

REVISTA
DE LA
ASOCIACION GEOLOGICA ARGENTINA

Tomo XI

Abril de 1956

Nº 2

UNA ANTIGORITA DE MENDOZA

POR ROBERTO J. POLJAK Y RAUL A. ZARDINI

RESUMEN

Estudio mineralógico y cristalográfico de una antigorita de Mendoza. Los datos de difracción de rayos X llevan a deducir el ángulo axial $\beta = 90^\circ$, que corresponde a orto-antigorita, para la cual es éste el segundo caso analizado en la literatura mineralógica.

Introducción. — Durante el estudio geológico de los cuerpos serpentínicos de Mendoza, realizado por Raúl A. Zardini como trabajo de Tesis para la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata, se recogió una muestra de serpentina cuyo estudio mineralógico fué hecho por Roberto J. Poljak. Debido a la actual importancia de la mineralogía de este grupo creemos oportuno dar a conocer los resultados obtenidos, acompañándolos, en cada caso, de una reseña de los métodos experimentales utilizados.

Yacimiento. — Los cuerpos serpentínicos mendocinos afloran entre las rocas metamórficas de la unidad morfoestructural Cordillera Frontal. La edad de esas rocas se atribuye al Precámbrico (Proterozoico?). Esta unidad integra el Macizo Cordillerano de los Andes. Los cuerpos serpentínicos estudiados están ubicados en los primeros espolones de la Cordillera, donde el río de Las Tunas desemboca en su inmenso cono de deyección.

El complejo metamórfico está representado por: serpentinitas, calizas cristalinas, cuarcitas, esquistos. Acompaña además un cuerpo intrusivo filónico mesosilícico, al que, por conocimiento de la geología regional, podemos atribuir edad hercínica. Exceptuando las serpentinitas y el cuerpo mesosilícico, el resto de las rocas revela haber alcanzado un metamorfismo cercano a la facie de anfibolita.



Como característico de estos cuerpos serpentínicos, existe gran desarrollo de anfíboles, que han sufrido los procesos propios de talquización y carbonatación.

El rumbo de las estructuras en que se presentan estas rocas es en general NE-SW, coincidentes con las estructuras regionales. Los cuerpos serpentínicos son filónicos, lenticulares, pequeños y alternantes con la roca de caja, aunque también tienen formas globosas. Su descripción y estudio detallado se halla en el trabajo de Tesis anteriormente mencionado.

Descripción macroscópica. — La muestra aquí estudiada, proveniente de uno de esos cuerpos, reúne los caracteres megascópicos propios de la serpentina: es negruzca masiva, sin estructura ni textura. En ella se destacan puntos oscuros y brillantes de magnetita. En la superficie de alteración meteórica el color castaño claro y los gránulos brillantes se hacen opacos y quedan resistiendo la erosión, acentuándose sus lineamientos poligonales.

Descripción microscópica. — En un corte delgado se advierte una asociación de pequeños gránulos, de índice de refracción y colores de interferencia altos, que no presentan clivajes, pero sí un “parting”; algunos son tabulares y muestran extinción recta. Generalmente tienen tamaño uniforme y aparecen inmersos en la masa serpentínica, se los puede clasificar como olivina.

La roca está constituida esencialmente por los minerales de la serpentina; entre ellos podemos distinguir, en base a su morfología: antigorita y “crisotilo”. La primera está representada por láminas y pajuelas distribuidas en el corte, las láminas mayores están relacionadas con los grandes cristales de magnetita. En cuanto al “crisotilo” se muestra en agregados fibrosos cuyas fibras son paralelas; aquí es donde los pequeños granos y cristaltos de magnetita, salpican, por así decir, toda la zona. En otras la serpentina es microcristalina con aspecto de isotropa; alguna pajuela de serpentina anisótropa rompe la monotonía de estas zonas.

Un mineral de aspecto micáceo, de color verde pálido, débilmente pleocroico, de colores de interferencia altos, de clivaje tipo micáceo bien desarrollado, sugiere ser clorita. Apoya esta decisión la paragénesis que cita Du Rietz de magnetita y clorita, muy semejante a la presente, y el hecho concreto de su determinación por rayos-X, eliminando previamente la estructura de antigorita por calentamiento.

