

7188

ESTUDIO MINERALOGICO DEL ASEBESTO CRISOTILICO

DE VALLE HERMOSO - LA RIOJA

P o r e l

DR. FELIX GONZALEZ BONORINO

--- . ---

AÑO 1960

MINISTERIO DE ECONOMIA DE LA NACION
SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
SUBSECRETARIA DE MINERIA





Dr. Félix González Bonorino

ESTUDIO MINERALOGICO DEL ASBESTO CRISOTILICO

DE VALLE HERMOSO, LA RIOJA

- Introducción

El presente estudio se realizó sobre una muestra recogida conjuntamente por representantes del Banco Industrial de la Rep. Argentina y la firma J. & C. Cassale, y consistente unos kg. de fragmentos de roca de hasta 20 cm de tamaño, envueltos en arpillera con la inscripción "Asbesto argentino - J. & C. Cassale" en el exterior, y "Jagüé-La Rioja", "Industria Argentina" en el interior; todo envasado en cajón de madera de 43 x 27 x 20 cm, precintado.

Del examen superficial de la muestra se advierte fácilmente que se trata de roca serpentínica, de color verde oscuro, en partes cubierta por costras de carbonato. En casi todos los trozos de roca observan venillas de asbesto, cuyas fibras se disponen perpendicularmente a las paredes de la vena (estructura "cross-fiber"). El asbesto es de color gris verdoso pálido y brillo sedoso; desintegrado entre los dedos, se deshace en hilos flexibles de finura prácticamente ilimitada, que muestran una marcada resistencia a la tensión.

A fin de establecer con certeza la naturaleza mineralógica del asbesto, se separaron porciones al azar y se las sometió a análisis microscópico, químico, roentgenográfico y mecánico. También se estudió la constitución de la roca serpentínica que sirve de caja, pues se sabe que la naturaleza del asbesto está estrechamente ligada a la de la roca portadora. En efecto, el asbesto crisotílico se forma casi exclusivamente en serpentinas cuyo componente principal es la antigorita, mineral cuya composición química es la misma que la del crisotilo. Este último se forma por precipitación de las soluciones acuosas que circulan a lo largo de fisuras en la serpentina, disolviendo el silicato de magnesio de la antigorita. La precipitación del crisotilo se produce generalmente dentro de la propia serpentina, pero a veces las soluciones escapan a las rocas vecinas, de ahí la esporádica presencia de crisotilo en rocas no serpentínicas.

Antes de entrar en la descripción del asbesto de La Rioja, daremos las propiedades generales del asbesto de crisotilo, para que sirvan de comparación con las de aquél.

- Propiedades del asbesto de crisotilo

El crisotilo es una variedad fibrosa de la serpentina, cuya fórmula química teórica es $\text{Si}_2\text{O}_9\text{Mg}_3\text{H}_4$. Este compuesto se presenta en dos formas polimorfas (es decir, igual composición química, diferente estructura cristalina): crisotilo y antigorita. (La existencia de otras variedades, como la lizardita, está aún en discusión). La diferencia principal en



tre estas dos especies es que mientras el crisotilo es fibroso, la antigorite es laminar. La antigorite es el componente predominante de las serpentinas provenientes de magmas peridotíticos (ólivínicos). El crisotilo se presenta generalmente en estructura "cross-fiber", o sea con las fibras transversales al plano de las venas de esbesto. Las fibras son de color gris claro con tintes verdosos o amarillentos; su lustre sedoso es característico, así como su flexibilidad. El peso específico es de alrededor de 2,5 (ciertos autores citan valores más bajos, que son seguramente erróneos; en efecto, hay que tomar precauciones especiales para que no quede aire atrapado entre las fibras, y aún dentro de ellas).

