de materia: declinación magnética, carta isogónica, Henri Pittier, Gutiérrez Braun, G. Leandro, J. Páez.

Abstract: The study of the geomagnetic field began with the publication of the book *De Magnete* (1600) of Sir William Gilbert (1540-1603). By influence of Sir Edmund Halley the British Marine is obligated to make measurements of the declination of the magnetic field wherever their ships go. Thus, Sir Edward Belcher measured it at the Cocos Island on board of the British ship Sulphur on 3 of april 1838, it gave a value of $8^{\circ}23'49''$ East. At the end of last century and at the beginning of this one, Henri Pittier did a sort of measurements of the magnetic declination of Costa Rica, thus allowing the publication of the first isogonic chart of Costa Rica for the year 1901. But it is not until 1965 when Gutiérrez Braun published a more actualized isogonic chart. In 1978 G. Leandro and J. Páez did the more sustained effort to get a detailed data of the magnetic field of Costa Rica, allowing the chart of 1978, actualized afterward by G. Leandro in 1984.

Subject headings: magnetic declination, isogonic chart, Henri Pittier, Gutiérrez Braun, G. Leandro, J. Páez.

1. Introducción

El estudio del campo magnético de la Tierra es una de las ramas científicas más antiguas que existen, y de la cual hay menciones hechas en el siglo XI A.C., en la China (Shon-Kua)^{(1),(2)}. Sin embargo, siempre se han dado medidas del campo magnético en forma aislada y no es sino hasta hace unos 380 años que se miden en forma sistemática. Hagamos un recuento de lo mismo de una manera rápida.

La primera mención literaria de este campo se debe al monje Alexander Neckhan (1157-1217) quien describe la brújula marina (usada en la China y traída a Europa por Marco Polo). Pero no es sino hasta los años 1450 y 1544 que en Nuerenberga se determina por primera vez la declinación e inclinación magnética terrestre⁽³⁾.

Llama la atención que el magnetismo y la electricidad se conocieron desde la antigüedad como manifestaciones aisladas y diferenciadas de dos minerales: la magnetita y la piedra de Berna. Sin embargo, el rayo como manifestación atmosférica y los peces eléctricos se relacionaron con estos fenómenos hasta mucho tiempo después. Resaltamos que a la pregunta directa que surge de lo anterior:

¿ Hay algo más fundamental detrás de estas manifestaciones aisladas de la Naturaleza ?

La respuesta se quedó sin emitirse durante muchos siglos. Ello es entendible puesto que por experiencia cotidiana el magnetismo nos conduce más a la idea de un fenómeno dipolar (dipolo: dos polos opuestos), mientras que la electricidad es una manifestación de un monopolo de "carga eléctrica" (monopolo= un solo polo); pudiéndose creer que ambas manifestaciones son originadas por fenómenos diferentes.

Las principales etapas en la unificación de ambas manifestaciones, la eléctrica y la magnética, es el descubrimiento de la polaridad magnética en 1600 por Gilbert y la diferencia entre conductores y aisladores eléctricos en 1735 por St. Gray y Ch. F. du Fay, así como el conocimiento de la conservación de la carga eléctrica en 1750 con B. Franklin y la ley de fuerza eléctrica alrededor de 1770 con Coulomb y Cavendish⁽⁴⁾. Además, podemos resaltar que el siglo XVIII es el siglo del asentamiento del cuerpo de leyes que formarán parte del capítulo de la Física denominado como Electromagnetismo.

Las manifestaciones magnéticas siempre han sido más evidentes que las eléctricas, por lo que ellas se entendieron antes que las eléctricas. Los antiguos conocieron la magnetita y la transmisión de sus propiedades magnéticas al hierro normal, si se ponían en contacto ambos materiales. Se explicaba el magnetismo como un fluido que salía de la magnetita hacia su alrededor. También los fenómenos magnéticos se usaban en juegos de tipo técnico, ejemplos conocidos son los siguientes: la leyenda nos habla de cuadros de dioses flotando en el aire, así como de barcos que descansaban adheridos a la montaña de magnetita, y más tarde, la leyenda del sarcófago de Mohammed que flotaba libremente en el aire, lo que le ayudó mucho en su reputación posterior. Otra manifestación interesante es la que surge de las propiedades magnéticas de la Tierra en relación con las orientaciones del cielo (norte y sur magnético) que parece no haber sido conocido por los Fenicios ni por los Griegos. Sin embargo, si era conocido para los chinos y los marineros italianos e ingleses del siglo XIII⁽⁴⁾.

El inicio de lo que podemos denominar la *Ciencia de los Imanes* (estudio de los fenómenos magnéticos en general) se da a finales del siglo XII. Surge esta Ciencia ya con base científica

sistemática con la publicación restringida del tratado escrito por Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus) del año 1290, sobre los imanes. Al respecto Róger Bacon hacia finales del siglo XIII, es quien enfatizó la utilización de la Ciencia profana y el valor de los experimentos y la matemática como método para entender la Naturaleza, alaba a Maricourt como un ejemplo de lo que es un investigador experimental.

Conocemos que P. de Maricourt experimentó con mineral de magnetita esférica y mostró como las agujas metálicas imantadas se orientaban en los polos y en la meridiana. El hablaba de fuerzas que salían de los polos; también consideró que los polos celestes poseían "fuerza", y por lo tanto, podían influenciar a la brújula. Adicionalmente comprobó que si una aguja magnética se dividía en varias partes, cada una de ellas formaba nuevamente un imán por sí misma. Sus escritos son poco conocidos.

Importante para el desarrollo de este campo es la publicación en el año de 1600 del libro "De Magnete" del médico inglés W. Gilbert (1540-1603). Partes de su contenido permiten considerarlo el primer libro moderno científico, aunque algunas partes del mismo aún conservan aspectos medievales. En el título se habla "Physiologia nova (del imán) plurimus et Argumenti et Experimentis demonstrata". Aún así, el libro se considera como un buen ejemplo del método experimental. J. Kepler lo alaba y, tanto Galileo como Descartes, lo respetan como manifestación científica. Con su "Terrella" (imán esférico) extiende los estudios de Maricourt. Además, Gilbert analiza a profundidad el magnetismo terrestre. La variación de lo que hoy llamamos declinación magnética (diferencia angular entre el polo magnético y el geográfico), la explica él como una distribución irregular de depósitos de hierro en la corteza terrestre y, que en el centro del océano su influencia debe ser cero; sostiene que la fuerza magnética de la Tierra causa la rotación de la misma, suponiendo que el eje de rotación de la tierra coincide con el eje magnético de la misma. Las mareas las cree producidas por la fuerza magnética de la Luna.

Ambos, P. de Maricourt y W. Gilbert son el punto máximo de la Magnética (Ciencia de los Imanes) antes de su unificación con la electricidad⁽⁴⁾.

Después de 83 años de la publicación del libro de W. Gilbert, Edmund Halley (el astrónomo) hace un viaje cruzado por el Atlántico en un esfuerzo extraordinario para elaborar una carta para la declinación magnética^{(5),(6)}. Por la gran influencia que tenía Halley en la sociedad inglesa de su tiempo, se obliga desde entonces, a que los navegantes ingleses lleven una bitácora con medidas detalladas de la declinación magnética. Newton siempre se mantuvo al margen. Con los viajes de los navegantes James Cook y de James Ross se inician dichas medidas ⁽⁷⁾.

En tiempos mas recientes se inician las aplicaciones del magnetismo en la prospección minera. Como una de la primeras aplicaciones, en 1843, von Wrede determinó variaciones del campo magnético (componente H (horizontal), ver figura 8), en yacimientos de minerales magnéticos. En Geofísica Aplicada de Prospección Magnética se encuentra el trabajo de Thalen (1879) quien la inicia con su publicación denominada *Examination of the Iron Core Deposits by Magnetic Measurements*. Tiempo después se desarrollaron trabajos aplicados a la prospección magnética en Noruega y Dinamarca (1930-1940) que permitió un gran avance en investigaciones teóricas e instrumentales, v.g., con instrumentos como el inductor terrestre de Weber (1937), la balanza de registros verticales de Lloyd (1939) y el registro fotográfico de variaciones magnéticas, por lo que se han podido hacer estudios más detallados del campo magnético terrestre. Con los últimos desarrollos en la técnica electrónica se ha logrado extender aún más los estudios del campo magnético a prospecciones generales en el campo gracias al aumento en la sensibilidad de los

aparatos magnéticos y su portabilidad para hacer medidas *in situ*. Es así como el magnetómetro de protones que mide la componente total, permite hacer medidas muy rápidas, a intervalos de 2 minutos en estaciones de prospección en el campo, y constituye el método más versátil y rápido en la prospección geofísica.

Adicionalmente, existen estaciones de observación denominados observatorios magnéticos que permiten llevar un recuento de las variaciones diarias del campo magnético terrestre y, que se encuentran diseminados por toda la superficie terrestre; hay algunas de gran tradición histórica, como la de Cape Town, que después de un siglo de observar la componente H (horizontal) del campo magnético terrestre, logró determinar un decrecimiento del 21% de la misma. Sabemos que el campo magnético de la Tierra tiene variaciones que oscilan desde los segundos y minutos hasta seculares en todas sus componentes (declinación, componente total, etc.). Por ejemplo, en Londres una brújula (compás) usada para navegación, en el año de 1580 apuntaba, Norte 11.5° Este, y en 1819 apuntó Norte 24.5° Oeste. En un lapso de 240 años tuvo una variación de 36°.

Por estudios exhaustivos del campo magnético realizados por A. Crichton y Mitchel (1932), Chapman y Bartel (1936) y por E.H. Vestine et al.(1947), analizando datos, en su mayoría de entre los años 20 a los 45 de este siglo, concluyeron que los polos magnéticos tienen una deriva aproximadamente de 0.18% por año hacia el oeste. Sus mapas de componentes de campo total y sus variaciones entre los años de 1922 y 1945 son publicados en la mayoría de los textos y folletos dedicados al campo magnético terrestre (ver figuras 1,2,3,4). En tales mapas se observa que la Antártica tiene variaciones anuales que oscilan entre 200 γ y 100 γ ; mientras que en los trópicos del Pacífico, cercano a Costa Rica, sus variaciones son del orden de 10 γ /año†.