La magnetita es característica por sus gruesos cristales de linea-

mientos poligonales, pero de bordes sumamente irregulares, cuyas dimensiones máximas son 2 mm de largo por 1 mm de ancho; presentan un sistema de fracturas paralelas en las cuales se desarrolla serpentina. Podemos anotar además la presencia de algunos gránulos de hematita.

El índice medio de refracción del mineral serpentínico laminar, fué determinado para luz corriente (filamento de tungsteno) y resultó ser $n_m : 1,563$.

Análisis químico. Fórmula estructural. — El presente análisis fué realizado en los laboratorios de la Dirección Nacional de Minas, por métodos corrientes para el análisis de silicatos. El examen microscópico de la serpentinita reveló la presencia de antigorita, calcita, magnetita y clorita, a más de otros accesorios en cantidad insignificante. La presencia de CaCO_3 (calcita) no aconseja el procedimiento de pérdida al rojo para la determinación del “agua de constitución” dato importante para antigorita. Aún para el método de Penfield esta circunstancia sería contraproducente, (disminución del peso aparente del agua, debido al hecho de que el CO_2 es de densidad mayor que el aire); otras fuentes de error, principalmente presencia de sustancias volátiles y posible oxidación de Fe^{++} a Fe^{+++} , no pueden haber tenido participación notable en los errores del método.

De entre los valores dados para los óxidos analizados llama la atención el relativamente bajo dado para FeO .

Análisis químico de antigorita:

Oxidos:	%
SiO_2	40,24
Al_2O_3	3,94
Fe_2O_3	5,77
FeO	0,54
MgO	35,38
CaO	2,96
pérdida al rojo	10,12
$\text{H}_2\text{O}^{110^\circ \text{C}}$	1,26
materia orgánica	0,18
Total	100,39

A partir de estos datos intentaremos arribar a la fórmula estructural de antigorita: Sabiendo que en el CaCO_3 (calcita) las proporciones gravimétricas de CaO y CO_2 son, respectivamente, 56 y 44%, y adjudicando todo el CaO analizado a calcita, (para el cual son necesarios 0,64 % C) obtenemos como por ciento de “agua” $\text{H}_2\text{O} : 9,48\%$.

Asignando todo el FeO presente a magnetita, cuyas proporciones:

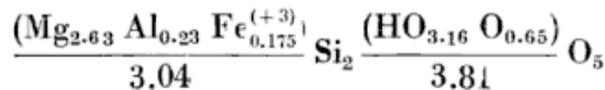
gravimétricas en FeO y Fe₂O₃, son, respectivamente, 31 y 69 %, y haciendo el descuento necesario de Fe₂O₃, arribamos a la siguiente composición de antigorita en porciento de óxidos:

SiO ₂	43,00
Al ₂ O ₃	4,21
MgO	37,80
Fe ₂ O ₃	4,88
FeO	—
H ₂ O	10,11

y al siguiente número relativo de iones:

Si:	0,715 = 2				
Mg:	0,94 = 2,63	}	3,04		
Al:	0,0827 = 0,23				
Fe (+3):	0,061 = 0,175				
H:	1,13 = 3,16	}	HO (3,16) + O (0,65)		
O:	3,15 = 5,65			}	O (5)

Resulta más aceptable, como se ha hecho, igualar dichos números de acuerdo a la relación 0,715 = 2; vale decir, admitiendo como ideal el número de iones Si presente, (pues igualando para O=9 se obtienen errores por sobre el 2 % en el número de iones Si y mayores aún en los de posición octaédrica y tampoco así se llega a un resultado próximo al ideal para los iones HO). La fórmula estructural resulta ser:



que no se aleja tanto de la ideal Mg₃ Si₂ HO₄ O₅ como pudiera esperarse por las limitaciones experimentales. Estas condiciones nos impiden hacer una consideración detallada de la deficiencia de HO; no obstante, señalemos que todo el Fe presente es Fe⁺³ (oxidación de Fe⁺⁺ a Fe⁺³ ?).

Microscopía y difracción electrónica. — Pulverizando el mineral, suspendiéndolo en agua destilada y montando luego una gota de solución sobre una membrana de formvar, se obtuvo un preparado para observación por microscopía electrónica (microscopio electrónico Philips Metalix, Laboratorio Difracción, Comisión Nacional de la Energía Atómica) ¹.

¹ Agradecemos al personal de dicho Laboratorio la colaboración prestada.

