

Los bloques determinados según la magnitud relativa del levantamiento son:

- *Moa Oriental*: representa el bloque de mayor ascenso, con valores máximos de disección vertical que alcanzan los 650 m/km², valores isobasitas de 900 m en el segundo orden y 800 m en el tercero, y altura máxima de 1 179 m con dirección noreste.
- *Maquey*: presenta valores máximos de disección vertical de 450 m/km² y de isobasitas que alcanzan los 450 m en el segundo orden y 350 m en el tercer orden. Altura máxima de 791 m con dirección norte.
- *Cupey*: presenta valores máximos de disección vertical de 300 m/km², isobasitas de 250 m en el segundo orden y 150 m en el tercero. Altura máxima de 464 m con dirección norte.
- *Moa Occidental*: presenta valores máximos de disección vertical de 220 m/km², isobasitas de 350 m en el segundo orden y 250 m en el tercero. Alturas máximas de 363 m con dirección norte.
- *Calentura*: los valores máximos de disección vertical son de 370 m/km², isobasitas de 350 m en el segundo orden y 250 m en el tercero. Altura máxima de 304 m con dirección noroeste.
- *Miraflores*: valores máximos de disección vertical de 350 m/km², isobasitas de 300 m en el segundo orden y 300 m en el tercero. Altura máxima de 442 m con dirección noroeste.
- *Cayo Guam*: La disección vertical alcanza valores máximos de 230 m/km², isobasitas de 200 m en el segundo orden y de 150 m en el tercero. Altura máxima de 228 m con dirección norte.
- *Cabaña*: dividido por la falla transcurrente Miraflores en dos sub-bloques, Cabaña Norte, disección vertical de 100 m/km², isobasitas de 90 para segundo orden y 50 para el tercero. Altura máxima de 133 m con orientación norte; Cabaña Sur alcanza valores de disección vertical de 80 m/km², isobasitas de 200 m en el segundo orden y 150 m en el tercero. Altura máxima de 228 m con dirección norte.
- *Nuevo Mundo*: presenta valores máximos de disección vertical de 290 m/km², isobasitas de 100 y 50 m en el segundo y tercer orden respectivamente.
- *Cananova*: presenta valores de disección vertical de 90 m/km², isobasitas de 50 m en el segundo y tercer orden. Alturas máximas de 125 m con dirección este-oeste y 150 m con dirección norte-sur.

Valoración sísmica

Lo anteriormente expuesto en conjunto con la información sísmica quedó establecido para el área en el esquema de zonas sismogeneradoras, donde la zona Sabana es la principal y de su influencia depende en gran medida la actividad del área. El grado de sismicidad es de segunda categoría, lo que puede generar te-

rremotos de magnitud hasta 7. En el área de estudio existen también algunas zonas de estructuras tectónicas activas que constituyen límites de bloques que no pueden caracterizarse por su intensidad sismogeneradora, ya que los datos sísmicos en este caso no son suficientes.

Ejemplos:

La falla Quesigua, en la que en los dos últimos años se han registrado dos terremotos perceptibles, y la zona Miraflores-Calentura asociada a la zona sismogeneradora Puriá, de categoría cuatro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En la región se manifiestan dos formas de relieve: de llanura, que se extiende por toda la parte norte con pendientes suaves y muy suaves, y de montaña que se ubica fundamentalmente al sur y centro de la región.
2. Se determinaron en el área diez bloques morfotectónicos delimitados por las fallas Quesigua-Cabañas, Moa y Miraflores de orientación norte noroeste; Cayo Guam y Los Indios de orientación noroeste y la falla Caimanes de dirección noroeste. Los bloques, según la intensidad relativa de ascenso son: Moa Oriental, Maquey, Cupey, Moa Occidental, Calentura, Miraflores, Cayo Guam, Cabaña, Nuevo Mundo y Cananova.
3. La zona sismogeneradora establecida de mayor importancia fue la zona Sabana.
4. Para determinar la magnitud de los desplazamientos actuales y su influencia sobre las obras ingenieriles es necesario crear una red de control geodésico en los límites bloques de movimientos más contrastantes y de mayor interés socio-económico.
5. Es necesario realizar una reevaluación ingenieril de algunos objetos de obra de explotación y/o construcción para establecer las medidas de seguridad necesarias.