Durante las dos últimas centurias se ha incrementado gradualmente la calidad y cantidad de las medidas del campo magnético terrestre, por el establecimiento de observatorios geomagnéticos alrededor del mundo. Actualmente se cuentan con 380 años de datos del campo magnético de la Tierra. La Era Espacial también ha afectado este campo de forma positiva sobre todo con el satélite Magsat que ha mantenido una prospección del campo magnético extraterrestre durante varios años, estos datos no serán analizados en este trabajo.

Con la finalidad de entrar en el campo de la prospección magnética terrestre se establece en Costa Rica el Observatorio Geomagnético en 1977, con ubicación primero en Ochomogo. Posteriormente es trasladado a Chiripa, Guanacaste en 1984 por las facilidades que brinda allí el Instituto Costarricense de Electricidad, tanto en la recolección de los datos, como por el mantenimiento de la estación. Otro argumento poderoso para reubicar el observatorio fue el proyecto de la electrificación del Ferrocarril al Atlántico, cuyas líneas de corriente pasarían cerca del observatorio. Diez años después dicha electrificación no ha ocurrido.

† Como unidad de campo magnético se utiliza la $\gamma \sim 10^{-5}$ Oersted

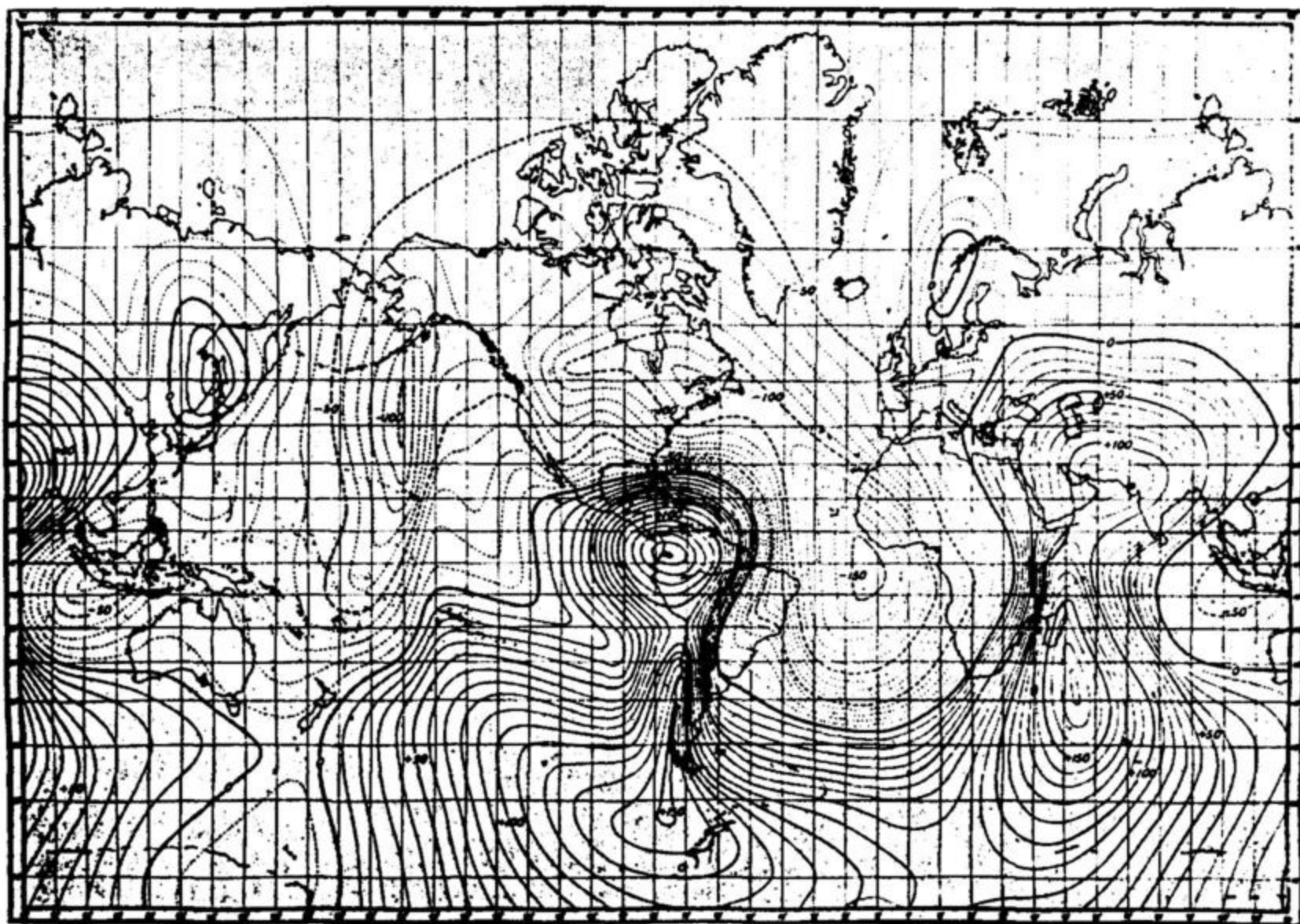


Fig.1 Cambio geomagnético secular en minutos por año, declinación, época 1912.5

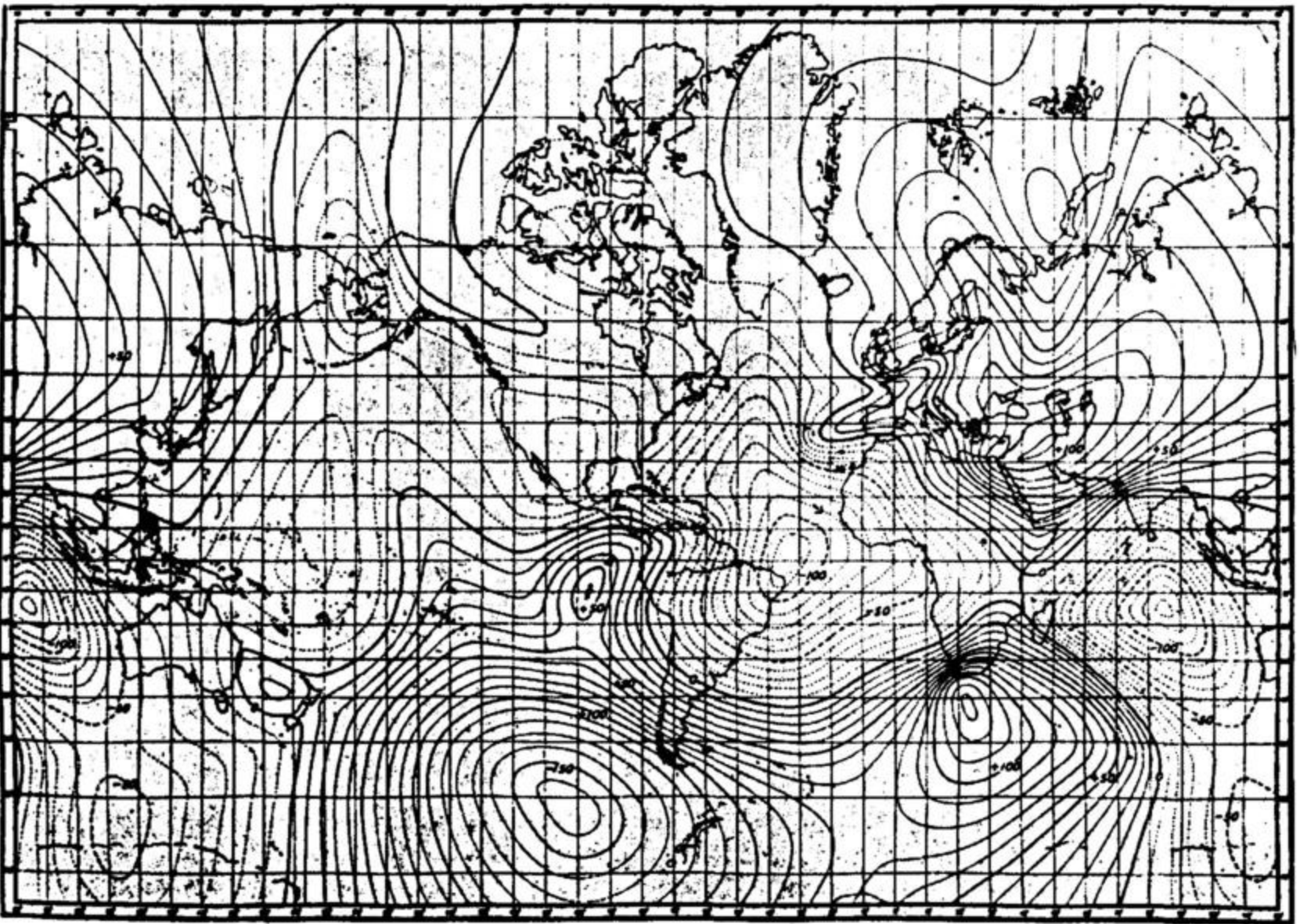


Fig.2 Cambio geomagnético secular en minutos por año, declinación, época 1942.5

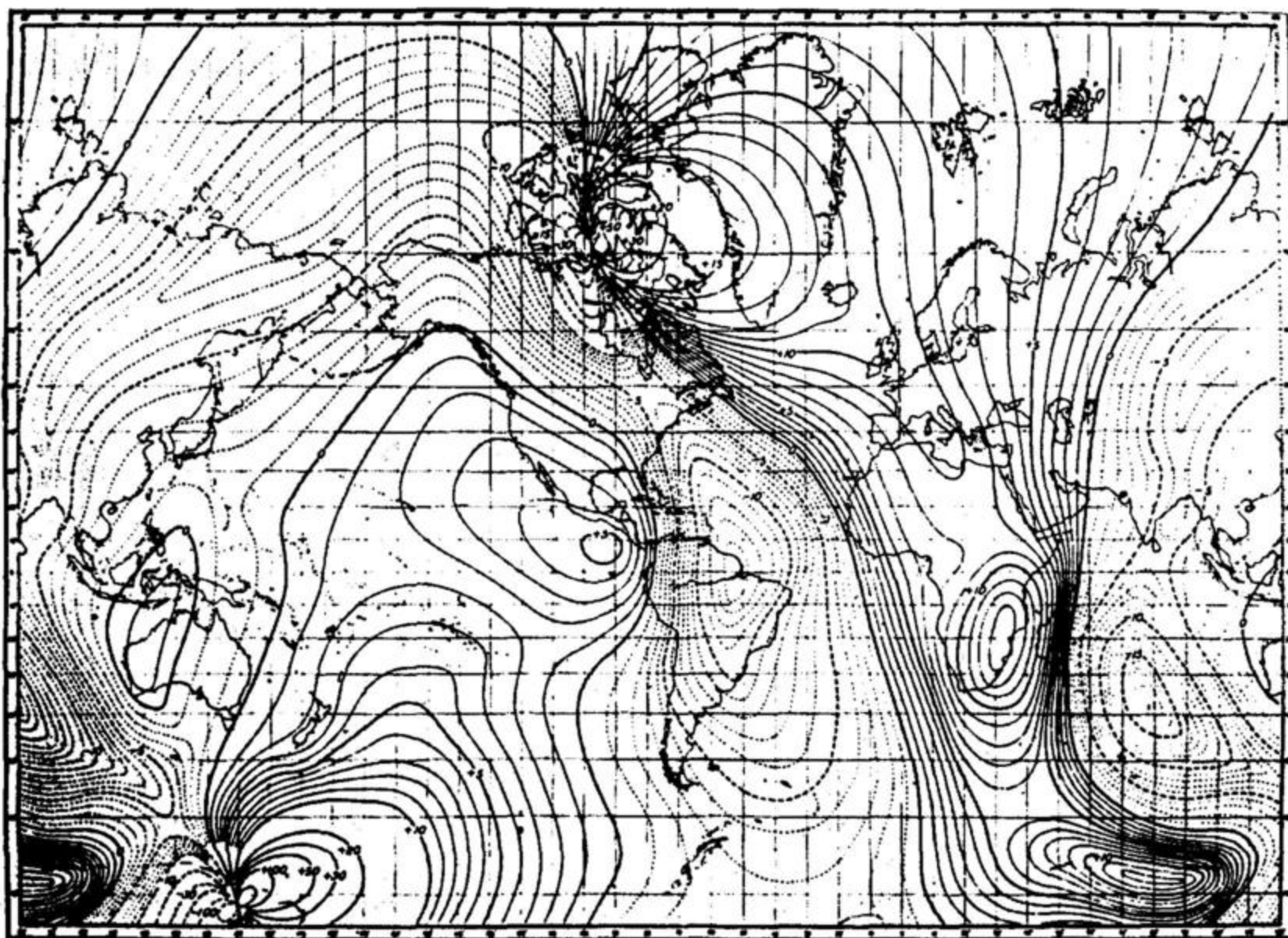


Fig.3 Cambio geomagnético secular en gammas por año, intensidad vertical, época 1912.5

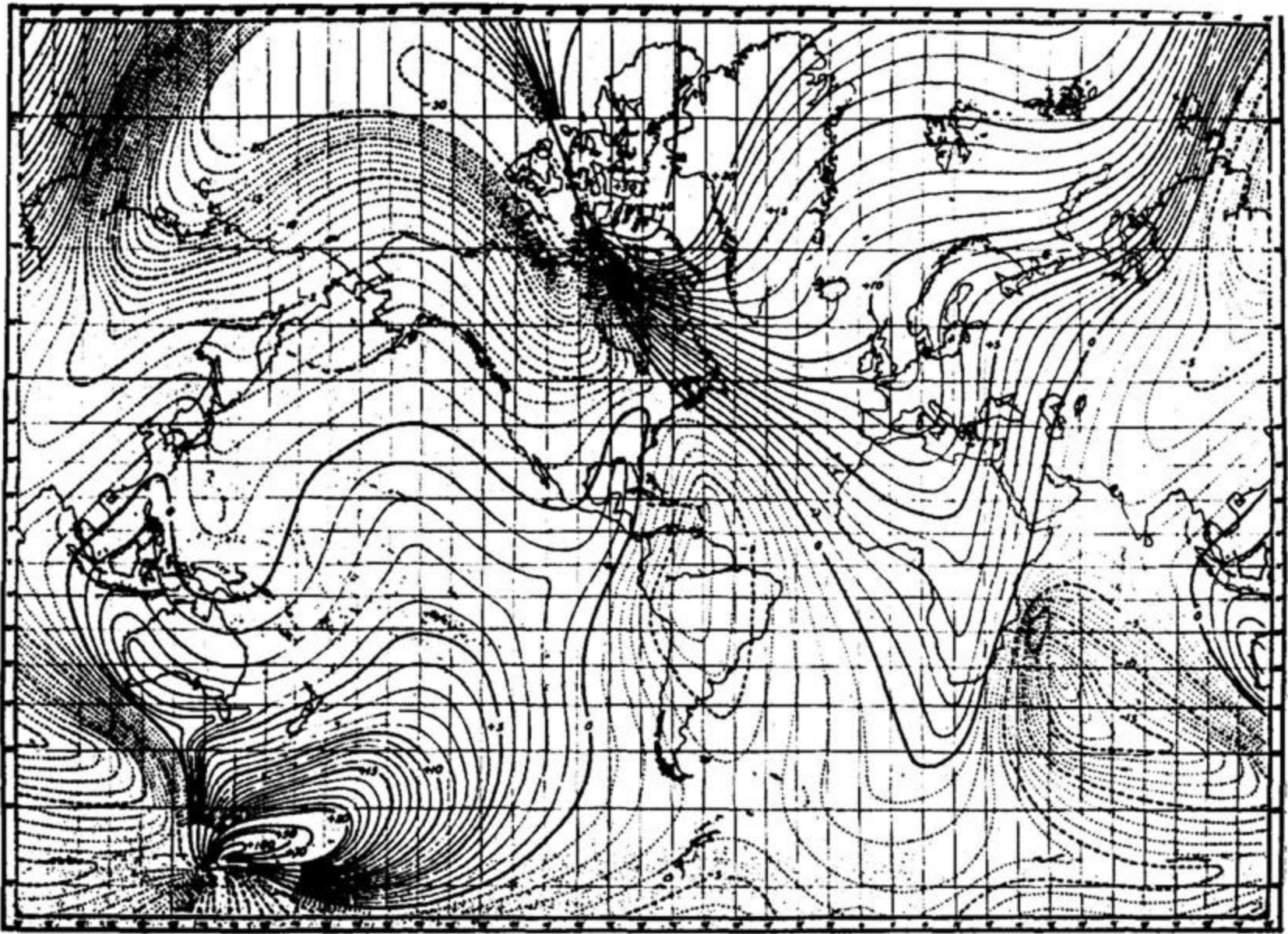
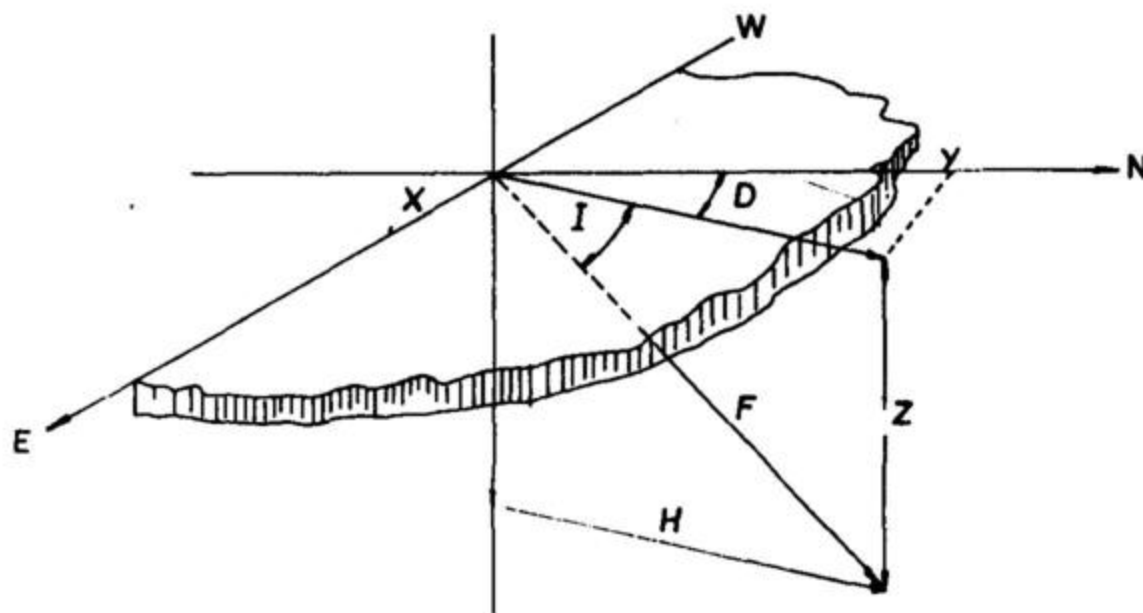


Fig.4 Cambio geomagnético secular en gammas por año, intensidad vertical, 1942.5

2. Elementos del Campo Magnético de la Tierra