La antigorita se presenta en laminillas anhedrales como se ve en la figura 1. Enviando un haz paralelo sobre las más delgadas de ellas se han intentado diagramas de difracción electrónica. Generalmente se observaron dos o más espectros superpuestos y escasa aptitud para la difracción. Ello puede ser un indicio de la imperfección del clivaje basal (CO1), imperfección que permite la superposición de dos o más espectros, aumentando además la absorción de los electrones.

Difracción de electrones.— Antes de exponer los resultados obtenidos por este método haremos una breve reseña del mismo, cuya aplicación a los estudios cristalográficos es cada día mayor.



Figura 1

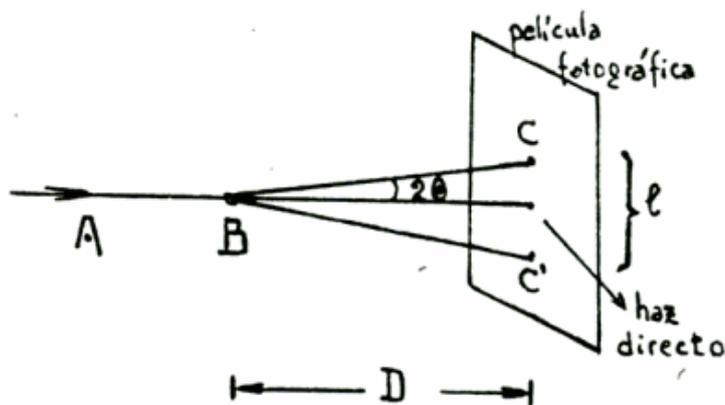


Figura 2

Un haz de electrones es difractado por la materia como un tren de ondas, lo que permite encarar la investigación de las estructuras cristalinas por difracción de electrones. Este método es valioso en casos en que la aplicación de rayos X es difícil o imposible: así por ejemplo, la cantidad de materia requerida es extremadamente pequeña con respecto a la utilizada en los métodos roentgenográficos; el tiempo necesario para impresionar la película es del orden de segundos y aún de fracciones de segundo.

Con el microscopio electrónico utilizado, se puede aislar una partícula previamente observada por microscopía, mediante diafragmas, y enviando sobre ella un haz paralelo de electrones, se obtiene sobre pantalla fluorescente o sobre película fotográfica interpuesta, un diagrama de difracción (monocristal) por transmisión. Como la absorción de electrones es muy efectiva, la partícula deberá ser suficientemente delgada. Si en vez de enviar el haz paralelo sobre una partícula, se lo hace incidir sobre un conjunto de ellas, se obtiene un diagrama Debye (polvo cristalino).

Supongamos (fig. 2), el caso de una partícula (monocristal) situada en B, sobre la cual incide un haz paralelo AB, que es difractado según

BC y BC'. Como la longitud de onda λ , es del orden 10^{-1} a 10^{-2} A°, los ángulos ϑ de Bragg son muy pequeños. Resulta entonces:

$$2\vartheta = l/2D; \quad \vartheta = l/4D$$

$$\lambda = 2d\vartheta$$

d : espaciado reticular

$$\lambda = dl/2D \quad \therefore \quad d = 2D\lambda/l \quad (1)$$

El diagrama correspondiente es la proyección sobre la película fotográfica del plano del retículo recíproco perpendicular al haz incidente. Conociendo λ se puede obtener d por la ecuación (1).

La longitud de onda de un haz cuyos electrones han adquirido velocidad homogénea debido a la constancia del potencial aplicado al tubo generador, es:

$$\lambda = h/mV \quad h: \text{constante de Planck}$$

en función de dicho potencial la velocidad de los electrones será:

$$1/2mv^2 = eV/300$$

$$\therefore \quad \lambda = h/mV = h\sqrt{15} / \sqrt{Vem} \quad V: \text{potencial en volts}$$

para el orden de exactitud con que se conocen h , e , m ; $h/\sqrt{em} = 10^{-8}$ será:

$$\lambda = \sqrt{150/V} \text{ A}^\circ$$

para potenciales mayores de 10.000 volts es más exacta la expresión relativista:

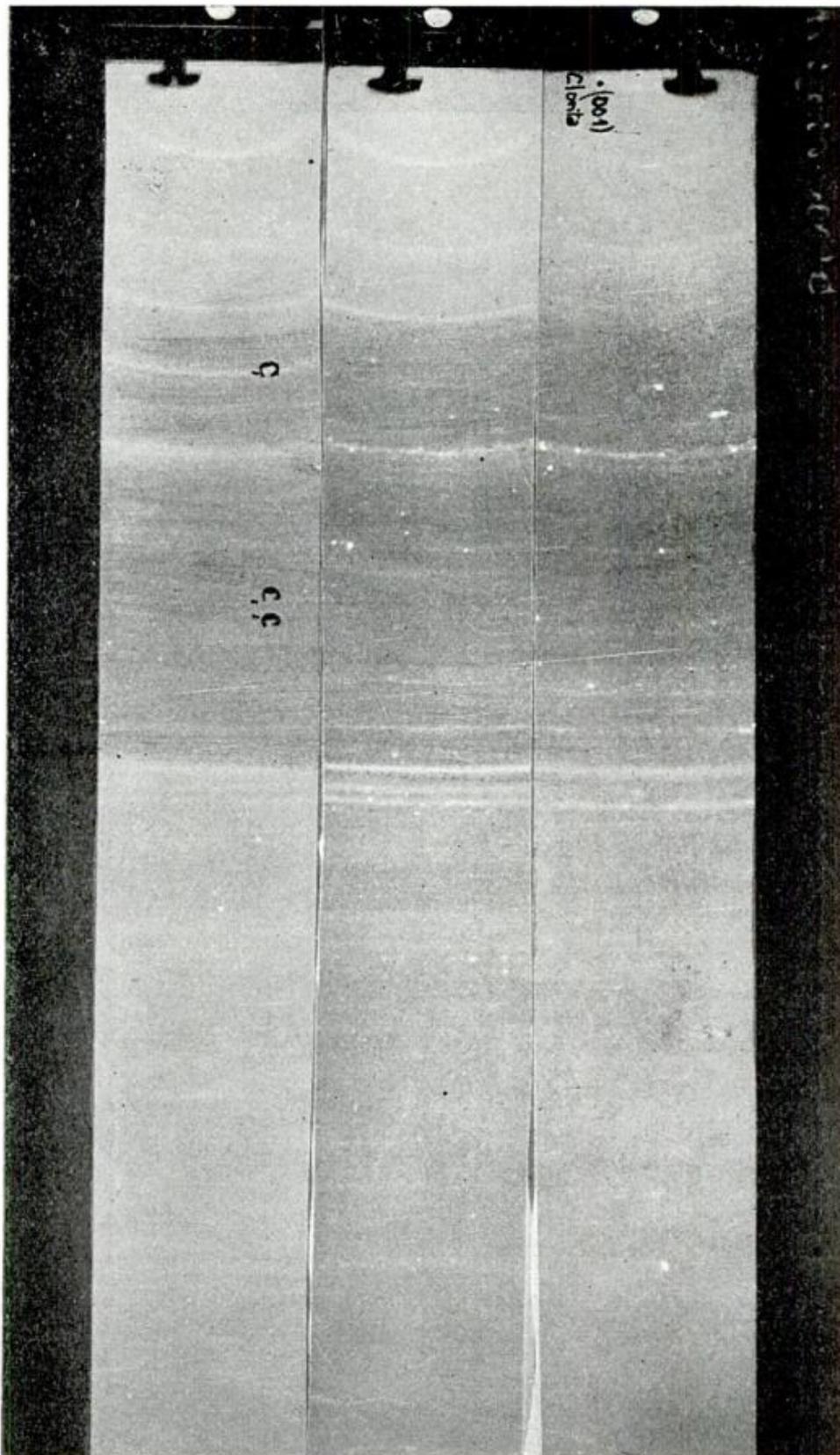
$$\lambda = h\sqrt{150/eVm_0} / (1 + eV/1200m_0C^2)$$

con cuya solución es posible el cálculo de d según la ecuación (1).

Para prevenir el efecto de variaciones de potencial, con la consiguiente variación de λ , es usual "sombrear" los preparados con alguna substancia cuya constante reticular sea bien conocida y con la cual se ajusta la constante λ . Dicho sombreado se obtiene por vaporización en alto vacío de un metal; en nuestro caso se utilizó oro ($a_0 = 4,07$).

