

COMENTARIOS SOBRE EL MAPA MAGNETOMETRICO DE CUBA

*Soloviev, O. N., Skidan S. A.,
Pankratov A. P. y Skidan I. K.,*

(Con notas en el texto por C.
M. Judoley).

Dpto. Científico de Geología.
Instituto Cubano de Recursos
Minerales.

Métodos usados para la confección del mapa de conjunto de las anomalías magnéticas de la República de Cuba en escala 1:500,000

Hace algunos años la compañía "U. S. Air Service Corporation" había realizado los levantamientos de 3 regiones, que abarcan las partes occidental, central y oriental de Cuba. Para cada una de estas regiones se han elaborado mapas de los valores anómalos del campo magnético (ΔT) en niveles arbitrarios y distintos unos de otros; mientras que para la parte central se han elaborado mapas para cada área levantada separadamente. Así, se han confeccionado los siguientes mapas:

Para la provincia de Pinar del Río, en escala 1:50,000, con el intervalo de las isogamas cada 10 gamas.

Para la parte Norte de las provincias de La Habana y Matanzas, en escala 1:40,000, con el mismo intervalo.

Para el resto de Cuba en escala 1:192,000 (1 pulgada = 16,000') con el intervalo general de las isogamas cada 25' gamas y con el intervalo de 5 gamas en las áreas donde el campo magnético es tranquilo.

De acuerdo con los datos obtenidos, la Sección Geofísica del Instituto Cubano de Recursos Minerales ha elaborado el mapa de anomalías del campo magnético de Cuba en escala 1:250,000 con el intervalo de las isogamas cada 25 gamas.

Este mapa no satisface los requisitos para los mapas de recopilación magnética, porque incluye los levantamientos en sus niveles arbitrarios originales. Antes de pasar a la descripción de los métodos de confección del mapa de recopilación de las anomalías magnéticas de Cuba en escala 1:500,000 examinaremos la característica de los datos iniciales, necesarios para confeccionar los mapas de este tipo.

La información referente al campo magnético normal, usado para la confección de mapas de los valores de las anomalías no es

completa y sólo proporciona datos sobre su gradiente en la provincia de Pinar del Río y en la parte septentrional de las provincias de La Habana y Matanzas.

En la provincia de Pinar del Río, la componente Norte del gradiente horizontal del campo magnético normal es de 8.9 gamas por milla y la componente Oeste es de 0.7 gamas por milla. Para la parte septentrional de las provincias de La Habana y Matanzas las mismas componentes son de 9.0 y 0.7 gamas por milla respectivamente. Los informes carecen de datos sobre las variaciones seculares (promedio de las variaciones anuales del campo geomagnético).

En el territorio de Cuba no se han determinado los elementos absolutos del campo geomagnético. Además de la información mencionada respecto al gradiente del campo magnético normal, tuvimos a nuestro alcance los siguientes datos:

1. Mapas mundiales de las componentes Z y H del campo magnético normal de la época del año 1955 en escala 1:50,000,000. Según estos datos se confeccionó para la zona de Cuba el mapa del campo normal T en escala 1:1,000,000.
2. La información enviada por el Instituto de Geomagnetismo de la Academia de Ciencias de la URSS, referente a las variaciones seculares ST en el observatorio magnético de San Juan (Puerto Rico) para el período de 1955-1960, con la extrapolación de las isoporas para las regiones adyacentes. Para Puerto Rico propiamente $\delta T = -70$ gamas por año; en el territorio de Cuba las variaciones seculares son irregulares: para la parte Este de la

Isla $\delta T = -55$ gamas por año; para la parte Oeste $\delta T = -45$ gamas por año.

Basándose en estos datos, se calcularon los valores de las anomalías del campo de acuerdo con los perfiles aeromagnéticos obtenidos en los años 1961-1962. Comparando estos valores con los de los mapas de los levantamientos anteriores, podemos notar que el campo normal, usado por los geofísicos americanos, no corresponde al campo normal del año 1955, elaborado por los mapas disponibles de los componentes Z y H.

Para las partes oeste y central de Cuba se logró obtener una correlación completa y mutua de toda la información disponible. Pero para la provincia de Oriente se estableció una evidente discordancia entre los datos iniciales usados por los geofísicos americanos y el mapa del campo normal confeccionado por nuestro grupo para el año 1955.

Esta discordancia se manifestó como un considerable incremento del campo magnético anómalo en los mapas confeccionados anteriormente y los perfiles aeromagnéticos realizados en 1962. La diferencia de los incrementos del campo magnético anómalo entre Jatibonico y Santiago de Cuba fue más de 100 gamas.

Es difícil explicar esta magnitud por la irregularidad de las variaciones seculares y, por lo tanto, fue excluida toda posibilidad de confeccionar el mapa de recopilación de las anomalías magnéticas, referido precisamente a la época del año 1955.

Las causas de la discordancia mencionada no fueron aclaradas y, por tanto, se aceptaron los métodos, previendo solamente los cambios del nivel general en los mapas aeromagnéticos al hacer amarres y ajustes sin cálculos complementarios que podrían introducir algunas correcciones en el gradiente del campo normal que fue aceptado para la confección de dichos mapas.

En resumen los métodos consistían en lo siguiente:

1. Formación de una red de bases con los valores absolutos del campo, utilizando los perfiles aeromagnéticos realizados en 1961-1963.
2. Selección experimental del campo magnético normal, que debe:
 - a) Garantizar el amarre completo y riguroso de todos los datos aeromagnéticos disponibles.
 - b) Respetar los datos disponibles respecto al gradiente del campo normal en la parte oeste de Cuba.

c) Respetar los requisitos referentes al campo normal en cuanto a las variaciones del gradiente horizontal en un área dada.

d) Asegurar aproximadamente igual relación de los valores positivos y negativos ΔT_a en los límites de Cuba.

En la Figura No. 2 se muestra el esquema de una red de bases observadas, mostrando los errores de cierre de los polígonos y valores absolutos del campo en los puntos de intersección de los perfiles aeromagnéticos, obtenidos después de compensar los valores de las bases de apoyo. Los valores absolutos del campo están reducidos al valor medio mensual del campo $T = 47518$, correspondiente al mes de enero de 1962 en la sección de control cerca de Cienfuegos, observada durante este mes con la ayuda de un dispositivo electrónico especial (usado para estimar los valores absolutos) 25 veces por la mañana y al principio de la tarde (Tabla No. 1).

Desde la red de bases ya mencionadas, los valores absolutos del campo fueron trasladados a las secciones de control de "Santiago de Cuba" y "Pinos" mediante vuelos especiales. El valor del campo en la sección de control de "Pinos" ($\varphi = 21^\circ 42' 15''$; $\lambda = 83^\circ 00' 30''$) es igual a 46980 ± 2 gamas, como el promedio de los vuelos. En la sección de control de "Santiago de Cuba" ($\varphi = 20^\circ 00' 20''$; $\lambda = 75^\circ 46' 20''$) se obtuvieron dos valores: 45880 gamas, considerando las variaciones del campo geomagnético y 45920 gamas sin considerar estas variaciones. El valor de 45880 gamas se aceptó como el valor final. De este modo en el territorio de Cuba por primera vez fue creada una red de observaciones absolutas referidas a la parte final del año 1961.

El campo magnético normal para el cálculo de las anomalías, partiendo de los perfiles aeromagnéticos de 1961-1962, fue acogido experimentalmente. Las zonas que requieren una exploración detallada están incluidas dentro de este campo. Haciendo la comparación de los valores absolutos del campo normal de la época del año 1955 en la región de La Habana y los del campo normal que fueron utilizados para los cálculos de las observaciones de 1961-1962, se notará que la diferencia entre ellos es igual a menos 50 gamas, mientras que, de acuerdo con los datos de las variaciones seculares arriba mencionadas, esta diferencia debía ser más 300 gamas; esto es verídico si los datos referentes a las variaciones seculares son correctos.

Todo esto se ha hecho con el objeto de evitar la abundancia de los campos positivos y conservar aproximadamente igual relación entre las anomalías positivas y negativas para un área dada.

A consecuencia de los amarres y compensaciones de los levantamientos se obtuvieron los

**Valores absolutos del campo T en la sección de control de Cienfuegos
en enero de 1962.**

($\varphi = 22^{\circ} 10'$; $\lambda = 80^{\circ} 24' 40''$)

TABLA No. 1

p. o.	Fecha	tiempo (local) de las observaciones	el valor del campo T (en gamas)
1	2	3	4
1	9	14.15 p.m.	47506
2	10	8.10 a.m.	47531
3	10	13.55 p.m.	47467
4	15	9.23 a.m.	47531
5	15	10.43 a.m.	47522
6	16	8.25 a.m.	47540
7	16	9.28 a.m.	47539
8	17	8.55 a.m.	47539
9	17	13.02 p.m.	47482
10	18	13.05 p.m.	47500
11	18	17.30 p.m.	47529
12	19	8.02 a.m.	47535
13	19	13.37 p.m.	47500
14	20	8.08 a.m.	47526
15	24	8.15 a.m.	47531
16	24	9.40 a.m.	47527
17	25	8.12 a.m.	47539
18	25	13.54 p.m.	47522
19	26	13.08 p.m.	47494
20	27	8.05 a.m.	47531
21	27	12.45 p.m.	47495
22	30	8.20 a.m.	47531
23	30	17.02 p.m.	47508
24	31	8.05 a.m.	47531
25	31	13.55 p.m.	47497

$$T \text{ promedio} = \frac{\sum T_i}{n} = 47518$$

siguientes isogamas de valor cero en los mapas de los valores anómalos, que acompañan los informes sobre los trabajos efectuados anteriormente:

1. La provincia de Pinar del Río: 2750 gamas.
2. Las partes septentrionales de las provincias de La Habana y Matanzas:
el área occidental: 3300 gamas
el área oriental: 500 gamas
3. La provincia de Las Villas y la parte meridional de las provincias de La Habana y Matanzas: 1800 gamas.
4. La parte oriental de Cuba: 2300 gamas.

Las divergencias entre los valores anómalos de los levantamientos aeromagnéticos efectuados en los años de 1956-1957 y de los realizados en los años de 1961-1962, no exceden de ± 20 gamas.

Una vez aplicada las correcciones correspondientes, se confeccionó, como una variante del

mapa de trabajo, el mapa de recopilación de las anomalías magnéticas de Cuba en escala 1:250,000.

En las áreas de sobreposición de los levantamientos de los años de 1956-57 y de los años de 1961-1962, se dio la preferencia a la primera, con el objetivo de conservar el principio de la homogeneidad de la información para el territorio de Cuba en conjunto.

Por la misma razón, en el mapa de recopilación no están incluidos los datos del levantamiento detallado, efectuado en la provincia de Camagüey en el año 1961.