La estructura cristalina del crisotilo es singular, comparable solamente a la del mineral de arcilla halloysita. Ella consiste en capas superpuestas y arrolladas, con el eje cristalográfico a como eje de arrollamiento. (Fig. 1) Cada capa está a su vez formada por dos estratos, uno constituido por tetraedros de oxígeno encerrando átomos de Si, el otro formado por octaedros de oxígeno con átomos de Mg en su interior. El arrollamiento se debe a que las distancias interatómicas entre los oxígenos del estrato magnésico son mayores que las correspondientes del estrato silíceo, y ello obliga a la doble capa a arrollarse sobre sí misma. En antigorite existe la misma doble capa, pero las uniones entre las doble-capas contiguas son más fuertes e impiden el arrollamiento. Esta estructura peculiar del crisotilo fue reconocida y estudiada principalmente por Turkevich y Hillier (1949), Bates, Sand y Mink (1950), y Jagodzinski y Kunze (1954). El diámetro de los rollos es de unos 350 amstrongs (0,000035 mm); este es el diámetro mínimo de las fibras de crisotilo.

Al microscopio de polarización, las fibras presentan extinción paralela y elongación positiva. Sus índices de refracción varían entre 1,550-1,557 en la dirección de las fibras, y 1,540-1,547 en la dirección normal (Winchell, Elements of Optical Mineralogy).

Propiedades mineralógicas del asbesto de V. Hermoso

Por sus características externas, señaladas más arriba, este asbesto no se diferencia de los asbestos crisotílicos conocidos. Veamos ahora si los análisis realizados permiten confirmar su carácter crisotílico.

Composición química.

El análisis químico fue realizado por el método de fusión alcalina sobre un gramo de fibra libre de impurezas. El resultado es el siguiente:

		%
SiO ₂	41,45
Al ₂ O ₃	--



Fe como Fe ₂ O ₃	2,45
MgO	40,15
CaO	0,35
Pérdida por calc.	14,20
	<hr/> 98,60

Eliminando CaO, que representa una leve impureza de CO₃Ca, y la parte de CO₂ correspondiente de la pérdida por calcinación, y recalculando a 100%, presentamos nuestro análisis junto con los de tres típicos asbestos de crisotilo tomados de la literatura; agregamos también la composición de la molécula teórica Si₂O₉Mg₃H₄.

	La Rioja	Quebec (1)	Arizona (2)	New York (3)	Teórica
SiO ₂	42,21	40,49	42,02	41,80	43,48
Al ₂ O ₃	--	1,27	0,52	0,11	--
Fe ₂ O ₃	2,52	2,53	0,31	0,74	--
MgO	41,06	41,41	41,44	42,82	43,48
H ₂ O +	14,20	14,06	14,04	14,04	13,04

Puede verse que la composición química del asbesto de La Rioja es prácticamente idéntica a la de los crisotilos más conocidos en la industria.

- Propiedades ópticas

Observado con el microscopio de polarización, el asbesto de La Rioja muestra fibras delgadísimas birrefringentes, que se extinguen en posición paralela a los nicoles. La medición de los índices de refracción presenta dificultades porque el aire atrapado entre las fibras, y también dentro de las fibras, no permite la penetración del líquido de inmersión. A ello debe atribuirse, sin duda, los valores excesivamente bajos obtenidos por algunos autores (p.ej., Larsen y Berman, Microscopic determination of nonopaque minerals, 1934, p.99,100). En nuestro caso hemos medido los índices en los extremos aplastados de las fibras tubulares, obteniendo los siguientes valores:

$$\gamma' = 1,557 \quad \alpha' = 1,548 \quad (\text{error, } 0,003)$$

- (1) Ladoo, Nonmetallic minerals, 1951, p. 41.
 (2) Nagy y Faust, American Mineralogist, v. 41, 1956, p. 826.
 (3) Kalousek y Muttart, American Mineralogist, v. 42, 1957, p.5.



Estos datos coinciden con los mejores valores recogidos de la literatura, con respecto al mineral crisotilo.

