

Introducción a la segunda parte

SEGUNDA PARTE

Descripción de los minerales

Introducción a la segunda parte

Aunque se conocen aproximadamente unas 1.700 especies minerales, los constituyentes rocosos, que se encuentran normalmente en las secciones delgadas, constituyen una proporción comparativamente pequeña del total. En las páginas siguientes se darán unas descripciones de los minerales individuales, mineraloides y grupos minerales. Las especies referenciadas comprenden prácticamente todos los minerales transparentes que se encuentran en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, junto con las vetas minerales. Ocasionalmente pueden encontrarse otros minerales que los referenciados; entonces, deben consultarse libros más especializados.

Por conveniencia, se dan las características ópticas y microscópicas de los minerales bajo una serie uniforme de encabezamientos. *Color*, se refiere al color del mineral en sección delgada. El término *neutro*, se emplea para colores muy pálidos de tinte indeterminado. El pleocroísmo y la absorción se incluyen junto al color, porque ordinariamente está insertado el polarizador durante todo el examen de la preparación. El *relieve* se refiere generalmente a secciones montadas con bálsamo del Canadá o a fragmentos en un medio de inmersión del correspondiente índice. Los colores de interferencia indicados son usualmente los máximos para secciones delgadas de unos 0,03 mm de espesor; si las secciones son más gruesas o más delgadas que este valor, debe tenerse en cuenta. El espesor puede determinarse fácil y rápidamente si un mineral conocido, como cuarzo o plagioclasa, está presente en la preparación. Los ángulos de extinción medidos en el sentido de las agujas del reloj se consideran positivos; y negativos, los de sentido contrario. *Orientación* se refiere especialmente a la posición de los rayos más rápido y más lento en las secciones características; en la tabla situada justo debajo del nombre del mineral se indica una orientación óptica completa. Pueden realizarse medidas aproximadas del ángulo axial en casos favorables utilizando un ocular micrométrico que haya sido calibrado mediante varios cristales biáxicos de ángulo axial conocido. La platina universal es útil para determinaciones minuciosas. Bajo el encabezamiento *Características distintivas* se indican las semejanzas y diferencias con los minerales similares, como ayuda en la determinación. *Minerales afines* son los de apariencia y propiedades similares al del problema.

Se dan diagramas de orientación para casi todos los minerales biáxicos y plantas y secciones para los minerales monoclinicos para facilitar la comprensión de sus propiedades ópticas. Para ayudar a la identificación, se incluyen microfotografías de secciones delgadas.

GRUPOS MINERALES

Este texto está consagrado primordialmente al examen de los minerales transparentes y, en particular, a los que se encuentran comúnmente en las secciones delgadas, por lo que consideraciones prácticas originan un cierto número de desviaciones de las listas de clasificación de los minerales generalmente aceptadas. La clasificación de los grupos minerales utilizada en los capítulos de la Parte Segunda concuerda en lo esencial con el uso normal; sin embargo, el examen de los capítulos que encabezan dicha Segunda Parte revela una pronunciada desigualdad en la distribución de los minerales en grupos:

Los minerales no-silicatos, de los elementos a los fosfatos, están comprendidos en dos capítulos, mientras que se necesitan cinco capítulos para los silicatos. Esto refleja la importancia de los silicatos entre los minerales constituyentes de las rocas.

La clasificación de los silicatos es principalmente estructural; sin embargo, no se conocen con igual exactitud todas las estructuras. Además, un cierto número de silicatos son aparentemente amorfos cuando se les examina con el microscopio, aunque se muestran evidentemente cristalinos en la difracción con rayos X; estas especies se llaman mineraloides y están colocadas en la clasificación junto a los minerales químicamente afines.