Si la Tierra se considera como un magneto (imán) libre, capaz de girar alrededor de su centro de masa, y si se toma una dirección hacia cualquier punto cerca de su superficie, sobre la misma se nota la presencia de una fuerza magnética. La intensidad y dirección de la fuerza varía de punto a punto con el transcurrir el tiempo.



D = Declinación magnética
I = Inclinación magnética
H = Componente horizontal del campo
Z = Componente vertical
F = Componente total
X = Componente B-W.
Y = Componente L-S.

Fig.5 Componentes del campo magnético de la Tierra

Las medidas del campo magnético antes de la década del 50 estuvieron confinadas básicamente a medidas cerca de la superficie terrestre. Con el desarrollo de la Ciencia Espacial se ha logrado

detectar la verdadera forma externa (extraterrestre) del campo magnético de la Tierra, mas allá de la superficie. En el interior de la misma no se han podido realizar medidas del campo magnético (hay medidas a profundidades de hasta 12 Km hechas en Rusia y el la República Federal de Alemania en dos puntos únicos).

La fuerza magnética de la Tierra se puede describir por sus componentes rectangulares X,Y,Z:

X: Componente horizontal en la dirección del meridiano geográfico y es positiva hacia el norte.

Y: Componente horizontal perpendicular al meridiano geográfico y es positiva hacia el este.

Z: Componente vertical positiva hacia abajo, se le denomina com intensidad vertical ó fuerza vertical.

H: Es la magnitud de la componente horizontal positiva en cualquier dirección, y se denomina intensidad horizontal ó fuerza horizontal.

D: Es el ángulo de azimut de la componente H respecto al meridiano geográfico. Es positiva cuando el ángulo es al este de 0° a 360° y negativo cuando el ángulo es al oeste de 0° a 360° . Este ángulo es muy conocido en la navegación y se le denomina declinación magnética.