Finalmente se obtuvieron, por diagramas de monocristal, los siguientes valores para las constantes a_0 y b_0 :

$$a_0 = 5.36 \quad b_0 = 9.235 \text{ (A}^\circ\text{)}$$



1

2

3

Fig. 3. — Diagramas de polvo cristalino : 1, diagrama de serpentinita (c: líneas debidas a calcita) ; 2, diagrama de antigorita, separada ; 3, diagrama de serpentina llevada a 600°C (se indica el primer orden (001) de las reflexiones basales de una clorita).

El valor de b_0 es muy próximo al obtenido por rayos X (ver más adelante), no tanto así el de a_0 , lo que indica que la relación $a_0 = b_0 / \sqrt{3}$ no se cumple estrictamente.

Los espaciados reticulares obtenidos por diagrama de polvo cristalino son menos exactos que los de rayos X, por lo que no consignaremos sus valores.

Difracción de rayos X.— Un diagrama preliminar (fig. 3 n° 1), sirvió para poner en evidencia una estructura tipo caolinitica con un espaciado basal de $d \cong 7,2 \text{A}^\circ$, como es la de antigorita. Además ratificó la presencia de calcita, principalmente por la línea de espaciado $d = 3,03$. A pesar del factor atómico (poder de difracción) bajo de los átomos de este mineral, su elevada estructura y los tiempos relativamente largos de exposición para la obtención de un diagrama nítido de antigorita, son las causas de aparición de líneas de calcita, poco abundante en la serpentinita. Un ataque con HCl diluido eliminó casi completamente al carbonato; la magnetita fué separada por líquidos pesados (bromoforno). El diagrama obtenido sobre el material, luego de ese tratamiento, se da como típico de antigorita.

Dimensiones: Un registro fotométrico permitió triplicar las distancias entre las líneas del diagrama y tomar dichas dimensiones entre máximos de difracción. Se hizo una corrección por contracción de película ($4 \text{ }^\circ /_{00}$) y ninguna por absorción y diámetro de preparado, esto último por el dispositivo, en cuña sin aglutinante, con que se montó el mismo. La persistencia de la línea de espaciado $d = 3,03$, apenas visible, debida a calcita, permite cobrar una idea sobre la exactitud de las dimensiones calculadas. La constante reticular calculada en base a dicha línea es $a_0 = 3028,93$ unidades X, que comparado con el valor ideal $a_0 = 3029,04$, da la diferencia $0,00011 kX$; $\frac{\Delta d}{d} = 0,000036$, muy por debajo de los errores experimentales corrientes. En todo momento la longitud de onda de la radiación utilizada, $\text{CoK}\alpha$ fué tomada como $\lambda = 1,78659 kX = 1,79020 \text{A}^\circ$.

En la Tabla I se dan los espaciados reticulares e intensidades estimadas, y se comparan dichos datos con los dados por Brindley (Brindley y von Knorring, 1954) y por Midgley (1951).

A partir del espaciado $d = 1,5395$ se han calculado $a_0 = \frac{b}{\sqrt{3}} = 5,33_{(3)}$

A y $b_0 = 9,23_{(7)} \text{A}^\circ$. Para $c_0 \cdot \sin \beta$ se obtiene un promedio (espaciados de los órdenes superiores (001) de $14,39_{(1)} \text{A}^\circ$, admitiendo una

estructura tipo amesita como la propuesta por Brindley (*loc. cit.*) y por Ito (1950), en la cual existirían dos capas de espaciado $d \cong 7,2 \text{ \AA}$ por malla elemental. Finalmente se ha hallado, gráfica y analíticamente, que para $\beta = 90^\circ$ se obtienen los mejores acuerdos entre espaciados calculados y observados, Tabla II.

Nuestro análisis pone en evidencia la existencia de líneas débiles no indicables, como las observadas por Brindley y anteriormente por Aruja (1945) quien, en un trabajo que no hemos podido consultar por no hallarse en las bibliotecas del país, las atribuye a una "supra-red" ("supperlattice"), o bien a una distorsión extendida regularmente.