Los silicatos pueden dividirse en seis grupos dependientes de la disposición estructural del tetraedro SiO_4 . Un único grupo SiO_4 consiste en cuatro grandes átomos de oxígeno en cada uno de los vértices de un tetraedro con un pequeño átomo de silicio en el centro. La disposición estructural de los grupos, al acentuar la presentación natural, proporciona el esqueleto de una útil clasificación de los silicatos:

Grupo de silicatos

1. Retículos complejos—tectosilicatos
Sílice mineral, feldespatos, feldespatoideos, grupo de la sodalita, zeolitas
2. Estructuras en cadena—inosilicatos
Piroxenos, anfíboles, grupo del epidoto
3. Grupos uni-tetraédricos—nesosilicatos
Grupo del olivino, grupo del granate, circonio, grupo de la humita, grupo de la sillimanita, idocrasa, axinita
4. Grupos multitetraédricos—sorosilicatos
Lawsonita
5. Grupos en anillo con seis unidades—ciclosilicatos
Berilo, turmalina, cordierita, wollastonita
6. Estructuras laminares—filosilicatos
Micas, cloritas, arcillas minerales, talco, pirofilita, grupo de la serpentina

En los nombres de los grupos se sigue la costumbre de Bragg (1930) El orden elegido para los grupos facilita la identificación.

Los *grupos isomorfos* son comunes entre los minerales. Varias especies que cristalizan de la misma manera pueden al mismo tiempo formar un grupo que muestre cambios en la composición química; las fórmulas químicas del grupo son análogas, aunque cada especie presente alguna sustitución química. Un ejemplo es el grupo de la calcita: con calcita CaCO_3 , magnesita MgCO_3 , siderita FeCO_3 y otros carbonatos con la misma cristalización hexagonal, pero difiriendo en la sustitución del Ca, Mg, Fe y otros cationes en las fórmulas químicas.

El *polimorfismo* también se encuentra frecuentemente entre los minerales. Una misma sustancia química puede encontrarse en la naturaleza cristalizada de dos o más maneras. Esto se aplica al CaCO_3 , que cristaliza en el sistema hexagonal, formando calcita, y en el rómbico, formando aragonito. Ambos minerales también pertenecen a grupos isomorfos: el grupo de la calcita, anteriormente indicado, y el grupo del aragonito que, además de este último, incluye la witherita BaCO_3 , estroncianita SrCO_3 y cerusita PbCO_3 .

El óxido TiO_2 se encuentra en tres tipos de cristalización que también son un ejemplo de polimorfismo; el rutilo y la anatasa son tetragonales, pero con diferentes dimensiones estructurales, mientras que la brookita es rómbica.

Entre los minerales descritos en este libro se encontrarán repetidamente isomorfismo y polimorfismo. En los grupos isomorfos, debe dedicarse especial atención a la variación de las propiedades ópticas exhibidas por los miembros del grupo.

BIBLIOGRAFIA

- Bragg, W. L.: The Structure of Silicates, *Z. F. Krist.*, vol. 74, págs. 237-305, 1930.
- Chudoba, K.: «Mikroskopische Charakteristik der gesteinsbildenden Mineralien», Herder u. Co., Freiburg, 1932.
- : «Die Feldspäte und ihre praktische Bestimmung», Schweizerbart Verlag, Stuttgart, 1932.
- Freund, H.: Mikroskopie der Silikate, «Handbuch der Mikroskopie in der Technik», vol. 4, Umschau Verlag, Frankfurt, 1955.
- Hatch, F. H. y A. K. Wells: «The Petrology of the Igneous Rocks», 9.^a ed., George Allen & Unwin, Ltd., Londres, 1937.
- Iddings, J. P.: «Rock Minerals», 2.^a ed., John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1911.
- Ingerson, E.: Methods and Problems of Geologic Thermometry, *Econ. Geol.*, 50 an. vol., págs. 341-410, 1955.
- Johannsen, A.: «Essentials for the Microscopical Determination of Rockforming Minerals and Rock in Thin Sections», 2.^a ed., University of Chicago Press, Chicago, 1928.
- Kennedy, G. C.: Charts for Correlation of Optical Properties with Chemical Composition of Some Common Rock-forming Minerals, *Am. Mineralogist*, vol. 32, págs. 561-573, 1947.
- Larsen E. S. y H. Berman: The Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals, *U. S. Geol. Survey Bull.* 848, Washington, D. C., 1934.
- Mason, Brian: «Principles of Geochemistry», John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1951.
- Milner, H. B.: «Sedimentary Petrography», 3.^a ed., Thomas Murby & Co., Londres, 1940.