- Análisis roentgenográfico

El análisis con rayos X permite una identificación exacta del mineral. Se utilizaron dos métodos: "de polvo", y de fibra normal con cámara fija y móvil. En el primero se hace difractar el haz de rayos X en un agregado desordenado de fibras, recogiendo las reflexiones en un contador Geiger y registrándolas gráficamente. En el segundo método se coloca una fibra (en realidad, un haz de fibras) perpendicularmente al haz, haciéndola rotar sobre sí misma; las reflexiones se recogen en una película cilíndrica que se mantiene ya sea estacionaria, o se desplaza en dirección de su eje. El diagrama N° 1, tomado en un difractómetro contador Philips, de un "polvo" de asbesto de La Rioja, muestra las reflexiones características del crisotilo. La siguiente tabla permite comparar los espaciados atómicos calculados a partir de dicho diagrama, con los de algunos crisotilos típicos.

Tabla comparativa de espaciados atómicos en crisotilos

hkl	La Rioja		Quebec(1)		(2) Arizona		(3) New York		Transvaal(4)	
	d(A)	I	d(A)	I	d(A)	I	d(A)	I	d(A)	I
					11,3	1	13,4	1		
001	<u>7,30</u>	10	<u>7,34</u>	10	<u>7,31</u>	10	<u>7,28</u>	10	<u>7,36</u>	10
			4,60	1	4,77	1				
020	4,44	3	4,48	4	4,53	3	4,51	3	4,56	6
			4,43		4,41		4,45			
					3,95	1				
002	3,63	10	3,66	9	3,63	9	3,64	9	3,66	8
					3,02	1			2,60	3
003	2,44	$\frac{1}{2}$	2,44	1	2,42	5	2,41	1	2,50	4
									2,45	5
060	1,53	2	1,83	$\frac{1}{2}$	1,52	5	1,53	1	2,10	2
									1,53	6

hkl = índices de los planos atómicos.

d(A) = distancia entre planos, en amstrongs (10^{-8} mm)

I = intensidades relativas de las reflexiones, escala 0 a 10.

(1) (2) (3) (4) : Los datos de Quebec, Arizona y New York fueron obtenidos de Kalousek y Muttart, American Mineralogist, v.42, 1957, p.8. Los de crisotilo de Transvaal son de Whittaker y Zussman, Mineralogical Magazine, No. 233, 1956, p.107.



La concordancia de las reflexiones más intensas es casi absoluta, y no dejan dudas en cuanto a la naturaleza crisotílica del asbesto de La Rioja. El mayor número de reflexiones en los minerales de Arizona y Transvaal se debe a la presencia de impurezas. La línea más importante, en 7,30 emstrongs o vecina, ha sido subrayada; ella corresponde a la reflexión de primer orden del plano de los estratos que forman la estructura del crisotilo.

Diagrama de fibra normal. La fibra utilizada en este método tenía un diámetro aproximado de 0,2 mm. El diagrama obtenido, utilizando radiación filtrada de cobre, aparece en la figura 2. Para comparación, se agrega el mismo diagrama (fig.3) de un crisotilo de Quebec, Canadá, según Jagodzinski y Kunze, Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monat., 1954, Heft 4/5, p.129. La correspondencia de ambos diagramas es completa; la única diferencia que se observa es en el tamaño de las reflexiones, que se debe a un distinto grado de paralelismo entre las fibras que forman los cristales. La línea ecuatorial horizontal comprende las reflexiones de los planos paralelos al eje de arrollamiento de las láminas, o eje de giro de la fibra. Este diagrama sirve para demostrar que la dirección de las fibras coincide con el eje cristalográfico a , según se dijo más arriba. Los demás estratos ($h=1$, $h=2$, etc.) representan los planos oblicuos respecto a dicho eje cristalográfico. En el estrato ecuatorial ($h=0$) se indican los índices de cada una de las reflexiones.