I: Es el ángulo formado entre la componente H y el vector ó componente total F. El ángulo es positivo cuando F esta hacia abajo.

F: El vector resultante F, se denomina intensidad total ó fuerza total.

Las cantidades X,Y,Z,H,D,I y F son llamados los elementos magnéticos, y están relacionados entre ellos por las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 X^2 + Y^2 &= H^2 \\
 X^2 + Y^2 + Z^2 &= H^2 + Z^2 = F^2 \\
 X &= H \cos D \\
 Y &= H \sin D \\
 Z &= F \sin I = H \tan I \\
 \tan D &= \frac{Y}{X} \\
 \tan I &= \frac{Z}{H}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Hay que resaltar los siguientes aspectos de las fórmulas anteriores: tres elementos independientes son necesarios para definir F; el resto queda especificado con (1). El plano vertical que contiene a F ó H es el llamado *meridiano magnético*. La región (positivo ó negativo) separada

por una curva en la que $I=0$, se le denomina *ecuador magnético*. Aquellas partes del espacio en donde H es cero, se le denomina *polo magnético*. Existen sobre la Tierra dos polos magnéticos principales (Norte y Sur); sin embargo, existen otros polos magnéticos debido a irregularidades locales del campo magnético de la Tierra.

2.1. El Campo Magnético de la Tierra y sus Variaciones

2.1.1. Generalidades.

La componente principal F del campo magnético de la Tierra es aproximadamente a la de un momento dipolar de 8×10^{25} (e.m.u.)†; el cual se forma por el material fundido (magma) que está situado entre el núcleo sólido de la Tierra y la corteza externa de la misma, caracterizado por sus polos ubicados sobre la superficie formado por la convexión del magma entre esas regiones. El polo ubicado a $75^\circ N, 101^\circ O$ lo denominamos Polo Norte, y el Polo Sur se encuentra a $65^\circ S, 143^\circ E$, con una desviación de (D) de -11° . Su máxima intensidad está cerca de los polos y es de 0.65 Oersted, y su mínima es de 0.3 Oersted en el Ecuador magnético (cerca de 15° del Ecuador geográfico).

Por medio de análisis de los armónicos esféricos como solución de la ecuación de inducción de Maxwell se ha demostrado que el origen del campo magnético es debido en un 99% a causas generadas en el interior de la Tierra y de un 1% por causas externas (extraterrestres), aproximadamente. Un 95% de las causas internas son originadas por el núcleo terrestre, en tanto que, sólo un 5% se debe a anomalías superficiales de la corteza terrestre. Este tipo de causas internas se deben a concentraciones de minerales ferromagnéticos, a estructuras geológicas, etc. El rango del campo magnético es del orden de 0.1 F a 0.001 F (donde F es el campo magnético total del lugar). La unidad utilizada para el campo magnético es la $\gamma = 10^{-5}$ Oersted. Una anomalía de una estructura rocosa está entre 100 γ a 2000 γ .

Las variaciones externas magnéticas se pueden denominar temporales y pueden ser causadas por movimientos diurnos solares, diurnos lunares, tormentas solares, etc.. Las variaciones seculares se conocen a través de casi 400 años de observación de las componentes D e I principalmente; llevadas a cabo en los Observatorios Magnéticos de Londres y París, básicamente. Las variaciones seculares no son de la misma magnitud para las diferentes latitudes. Una estimación de la variación para Costa Rica es del orden de 10 γ /año, para el campo total. Las variaciones seculares son causa de la inversión de los polos magnéticos, y esto implica que el polo Norte se desvía en 0.18° por año hacia el Oeste. La variación secular según Vestine (1947) demuestra que el campo de la Tierra decreció en un 5% durante los últimos 100 años. Dicha tendencia se mantiene.

2.1.2. Variaciones diurnas.

Por su importancia en prospección magnética las variaciones diurnas son importantes. En cuanto a estas variaciones, ellas son del orden de 30 γ en períodos de 3- 24 horas. Varían en

† e.m.u.= unidades electromagnéticas Gauss para la inducción magnética y Oersted para la intensidad de campo magnético

función de la latitud y de la estación del año. Sus causas se le asocian a la influencia del Sol, a las corrientes ionosféricas y a las corrientes telúricas. Las variaciones diurnas debidas a la Luna son de períodos de 25 horas y de una amplitud de 2γ . Las variaciones por tormentas solares son transitorias y tienen una amplitud del orden de $10^3\gamma$. Es importante el registro de las mismas, debido a que pueden confundirse con una anomalía local. Por eso es útil la observación continua de un observatorio magnético, el cual permitirá discriminar entre una variación violenta del campo magnético producido por una tormenta solar y el de una anomalía local. Todas estas generalidades del campo magnético son de importancia tenerlas en cuenta, durante el trabajo de prospección en el campo llevadas a cabo con un magnetómetro de medidas relativas (variómetros) ó absolutas (magnetómetros de protones).

3. Historia del Campo Magnético en Costa Rica

En Costa Rica las observaciones sistemáticas del campo magnético se inician a finales del siglo pasado y principios de este, con las medidas realizadas por Henri Pittier, quien realizó medidas sobre la declinación y componente horizontal del campo magnético entre los años de 1898 a 1901. Sus estudios le permiten publicar la primera carta isogónica publicada por el Instituto Físico Geográfico de aquellos años. Se conoce que antes del trabajo de H. Pittier existían datos de la declinación magnética obtenidos sobretodo en obras de ingeniería. Los principales datos provienen del *Report of Survey and Explorations made by Corp No.1 of the Engineers of the Intercontinental Railway Comission in Guatemala, El Salvador, Honduras ,Nicaragua and Costa Rica (1891-1893)*. Sin embargo, el mismo Pittier en su informe de 1898 hace notar que una de las primeras medidas de la declinación magnética fue efectuada en la Isla del Coco:

El 3 de abril de 1836, Sir Edward Belcher de la nave de guerra británica Sulphur determinó el valor de la declinación magnética, que resultó ser $8^{\circ}23'49''$ Este. El Capitán Passmore, de la Marina Nacional Costarricense, fija la misma en $6^{\circ}30'$ para una fecha desconocida, pero que debe corresponder a los últimos meses de 1894. La variación anual sería entonces de $1' 56''$, poco más ó menos.

Hemos de resaltar que hay una medida efectuada por Sir Eduard Belcher en el año de 1838, y que parece haber sido desconocida por H. Pittier, corresponde a la publicada en el informe de Schulze sobre el Ferrocarril Interoceánico de 1856. En el mapa que se publica en ese informe, no solamente se da el valor de la declinación magnética para el Golfo de Nicoya para el año de 1838, sino también su correspondiente batimetría (medida de la profundidad del mar) para dicho año.

Podemos además suponer que hay mas lecturas de campo magnético hechas por los almirantazgos inglés y norteamericano en épocas que se extienden a lo largo del siglo anterior como lo hemos apuntado anteriormente.

A continuación se reproduce la base de datos de H. Pittier publicada en el Informe del Boletín del Instituto Físico Geográfico de 1901 y que da origen a carta isogónica de 1901 publicada en ese mismo número del Boletín.

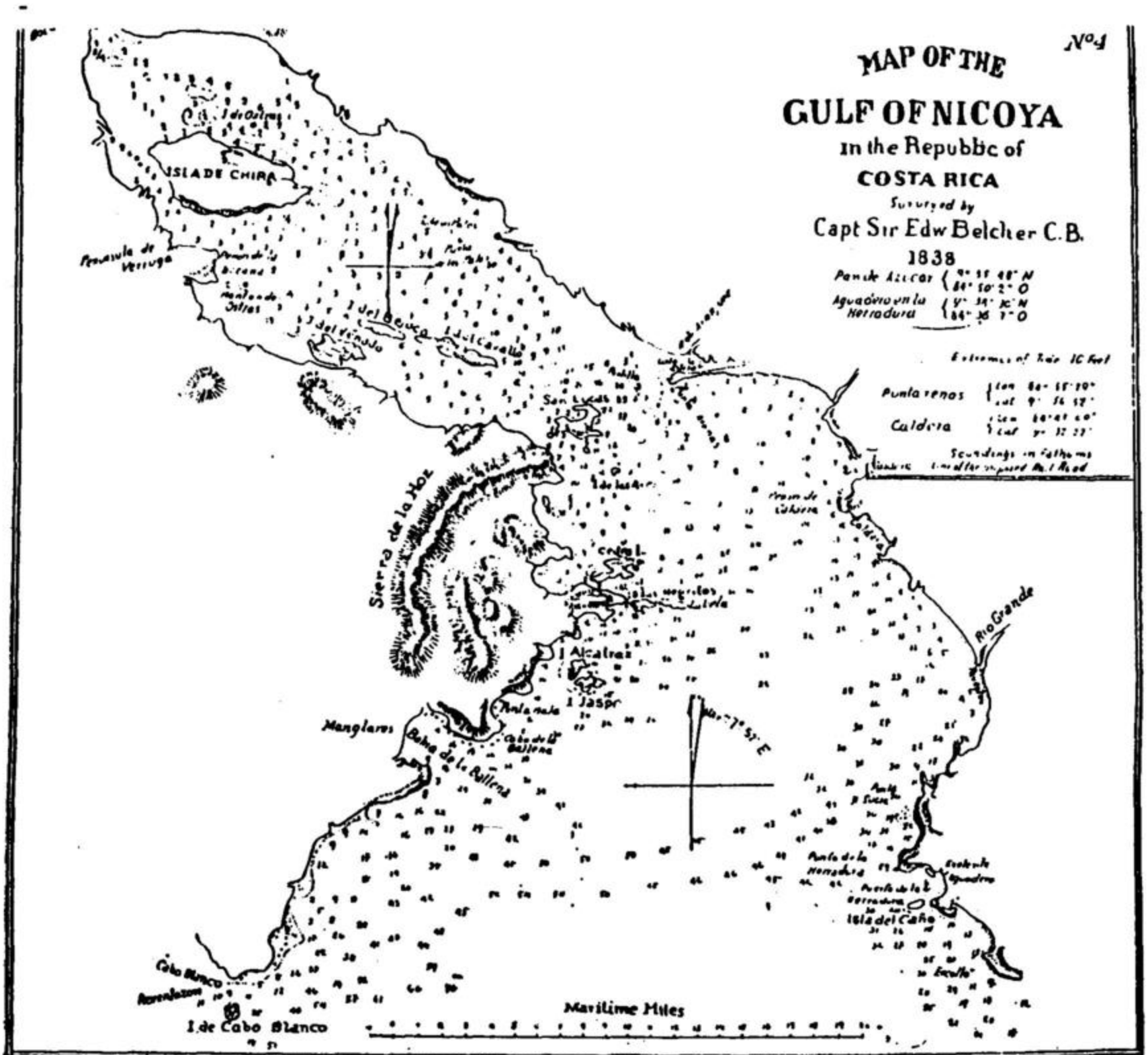


Fig.6 Datos de la declinación del año 1838 tomado por Sir Edward Belcher en el Golfo de Nicoya. Dato desconocido para Pittier