BIBLIOGRAFÍA

- ATLAS NACIONAL DE CUBA, 1989.
- CAMPOS DUEÑAS, M.: "Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo", *Minería y Geología*, no. 2, 1983.
- LÓPEZ VERGORA, M.L.: *Manual de fotogeología*, Madrid, 1971.
- MARQUETTI, M.C.: "Proyecto de estudio sismotectónico de la Central Hidroacumuladora", *Emp.Int. Proy. Ind. Básica*, 1988.
- ORBERA, L.: "Estudio sismotectónico de la Central Hidroeléctrica Toa-Duaba", Informe Técnico, *Emp.Int. Proy. Ind. Básica*, 1990.
- QUINTAS CABALLERO, F.: "Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas", *Tesis doctoral*, ISMM, 1990.
- RODRÍGUEZ REY, F.J.: "Estudio aerofotogeológico de la región de Moa y zonas aledañas", *Trabajo de Diploma*, ISMM, 1987.

PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LAS ROCAS EN CONDICIONES DE ALTA PRESIÓN Y TEMPERATURA. UN EJEMPLO DE APLICACIÓN EN LITOTIPOS DE CUBA CENTRAL

Alberto E. García Rivero
Carlos M. Cruz Ferrán
Manuel Fundora Granda

Instituto de Geofísica y Astronomía: Laboratorio de Paleomagnetismo y Petrofísica.
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Ciudad de La Habana

RESUMEN:

Se presentan aspectos teóricos relacionados con el comportamiento de las propiedades magnéticas de las rocas en condiciones de alta presión y temperatura, así como los primeros resultados en litotipos de Cuba central.

El estudio de los efectos producidos por la acción de la presión y la temperatura sobre las propiedades de los minerales magnéticos en las rocas, es una de las principales tareas en el análisis del magnetismo de éstas.

Este trabajo aborda diversos aspectos metodológicos relacionados con el estudio de las propiedades magnéticas en condiciones de alta presión y temperatura, además presenta, a manera de ilustración, las primeras determinaciones de varios parámetros magnéticos de rocas del macizo Escambray y sus alrededores bajo estas condiciones.

Las propiedades magnéticas de las rocas y minerales en gran medida dependen de las condiciones externas de temperatura y presión, y de la historia de deformación (Nagata, 1970). Con el objetivo de extender la esencia física de estos fenómenos llamados magnetomecánicos se ha realizado un gran número de mediciones experimentales para diversos modelos de presión (uniaxial e hidrostática) y temperatura.

En el caso de la presión, la susceptibilidad inicial medida de un campo magnético débil, es un parámetro estructuralmente sensitivo, el mismo no sólo refleja las condiciones bajo las cuales se formaron las rocas, sino también reacciona sensiblemente a la presencia de los esfuerzos mecánicos posteriores (Kapicka, 1985).

Si las determinaciones son desarrolladas en la región de deformación elástica (Figura 1, región 0-A) no causan cambios estructurales en los minerales ferromagnéticos, siendo la variación de los parámetros magnéticos reversible con respecto a la acción del agente externo.

ABSTRACT:

The theoretical aspects of the behavior of magnetic properties of rocks under high pressure and temperature, as well as, the first results in litotipos of central Cuba are presented.

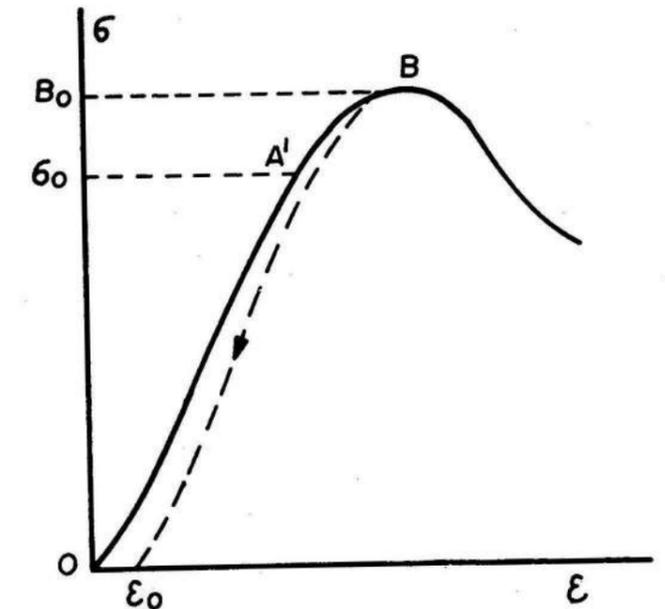


FIGURA 1. Curva de esfuerzo-deformación de las rocas.
ε₀: Zona de deformación permanente.
B₀: Fuerza compresiva.
σ₀: Punto a partir del cual la deformación es irreversible.