La figura 4 es un diagrama tomado según el mismo método que el de la figura 2, del mismo cristal de crisotilo de La Rioja, pero eliminando mediante una pantalla todos los estratos excepto el ecuatorial, y con la cámara cilíndrica en movimiento paralelo a su eje. Es decir, se trata de un diagrama utilizando el dispositivo de Weissenberg, el cual permite efectuar el análisis completo de las estructuras cristalinas. Cuando se toma un diagrama de este tipo, de un cristal homogéneo único, se obtiene un conjunto de puntos dispuestos de una manera característica, debido a que al girar el cristal se van produciendo las reflexiones, en forma sucesiva, en distintos momentos de la traslación de la cámara cilíndrica. Es decir, los puntos marcados en la fig. 2 con sus índices 001, 020, etc., aparecen a distintas distancias del ecuador, desplazados en sentido vertical respecto a sus posiciones en dicha figura. Esto se debe a que las reflexiones se van produciendo a distintos momentos del giro del cristal. En el diagrama de la figura 4, en cambio, en lugar de tales puntos se ven líneas verticales, que indican que mientras giraba la fibra de crisotilo alrededor de su eje, las reflexiones se producían constantemente, sin solución de continuidad. De este hecho caben dos interpretaciones:

a) La fibra de crisotilo esté formada por unidades cristalinas más pequeñas, o microfibras, cada una perfectamente homogénea y recta en todos sus planos atómicos, y que tienen una dirección cristalográfica común en la dirección de la fibra, pero giradas unas respecto a otras alrededor de esta dirección.

b) Cada unidad, o microfibra, sería en realidad una lámina arrollada alrededor de un eje cristalográfico común (fig.1).

La primera interpretación es poco probable, porque cuando los minerales crecen adosados con una dirección cristalográfica común, tienden a orientarse con sus otros planos atómicos también paralelos, originando un cristal único. Resulta más probable, por lo tanto, la se-



gunda alternativa, corroborada por observaciones bajo el microscopio electrónico (Bates, Sand y Mink, 1950). La fig. 4 es, en consecuencia, una notable demostración de la disposición tubular de las fibras unicristalinas del asbesto de Valle Hermoso, lo cual sirve como una prueba más de la naturaleza crisotílica del mismo.

La estructura tubular del crisotilo permite explicar la característica flexibilidad de su fibra. En efecto, las fibras unitarias están unidas entre sí apenas por el contacto tangencial de sus superficies basales, entre las cuales no hay prácticamente uniones atómicas. Esto permite el fácil deslizamiento relativo durante la flexión. El asbesto de tremolite, por el contrario, el deslizamiento es mucho más difícil, pues no posee estructura tubular, y las fibras unitarias están unidas entre sí a través de planos de cliveje por medio de ligaduras interatómicas que si bien son débiles, no lo son tanto como en el crisotilo.

- Resistencia mecánica

Con el objeto de determinar la resistencia de la fibra del asbesto de Valle Hermoso a la tensión, se realizaron varios ensayos mediante un dispositivo basado en una balanza de laboratorio, uno de cuyos brazos es sostenido por la fibra mientras que en el otro se carga hasta el peso límite. La sección de las fibras fué medida cuidadosamente mediante un microscopio micrométrico. Los resultados obtenidos oscilan entre 35 y 44 kilogramos por mm² de sección, lo que permite comparar este asbesto con los mejores utilizados en la industria.

Para estos ensayos hay que evitar las fibras provistas de "Nudos", o suturas producidas por el encuentro de las fibras que crecen simultáneamente de paredes opuestas de la vena. En estos nudos la resistencia es mucho menor. La mayoría de las fibras estudiadas estaban libres de nudos.

Composición mineralógica de la roca de caja

Las serpentinas en general están compuestas por dos componentes principales: antigorita y clorita. Las serpentinas portadoras de crisotilo son predominantemente antigoríticas; las cloríticas son estériles o contienen asbestos anfibólicos. Estas últimas serpentinas son el producto de la transformación de rocas piroxénicas y uralíticas, mientras que las primeras resultan de la serpentización de materiales ricos en olivina. La asociación entre antigorita y crisotilo es natural si se recuerda que ambos minerales tienen la misma composición química fundamental. La composición de las cloritas es siempre menos magnésica que la antigorita, pues el magnesio está reemplazado parcialmente por hierro y aluminio; este último también reemplaza a parte del silicio. La disolución de la serpentina clorítica por los líquidos circulantes produce una solución compleja de la cual no puede precipitar el crisotilo, que requiere una solución relativamente pura de sílice y magnesio para formarse.