Tabla 1. Base de Datos de Declinación Geomagnética para el Territorio de Costa Rica. Compilada por Henri Pittier durante los años 1890 y hasta 1901. Esta Base de Datos sirvió para hacer el primer mapa de Declinación Magnética de Costa Rica

Estación	Latitud	Longitud	Declinación	Altura	Hora	Fecha
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	7:30am	16.Dic.1897
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	7:36am	19.Dic.1897
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	7:05am	26.May.1898
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	8:10am	28.May.1898
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	7:53am	30.May.1898
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	8:00am	16.Dic.1898
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	7:53am	01.En.1900
S.Francisco Guadalupe	09°57'25"	84°03'35"	5°09'7	1188m	8:05am	13.En.1901
Sabanilla de Pirris	09°45'25"	84°18'33"	5°31'8	1181m	8:30am	07.En.1890
Pozo Azul de Pirris	09°37'18"	84°18'33"	5°24'4	96m		09.En.1898
Boca Paquita	09°25'30"	84°09'39"	5°32'5	3m		12.En.1898
Boca Culebra	09°21'49"	84°01'16"	5°35'5	26m	8:11am	16.En.1898
Helechales del General	09°18'25"	83°41'57"	5°30'5	748m	6:57am	05.Feb.1898
Peñas Blancas del General	09°17'04"	83°37'29"	5°39'7	588m	3:00 pm	09.Feb.1898
Buenos Aires	09°09'46"	83°20'50"	5°34'2	389m	4:48 am	13.Feb.1898
Mano de Tigra de Terraba	09°32'48"	83°18'36"	5°45'5	729m	8:00 am	07.Mar.1898
Boruca	09°59'12"	83°21'30"	5°25'9	589m	5:02am	18.Feb.1898
La Uvita Puerto Limón	10°00'27"	83°03'13"	4°58'2	12m	3:37am	29.Jul.1898
Cahuita, Punta Norte	09°45'03"	82°51'10"	5°09'0	2m	4:09am	15.Aug.1898
Sipurio-Talamanca	09°31'32"	82°57'99"	4°54'6	68m	7:55am	25.Aug.1898
Brushik-Alto Tararia	09°21'42"	82°49'09"	5°00'2	280m	7:55am	05.Sep.1898
Boca del Sixaola	09°34'15"	82°35'31"	5°06'6		6:32am	10.Sept.1898
Irazú	09°59'27"	83°54'05"	5°34'2	3452m	7:53am	30.Sep.1900

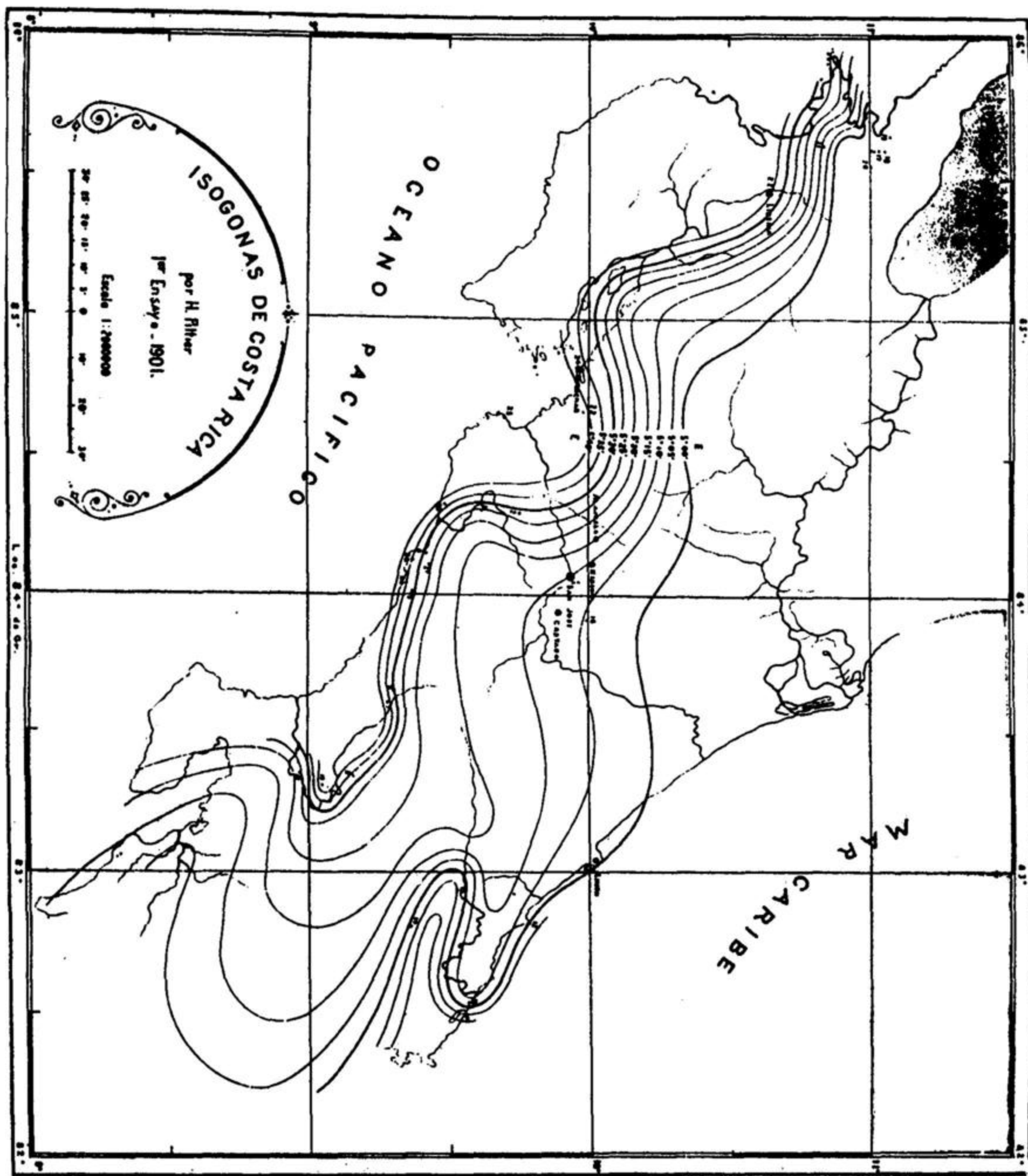


Fig.7 Mapa de isógonas de Henri Pittier para el año de 1901, publicado en el Boletín del Instituto Físico-Geográfico en base a los datos presentados en la tabla anterior

Después de H. Pittier solo se continuaron con lecturas aisladas de declinación magnética. En 1912 hay algunas medidas hechas por Francisco de la Paz y entre 1925 a 1954 por Gutiérrez Braun en la provincia de Guanacaste en la ciudad de Tilarán y entre 1933- 1954 en la ciudad de Cañas de la misma provincia por la misma persona. Braun determinó por primera vez que desde 1901 hasta 1933 hubo un aumento en la declinación magnética en el territorio costarricense y que a partir de ese año empezó a disminuir, como lo comprobamos nosotros en la figura No.1 del análisis hecho con la estación magnética de San José.

Otra fuente de información sobre la historia magnética de Costa Rica lo constituye el centro de datos N.O.A.A. Tal información incluye datos a partir del año 1907 y hasta 1966. La información del N.O.A.A. tiene principalmente datos sobre el Pacífico patrimonial de Costa Rica de los años 1964 y 1966, tomadas por barcos oceanográficos o geofísicos.

De la Universidad de Oregon se ha obtenido una excelente base de datos en geomagnetismo y gravimetría del mar patrimonial de Costa Rica, y que corresponden a las giras de los años 1969, 1971, 1973, 1974 y 1976 de barcos oceanográficos.

Es muy posible que existan datos, tanto del siglo pasado como del presente originados por giras de barcos oceanográficos realizadas por los países europeos y de Estados Unidos de América que desconocemos.

Sin embargo, la labor más sistemática en lo que respecta a la toma de datos del campo magnético, componente total del territorio de Costa Rica, se inició durante el año de 1978. La Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, así como el Instituto Costarricense de Electricidad y el Instituto Geográfico Nacional decidieron desarrollar dicho proyecto de toma de datos magnéticos de Costa Rica estuvo bajo la dirección de Jorge Páez y Germán Leandro. La densidad de datos en el territorio dependió básicamente de la accesibilidad del lugar por medio de carreteras. Por eso la Península de Nicoya y el Valle Central fueron observadas con mayor detalle. Por la misma razón la zona de Talamanca, Península de Osa, llanuras de Tortuguero y de los Guatusos y, en general, todas las zonas montañosas altas de Costa Rica fueron observadas con menor detalle. La información de los sitios anteriormente mencionadas fue inferida por interpolación o extrapolación. Debemos de enfatizar que algún día se emprenda una campaña mas sistemática y completa que la de 1978, en la cual se podrían incluir zonas del territorio que se dejaron sin medir.

En cuanto a publicaciones de datos magnéticos se tienen la siguiente recopilación:

1901- Henry Pittier: Primer mapa de Declinación magnética.

1965- Gutiérrez Braun: Carta Isogónica de Costa Rica para 1960, publicado en 1965 y trabajo elaborado con 168 estaciones magnéticas.

1950- Geomagnetismo por la petrolera Caribe.

1966- Trabajos en Nicoya. Prospección geomagnética.

1966- Trabajos en Limón.

1974- Jelle de Boer: Mapa geofísico, una compilación de datos geofísicos obtenidos en Nicoya y la provincia de Limón. El trabajo está basado en datos aeromagnéticos, tomados por la compañía Lockwood Survey Corporation (Toronto) 1966. y fueron interpretados por la Hunttec Limited (Toronto), proyecto financiado y publicado por UNESCO.