Desde el punto de vista teórico, los cambios de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (reversibles e irreversibles, con respecto a un esfuerzo externo) pueden ser interpretados muy bien en términos de

dos mecanismos físicos: por una rotación reversible del vector de magnetización espontánea dentro de cada dominio por separado o por desplazamiento irreversible de las paredes o fracciones de éstos. Ambos mecanismos dependen de la magnitud de los esfuerzos externos (Kapicka, 1984).

El incremento de la temperatura se refleja de forma diferente en la magnetización remanente y la susceptibilidad magnética. En la primera, por regla general, implica una disminución de su valor hasta llegar a la temperatura de Curie de los portadores principales de la magnetización, pudiendo variar por la aparición de nuevas fases (minerales producto de transformaciones) que incrementan de forma sustancial el valor de la susceptibilidad magnética y su anisotropía. Varios autores han estudiado la posible correlación entre el grado de deformación o metamorfismo y el grado de anisotropía de la susceptibilidad magnética, estimando la relación existente entre este último y la magnetización terromanente en las rocas altamente deformadas (Borradaile, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras seleccionadas fueron tomadas del macizo Escambray (Millán, 1989) y sus alrededores, atendiendo a la metodología para el muestreo de las rocas orientadas y la determinación en el campo de los principales parámetros de yacencia. Las muestras fueron preparadas en especímenes cúbicos de 2 cm de lado para el tratamiento en condiciones de alta temperatura, y cilindros de diámetro 1,8 cm y 1,2 cm de largo para el estudio bajo alta presión. A cada una de ellas se les había estudiado con anterioridad el comportamiento de la susceptibilidad magnética, su anisotropía, intensidad y dirección de la magnetización remanente en condiciones normales (García, 1989).

El trabajo experimental de medición fue desarrollado en el Laboratorio de Alta Presión y Temperatura del Instituto de Geofísica de la Academia de Ciencias Checa y el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Filial en Praga de la Empresa de Geofysika Brno.

La susceptibilidad magnética se midió usando un puente de susceptibilidad KLY-2 en un campo magnético débil. La anisotropía de la misma y sus parámetros fueron calculados a partir de la medición de 15 susceptibilidades direccionales usando el programa ANISO 10 (Jelinek, 1972). La anisotropía fue caracterizada a partir de una serie de parámetros como: $P=k_1/k_3$ (grado de anisotropía), $L=k_1/k_2$ (lineación), $F=k_2/k_3$ (foliación), $t = [2(\ln k_1 - \ln k_2) / (\ln k_2 - \ln k_3) - 1]$ (forma de elipsoide), donde k_1 , k_2 y k_3 son las susceptibilidades máxima, intermedia y mínima.

La presión fue suministrada a partir de un pistón no magnético que permite producir una presión hidrostática o uniaxial sobre la muestra. Este dispositivo ha sido diseñado para tales fines en el Instituto de Geofísica de la Academia de Ciencias Checa.

En cuanto al tratamiento por temperatura se utilizó el sistema para vacío magnético "MAVACS" instalado en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Filial de Brno de Praga, el cual permite seleccionar con una gran precisión la temperatura necesaria en cada paso del proceso.

Una vez obtenidos los datos primarios se construyó una serie de gráficos que permiten ilustrar el comportamiento de las propiedades de las muestras bajo estudio en condiciones de alta presión y temperatura.

RESULTADOS

Para visualizar el comportamiento de los parámetros magnéticos en condiciones de presión y temperatura, fue seleccionado un grupo de muestras ígneas y metamórficas:

- M-1 esquisto metaterrígeno
- M-2 esquisto metaterrígeno
- M-3 granitoide
- M-4 anfibolita esquistosa
- M-5 granitoide
- M-6 metagranitoide

Del análisis de la Figura 2 es posible apreciar cómo la influencia de la presión uniaxial es mayor sobre el grado de anisotropía que la hidrostática, observándose un ligero decrecimiento de P para la muestra M-6. A pesar de contar con sólo tres mediciones se evidencia una tendencia lineal entre el grado de anisotropía y la presión ejercida.