Vista al microscopio, la serpentina de Valle Hermoso presenta un agregado denso de cristales laminares de antigorita, de dimensiones variables entre casi microcristalina hasta relativamente gruesa (hasta 0,2 mm). Otros componentes son granos de magnetita e ilmenita, y calcita.



Un trozo representativo de la serpentina fué molida en mortero y sometida a un análisis de difracción de rayos X en un difractómetro contador Philips. El resultado aparece en la tabla siguiente, junto con el correspondiente de la roca de caja de un asbesto crisotílico de Quebec, Canadá.

Espaciados atómicos de serpentinas

La Rioja		Quebec(1)		
d(A)	I	d(A)	I	
14,0	$\frac{1}{2}$ (C)			Clorita
7,20	10	7,35	10	
7,0	1 (C)			"
4,72	1 (C)			
4,57 } 4,44 }	3	4,63 } 4,52 } 4,48 }	4	
3,63	8	3,63	7	
3,56	1			
3,03	$\frac{1}{2}$ (ca)			
2,96	$\frac{1}{2}$			
2,83	$\frac{1}{2}$ (C)			
2,644	$\frac{1}{2}$	2,66	$\frac{1}{2}$	
2,60	$\frac{1}{2}$	2,62	$\frac{1}{2}$	
2,52	5	2,51	4	
2,495	6			
2,15	1	2,16	1	
2,10	$\frac{1}{2}$			
1,79	$\frac{1}{2}$	1,80	$\frac{1}{2}$	
1,53	3	1,55	3	
		1,54		

(1) Kalousek y Muttart, Amer. Mineralogist, v.42, 1957, p.8.

Las líneas marcadas con C pertenecen a impurezas de clorita, que se encuentra en cantidades entre 5 y 10 %. La reflexión en 3,03(ca) corresponde a calcita. Las diferencias entre los espaciados de ambas serpentinas se deben a factores experimentales, a impurezas y a leves diferencias estructurales. Fuera de ello, la correspondencia es completa, y demuestra que el componente predominante de la serpentina de Valle Hermoso, La Rioja, es antigorita.



Conclusiones

Los análisis microscópicos, químicos, mecánicos y roentgenográficos practicados sobre una muestra de serpentina conteniendo asbesto, permiten afirmar que este último es de naturaleza crisotílica, similar en todo sentido, mineralógicamente, a los más conocidos crisotilos extranjeros. Asimismo, se comprueba que la roca portadora del asbesto es una serpentina antigorítica, como las que usualmente se encuentran en asociación con el crisotilo comercial.

Bibliografía

- Bates, T.F. Sand, L.B., and Mink, J.F., (1950), Tubular crystals of chrysotile asbestos: Science, v.111, pp.512-513.
- Jagodzinski, H. y Kunze, G., (1954), Die Rollenstruktur des Chrysotile: N. Jahrb. f. Mineralogie, H.6, pp. 113-130.
- Kalousek, G.L. y Muttart, L.B. (1957), Studies on the chrysotile and antigorite components of serpentine: Amer. Miner., 42, 1-22.
- Ladoo, R.B., Nonmetallic minerals, 1951, New York.
- Larsen, E.S., y Berman, H. (1934), The microscopic determination of nonopaque minerals. U.S.G.S., Bull. 848.
- Nagy, B., y Faust, G.T. (1956), Serpentine: natural mixtures of chrysotile and antigorites: Amer. Mineral., 41, 817-837.
- Turkevich, J., y Hillier, J. (1949). Electron microscopy of colloidal systems: Analyt. Chem., v.21, pp.475-485.
- Whittaker, E.J.W., y Zussman, J., (1956), The characterization of serpentine minerals by X-ray diffraction. Min. Magaz., v. 31.

Buenos Aires, Julio 20 de 1960.

Dr. F.Gonzalez Bonorino.