1976- Prospección magnética para fines mineros realizado por Greenwood, Carruther y Leandro.

1976- Middle American Trench, viaje del barco Aida Green.

1978- Mapa Geomagnético de Costa Rica, G. Leandro y J. Páez.

1980- Discovery, barco oceanográfico.

1982- Thomas Washington, barco oceanográfico.

1984- Mapa Geomagnético, G. Leandro.

4. Correlación de anomalías con Geología de Costa Rica

Por aspectos de prospección geofísica es importante el tener un conocimiento adecuado del campo magnético terrestre y de sus variaciones desde diarias hasta seculares. Dicha información correlacionada con valores de campo gravimétricos permiten inferir formas y composición de las intrusiones magmáticas. Las denominadas anomalías magnéticas, como la presentada en la figura 11, ó la anomalía residual figura 12, nos dan un panorama básico de la existencia del tipo material geológico con un mayor o menor comportamiento magnético en el territorio costarricense. Por eso su localización es importante en un estudio de prospección geológica, ya no magnética sino minera, permitiendo así minimizar el tiempo de búsqueda de posibles fuentes de material ferromagnético.

Otros aspectos del geomagnetismo pueden conducir, con ayuda de magnetómetros a la exploración arqueológica, localizando, en un rejilla de estudio menor que todo el territorio de Costa Rica, las anomalías magnéticas que puedan tener un origen arqueológico, v.g., aspectos culturales nativos (entierros), o bien asociar al suelo que exhibe susceptibilidad magnética, un cierto tipo de rocas, v.g., volcánicas ó rocas ignéas.

El mapa geomagnético de Costa Rica de 1978 elaborado por J. Páez y G. Leandro ha permitido elaborar un esquema de anomalías importantes para la prospección geológica en general. Así podemos hacer una esquematización del comportamiento magnético por regiones del territorio de Costa Rica.

4.1. Guanacaste

En la zona de Guanacaste se presenta una fuerte anomalía positiva de aproximadamente 600γ , por San Antonio de Nicoya y sus alrededores. Se le puede asociar a basaltos ofeolíticos de la zona

con un alto contenido de magnetita y metales férricos, lo que implica susceptibilidades magnéticas mas altas con respecto a las rocas regionales adyacentes de la Formación Rivas. En general esta anomalía se puede identificar en el campo por la ruta que une a Nicoya con San Antonio de Nicoya. La anomalía residual de la zona presenta un contraste muy notorio desde Santa Cruz hasta la parte mas estrecha de la Península de Nicoya, en tanto que desde Filadelfia hasta las cercanías de Liberia, las anomalías son muy pequeñas. La primera se explica por la alternancia en toda la Península sur de basaltos y de rocas sedimentarias; mientras que en Filadelfia, Liberia y Cañas se presentan grandes extensiones de ignimbritas como producto del vulcanismo de fisura ó explosivo. Las anomalías residuales de la parte norte, frontera con Nicaragua y la Cordillera de Guanacaste son inferidas por falta de datos.

4.2. Parte Central de Costa Rica

El aspecto regional de la Meseta Central esta identificado por las líneas de 37500 γ hasta 38000 γ y comprendido entre las faldas de la Cordillera Central y la parte sur de San José, Santa María de Dota, San Ignacio de Acosta, Puriscal, Orotina, etc..

Las anomalías regionales presentan ó delimitan una zona central correspondiente a la actividad volcánica desarrollada a finales del Terciario y en el Cuaternario. Las anomalías residuales son muchas, pero de magnitud reducida ($\pm 200\gamma$ máximo) y que corresponden a coladas volcánicas, estructuras superficiales y posibles intrusiones ígneas.

Un riguroso análisis podría realizarse con mas datos de campo, los cuales permitirían delimitar y modelar diferentes actividades volcánicas ó estructuras geológicas de interés. El resto del país, se puede decir que esta confinado entre las líneas de 38500 γ en la zona norte y 36000 γ en la zona sur, con algunos detalles en la Cordillera de Talamanca que se pueden indentificar en el mapa correspondiente.

5. Conclusiones y Recomendaciones

El campo magnético en su componente total para Costa Rica durante el año de 1978 esta limitado entre 38500 y 36000 γ ; presentando anomalías interesantes, ya discutidas y que requieren estudios con mayor detalle.

Se ha demostrado que el método magnético es una herramienta importante en la investigación de recursos mineros, por medio de las anomalías residuales. En tanto, las anomalías regionales muestran los sedimentos cristalinos profundos ó estructuras profundas aplicables en estudios petroleros.

Las múltiples anomalías residuales presentan no solo aspectos mineros, sino también estructuras geológicas, como pueden ser corrientes de lava, intrusiones, anomalías locales, etc..

Se concluye, como era de esperarlo que el campo magnético de Costa Rica esta disminuyendo. Para lugares como San José y sitios como Ochomogo y Tilarán disminuye entre 20 y 100 γ por año.

Es evidente que los resultados expuestos en este trabajo pueden ser aprovechados por instituciones como el Instituto Geográfico Nacional, la Dirección de Geología Minas y Petróleo, el ICE, la Escuela de Geología, Recope, etc..

Se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- a) Es recomendable elaborar un proyecto mas ambicioso y mas detallado del campo magnético de Costa Rica, para completar, mejorar y actualizar el mapa actual.
- b) Un mapa geomagnético de Costa Rica futuro debe de elaborarse en todas sus componentes, incluyendo el mapa de anomaiás.
- c) Se recomienda tener accesible en líneas la información geomagnética de Costa Rica.