El comportamiento de P en función del incremento de la temperatura se ejemplifica en la Figura 3, observándose que con excepción de la muestra M-1 (esquisto) los incrementos con la temperatura no son apreciables, ya que para las muestras 2, 3 y 4, P permanece prácticamente constante y sólo manifiesta una débil tendencia al aumento en la muestra 2.

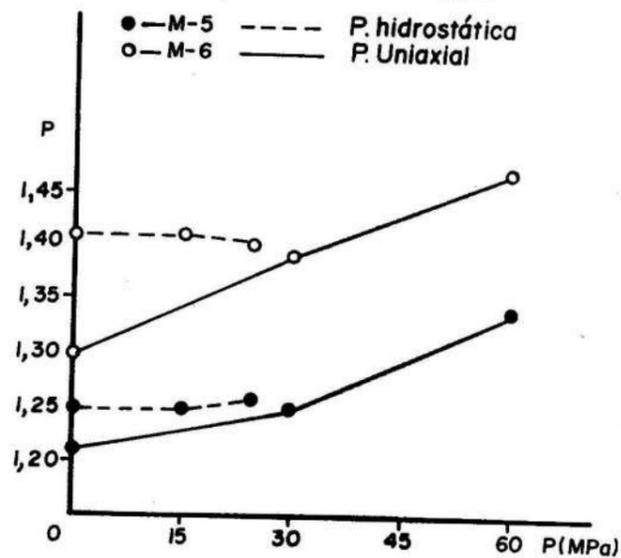


FIGURA 2. Variación del grado de anisotropía P en función de la presión.

Dentro de los aspectos importantes aparecen los cambios en la forma de elipsoide de susceptibilidad, de ahí el interés que presentan las Figuras 4 y 5, donde se muestra tanto para el tratamiento bajo presión como por temperatura la relación entre la alineación y foliación magnética, lo que dice del predominio de una u otra característica.

En la Figura 4 es posible observar que en las muestras 5 y 6 el efecto de la presión hasta el orden de los 60 MPa para la uniaxial y de 25 MPa para la hidrostática, cesa una vez retirada la influencia de las mismas, recuperándose en alto grado las condiciones iniciales, un buen ejemplo lo es la muestra M-5 que bajo presión uniaxial experimenta una deformación considerable para el rango de los 30-60 MPa, y sin embargo, una vez retirada la carga, recupera su estado inicial, otro tanto sucede con la muestra M-6 para esa misma presión.

Otro aspecto a destacar es el hecho de que la presión uniaxial produce una mayor deformación del elipsoide, reflejando una paridad en cuanto al rango de variación, alineación y foliación magnética.

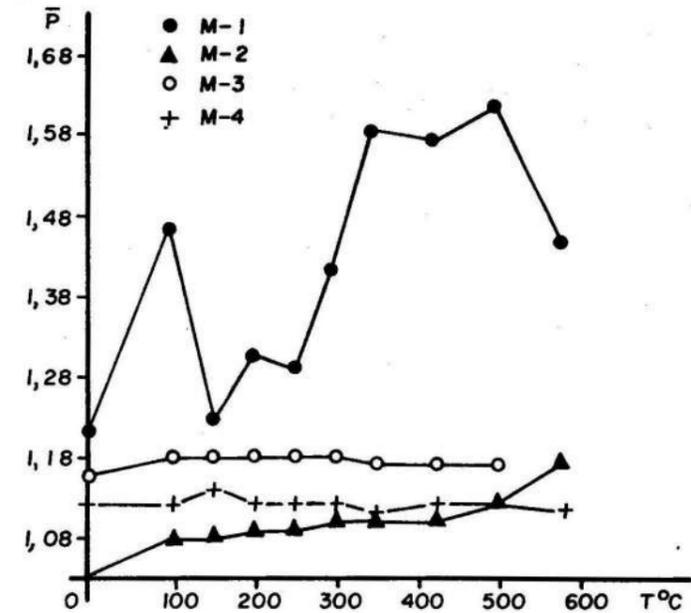


FIGURA 3. Variación del grado de anisotropía P en función de la temperatura.