El diagrama obtenido es muy similar al publicado por Brindley y von Knorring (orto-antigorita), por lo que muy probablemente sea el nuestro un segundo hallazgo de orto-antigorita. En nuestro diagrama aparece quizá mayor profusión de líneas, pero algunas de ellas difusas y poco visibles, y originadas quizá de minerales accesorios, lo que impide un análisis más exhaustivo. Digamos finalmente que el diagrama es diferente al de otras antigoritas y crisotilos de cuerpos ultrabásicos de Mendoza, cuyo estudio está realizando uno de nosotros (R. J. P.). Estos últimos son muy similares a los examinados por Gruner (1937).

Análisis termodiferencial.— El aparato utilizado para el presente análisis (efectuado en la Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Bs. As., Dpto. de Física), brevemente descrito por Galloni (1950), consta de: un disco de níquel (37 mm de diámetro y 15 mm de alto), que posee tres orificios (diámetro: 7 mm) y que se introduce sobre soporte refractario en un horno eléctrico (mufla de cuarzo), cuya temperatura aproximada se mide con una termocupla Pt-Pt, Rh. El terminal de un par cromel-alumel se coloca en uno de los orificios que contiene alúmina calcinada, y por equivalencia mV°C , se puede leer con gran precisión las temperaturas instantáneas en un potenciómetro. En uno de los dos orificios restantes se introduce alúmina calcinada, en el otro la muestra a analizar, y en ellos mismos, los terminales de un par diferencial cromel-alumel, que pasan además por los orificios de un segundo disco de níquel adosado al primero, para evitar el efecto del calor radiante sobre la muestra analizada. En un registrador electrónico (Brown Electronic Recorder), conectado en serie a una fuente constante de 4 mV, se obtiene un gráfico de las diferencias de potencial de la termocupla diferencial, sobre una escala 0-10 mV, que permite registrar así los procesos endo y esotérmicos a partir de un

TABLA I

Antigorita. Distancias entre planos reticulares

Antigorita * Mendoza		Antigorita (Brindley)		Antigorita (Midgley)	
$d_{(A^\circ)}$	$I_{(est.)}$	$d_{(A^\circ)}$	$I_{(est.)}$	$d_{(A^\circ)}$	$I_{(est.)}$
7,148	9	7,33	10	7,51	10
5,160	$\frac{1}{2}$			5,20	$\frac{1}{2}$
4,805	$\frac{1}{4}$				
4,603	5df	4,597	6 B	4,59	5
4,240	$\frac{1}{2}$	4,403	1		
4,119	$\frac{1}{2}$	4,250	1		
3,990	$\frac{1}{2}$	4,088	1		
3,591	5	3,903	$\frac{1}{2}$	3,94	$\frac{1}{2}$
3,366	1	3,662	10	3,73	10
		3,528	$\frac{1}{2}$		
		3,348	$\frac{1}{2}$		
3,261	$\frac{1}{2}$				
3,173	1	3,172	$\frac{1}{2}$	3,105	3
3,035 (c)	1	3,015	$\frac{1}{2}$		
2,969	2				
2,880	$\frac{1}{2}$	2,855	$\frac{1}{2}$		
2,772	$\frac{1}{2}$	2,720	$\frac{1}{2}$	2,75	1
2,649	2	2,623	3	2,635	1
2,598	1			2,581	1
2,539	6	2,502	10	2,490	9
2,449	1	2,450	1		
2,379	2	2,425	1	2,420	1
2,326	$\frac{1}{2}$	2,335	7		
2,270	1			2,290	$\frac{1}{2}$
2,146	$\frac{1}{2}$	2,149	6	2,205	$\frac{1}{2}$
2,091	5			2,140	5
2,048	$\frac{1}{4}$				
2,017	2				
1,963	1	1,9629	7		
1,854	$\frac{1}{2}$				
1,836	$\frac{1}{2}$				
1,809	$\frac{1}{2}$	1,8154	$\frac{1}{2}$	1,814	1
1,790	$\frac{1}{2}$	1,7905	1	1,780	3
1,747	1	1,7392	1 B	1,725	1
1,725	$\frac{1}{2}$				
1,693	3			1,686	1
1,633	6	1,636	4	1,657	$\frac{1}{2}$
1,5395	10	1,5354	8	1,550	$\frac{1}{2}$
1,507	5			1,525	5

¹ Radiación $C_{\alpha}/Fe K_{\alpha}$ cámara diámetro 14,32 cm
(c) línea debida a dalcita.