El mapa de recopilación de las anomalías magnéticas en escala 1:500,000 está confeccionado con el intervalo de 100 gamas en las áreas del campo perturbado y con el intervalo de 50 gamas en las áreas del campo tranquilo. En algunas partes del campo está un poco esquematizado debido a la complejidad de detalles en algunas áreas.

En particular eso se refiere al levantamiento detallado realizado en los años de 1961-1962. Al respecto es necesario indicar que en el trabajo con los datos primarios se formó la impresión de que el aeromagnetómetro ANSQ-3A posee mayor inercia (retardación del tiempo) y fija las variaciones del campo en una forma más atenuada que el aeromagnetómetro AM-13.

Es posible que esta impresión sea errónea y la diferencia en el carácter del campo está condicionada por la diferencia de las escalas de los levantamientos realizados.

Comparando el mapa de levantamientos detallados y el regional, es necesario recordar una vez más que las deducciones geológicas, que se basan en los resultados de las determinaciones de la profundidad hasta las zonas de las perturbaciones magnéticas, tienen que ser tomadas con cierta reserva porque la distancia de dos millas entre las secciones no garantiza siempre la configuración e intensidad de las anomalías con suficiente precisión.

CAMPO MAGNETICO DE CUBA Y SU INTEPRETACION GEOLOGICA

Como se sabe, el carácter del campo magnético anómalo en diferentes áreas de la corteza terrestre depende generalmente de las propiedades magnéticas de las formaciones que la constituyen. Las propiedades magnéticas de las formaciones de Cuba prácticamente no han sido estudiadas.

Para la región de Jatibonico se presentan los siguientes valores de la susceptibilidad magnética: serpentinita (expresadas en 10^{-6}), 2700 unidades Cgs; diorita cuarzosa, 600 unidades Cgs; diabasa, 196; diabasa alterada, 100; conglomerado, 36; dolomita, 30; troctolita, 78; caliza, 22. En esta misma región se han logrado obtener algunas muestras de las formaciones sedimentarias del pozo Sancti Spiritus No. 1, cuya susceptibilidad magnética era 139×10^{-6} unidades Cgs en el intervalo de 1525 hasta 2290 m. Pero nada se conoce en cuanto a la naturaleza de estas formaciones y sus espesores. Puede ser que se trate de estratos delgados porque, según la descripción del pozo, el corte geológico en este intervalo está representado generalmente por formaciones carbonatadas.

Los escasos datos disponibles no permiten tener la menor idea de las propiedades magnéticas de las formaciones de Cuba. Para hacer la interpretación geológica, es necesario tomar en cuenta los datos estadísticos sobre los factores que determinan las propiedades magnéticas de las formaciones, de acuerdo con su composición petrográfica.

La topografía del campo magnético de Cuba es bastante complicada y variable; la estructura geológica de Cuba es también complicada. En la parte Norte de la Isla de Cuba, entre La Habana en el Oeste y la bahía de Nipe en

el Este, se observa una zona del campo magnético, positivo y tranquilo, con extensas y poco pronunciadas anomalías; la estructura de estas anomalías es típica para las regiones constituidas por potentes sedimentos prácticamente no magnéticos.

En uno de los informes se destaca que las anomalías de esta clase están determinadas en la región de las Islas Bahamas por medio del levantamiento aeromagnético. El límite meridional de la zona bajo consideración entre La Habana y la bahía de Cárdenas, en general corresponde a un flanco abrupto en el relieve del fondo marino. Más al SE esta zona se observa a lo largo de la costa de la Isla de Cuba, penetrando a veces profundamente en su territorio.

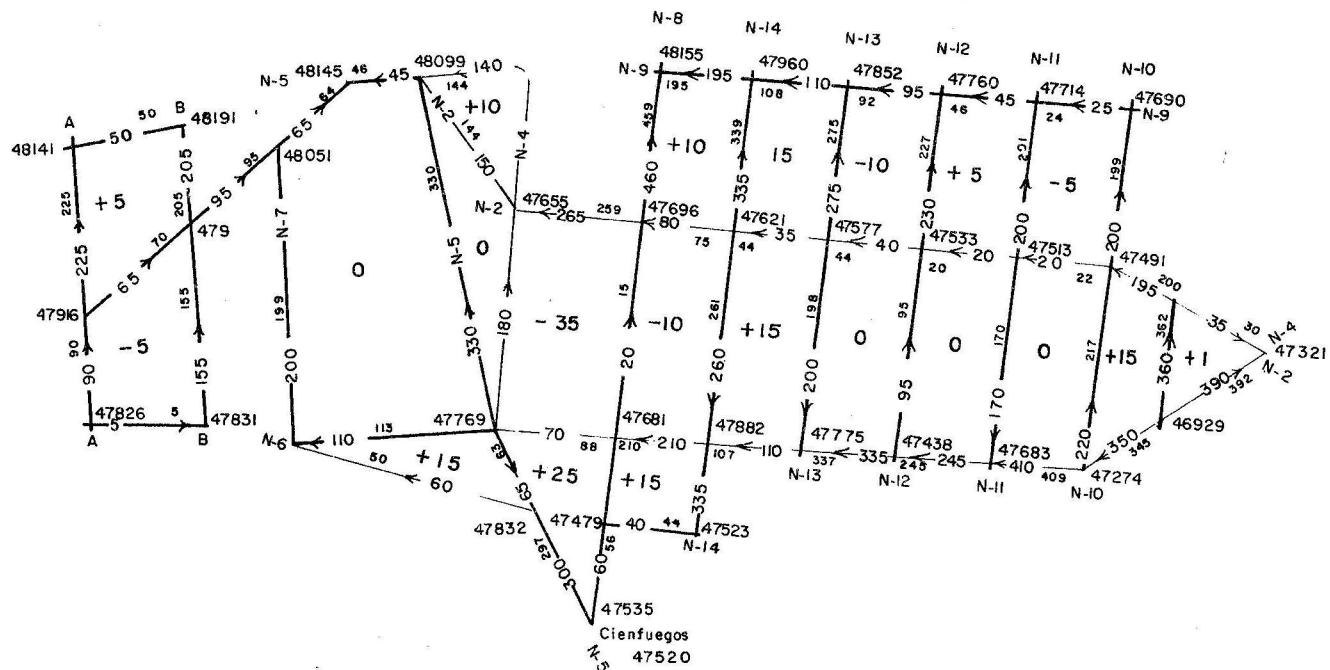
En cuanto a su territorio, esta zona corresponde a la región de sedimentos carbonatados del Cretácico Inferior, sobre los cuales según los datos de perforación y sísmicos descansan delgados sedimentos terciarios, principalmente miocénicos y recientes. Como ya se ha mencionado en el párrafo anterior, esta zona comprende potentes sedimentos del Cretácico Inferior y Jurásico, preferentemente del tipo carbonatado, que descansan sobre el basamento plegado que se supone de edad paleozoica. Según datos de exploración sísmica, el espesor total de los sedimentos es de unos 8 km. Estos datos corresponden a la región de Cayo Francés y Cayo Frago, pero hasta cierto grado pueden extenderse igualmente a toda la zona en conjunto, juzgando por el carácter homogéneo del campo magnético anómalo a lo largo de su extensión. Al examinar el mapa de recopilación de las anomalías magnéticas podríamos considerar el máximo magnético al Norte de la Bahía de Guanahacabibes como su continuación occidental, debido a la similitud del campo magnético en esta zona. Pero, en realidad, el máximo de Guanahacabibes hay que considerarlo como la continuación occidental del máximo de Pinar, que corresponde a la región de desarrollo de los sedimentos del Jurásico Inferior y Medio.

Esta deducción, basada en datos de exploración sísmica y consideraciones geológicas generales, no se desprende del examen del mapa de las anomalías magnéticas ya que el máximo de Pinar tiene una estructura del campo magnético más complicada debido a la influencia de las intrusiones ultrabásicas, la existencia de las cuales se establece en esta región por el levantamiento aeromagnético.

Al mismo tiempo los datos de levantamiento aeromagnético no contradicen esta deducción, puesto que el carácter más tranquilo del campo magnético en el área del máximo de Guanahacabibes se puede explicar fácilmente por la disminución paulatina de las masas magnéticas, así como por la gran profundidad de yacencia de los cuerpos intrusivos.

Hacia el sur de las extensas y positivas anomalías está situada la zona del campo mag-

ESQUEMA DE PERFILES AEROMAGNETICOS BASICOS



SIGNOS CONVENCIONALES

- 1 — PERFILES AEROMAGNETICOS REALIZADOS TENIENDO EN CUENTA LAS VARIACIONES DEL CAMPO GEOMAGNETICO.
 - 2 — SIN TENER EN CUENTA LAS VARIACIONES DEL CAMPO GEOMAGNETICO
 - 3 — AUMENTO DEL CAMPO MAGNETICO ΔT
- a) — 170 — OBSERVADOS
- b) COMPENSADOS
- 4 - 15 ERRORES DE CIERRE DE LOS POLIGONOS ANTES DE LA COMPENSACION
 - 5 o 47150 VALORES ABSOLUTOS DEL CAMPO MAGNETICO T, EN LOS PUNTOS DE LA INTERSECCION DE LOS PERFILES BASICOS EN RELACION CON LOS VALORES MENSUALES MEDIOS CALCULADOS PARA ENERO 1962.

Fig. 2

nético anómalo, complejo y muy variado, la zona que incluye la mayor parte de la Isla de Cuba y su plataforma meridional. El cambio en el carácter del campo magnético anómalo indica que se trata ya de otra región muy diferente de la plataforma septentrional en cuanto a sus condiciones geológicas.

Uno de los factores característicos del campo magnético regional de la Isla de Cuba está relacionado con una angosta zona de anomalías negativas, que con toda seguridad se extiende a partir del golfo de Nipe en el SE, hasta el límite oriental de la provincia de Las Villas. Aquí esta zona pierde hasta cierto grado su configuración y luego se extiende hacia el NO hasta Santa Cruz del Norte, en forma de anomalías negativas desvinculadas entre sí que coinciden con la extensión longitudinal de la Isla, característica para toda la zona en su totalidad; sin discutir los detalles se puede decir en una forma general que la zona mencionada corresponde a la faja de las intrusiones de las serpentinitas en la parte septentrional de Cuba.

Con el fin de explicar el carácter negativo del campo magnético que existe sobre la faja de las formaciones ultrabásicas, que tienen pronunciadas propiedades magnéticas, es necesario definir si estas serpentinitas poseen el magnetismo remanente dirigido en el sentido contrario al campo geomagnético actual o la influencia de estas formaciones no es tan grande que solamente llega a complicar el fondo general del mínimo regional, que está ligado con cierto complejo de las formaciones que determinan los rasgos principales del campo magnético regional de Cuba.

Para resolver estos problemas es necesario ante todo definir cómo se manifiestan las serpentinitas en el campo magnético anómalo.