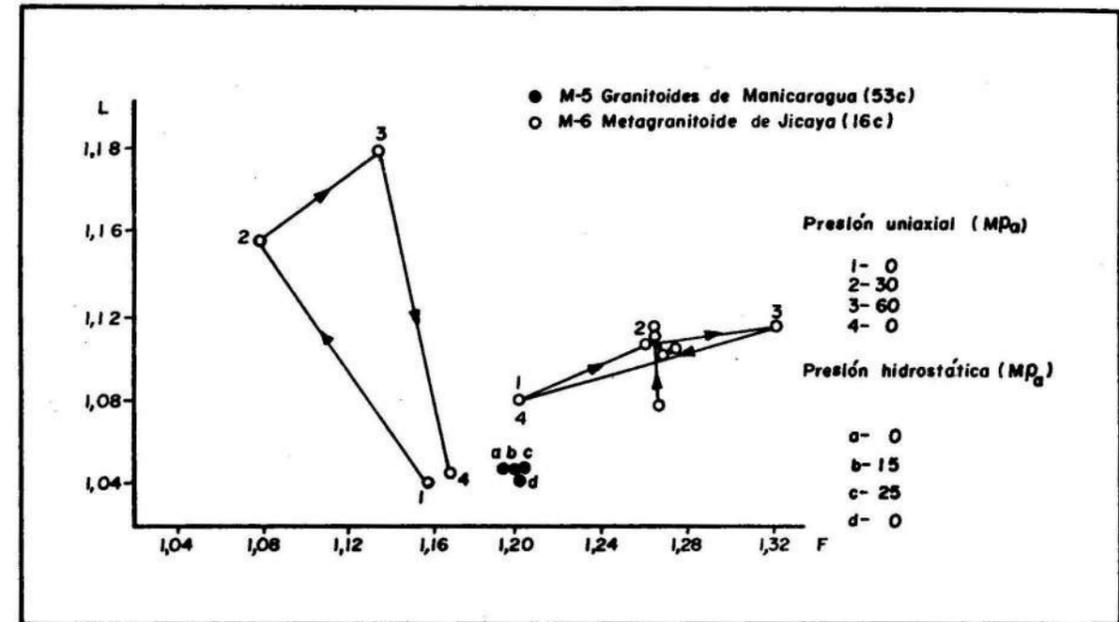


FIGURA 4. Diagrama de la variación de la anisotropía magnética (L vs F) para las presiones uniaxial e hidrostática.

Como complemento, en la Figura 5 se presenta la variación de las formas del elipsoide en función del aumento de la temperatura, evidenciándose cómo el incremento de la misma deforma muy poco al elipsoide con excepción del comportamiento anómalo de la muestra M-1 con una variación extremadamente signifi-

cativa y errática. En sentido general se aprecia cómo el orden de las variaciones de F son mayores que las de L, aspecto comprensible si se tiene en cuenta el alto grado de foliación y bandeamiento de estas rocas (Millán y Somín, 1985).

RESULTADOS GEOFÍSICOS EN EL SECTOR "EL ROBLE" DE LA SIERRA MAESTRA

Ing. María del C. Fuentes Fuentes
Ing. Alfredo Hernández Ransay
Tec. Eduardo Terrero Matos

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Empresa Geólogo Minera de Oriente. Santiago de Cuba

RESUMEN:

Se presentan los principales resultados geofísicos obtenidos con un conjunto de métodos empleados en el sector "El Roble" en la localidad de la Sierra Maestra. Se exponen conclusiones que sirven de apoyo al estudio posterior del área u otras aledañas con características semejantes. Se confeccionó un catálogo de anomalías con las características principales.

ABSTRACT:

Presented are the main results obtained by a complex methods in "El Roble" area of the Sierra Maestra mountain. Exposed are conclusions which may be useful in areas with similar characteristics. A catalogue of anomalies was made including the principal features.

El área "El Roble" surge como perspectiva para minerales útiles durante el levantamiento geológico a escala 1:100 000 Sierra Maestra II, realizado entre 1972 y 1974 por G. Kusovkov y otros. En las cercanías de éste, en El Infierno, se detectaba una serie de zonas concéntricas de mineralización hidrotermal, pirritizadas y conjuntamente se comprobaban anomalías geoquímicas en sectores aledaños.