Antigorita Mendoza		Antigorita Mendoza		Antigorita Mendoza	
$d_{(A^\circ)}$	I (est.)	$d_{(A^\circ)}$	I (est.)	$d_{(A^\circ)}$	I (est.)
1,483	6	1,299	1	1,140	$\frac{1}{2}$
1,436	$\frac{1}{4}$	1,289	$\frac{1}{2}$	1,131	1
1,414	2	1,272	1	1,111	1
1,400	$\frac{1}{2}$	1,232	$\frac{1}{2}$	1,094	1
1,381	1	1,206	1	1,072	$\frac{1}{4}$
1,350	$\frac{1}{2}$	1,198	2	1,053	1
1,328	2	1,189	1		
1,314	2	1,161	$\frac{1}{2}$		

TABLA II

Antigorita

hkl	$d_{\text{calc.}}$	$d_{\text{obs.}}$	Espaciados calculados con las siguientes constantes reticulares:
002	7,18	7,15	$a_0 = 5.33(3) \text{ \AA}^\circ;$
020	4,619	4,603	$b_0 = 9.23(7) \text{ \AA}^\circ;$
201	2,623	2,649	$c_0 = 14.39(1) \text{ \AA}^\circ;$
202	2,503	2,539	$\beta = 90^\circ;$
006	2,398	2,379	Densidad roentgenográfica
203	2,335	2,326	D = 2,56.
204	2,148	2,146	
205	1,9630	1,9630	0,006
008	1,7988	1,8090	0,00003
206	1,7907	1,7902	0,00005
240	1,7456	1,7465	0,002
207	1,6359	1,6330	—
060	1,5395	1,5395	0,001
062	1,5055	1,5073	0,002
00,10	1,4391	1,4360	0,003
064	1,4187	1,4140	0,001
209	1,3796	1,3812	0,0006
401	1,3276	1,3284	0,002
402	1,3113	1,3138	0,0007
066	1,2985	1,2994	0,0006
403	1,2853	1,2845	0,001
20,10	1,2740	1,2723	0,001
00,12	1,1992	1,1976	0,001

cero de equilibrio. El ritmo de calentamiento es de unos 10°C por minuto.

El termograma obtenido se reproduce en la figura IV, adjuntando otros obtenidos de la literatura, para comparación. La similitud entre los tres es evidente, sobre todo por la culminación del pico endotérmico (pérdida de los grupos H O y desaparición de la estructura normal) hacia los 700°C . El pico exotérmico que le sigue es menos acusado en la antigorita de Mendoza.