Al comparar los mapas geológico y magnético, ante todo se destaca la ausencia de correlación entre las anomalías magnéticas y las formas de los macizos de serpentinitas en la zona de su mayor desarrollo. Particularmente, se trata de los macizos de serpentinitas en las regiones de Santa Clara, Camagüey y Holguín. Solamente cerca del límite oriental de la provincia de Las Villas y más hacia el Oeste, en la provincia de Matanzas, la mayoría de los macizos de serpentinitas se registran bien por el levantamiento aeromagnético como máximos magnéticos. Generalmente, estos máximos están desplazados hacia el Sur con respecto a los afloramientos de los cuerpos de serpentinitas. Es completamente natural, ya que la comparación se hace con su valor total en el mapa anómalo y no con la componente vertical del vector T , y por lo tanto, se manifiestan las condiciones de la magnetización de las formaciones en el campo magnético mundial en las zonas de latitud meridional del hemisferio septentrional.

Anteriormente se ha mencionado que en la provincia de Matanzas las serpentinitas se ma-

nifiestan gravimétricamente como máximos totales. A juzgar por los datos magnéticos y gravimétricos, la mayoría de los cuerpos serpentiniticos se presentan en forma de capas o lentes limitados en el sentido de rumbo y profundidad. Su distribución areal se puede definir por medio de las anomalías magnéticas, cuyas dimensiones transversales rara vez sobrepasan los límites de 10 km. No existen datos referentes a su potencia.

Para algunos casos particulares referentes a los cuerpos serpentiniticos en la provincia de Matanzas, se obtuvieron los siguientes datos aproximados de su potencia, según los datos gravimétricos: Madruga, 1500 m; Cidra, hasta 2,000 m; San Miguel de los Baños, hasta 2,500 m. Los cuerpos serpentiniticos mencionados tienen los mismos nombres que los puntos poblados cercanos. Los máximos magnéticos observados sobre estos cuerpos, están acompañados por los mínimos magnéticos conjugados situados al Norte de ellos. Esta distribución del campo magnético indica que el vector de intensidad de magnetización coincide en términos generales con la dirección del campo magnético actual. Es de notar que la intensidad de los mínimos magnéticos conjugados aumenta con la potencia calculada de los cuerpos serpentiniticos. Este hecho hasta cierto grado demuestra la bondad de los cálculos y confirma a su vez la extensión limitada en el sentido vertical de los cuerpos serpentiniticos.

Relaciones análogas se conocen igualmente en otras zonas donde existen cuerpos de serpentinitas de la faja ya mencionada. Particularmente el pozo perforado en la cima del máximo magnético en la región de Puerto Padre, con la intensidad de 400 gamas descubrió las serpentinitas en el intervalo 55-762 m. El pozo Tina No. 1, ubicado hacia el SO de Cunagua, provincia de Camagüey, en el flanco septentrional del máximo magnético que tiene una intensidad de 300 gamas, descubrió la serpentinita en el tramo de 90 - 1550 m.

Antes de sacar algunas deducciones, basadas sobre los hechos mencionados, es necesario hacer referencia a un hecho teórico bien establecido en cuanto al grado de magnetización de las formaciones y cuerpos mineralizados dentro de los campos magnéticos débiles, cuya intensidad puede ser comparada con el campo magnético de la tierra.

De acuerdo con la teoría existente sobre geomagnetismo, el campo magnético de la tierra no ha sido constante durante el proceso de su evolución.

Modificándose uniformemente en su magnitud y sentido, el campo sufría simultáneamente una inversión, cambiando los signos de sus polos durante definidos y cortos períodos de su historia geológica.

Los cuerpos magnéticos, durante el proceso de enfriamiento, atraviesan la temperatura crí-

tica (punto Kuri) cuando ellos poseen su susceptibilidad magnética máxima, que frecuentemente sobrepasa muchas veces la susceptibilidad magnética de las rocas a temperaturas relativamente bajas. Gracias a las fuerzas coercitivas, las formaciones poseen la propiedad de conservar la magnetización adquirida bajo la acción del campo magnético que existía anteriormente.

En otras palabras, las formaciones de una edad definida conservan en su estado actual un reflejo o un sello histórico de aquel campo magnético que existió durante el período de su formación. Esta magnetización recibió el nombre de "remanente", para diferenciarla de la "inductiva", originada por el campo geomagnético actual. Experimentalmente se ha demostrado que la magnetización "remanente" de las formaciones, frecuentemente sobrepasa en unas 10-12 veces la magnetización "inductiva" y el vector total de la intensidad de la magnetización, que representa la suma de los vectores de la magnetización remanente e inductiva, puede tener cualquier sentido, inclusive un sentido diametralmente opuesto al campo magnético actual.

Volviendo al tema de las discusiones, se puede constatar que en toda la extensión de la faja donde se encuentran los cuerpos serpentiniticos, el vector total de la intensidad de magnetización tiene dirección cercana a la dirección del campo magnético actual. En la provincia de Matanzas, donde las serpentinitas se presentan en forma de cuerpos individuales de dimensiones relativamente pequeñas, se puede considerar como un hecho invariable su manifestación en el campo magnético en forma de máximos. Esta ley es característica para toda Cuba Occidental, puesto que análogas relaciones se observan igualmente en la provincia de Pinar del Río. Los dos ejemplos antes mencionados referentes a la parte oriental de la faja serpentinitica son puramente accidentales, puesto que la principal de las intrusiones serpentiniticas corresponde a la zona del campo magnético negativo y en los sitios donde las serpentinitas afloran en la superficie no se observan ni máximos ni mínimos bien definidos. Sin embargo, no se puede hacer caso omiso a estos afloramientos, puesto que son factores que obligan a buscar otra explicación del mínimo magnético regional en la zona de desarrollo de las serpentinitas.

Efectivamente, la idea de la "magnetización inversa" es poco verídica. El carácter de las anomalías y los resultados de perforaciones, confirman el hecho de que los pozos "Tina No. 1" y "Puerto Padre" atravesaron cuerpos serpentiniticos relativamente pequeños y que están rodeados por sedimentos no magnéticos. Es difícil suponer que durante el proceso de su formación tuvieron lugar algunas condiciones especiales, que podrían aumentar las propiedades magnéticas, vinculadas con la influencia del

campo magnético en la cercanía de los cuerpos magnéticos con propiedades magnéticas más intensas.

Igualmente es difícil suponer que las intrusiones del mismo tipo, formadas aproximadamente en las mismas formaciones geológicas y de la misma edad, tuvieran propiedades magnéticas muy diferentes. Se puede admitir que en algunos casos particulares tuvo lugar el proceso de magnetización inversa de algunos cuerpos intrusivos. Sin embargo, durante la interpretación geológica es necesario partir del hecho de que el campo magnético de la Tierra durante el período de la formación de las intrusiones serpentiniticas tuvo una dirección cercana a la dirección del campo geomagnético actual.

Por lo tanto, la diferente manifestación de las serpentinitas en el campo magnético anómalo depende de las diferentes dimensiones geométricas y de la forma de los cuerpos serpentiniticos y no de las diferentes condiciones de la magnetización de las intrusiones ultrabásicas durante el proceso de su formación. Desgraciadamente, la mayoría de los pozos fueron abandonados en las serpentinitas y a la profundidad de unas decenas o primeros centenares de metros. Desde el punto de vista de la geología general, se trata probablemente de intrusiones ultrabásicas en forma de derrames, posteriormente transformadas en serpentinitas. Tomando en cuenta los intensos plegamientos que sufrieron las formaciones encajantes, las formas de las serpentinitas pueden ser muy variables. Según los datos de perforación los cuerpos serpentiniticos tienen diferentes espesores. Se presentan tanto en forma de delgadas láminas, intrusiones de unos metros de espesor, como en forma de gruesos cuerpos con un espesor de muchos centenares de metros. La potencia máxima de las serpentinitas fue determinada en el yacimiento de petróleo de "Jarahuca", en la provincia de Las Villas, donde el pozo "Regina" No. 1 (falta la información completa) fue perforado en serpentinitas hasta 2,200 m, sin alcanzar las formaciones subyacentes. Es posible que el espesor real de este mismo cuerpo sea considerablemente menor, ya que el pozo podría haber sido perforado bajo pequeños ángulos con respecto a su inclinación. La cifra mencionada no modifica el espesor calculado de los cuerpos serpentiniticos en la provincia de Matanzas. Es muy posible que en esta parte de la faja serpentinitica se encuentren intrusiones serpentinitizadas de un espesor de varios kilómetros. Los datos obtenidos por el levantamiento aeromagnético proporcionan información de carácter general referente al macizo de los cuerpos de serpentinitas en la región de Holguín. La parte occidental de este macizo fue levantada a la altura de 460 m. con respecto al nivel del mar y la parte oriental a 1370 m. Es fácil notar (especialmente en el mapa de

las anomalías magnéticas en escala 1:250.000) que el carácter del campo magnético cambia con la altura del vuelo.

En particular, con el aumento de altura del vuelo desaparecen numerosas anomalías locales que complican el fondo general del mínimo magnético y regional.

En general, la extensión de las anomalías locales y afloramientos de las serpentinitas en la superficie confirman el hecho de que existe una íntima relación entre el campo magnético y las intrusiones de serpentinitas.

La configuración de las anomalías indica al mismo tiempo que éstas se deben a cuerpos magnéticos, relativamente pequeños, de extensión horizontal, situados a poca profundidad. El hecho de que en el plano no se observa una correlación rigurosa entre los ejes de las anomalías locales y los afloramientos de serpentinitas no tiene gran importancia y no se le puede considerar como un factor contrario a las deducciones expuestas.

En primer lugar, la configuración de los afloramientos no define la configuración de las intrusiones serpentinizadas y en segundo lugar, hay que tener en cuenta que, en el levantamiento aeromagnético, ΔT registra el efecto total de la influencia de las formaciones magnéticas dentro de un radio con respecto al punto de las observaciones y generalmente en el plano los máximos están un poco desplazados con respecto a los contornos de los cuerpos magnetizados.

Es posible también que las anomalías locales se deban a las rocas efusivas del Cretácico Superior, que se caracterizan por un campo magnético muy perturbado. Como ejemplo podemos mencionar las regiones situadas hacia el Sur de Camagüey y las estribaciones septentrionales de la Sierra del Escambray. Sin embargo, esta posibilidad no desvirtúa la hipótesis de que el mínimo regional de Cuba septentrional, tanto en la parte occidental como en la oriental, está relacionado con el complejo (probablemente bastante grueso) de formaciones no-magnéticas, o poco magnéticas, que contienen las serpentinitas que se manifiestan en el campo magnético como anomalías locales. Probablemente esta deducción se puede referir a toda la región en conjunto, ya que las zonas con el mayor desarrollo de serpentinitas (provincias de Las Villas y Camagüey), no modifican sensiblemente el carácter del campo magnético del mínimo regional que se observa a lo largo de muchos centenares de kilómetros en la costa septentrional de Cuba. En la Figura No. 3 se muestra una serie de curvas (ΔT) que corresponden a la parte oriental de la provincia de Las Villas. Se muestra también una curva teórica (ΔT) similar, que se debe a un cuerpo horizontal e indica, evidentemente, que el mínimo magnético regional está originado por un complejo de formaciones no magnéticas, que se encuen-

tran en contacto con el bloque elevado de formación magnética.