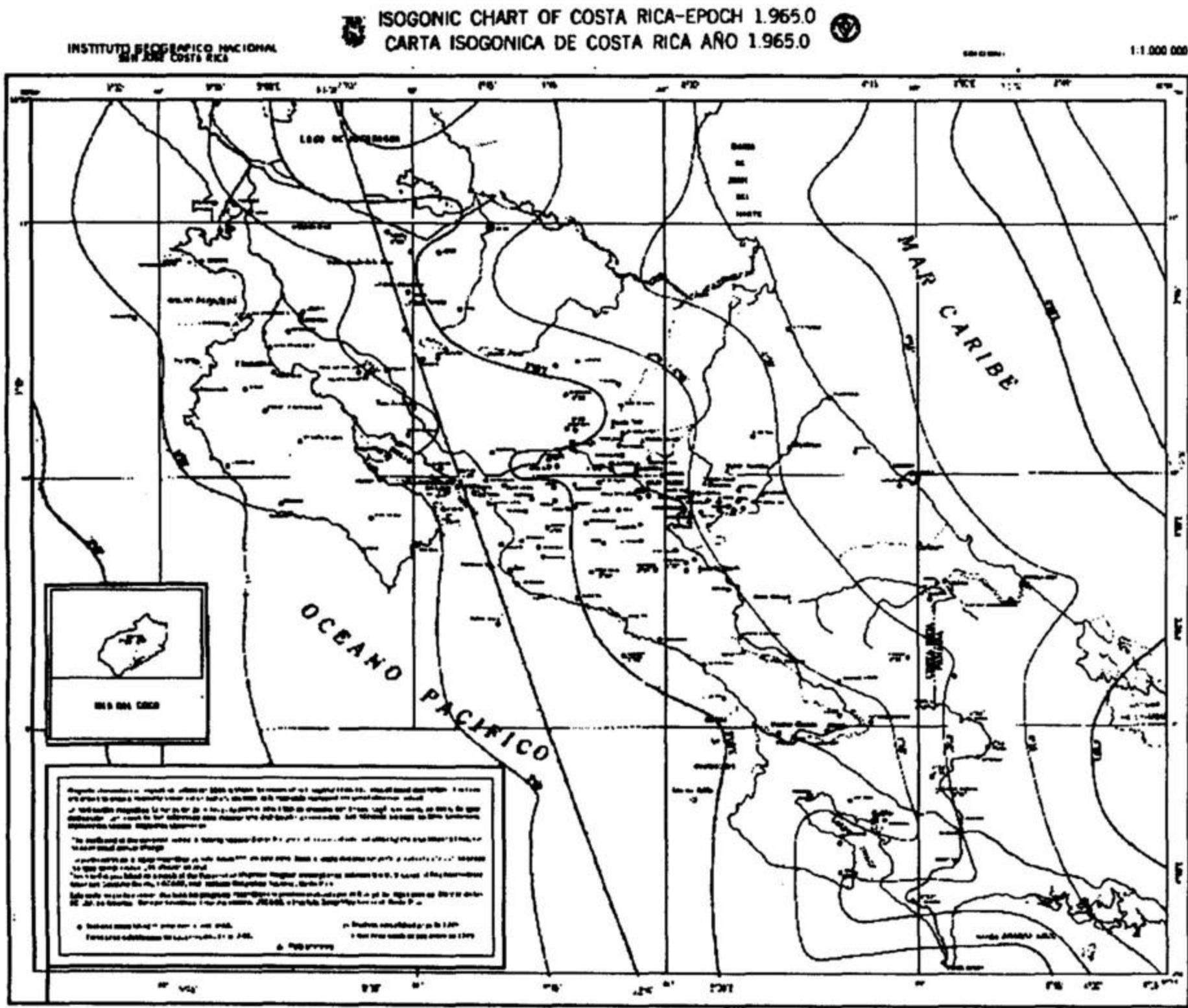


Fig.8 Carta isogónica de Costa Rica para 1965 de Gutiérrez Braun

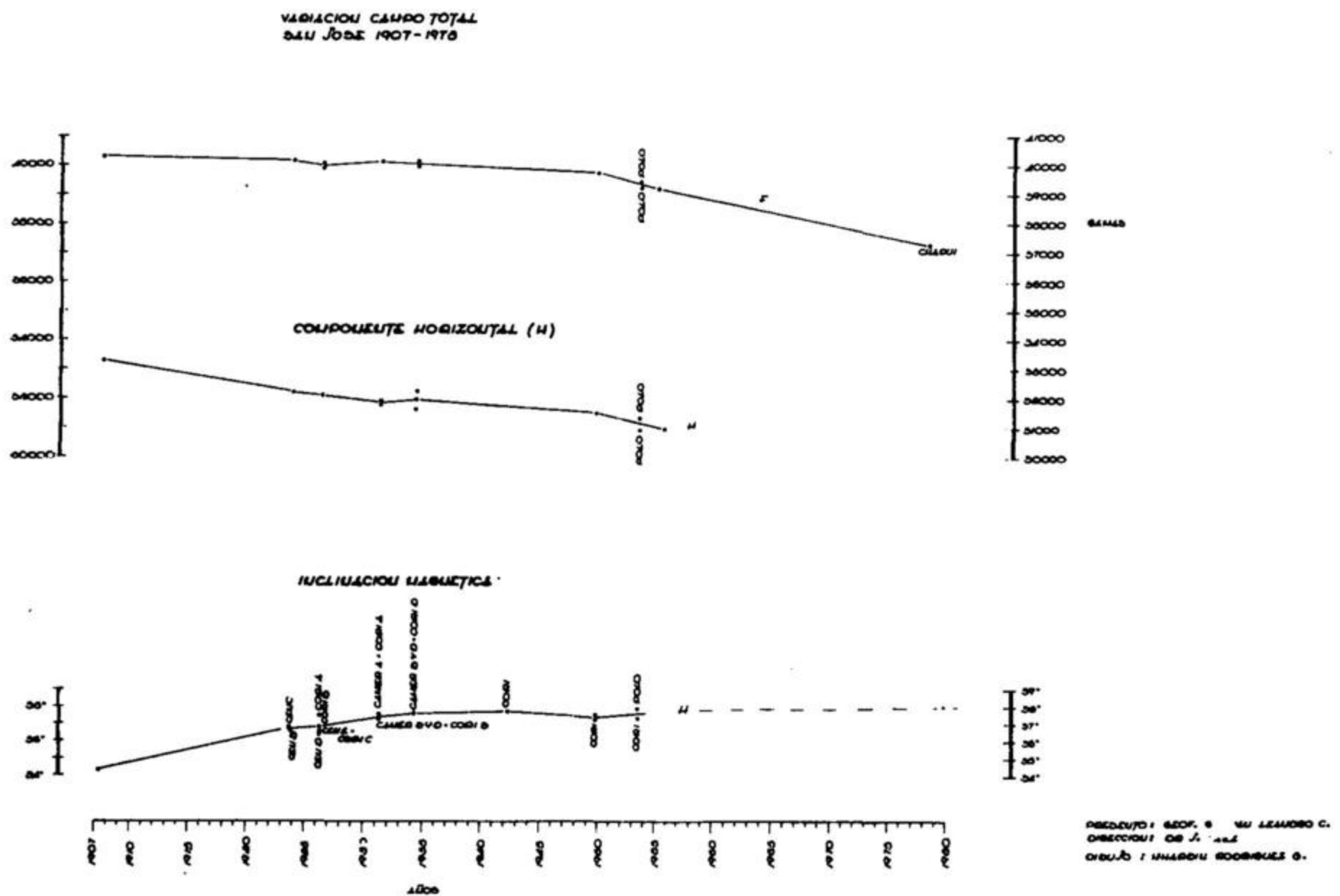


Fig.9 Variación de la declinación, componente horizontal e inclinación magnética para San José, desde 1907 hasta 1978

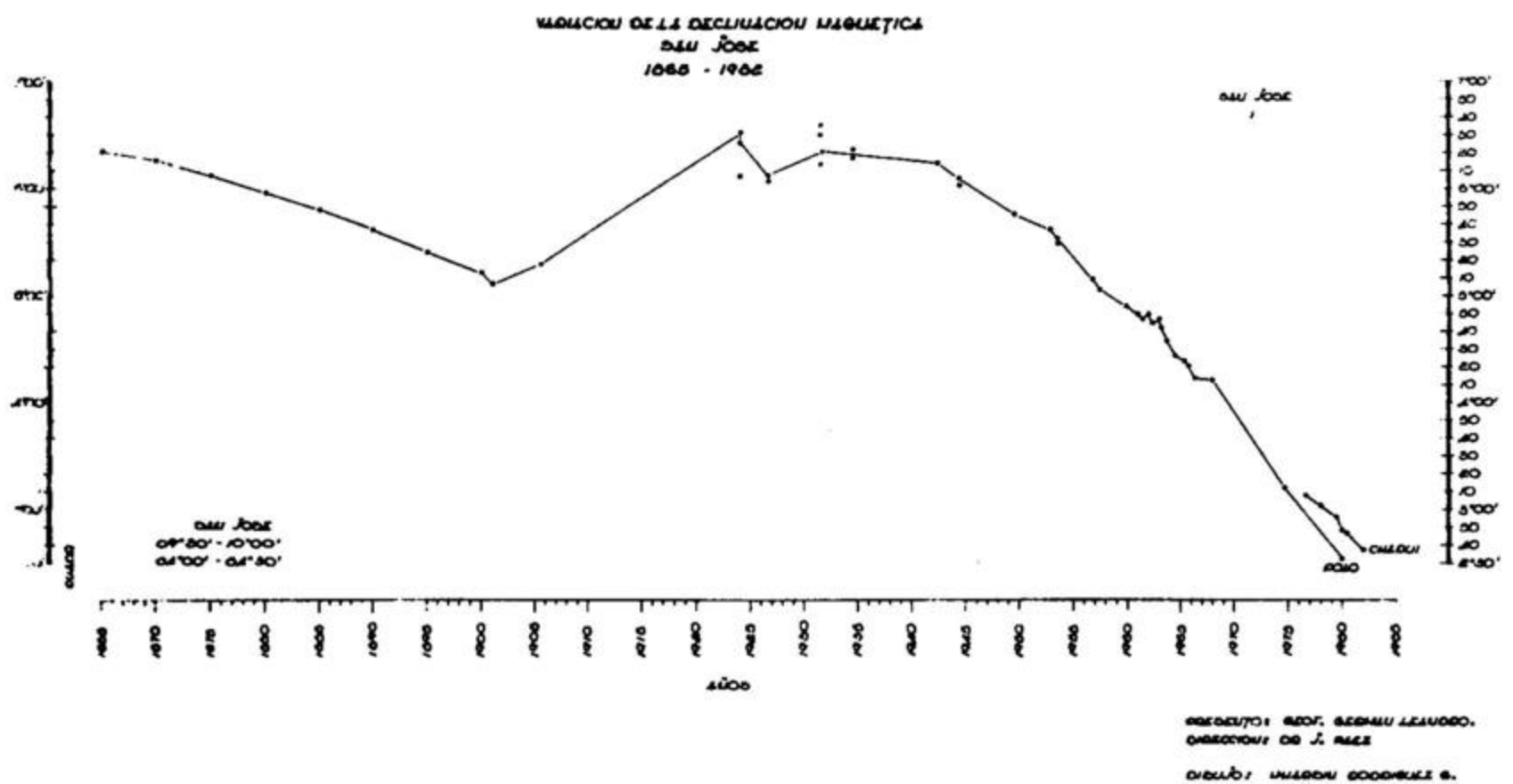


Fig.10 Variación de la declinación magnética desde 1865 hasta 1982 para San José. Obsérvese la caída de los valores de esta componente a partir de 1933