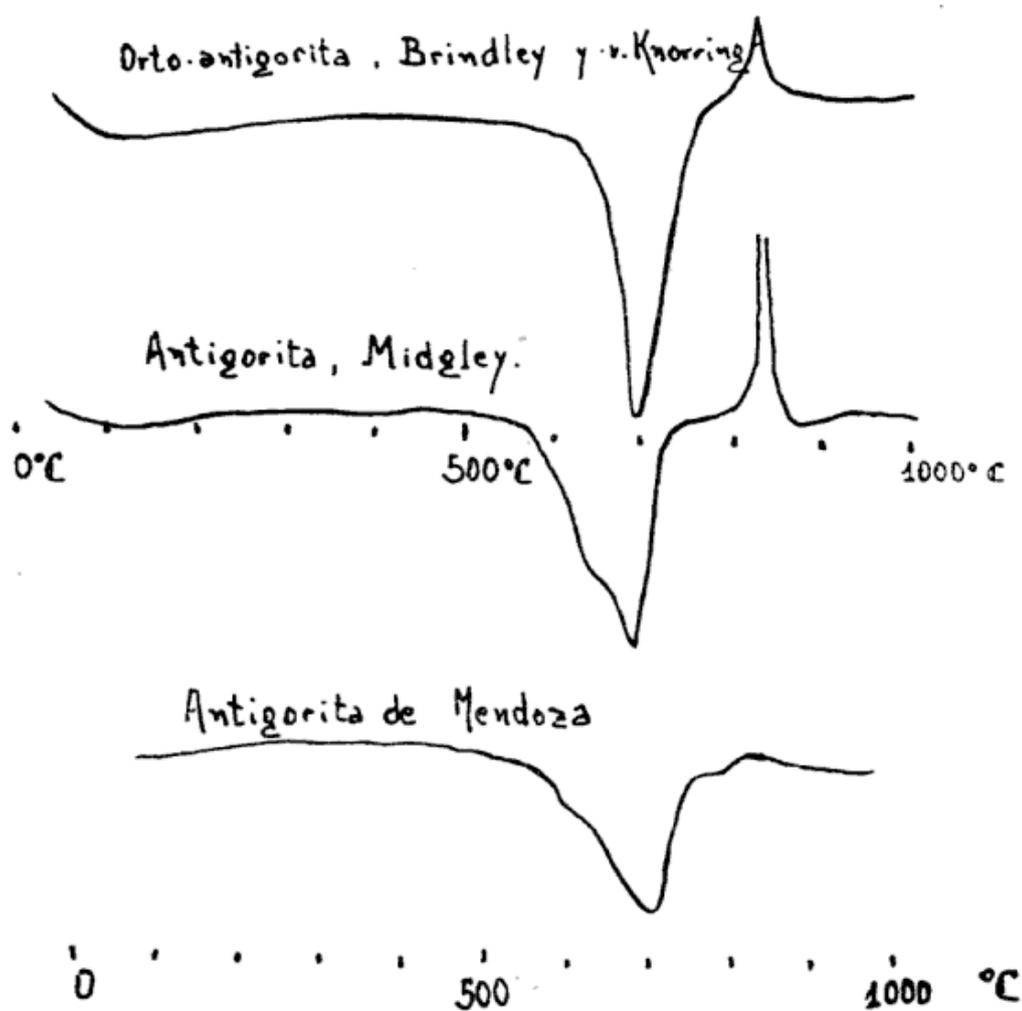


Fig. 4. — Termogramas de antigorita

Transformaciones térmicas: El mineral, tal como se presenta en la roca, es decir acompañado de calcita y magnetita, a más de clorita accesoria, fué sometido a las temperaturas de 400° , 600° , 800° y 1000°C , y estudiado luego por rayos X.

A 400°C el diagrama es en todo similar al de antigorita normal, salvo en lo que atañe a la intensidad de sus líneas, muy disminuída. A 600°C apenas quedan dos o tres líneas de la primitiva estructura, indicando su colapso; empero, se obtiene un diagrama con las carac-

terísticas reflexiones basales de clorita, de líneas difusas. Ello se explica por el hecho de que la estructura de antigorita ha desaparecido, en tanto que la de clorita, muy escasa en la roca, subsiste hasta 800° C o más.

A 850° C se obtiene un diagrama de olivina y de Fe₂O₃ superpuestos; la presencia de este último se explica simplemente por la oxidación completa de magnetita.

Finalmente, a 1000° C, las estructuras presentes son fundamentalmente iguales a las anteriores.

Agradecimientos. — Agradecemos al ingeniero E. E. Galloni y a la doctora M. J. Abeledo por su gentil asesoramiento en la parte experimentales del trabajo y por su interés y sugerencias.

ABSTRACT.— An optical, chemical, electron-microscopy, differential thermal analysis and X-ray diffraction study of an antigorite from Tupungato, Mendoza, Rep. Argentina.

X-ray diffraction analysis suggests that the axial angle $\beta = 90^\circ$, i. e., it is an ortho-antigorite. Pertinent data are given.

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ARUJA, E. 1945. *Antigorita*, Min. Mag. 27 pp. 65-74.
- BRINDLEY, G. W. AND VON KNORRING, O. A. 1954. *A new variety of antigorita (ortho-antigorite) from Unst, Shetland Irlanda*. Am. Mineral. 39 pp. 794.
- DU RIETZ, T. 1935. *Peridotites, serpentines and soapstone of Northern Sweden*. Geol. Foren Stockholm Bd. 57 H. 2 pp. 135-260.
- GALLONI, E. E. 1950. *The Crystal structure of ferroam-zincian rhodochrosite*. Am. Mineral. 35 pp. 562-570.
- GRUNER, J. W. 1937. *Serpentines*, Am. Mineral. 22 pp. 97-103.
- ITO, T. 1950. *X-Ray Studies on Polymorphism*. Maruzen and Co., Tokyo (Libro) pp. 160-167.
- MIDGLEY, H. C. 1951. *A serpentine mineral from Cornwall*. Min. Mag. 29 pp. 526-530.
- SELFIDGE, G. C. 1936. *An X-ray and optical investigation of the serpentine minerals*. Am. Miner. 21 pp. 463-503.