Sin embargo, la interpretación dada no sería completa sin una explicación, porque los macizos de las serpentinitas de las provincias de Las Villas y Camagüey, que ocupan un área de muchos centenares de kilómetros cuadrados, no se manifiestan en el campo magnético.

Simultáneamente, se podrá resolver en principio el problema referente a la interpretación geológica del mínimo magnético que corresponde al macizo serpentinitico en la región de Mayarí, aunque la zona del campo negativo a la cual se refiere ocupa una posición algo diferente en la tectónica general de Cuba. En efecto, si partimos de la suposición de que los cuerpos serpentiniticos tienen una potencia bastante grande, sería lógico esperar que sobre ellos existirían anomalías magnéticas positivas bastante considerables.

En particular, según los cálculos hechos, una capa horizontal de serpentinita magnetizada en el campo magnético terrestre que se extiende infinitamente en una dirección y tiene una sección transversal de 1×5 km., origina a la altura de 500 m. de su superficie una anomalía magnética del orden de 130 gamas con la susceptibilidad magnética de $X = 2.000 \times 10^{-6}$ CGS, y una anomalía de 200 gamas, una susceptibilidad magnética de $X = 3.000 \times 10^{-6}$ CGS. Con los mismos valores de la susceptibilidad, una capa con la sección transversal de 5×2 km. origina unas anomalías de 230 gamas y 350 (*) gamas respectivamente. En realidad, tales anomalías no se observan en ninguna de las regiones consideradas.

Es más fácil suponer que la potencia de los cuerpos serpentiniticos en las provincias de Las Villas y Camagüey es reducida y, por lo tanto, su influencia es ínfima aun con la pequeña distancia que separa el plano de las observaciones y la superficie terrestre.

No hay que poner en duda que se trata de intrusiones en forma de capas horizontales limitadas en el sentido vertical y no intrusiones en forma de bolsones. Al mismo tiempo no se puede hacer caso omiso a la información disponible, que confirma el hecho de que el espesor de los cuerpos serpentiniticos aislados puede llegar hasta 2 km. o más. Pero aun en los casos de una gran potencia de los cuerpos serpentiniticos pueden existir condiciones bajo las cuales los afloramientos serpentiniticos se manifestarían como mínimos magnéticos.

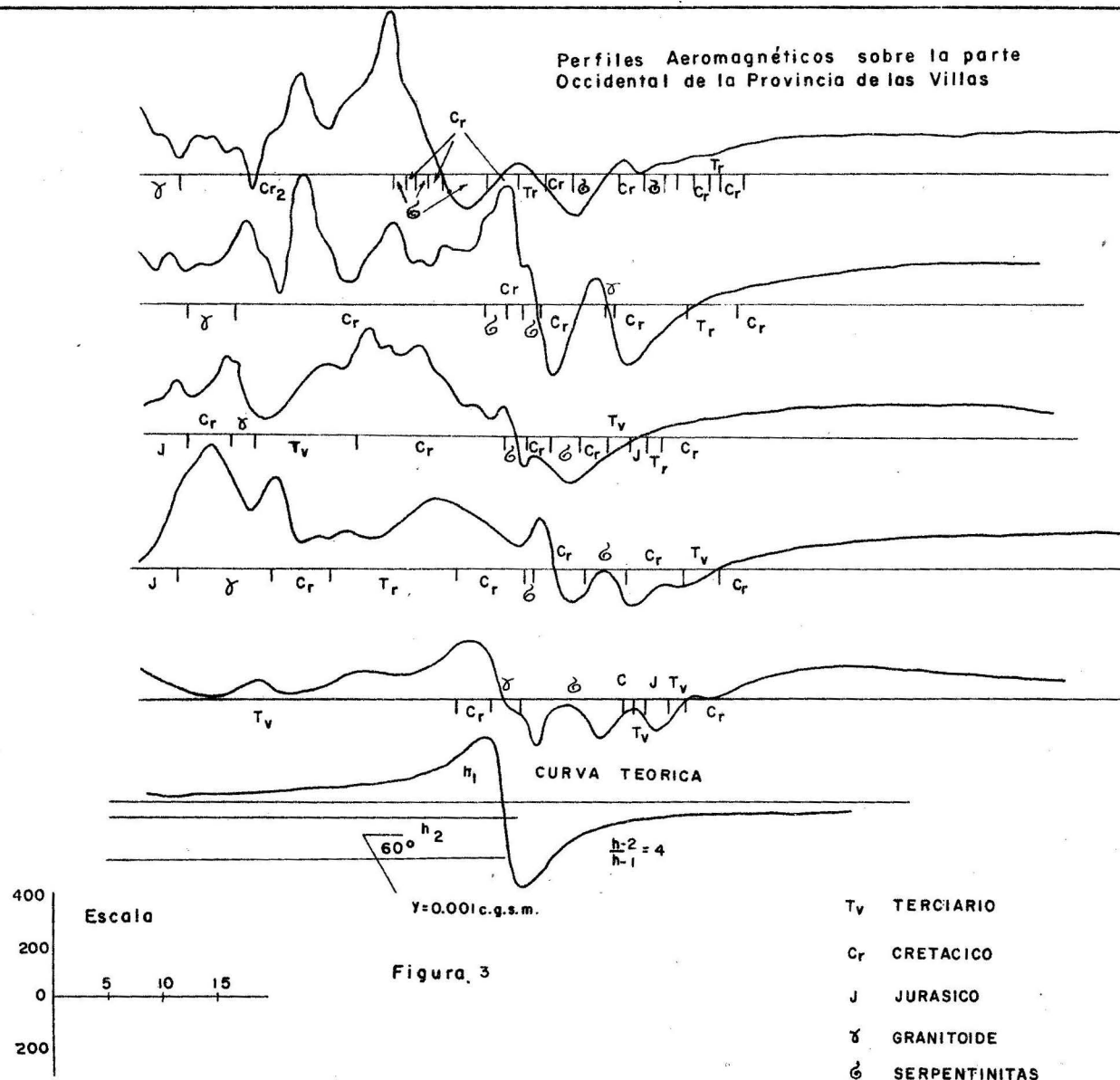
(*) Los cálculos se han hecho por la fórmula $Z = 21 (Q_1 - Q_2)$ para los cuerpos magnetizados en dirección vertical en el campo magnético homogéneo.

Z — es el componente vertical del campo magnético.

I — es la intensidad de la magnetización.

Q_1 y Q_2 son los ángulos que forman la superficie con las superficies inferior y superior de la capa magnetizada.

Perfiles Aeromagnéticos sobre la parte
Occidental de la Provincia de las Villas



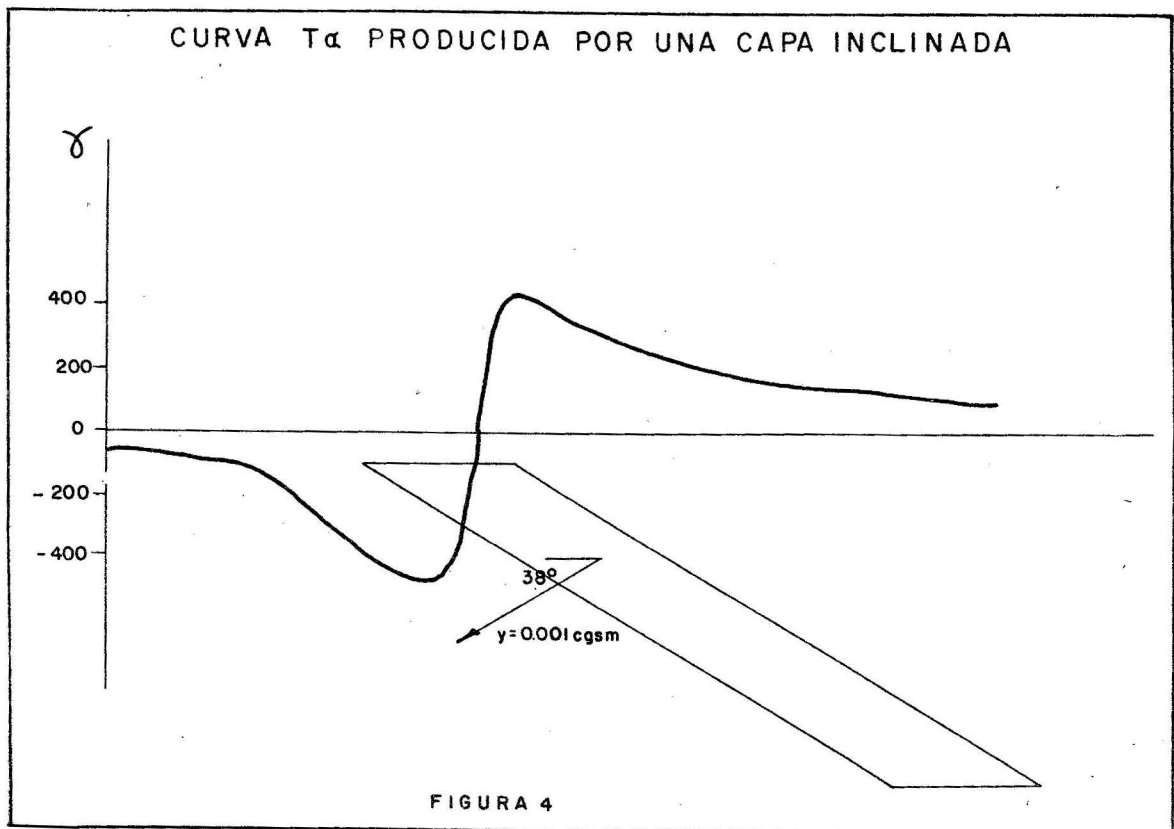
Como ejemplo, en la Figura No. 4 y No. 5 se muestran las curvas teóricas (ΔT) para una capa inclinada y para una combinación de dos capas inclinadas. La última variante muestra esquemáticamente el caso cuando una capa horizontal magnetizada ($G = 60^\circ$), cuya magnetización remanente sobrepasa muchas veces la magnetización inducida, fue sometida a un esfuerzo de plegamiento y parcialmente fue erosionada en la cima del anticlinal. Se pueden escoger diferentes combinaciones de los cuerpos magnetizados y calcular el campo magnético teórico creado por ellos, que coincida de una manera satisfactoria con el campo magnético anómalo, que se observa en las zonas donde existen serpentinitas.

Sin embargo, todos estos ejemplos serán solamente abstractos si no se toman en cuenta las condiciones geológicas y geofísicas, puesto que desde el punto de vista de la magnetometría puramente, este problema no tiene una solución única.