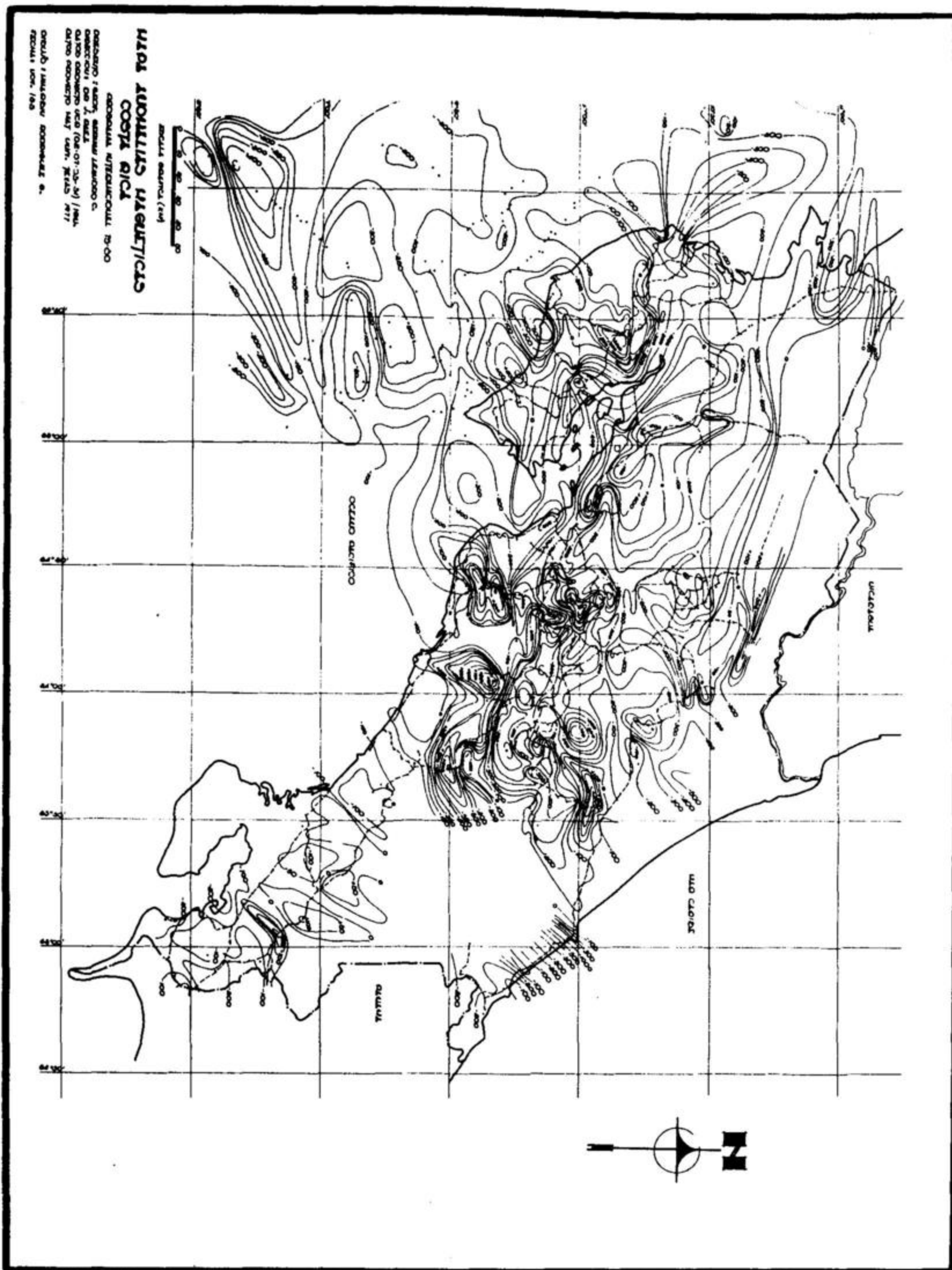


Fig.11 Mapa de anomalías magnéticas de Costa Rica para el año de 1978

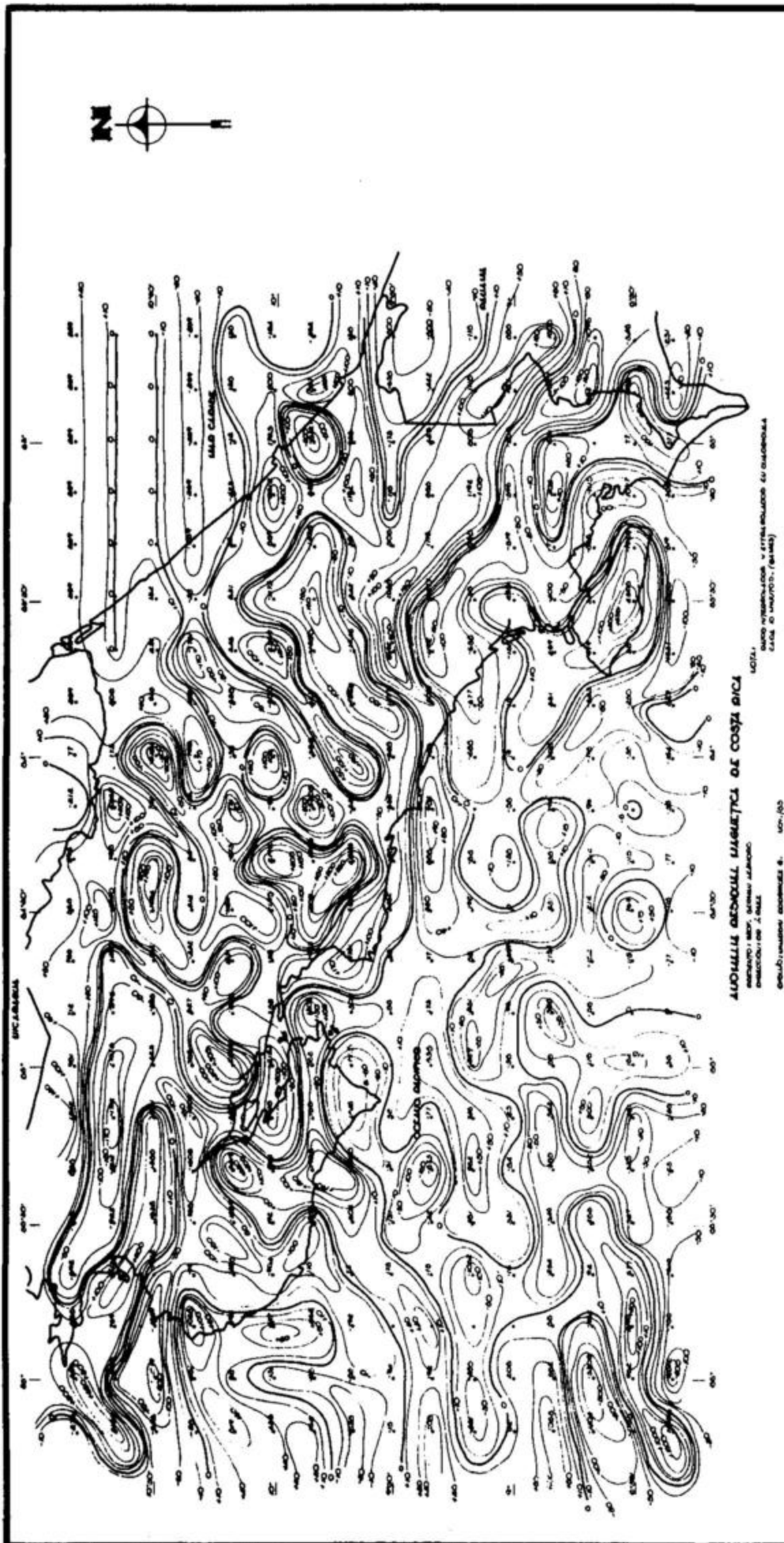


Fig.12 Anomalía residual magnética de Costa Rica para 1980

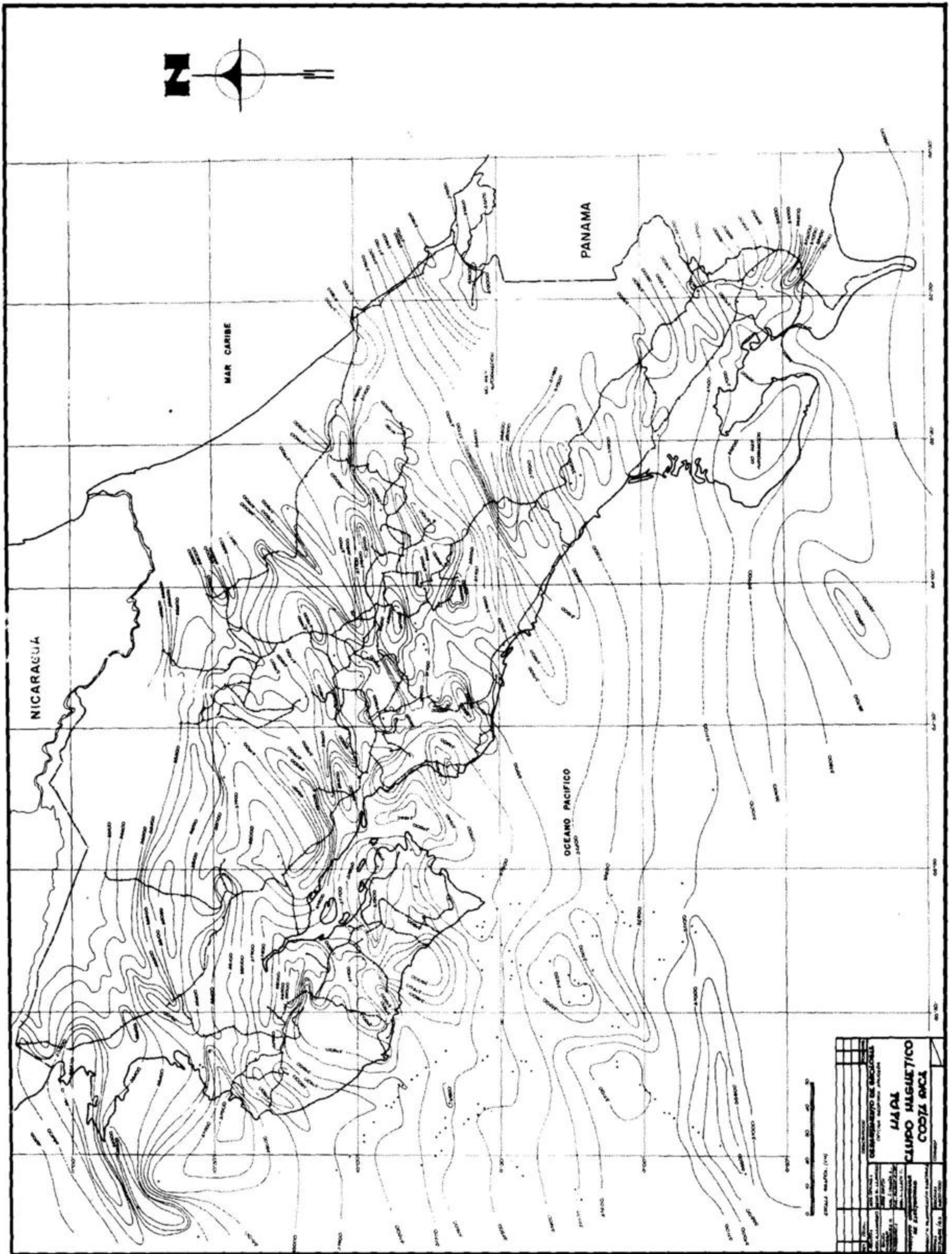


Fig. 13 Mapa de campo magnético de Costa Rica para 1978

Bibliografía

- [1] Needham, J., 1962, *Science and Civilization in China*, Cambridge University Press, Vol.4, Part 1.
- [2] Chapman, S. and Bartels, J., 1940, *Geomagnetismo*, Oxford University Press, Vol. I and II.
- [3] Friedrich Hund, 1972, *Geschichte der physikalischen Begriffe*, B.I. Hochschultaschenbücher, Band 543, Mannheim/Wien/Zürich.
- [4] James Jeans, 1960, *Historia de la Física*, Breviario de Cultura Económica, México- Buenos Aires, segunda edición.
- [5] E. Halley, 1683, *Phil. Trans. R. Soc.* **13**, p.208-221.
- [6] E. Halley, 1692, *Phil. Trans. R. Soc.* **16**, p.563-578.
- [7] Jeremy Bloxham and David Gubbins, Dezember 1989, *The evolution of the Earth's magnetic field*, Scientific American.
- [8] S. Breiner, 1973, *Applications Manual for portable magnetometers*, Geotronics.
- [9] E.H. Vestine, Laporte, Cooper, Lange and Hendrix, 1947, *Carnegie Inst. of Washington, Publication N.578*.
- [10] Walter M. Elsasser, January 1950, *The Earth's Interior and Geomagnetism*, Rev. Mod. Phys., Vol. 22, N.11-35.
- [11] Henri Pittier, 1901, *Primer Ensayo de un Mapa de la Declinación Magnética en Costa Rica*, Boletín del Instituto Físico-Geográfico, p.10-31.
- [12] F. Kurtze, 1866, *La Ruta Ferroviaria Interoceánica a través de la República de Costa Rica*, Comisión Nacional de Conmemoraciones Históricas, 1990.
- [13] Gutiérrez Braun, 1961, *Comentario sobre la Declinación Magnética al este de Costa Rica calculada para 1960*, Instituto Geográfico Nacional.
- [14] Barraclough, D.R., 1982 *Phil. Trans. R. Soc.* **A306**, p.71-78.
- [15] BMFT Journal, 1992 *Mitteilungen aus der Bundesministerium fuer Forschung und Technologie*, N.3, Juni.