La búsqueda orientativa y detallada del sector "El Roble" se llevó a cabo, empleando un complejo de métodos geofísicos, geológicos y geoquímicos con el objetivo de buscar mineralización cuprífera, comprobar el carácter perspectivo del área, apoyar el mapeo geológico determinando las posibles fallas, zonas de alteración hidrotermal y metasomática, y precisar contactos litológicos.

Se establecieron tres etapas de trabajo: el reconocimiento, los trabajos preliminares de campo y la etapa de detalle en escalas 1:25 000 y 1: 10 000 respectivamente, esclareciendo las condiciones favorables para la ubicación óptima de las perforaciones y laboreos mineros.

Caracterización del sector "El Roble"

El sector "El Roble" se encuentra situado en las montañas de la Sierra Maestra ocupando un área de quince kilómetros cuadrados. Se localiza a unos cuarenta y dos kilómetros al sureste de la ciudad de Manzanillo, provincia Granma (ver Figura 1).

Presenta un relieve desarticulado cuyas cotas absolutas alcanzan alturas de 1 200 m y las diferencias de nivel relativo 360 m. Las pendientes en la mayoría de los casos son abruptas con una inclinación de 40 a 50 grados.

La estratigrafía de la región está representada por las formaciones vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y depósitos del Cuaternario.

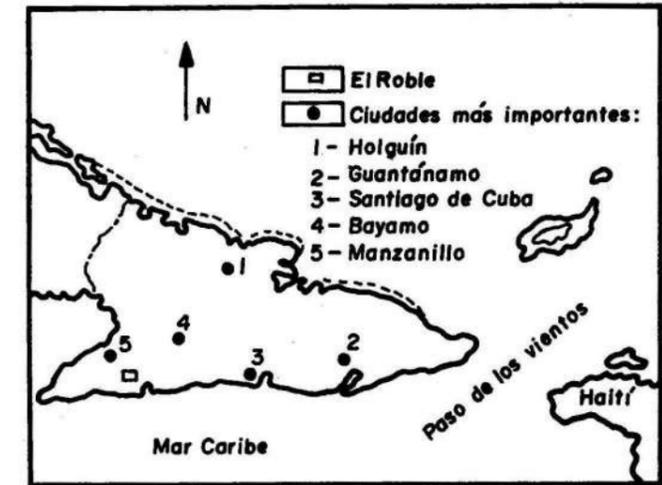


Figura 1. Esquema de ubicación.

Al sistema Cretácico pertenece la formación Turquino. Al Paleógeno las formaciones El Jobo, Uvero, Guamá, Baracoa y Naguas. Los depósitos del Cuaternario varían en espesor de 0,5 a 3 m en la divisoria de las aguas y alcanzan hasta 40 m cerca de las elevaciones de pendientes bruscas.

Las rocas magmáticas de la región están representadas por formaciones intrusivas y subvolcánicas pertenecientes a dos complejos co-magmáticos.

Tectónicamente el sector se encuentra ubicado en los límites del ala septentrional del anticlinorio Sierra Maestra y en las cercanías de la zona de intercepción de dos fallas regionales, una de dirección noroeste denominada Jibacoa y otra en dirección noreste conocida por La Plata.

Existen numerosos puntos de mineralización de cobre, zinc, plomo, hierro, manganeso, localizadas generalmente en zonas disyuntivas.