Una solución particular de un problema concreto por medio de la exploración magnética, en una de las áreas de la faja serpentinitica, no puede modificar la suposición generalmente aceptada que las serpentinitas poseen un espesor limitado y llegan solamente a complicar el fondo general del mínimo magnético regional, manifestándose en el campo magnético como anomalías de gran amplitud. No es necesario citar ejemplos complementarios.

La deducción en cuanto al origen geológico del mínimo magnético regional, es decir, su relación con la zona que se caracteriza por el desarrollo de las formaciones no-magnéticas de considerable espesor, corresponden bastante bien a los resultados de la interpretación de los datos gravimétricos, que indican la existencia de una profunda depresión a lo largo del basamento del geosinclinal de Cuba dentro de la zona considerada. Interpretando desde el punto de vista geológico la zona del mínimo magnético regional, hay que tener en cuenta que el signo (negativo o positivo) del campo no debe considerarse como único criterio para determinar la configuración de la presión correspondiente. Es necesario tomar en consideración el carácter de las modificaciones relativas del campo magnético provocadas por las intrusiones serpentiniticas, la existencia de las cuales es uno de los factores que determinan la historia de la evolución geológica de este elemento estructural. De acuerdo con lo que se ha dicho, es necesario trazar el límite septentrional de la depresión en la parte SE de la bahía de la Gloria, a lo largo de los mínimos magnéticos débiles situados en la línea bahía de Nuevitas al pueblo de Puerto Padre y no en la zona que se caracteriza por el cambio del signo del campo.

Débiles anomalías positivas situadas hacia el Sur de esta línea están originadas, evidentemente, por las serpentinitas, cuyos afloramientos se registraron en algunas áreas.



Al definir los factores que determinaron el campo regional, puede surgir la idea de que el mínimo magnético de Pinar (se trata del mínimo, que corresponde a la depresión del mismo nombre) es la continuación inmediata del mínimo magnético regional, relacionado con la costa septentrional de la Isla. A su vez, esta relación se confirma por la configuración de la Isla de Cuba y por el carácter del campo gravitacional. Naturalmente, basándose en esta hipótesis se pueden confeccionar los perfiles tectónicos correspondientes.

Desde el punto de vista del tectonismo regional, no sería correcto unir estos mínimos en una sola zona, puesto que la historia de la evolución geológica de las áreas de la corteza terrestre correspondiente a estos mínimos es completamente diferente. El mínimo que se relaciona con la costa septentrional de Cuba Central, corresponde a la zona de levantamientos anticlinales, constituidos por formaciones de edad Cretácica y Jurásica.

Según los datos aeromagnéticos y gravimétricos, la potencia de las formaciones Mesozoicas es bastante grande y esto permite suponer que estamos tratando con el levantamiento inverso formado en la zona de la depresión del basamento Jurásico del geosinclinal de Cuba.

El mínimo de Pinar corresponde a la depresión Jurásica del basamento plegado. Según los datos de exploración sísmica, la potencia de los sedimentos terciarios y cretácicos dentro de la depresión es de unos 4 km. Por consiguiente, es de suponer que la zona de la depresión del basamento del geosinclinal Jurásico o desaparece en la dirección NO (a juzgar

por los datos del levantamiento aeromagnético), o continúa en el golfo de Méjico en la región de la bahía de Cárdenas (según los datos gravimétricos). En ambos casos no hay que buscar su continuación dentro de la parte occidental de Cuba.

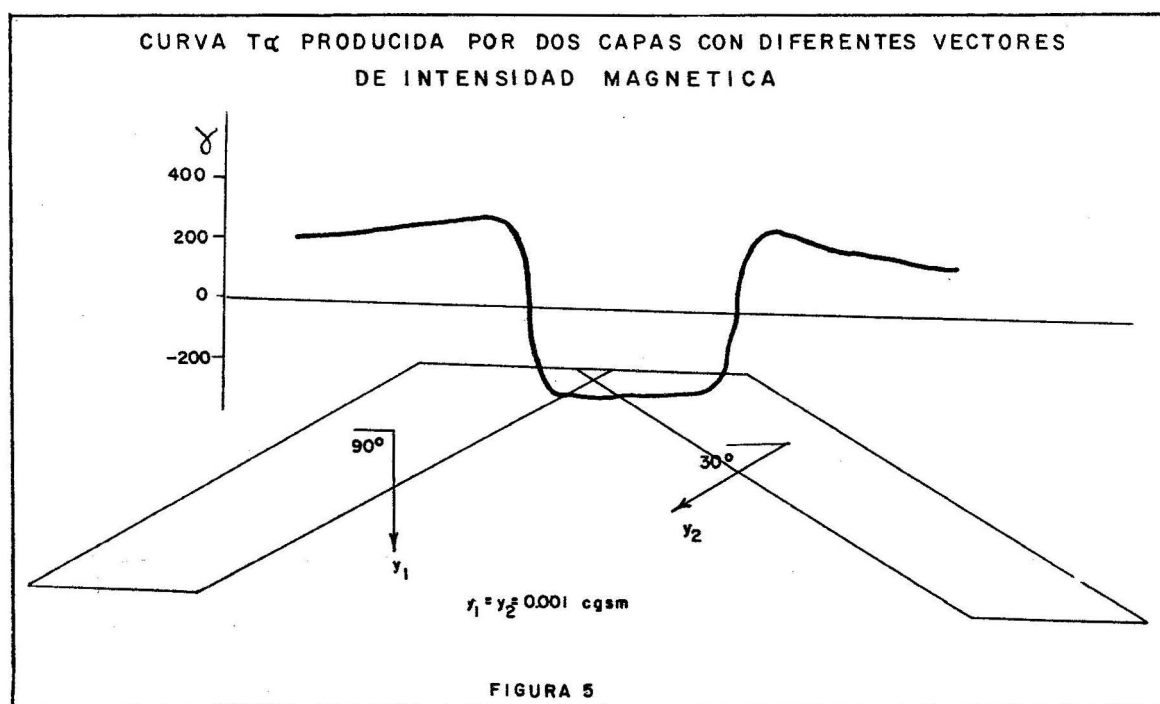
Examinado el problema referente al origen geológico del mínimo magnético de Pinar, de hecho comenzamos la interpretación de las anomalías magnéticas dentro de la zona Central de los máximos gravimétricos, que se caracteriza generalmente por el nivel más alto de las anomalías gravimétricas en comparación con las regiones adyacentes. En cuanto al campo magnético anómalo de esta zona, también se caracteriza por una serie de factores que la diferencian de las zonas del campo magnético regional de Cuba anteriormente examinadas.

Esta diferencia se manifiesta claramente dentro de Cuba Central, entre la bahía de Cochi-no al Oeste y la Cuenca del Cauto al Este.

En esta zona se observa el campo magnético muy perturbado, con el predominio de intensas anomalías positivas en algunas áreas individuales. Estas áreas están situadas como 3 bloques aislados, separados entre sí por profundos mínimos magnéticos que se extienden al NE. El problema referente a la naturaleza geológica de las anomalías magnéticas dentro de este territorio tiene una sola solución concreta.

También se destacan claramente las posibilidades de aplicar los métodos para estudiar sus condiciones geológicas.

Algunas formaciones conocidas, metamórficas y plegadas, de edad Jurásico Inferior y



Medio, consideradas generalmente como el basamento plegado Jurásico, no pueden poseer propiedades magnéticas bien desarrolladas.

Hasta cierto grado esta suposición se confirma por la composición de las formaciones constituidas principalmente por sedimentos areno-arcillosos, así como el campo magnético negativo, poco perturbado, que corresponde a las Sierras del Escambray y a la Isla de Pinos, donde se observan afloramientos de las formaciones Jurásicas. A primera vista, esta deducción no coincide con el carácter del campo magnético anómalo que corresponde a las formaciones Jurásicas en la parte NO de la provincia de Pinar del Río, donde se observa el máximo magnético regional. Sin embargo, es razonable suponer que este máximo se debe a formaciones más antiguas. Los cálculos hechos en el mapa de segundas derivadas del campo magnético para la provincia de Pinar del Río, muestran que los cuerpos que producen las anomalías magnéticas en la zona de desarrollo de las formaciones Jurásicas, se encuentran a la profundidad de 1-2 km. Aparentemente las formaciones que corresponden al basamento plegado Jurásico no consisten solamente de rocas carbonatadas ya conocidas. Es posible que entre las formaciones Jurásicas existan rocas que poseen propiedades magnéticas que no conocemos y, por lo tanto, las posibilidades del método aeromagnético para estudiar la estructura interior y el relieve de este complejo son considerablemente limitadas.

Comparando el mapa de las anomalías magnéticas con las condiciones geológicas de las regiones aisladas de Cuba, ante todo se destacan máximos magnéticos comparativamente intensos, originados por intrusiones de textura granodiorítica que afloran en la superficie. En las estribaciones septentrionales de la Sierra del Escambray se destaca la zona de anomalías positivas provocadas por la intrusión granodiorítica. Un examen más detallado permite notar que en el campo magnético se reflejan también algunas peculiaridades especiales de la estructura geológica de este macizo intrusivo. Un ejemplo de ello se encuentra en la interrupción en la zona de las anomalías positivas situadas hacia el sur de Fomento, donde los contornos del cuerpo intrusivo sufren un estrangulamiento. Esto demuestra una vez más que esta zona de anomalías positivas está relacionada genéticamente con la zona de las intrusiones granodioríticas. Intensas anomalías positivas incluyen los afloramientos separados de granodioritas, a lo largo del Ferrocarril Central, entre las ciudades de Ciego de Avila y Camagüey.

Naturalmente, se impone la deducción de que estamos tratando con un gran macizo intrusivo que aflora parcialmente debajo de los sedimentos terciarios y cretácicos, de una potencia relativamente pequeña. Y finalmente la zona de anomalías positivas incluye las in-

trusiones que corresponden al flanco meridional de la Sierra Maestra. Aquí tampoco hay que poner en duda la existencia de una relación genética entre las anomalías magnéticas y las intrusiones, porque a cada uno de los cuerpos intrusivos conocidos corresponde su mínimo magnético.

Se podría citar más ejemplos referentes a las intrusiones granodioríticas menos desarrolladas, las cuales también se reflejan en el campo magnético como anomalías positivas. Pero ellas no son de mucha importancia para la interpretación de la naturaleza geológica del campo magnético anómalo de Cuba, ya que los ejemplos que han sido citados caracterizan casi todas las zonas conocidas donde están desarrolladas las intrusiones granodioríticas. Como excepción podemos considerar solamente el extenso macizo granodiorítico que se extiende desde la ciudad de Camagüey hasta Victoria de las Tunas, cuya característica describiremos más tarde.

Comparando simultáneamente los datos aeromagnéticos y geológicos, se forma la idea de que las regiones donde predominan formaciones vulcanógenas Cretácicas se caracterizan por un campo magnético muy perturbado con intensas y positivas anomalías locales, que frecuentemente alteran con no menos intensos mínimos locales. En las estribaciones septentrionales de la Sierra del Escambray, es decir, en la zona de un gran desarrollo de estas formaciones, fueron efectuados trabajos geológicos y geofísicos terrestres con el objeto de detallar las anomalías, con perspectivas para la existencia de mineral de hierro, que habían sido definidas por el levantamiento aeromagnético.

Estos trabajos comprobaron claramente que el campo magnético muy perturbado en la zona de desarrollo de formaciones vulcanógenas se debe principalmente a las porfiritas del Cretácico Superior, las cuales originan anomalías tanto positivas como negativas, del orden de muchos miles de gamas (según el levantamiento magnético terrestre ΔZ).

Hasta ahora se trata de dos regiones: una está ubicada al Norte de la Sierra del Escambray y la otra comprende los afloramientos de las formaciones vulcanógenas Cretácicas en la parte meridional de la provincia de Camagüey, donde el mismo factor también se manifiesta con bastante claridad. Se conoce que las formaciones vulcanógenas están bien desarrolladas; como ejemplo, podemos citar muchas regiones con el campo magnético poco perturbado y que, sin embargo, están constituidas por formaciones vulcanógenas, las cuales o afloran en la superficie (provincia de Oriente), o se encuentran a cierta profundidad. Como consecuencia, es necesario definir con precisión el grado de relación que existe entre el campo magnético anómalo y la composición de las formaciones volcánicas y su profundidad con

respecto a la altura de vuelo en un estudio aeromagnético.

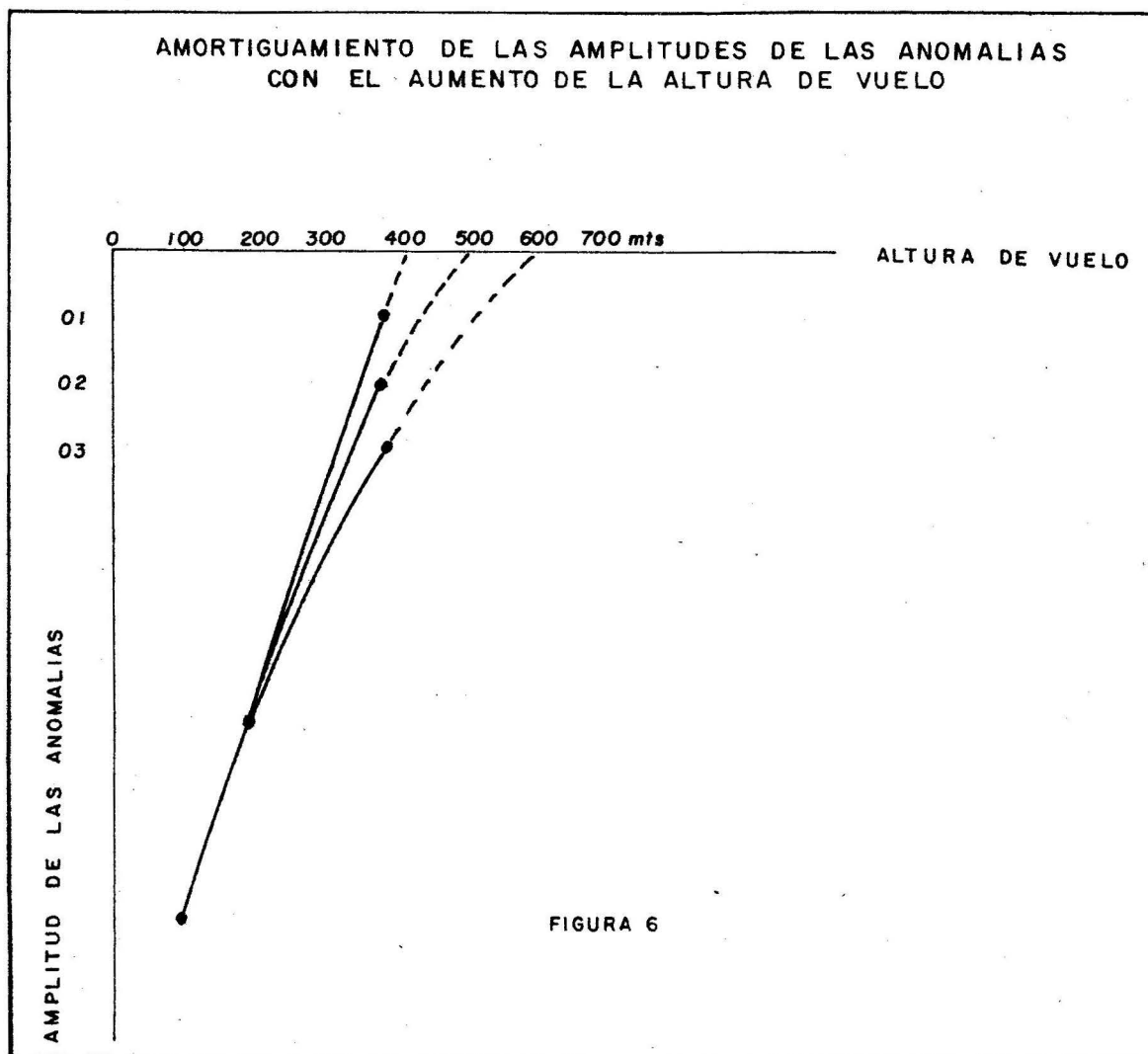
Basándose en los datos estadísticos generales, se pueden dividir las formaciones vulcanógenas en dos grupos de acuerdo con sus propiedades magnéticas. El primer grupo comprende las formaciones efusivas básicas y parcialmente intermedias. Estas formaciones poseen propiedades magnéticas y pueden provocar anomalías magnéticas bastante intensas. El segundo grupo comprende las formaciones efusivas ácidas o parcialmente intermedias, como también las formaciones de origen efusivo sedimentario (tobas y brechas tobáceas), las cuales en su mayoría poseen propiedades magnéticas poco desarrolladas. Generalmente las formaciones efusivas forman cuerpos delgados y, por lo tanto, con el aumento de la altura de vuelo desaparecen rápidamente las anomalías magnéticas. Este hecho, originado por ellas, se confirmó experimentalmente por el levantamiento aeromagnético efectuado en muchas regiones del territorio de la URSS. También se confirma en Cuba por el levantamiento aereo

magnético horizontal (efectuado a diferentes alturas de vuelos), al detallar muchas de las anomalías magnéticas.

El amortiguamiento de la amplitud de las anomalías magnéticas con el aumento de la altura del vuelo (H), obtuvo los siguientes valores en la zona de desarrollo de las formaciones vulcanógenas en la zona al Norte de la Sierra del Escambray: 0.7 ($H = 200$); 0.1-0.3 ($H = 400$), comparados con la amplitud de las anomalías a la altura de $H = 100$ m, cuyo valor fue aceptado igual a 1.

Los trabajos de exploración geológica confirman que la mayoría de las anomalías detalladas en esta región son originadas por porfiritas situadas muy próximas a la superficie de la tierra. Si extrapolamos las curvas, que caracterizan el amortiguamiento de las anomalías, a la zona de mayores alturas se verá, que el campo magnético provocado por las porfiritas desaparecerá a la altura de 600 - 700 m. con respecto a su superficie (vea Figura No. 6).

Este hecho invariable está establecido para las anomalías comparativamente pequeñas en



cuanto a su superficie y aparentemente tendrá otra presión cuantitativa para las anomalías más extensas. Pero la deducción, referente al rápido amortiguamiento del campo magnético, provocado por las formaciones vulcanógenas, permanecerá invariable.

De todo lo que se ha dicho se deduce que se pueden utilizar los datos del levantamiento aeromagnético para la interpretación de las características geológicas de las formaciones vulcanógenas solamente en el caso de que las formaciones que las constituyen estén situadas a profundidades comparativamente pequeñas y sean distintas en cuanto a sus propiedades magnéticas.

En los casos en que las formaciones vulcanógenas estén cubiertas por un espesor más o menos grande de sedimentos no magnéticos, su identificación se dificulta y puede ser resuelta cualitativamente sólo en primera aproximación, si existen algunos datos complementarios (directos o indirectos) que indiquen la asociación de rocas vulcanógenas en las zonas donde existe el campo magnético anómalo.

Examinemos otro caso de carácter general, que se necesita considerar al intentar la interpretación del campo anómalo en las zonas donde las formaciones vulcanógenas están cubiertas por sedimentos terciarios.

Es evidente que el carácter del campo magnético anómalo en las estribaciones septentrionales del Escambray y la parte meridional de la provincia de Camagüey depende considerablemente de los cambios en la naturaleza física y composición de las rocas que constituyen las formaciones de origen volcánico.

En otras palabras, se puede afirmar que el cambio en las propiedades físicas y la composición de las formaciones vulcanógenas se manifiestan en el campo magnético como anomalías locales de diferente intensidad y signo, las cuales en su totalidad forman un campo magnético muy perturbado.

En este caso se puede afirmar que el campo magnético relativamente tranquilo corresponde a las zonas de mayor profundidad de las formaciones vulcanógenas cretácicas, sobre las que descansan potentes sedimentos terciarios y no depende de los cambios de la naturaleza física y la composición de las formaciones vulcanógenas propiamente dichos. Por el término "gran potencia" es necesario comprender un espesor del orden de 1 km. por ejemplo, un espesor que interrumpe la influencia magnética de las formaciones vulcanógenas subyacentes.

Por supuesto, se consideran las zonas arealmente más grandes que las zonas donde existen anomalías locales, debidas a los afloramientos de deformaciones vulcanógenas en la superficie. Por ejemplo, la cuenca Central, donde los pozos perforados y los datos de explo-

ración sísmica indican que las formaciones vulcanógenas se encuentran a considerable profundidad.

Lo mismo es válido también para las cuencas de Nipe Oriental y Occidental y del Cauto, donde las perforaciones no han logrado descubrir las formaciones vulcanógenas debido a un gran espesor de los sedimentos terciarios, pero su existencia es perfectamente probable a juzgar por el amplio desarrollo de las formaciones efusivas en las zonas marginales. Igualmente es válido para el graben en la parte SO de Camagüey, cuya existencia se supone de acuerdo con los datos gravimétricos; lo mismo cabe decir respecto a una extensa zona de campo negativo en la parte NO del golfo de Guacanayabo y otras regiones, que se caracterizan por un campo magnético comparativamente tranquilo independientemente de su signo.

Todas estas regiones se pueden considerar como cuencas terciarias constituidas por potentes sedimentos Cenozoicos. Una extensa zona de campo magnético tranquilo dentro de Cuba Occidental, con su centro en la región del golfo de Broa, hay que considerarla como una extensa región que se caracteriza por sedimentos terciarios más potentes con débil manifestación de magnetismo intrusivo.

En la parte oriental de la provincia de Oriente se observa un campo magnético comparativamente tranquilo. Aquí, esta característica del campo magnético anómalo no tiene ningún sentido geológico, ya que la parte oriental de la provincia de Oriente (al E del meridiano de 76° 00') está estudiada por el levantamiento aeromagnético, desde una altura de unos 1400 m. con respecto al nivel del mar. A esta altura la influencia de los cuerpos magmáticos, comparativamente pequeños, ya no se manifiesta.