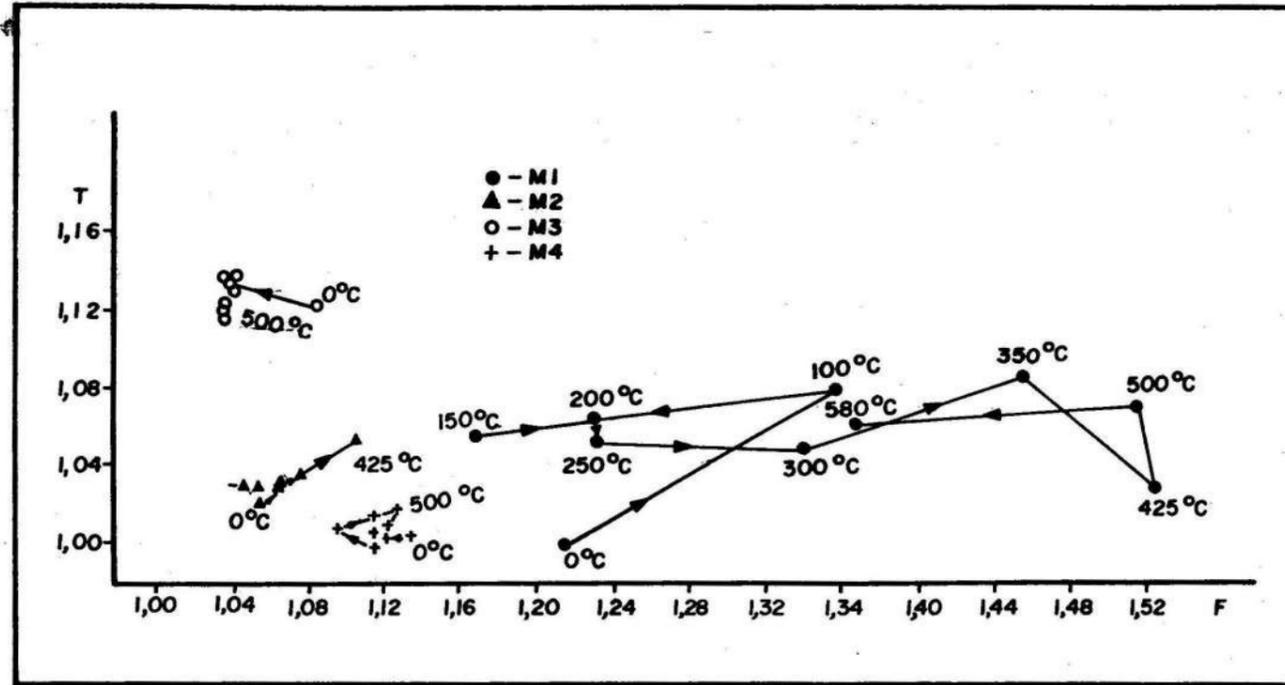


FIGURA 5. Variación del grado de anisotropía P en función de la temperatura.

CONCLUSIONES

Se observó una mayor influencia de la variación de presión sobre el grado de anisotropía en comparación con la variación de temperatura, siendo dentro de las presiones la uniaxial la de mayor incidencia en el aumento.

La existencia de una posible correlación lineal entre el incremento de la presión y el índice de anisotropía llama la atención sobre la necesidad de corroborar con nuevos experimentos esta evidencia.

La variación de la temperatura no produjo cambios sustanciales en el grado de anisotropía. En todos los casos las deformaciones del elipsoide, producto de las presiones ejercidas, desaparecieron en un porcentaje elevado al retirar la carga, corroborando que estos experimentos se desarrollaron en la zona de deformación elástica.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a la asesoría y ayuda brindada por el doctor Vladimir Kropacek del Instituto de Geofísica de la Academia de Ciencias Checa y al

doctor Alex Miroslav Krs del Laboratorio Paleomagnético de la Filial de Geofísica en Brno, Praga.

BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA, A.E.: *Características petromagnéticas del macizo metamórfico del Escambray*, I Congreso Cubano de Geología, Libro de resúmenes, C. Habana, 1989.
JENILEK, V.: *Teoría estadística de la medición de la anisotropía de la susceptibilidad magnética y sus aplicaciones*, Reporte VGF, 22 pp., Brno. Praga, 1972.
KAPICKA, A.: *Interpretace anisotropie magnetické susceptibility hornin podrobených vnejsím mechanickemunapeti*, JCSMP, pp. 149-154, Praha, 1984.
—: *Magnetic anisotropy of basaltic rocks deformed beyond the yield point. Physical properties of the mineral. System of the Burth's interior*, KAPG, pp. 149-154, 1985.
KRS, M. and T. CHVOJA: "On the techniques of analysing the multi-component magnetization of rocks using the Rocona magnetometer", *Studia Geoph. et Geod.* 31, pp. 176-196, 1987.
MILLAN, G. y M. SOMIN: *Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial*, Reporte de Investigación no. 2, Instituto de Geología y Paleontología, pp. 1-52, 1985.
NAGATA, T.: "Basic magnetic properties of rocks under the effect of mechanical stresses", *Tectonophysics* 9, 1970.