En resumen, vamos a discutir el problema en un intento de diferenciar las anomalías originadas por formaciones intrusivas y efusivas, basándose en las peculiaridades del campo magnético anómalo provocado por ellas.

Naturalmente, se trata de anomalías positivas de pequeña extensión areal, que se observan en las zonas de desarrollo de las formaciones de origen volcánico que afloran en la superficie o se encuentran a poca profundidad.

La región más característica en este sentido se encuentra en la parte meridional de la provincia de Camagüey, donde el problema de la naturaleza geológica de las anomalías magnéticas, observadas en la zona de las formaciones de origen volcánico del Cretácico, no tiene una sola solución.

Basándose en el presente estado de los estudios del campo magnético, no hay posibilidad alguna de hacer una clasificación estricta de las anomalías y causas que las originan.

Como primera aproximación, se puede considerar que las anomalías que ocupan áreas de

gran extensión y de configuración uniforme, son originadas por formaciones intrusivas; mientras que las anomalías locales, con pronunciados mínimos contiguos, corresponden a formaciones efusivas intensamente magnéticas.

Este problema puede tener una solución única solamente en el caso de formar una red de observaciones aeromagnéticas más densa.

La solución puede obtenerse basándose en el carácter puramente exterior de las anomalías o por medio de cálculos complementarios referentes al gradiente vertical del campo magnético.

En este momento estamos obligados a limitarnos a las consideraciones generales ya mencionadas, porque no tenemos a nuestra disposición otros factores para hacer una división más estricta de las anomalías, de acuerdo con el carácter externo del campo magnético anómalo.

En eso consisten, en rasgos generales, las posibilidades del método aeromagnético y los datos concretos referentes a la naturaleza geológica de las anomalías magnéticas dentro de la zona bajo consideración, que deben ser consideradas para la confección de los perfiles geológicos y tectónicos, en los cuales se basan las deducciones referentes a la estructura tectónica de Cuba y que se deducen del análisis del mapa de recopilación de las anomalías magnéticas.

Es necesario destacar un caso donde la correlación entre el campo magnético y las condiciones geológicas no se prestan a una explicación lógica. Se trata del macizo granodiorítico indicado en el mapa geológico entre las ciudades de Camagüey y Victoria de las Tunas. Este macizo, que por sus dimensiones sobrepasa otros conocidos, no se refleja en el campo magnético ni en el campo gravitacional.

Para explicar este fenómeno, hay que suponer que la tendencia general bien establecida ya, es decir, la manifestación de las intrusiones granodioríticas como máximos magnéticos, tiene un carácter puramente cualitativo y en realidad las anomalías positivas e intensas, observadas sobre los afloramientos de los cuerpos de granodioritas, están relacionadas con algunas otras formaciones situadas inmediatamente debajo de estas intrusiones.

No se puede ofrecer ninguna otra interpretación física del campo magnético, si admitimos como un hecho la existencia de un solo tipo de intrusión. Sin embargo, esta versión es poco probable y por lo tanto es necesario revisar todos los datos geológicos disponibles para esta región.

Por tanto, este problema merece atención ya que está relacionado con la evaluación de las perspectivas de esta zona en cuanto a la existencia de minerales metálicos útiles.

No hay otros ejemplos de discrepancias entre los datos aeromagnéticos y geológicos. Existen algunas discrepancias entre los contornos de las anomalías magnéticas y la forma de los cuerpos intrusivos. Con frecuencia tiene lugar un desplazamiento, a veces considerable, de las anomalías con respecto a los afloramientos de las intrusiones, pero todas estas discrepancias se pueden explicar como resultado del hecho de que las intrusiones afloran parcialmente y de que las observaciones aeromagnéticas no son suficientemente detalladas. Todos estos problemas no tienen solución definitiva y, por tanto, es necesario discutirlos con mayores detalles ya que este trabajo no incluye un estudio detallado de las condiciones geológicas particulares de las regiones aisladas.

En resumen, se puede decir que la naturaleza geológica de las anomalías magnéticas dentro de la zona Central de los máximos gravimétricos es clara en principio, por lo menos desde el punto de vista de la interpretación física del campo magnético.

Basados en estas deducciones, vamos a discutir algunos detalles tectónicos que se infieren por la forma y distribución del campo magnético anómalo. (*)

Como ya hemos dicho en otro artículo anterior, (ver "Tecnológica" No. 2, 1964), el campo gravitacional de Cuba depende de las condiciones estructurales actuales de los complejos estratigráficos antiguos y, en primer término, del basamento del geosinclinal de Cuba. La estructura y composición litológica de las formaciones que constituyen los complejos estratigráficos superiores ejercen menor influencia sobre el campo gravitacional, ya que la influencia principal proviene de las formaciones metamórficas plegadas del Jurásico Medio e Inferior, que son más densas.

En el campo magnético, al contrario, se refleja claramente la fase geológica posterior del desarrollo del geosinclinal de Cuba y especialmente las etapas que se caracterizan por las manifestaciones de magmatismo intrusivo y efusivo. A pesar de la diferente naturaleza geológica y física del campo gravitacional y magnético, existe entre ellos una relación mutua. Esta relación se determina por el factor de que en ambos campos finalmente se registran las etapas del único proceso de evolución de la corteza terrestre que dio origen a la estructura contemporánea de Cuba. Exteriormente esta relación se manifiesta en correlaciones ciertas entre las anomalías gravimétricas y magnéticas, provocadas por elementos estructurales conocidos.

(*) Al leer este artículo hay que tener en cuenta que actualmente es muy difícil interpretar en un solo sentido, los datos de geofísica. Por lo tanto, se debe considerar la interpretación un solo sentido, los datos de Geofísica. Por riantes probables. C. M. J.

El territorio en cuestión se caracteriza principalmente por la afinidad directa en sus manifestaciones: generalmente las zonas del campo magnético negativo y comparativamente tranquilo corresponden a mínimos gravimétricos regionales y las regiones del campo magnético relativamente perturbado, con **predominancia** de anomalías magnéticas positivas, corresponden a los máximos gravimétricos regionales. En el primer caso se trata de depresiones y en el segundo de elevaciones en la tectónica contemporánea de Cuba. Esta ley general no siempre es efectiva. Localmente, las relaciones entre la estructura tectónica y la distribución de las anomalías magnéticas y gravimétricas son más complicadas. A veces estas relaciones no están claramente expresadas. La mayoría de los grandes elementos estructurales, estudiados bastante bien, tiene peculiaridades características en sus anomalías gravimétricas y magnéticas. En los mapas de recopilación de las anomalías gravimétricas y magnéticas se ven claramente la depresión de Pinar, el graben de la Cuenca Central y las elevaciones contiguas, constituidas por rocas del Jurásico y Cretácico. En el mapa de recopilación de las anomalías magnéticas se identifican, bastante claramente, la configuración de la cuenca del Cauto, las cuencas de Nipe Este y Oeste, constituidas por sedimentos terciarios de gran espesor. El graben de Cochinos es, quizás, la única estructura grande que no tiene un reflejo visible en el campo magnético anómalo, no obstante que en el mapa de las anomalías gravimétricas su configuración se destaca bastante claramente. Hay que tener en cuenta que el mismo graben está situado en una región de campo magnético muy tranquilo, con anomalías de poca intensidad.

En el párrafo anterior, fue mencionado que esta región se caracteriza por débiles manifestaciones de magmatismo intrusivo y por el espesor comparativamente potente de sedimentos del Cenozoico, prácticamente no magnéticos. Por ejemplo, en la parte septentrional del flanco Oeste del graben de Cochinos, las rocas de origen volcánico del Cretácico Superior se encuentran a la profundidad de 1120 m., según los datos del pozo Siboney No. 1 perforado en esta región. Por consiguiente, las condiciones para la aplicación del levantamiento aeromagnético en esta región, con el objeto de estudiar las condiciones estructurales a mayor profundidad, son menos favorables que en otras regiones, donde afloran (o yacen a poca profundidad) rocas muy diferentes por sus propiedades magnéticas. Además, la zona del graben está estudiada insuficientemente por el levantamiento aeromagnético. Las secciones aeromagnéticas se observaron a lo largo de la extensión del graben y, además, la distancia entre **las mismas es bastante grande (3.2 km.)**, para **permitir efectuar un estudio del carácter del**

campo magnético originado por esta estructura, cuyas dimensiones transversales, según los datos gravimétricos y líneas de fracturas mostradas en el mapa geológico, son de 10 a 15 km. Posiblemente, la zona del graben se manifiesta en el campo magnético como anomalías poco intensas; pero estas anomalías quedaron sin definición en esta etapa de los estudios aeromagnéticos.

A juzgar por los ejemplos arriba mencionados, la relación entre el campo magnético anómalo y la tectónica es muy evidente para la mayoría de las regiones de Cuba.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el campo magnético anómalo no puede considerarse como el resultado del reflejo directo de la estructura interior de las formaciones sedimentarias y de origen volcánico que corresponden al complejo Meso-Cenozoico. La dependencia entre el campo magnético regional y la estructura tectónica de este complejo es más complicada. La dependencia se basa en otras leyes generales. Estas leyes se determinan, en primer lugar, por la relación del magmatismo intrusivo y efusivo con ciertos elementos tectónicos y en segundo lugar, por la diferente profundidad de las formaciones Cretácicas de origen volcánico que contienen rocas efusivas fuertemente magnéticas.

La relación entre el magmatismo y ciertos elementos tectónicos y complejos estratigráficos representan el mismo factor, que permite enlazar tendencias ya establecidas del campo magnético regional, con las peculiaridades de las condiciones tectónicas de la zona en cuestión.

La característica general de la tectónica de Cuba y de las zonas en cuestión está incluida en otro capítulo, como resultado de la interpretación compleja de los datos gravimétricos, aeromagnéticos y sísmicos (Ver "Tecnológica" vol. II, No. 1, 1964).

En este capítulo se discute solamente la significación tectónica de las zonas de una manera más definida del campo magnético anómalo.

Es necesario recordar que, según los datos gravimétricos, consideramos el territorio en cuestión como una zona separada por un sistema de angostas depresiones y grábenes en forma de bloques aislados, donde a pequeña profundidad se encuentra un antiguo complejo de formaciones que constituyen las bases de las formaciones del Jurásico Medio e Inferior.

Los datos aeromagnéticos atestiguan que el complejo Mesozoico de muchas regiones repite, en rasgos generales, la tectónica moderna de este complejo antiguo, que se considera como la base del geosinclinal de Cuba. Este fenómeno se manifiesta más claramente en la parte Central de Cuba, entre la bahía de Cochinos y la cuenca del Cauto.

Aquí, dentro de los bloques levantados del basamento del geosinclinal cubano (es decir,

en las regiones de los máximos gravimétricos relativos), las rocas mesozoicas están expuestas en la superficie o según los datos aeromagnéticos, yacen a poca profundidad con respecto a las depresiones (zonas de los mínimos gravimétricos), rellenas por potentes sedimentos Cenozoicos. Esta parte del territorio se caracteriza por las manifestaciones de magmatismo intrusivo más intensas en Cuba.

En la distribución de las intrusiones también se observa una cierta ley general. Dentro del graben de la cuenca Central no se observan anomalías, que podrían ser explicadas por la influencia de las intrusiones de granitoides sepultadas. En las cuencas terciarias de Cauto y de Nipe Oeste, que limitan por el Este la región en cuestión, no se observan tales anomalías o son de pequeña magnitud. Las configuraciones de las cuencas enumeradas se muestran en el esquema estructural. Las mismas consideraciones son válidas, hasta cierto grado para el graben de Camagüey. Así, es razonable considerar, que en la parte Central de Cuba la actividad intrusiva estuvo concentrada dentro de las elevaciones formadas durante el Cretácico Superior, cuando el geosinclinal de Cuba cesó de existir y entró en la etapa del desarrollo de la plataforma, que se caracterizó por la acumulación de sedimentos terciarios en algunas cuencas aisladas. (*)

De acuerdo con las leyes generales de la evolución de los geosinclinales, la penetración de los magmas dentro de las fisuras es muy característica por los levantamientos centrales en las zonas de geosinclinales y por su edad pertenece al período del levantamiento de la corteza terrestre y proceso de orogénesis.

Así, se puede suponer, que las regiones de manifestaciones de magmatismo intrusivo intenso dentro del territorio en cuestión se refieren a las elevaciones centrales del geosinclinal de Cuba.

El campo magnético anómalo de la parte Oeste de Cuba y de la parte estudiada de la provincia de Oriente (sus regiones meridionales), se diferencia esencialmente del campo magnético de Cuba Central.

También es evidente que la evolución tectónica de estas regiones se desarrolló de una manera diferente. Se ve de manera clara una sorprendente semejanza del campo magnético anómalo de la parte meridional de la provincia de Pinar del Río con el campo magnético de la parte Central de la provincia de Camagüey, especialmente entre Ciego de Avila y Florida. Esta semejanza se refiere no solamente a las intensas anomalías positivas, que se parecen entre sí, sino también a las zonas adyacentes

septentrionales y meridionales del campo negativo y del campo positivo poco perturbado.

Existe una semejanza general entre la estructura del campo de estas zonas y el aspecto general de las anomalías; la extensión de las zonas anómalas es idéntica y también son semejantes las relaciones mutuas entre las zonas anómalas y los mínimos magnéticos regionales, que en un caso corresponden a la depresión de Pinar y en el otro al graben de la cuenca Central.

Sin embargo, no se trata solamente de la semejanza exterior del campo magnético anómalo.

Los pozos Rojos No. 1 y Guanál 1-A, perforados en la parte meridional de la provincia de Pinar del Río, atravesaron los sedimentos terciarios y, a la profundidad de 800-900 m., entraron en la serie de tobos del Cretácico Superior. En estos pozos se encontraron también formaciones magmáticas de diabasas o serpentinitas. Aún no se dispone de datos exactos referentes a la naturaleza de las formaciones magmáticas y, además, este factor carece de importancia.

El pozo Rojo No. 1 fue perforado en la parte axial de la zona del campo magnético negativo, que se une en la parte Norte al máximo magnético regional de la parte meridional de Pinar, mientras que el pozo Guanál 1-A fue perforado en la zona situada entre el máximo y el mínimo.

Desde el punto de vista de las condiciones geológicas estructurales de esta región, el pozo Guanál 1-A estuvo mal localizado. Más prudente hubiera sido perforarlo más hacia el Sur para la interpretación más segura del campo magnético anómalo. Por analogía con otras regiones, hay que considerar el máximo magnético de Pinar Meridional como reflejo de una intrusión granitoide.

Es difícil encontrar otra explicación considerando los datos existentes sobre la constitución geológica de Cuba y las conclusiones hechas anteriormente respecto a la naturaleza geológica de las anomalías magnéticas. Así, se obtiene la impresión de que la naturaleza geológica del campo magnético anómalo de la parte meridional de la provincia de Pinar del Río es igual a la que existe en la provincia de Camagüey. Por lo tanto, debe ser también la misma, en rasgos generales, la tectónica de ambas regiones. Efectivamente, este criterio se confirma considerando la distribución areal de las rocas de un tipo determinado, que se manifiestan de diferente modo en el campo magnético. Solamente hay que tener en cuenta que en un caso (Camagüey), estas rocas del Cretácico Superior afloran directamente o se encuentran a pequeña profundidad, mientras que en el otro caso (Pinar del Río), estas rocas están cubiertas por potentes formaciones ter-

(*) El concepto de los autores sobre la constitución del tipo de plataforma de la Isla, no se comprueba por datos geológicos y no se deduce de los datos geofísicos. C. M. J.

ciarias no magnéticas (800 m.). Sin embargo, no todas las zonas anómalas magnéticamente tienen el mismo significado tectónico.

Particularmente, la zona de campo magnético negativo, adyacente en el Norte al máximo magnético regional de Pinar Meridional, no puede considerarse como análogo del mínimo magnético regional que corresponde a la faja de intrusiones serpentínicas.

Dentro de la parte septentrional de Cuba Central, la faja de intrusiones serpentínicas está acompañada por mínimos gravimétricos regionales, hecho que se debe a la depresión del basamento del geosinclinal cubano. (*)

En la parte meridional de la provincia de Pinar del Río, las relaciones entre las anomalías magnéticas y gravimétricas son de diferente naturaleza. Aquí el máximo gravimétrico se extiende también en la zona del campo magnético negativo.

No se observan cambios en el campo gravitacional que pudieran ser atribuidos a los cambios del campo magnético anómalo. Se excluyen por completo cualesquiera referencias respecto a las inexactitudes que pudieran existir en las observaciones gravimétricas o a la insuficiente densidad de las mismas.

Por lo tanto, la zona de campo magnético negativo en la parte meridional de la provincia de Pinar del Río no debe ser confundida con la depresión del basamento del geosinclinal cubano, puesto que eso contradice a los datos gravimétricos.

La zona de campo magnético anómalo de la parte meridional de la provincia de Pinar del Río se caracteriza en su totalidad por un campo débilmente perturbado en comparación con las regiones circunvecinas.

Considerando que las anomalías locales se destacan de una manera clara, se puede suponer que existe un levantamiento sepultado de las formaciones Mezozoicas que, en rasgos generales, son parecidas al relieve actual del basamento del geosinclinal cubano.

El ejemplo mencionado confirma una vez más el hecho de que las particularidades regionales de los campos gravitacional y magnético están relacionadas con diferentes complejos estratigráficos. Un perfil aeromagnético, que se refiere al golfo de Batabanó y los resultados del levantamiento aeromagnético de Isla de Pinos, permiten identificar las zonas del campo magnético anómalo, situadas hacia el orien-

te de la costa meridional de la provincia de Pinar del Río y correlacionar algunas de ellas con las zonas correspondientes del campo magnético de la provincia de Las Villas.

La zona del campo magnético anómalo, que se encuentra hacia el Sur del máximo magnético sud-pinareño, se amortigua con relativa rapidez en dirección oriental y se cierra en la costa Nor-Occidental de Isla de Pinos. Simultáneamente se acuñan en la misma dirección las formaciones de origen volcánico del Cretácico Superior.

La zona del campo magnético negativo atraviesa el golfo de Batabanó entre la península de Zapata, donde, según datos de exploración sísmica, le corresponde el levantamiento de las formaciones terciarias y se amortigua en dirección a Oriente, sin salir de los límites de la Península.

El máximo magnético de Pinar meridional representa uno de los elementos de una larga zona de anomalías positivas, que existen desde la depresión de Pinar del Río hasta el golfo de Cienfuegos.

Es posible que su continuación coincida con un amplio máximo magnético en el golfo de Ana María, pero la ausencia de datos aeromagnéticos en la zona situada al sur del Escambray no permite resolver este problema de una manera definida.

El hecho de que la zona de anomalías positivas se debe en toda su extensión a la faja de intrusiones granitoides es indudable y, por lo tanto, no requiere comprobaciones especiales, puesto que ya está suficientemente demostrado por las discusiones anteriores. Sin embargo, permanece abierto el problema referente a la relación que existe entre esta faja de intrusiones granitoides y la tectónica actual de la plataforma meridional de Cuba.

Este problema se puede discutir sólo de una manera general. El campo magnético anómalo, que se debe a depresiones en las formaciones terciarias, por regla general, más tranquilo, pero tiene sus particularidades desde el punto de vista de la tectónica regional. Es necesario agrupar en una sola zona las depresiones contiguas a la plataforma meridional de la Isla.

Se trata de dos depresiones, una de las cuales está situada al Sur de la península de Zapata y la otra en el golfo de Ana María. Estas depresiones deben considerarse separadamente, porque, a diferencia de las depresiones en las formaciones terciarias de Cuba, se desarrollan en una zona que se caracteriza por intensas manifestaciones de magmatismo originado por intrusiones.

La amplia depresión del Cauto ocupa una posición intermedia. En su parte central, donde la depresión es máxima, no se observa nin-

(*) Este concepto de los autores está en contradicción con los datos geológicos. Al Norte de Cuba Central, el mínimo gravitacional regional coincide con la elevación marginal, donde se observan espesores mínimos del Jurásico Superior y del Cretácico. Los espesores máximos de los mismos periodos se hallan hacia el Norte del mínimo gravitacional. C. M. J.

guna anomalía que pudiera ser atribuida a los granitoides; pero las anomalías tienen mayor desarrollo en el flanco septentrional de esta cuenca terciaria. Los contornos de todas estas depresiones se muestran en el esquema estructural. Como primera aproximación, se puede suponer que las depresiones (grábenes) dentro de la Isla de Cuba son más antiguas, ya que se habían formado durante el Cretácico Superior, en el período de la fase orogénica subherciniana y algunas posiblemente antes.

La actividad intrusiva durante la parte final del Cretácico Superior no se extendió a las depresiones, sino que fue concentrada en las zonas de levantamientos. Las depresiones de la plataforma insular meridional son más jó-

venes; se formaron durante la parte final del Cretácico Superior y posiblemente durante el Terciario, en la zona de los levantamientos erosionados en el cuadro estructural de Cuba, formado durante la fase orogénica subherciniana del Cretácico Superior. Uno de los elementos más característicos del campo magnético anómalo se considera la zona de las anomalías positivas, que se extiende a lo largo de la costa meridional de la provincia de Oriente.

Desde el punto de vista tectónico hay que considerarla como un reflejo de la zona de fallas profundas, formadas como consecuencia del proceso de plegamientos en la Sierra Maestra y en la depresión batial Bartlett.