- Rosenbusch, H.: «Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien», rev. por O. Mügge, 5.^a ed., vol. 1, part. 2.^a, Schweizerbart Verlag, Stuttgart, 1927.
- Tickell, F. G.: «The Examination of Fragmental Rocks», 2.^a ed., Stanford University Press, Stanford, Calif., 1940.
- Wahlstrom, E. E.: «Petrographic Mineralogy», John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1955.
- Weinschenk, E.: «Petrographic Methods», trad. por R. W. Clark, McGraw-Hill Book Company, Inc., Nueva York, 1912.
- Williams, H., F. J. Turner y C. M. Gilbert: «Petrography», W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1954.
- Winchell, A. N.: «Elements of Optical Mineralogy», 4.^a ed., part. 2.^a, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1951.

CAPITULO 11

De los elementos a los hidróxidos

ELEMENTOS

Grafito*

SULFUROS

Blenda*

Pirita*

Pirrotina*

Calcopirita*

HALUROS

Halita

Fluorita

OXIDOS

Periclase

Corindón

Hematites*

Ilmenita*

Rutilo

Casiterita

OXIDOS MULTIPLES

Grupo de la espinela

Espinela

Magnetita*

Cromita*

Perovskita

HIDROXIDOS

Brucita

Diaspora

Bauxitas minerales

Boehmita

Gibbsita

Cliaquita

Limonita*

Minerales opacos. En la lista de minerales incluida en el Capítulo 11, un cierto número de ellos son opacos o semitransparentes; éstos pueden ser examinados directamente mediante un fuerte foco luminoso colocado sobre la superficie de la sección delgada o puede trasladarse el portaobjetos a un microscopio binocular. Los diez minerales opacos indicados se encuentran con frecuencia asociados a minerales transparentes; pero dado que están entre los minerales más comunes, generalmente basta conocer su apariencia con luz reflejada para su identificación aproximada.

ELEMENTOS

Con excepción del grafito, no es corriente encontrar elementos en el examen de las secciones delgadas. Una posible excepción es el azufre, que se encuentra en la montera rocosa de los domos salinos y depositada alrededor de las fumarolas.

* Minerales que son opacos o semitransparentes en las secciones delgadas ordinarias.

GRAFITO**C****Opaco****Hexagonal**

El grafito es negro, con lustre metálico bajo luz reflejada y a menudo se presenta en láminas delgadas o en escamas diseminadas. Los cristales son tabulares.



FIG. 11-1. ($\times 20$) Grafito (negro) mostrando secciones alargadas cortadas normalmente a las escamas.

El mineral es característico de rocas metamórficas tales como los esquistos, los gneis, las pizarras y las calizas metamórficas. El color gris de muchas calizas metamórficas puede atribuirse al grafito. En algunos casos, es el único mineral presente en la calcita.

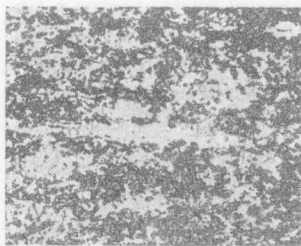


FIG. 11-2. ($\times 15$) Pequeños cristales de grafito (negro) diseminados en caliza metamórfica.

Materia carbonosa. En algunas rocas es común el encontrar partículas opacas finamente divididas en las que el carbón es su principal constituyente, pero sin que haya tenido lugar una cristalización a un mineral definido. Tal sustancia carbonosa no ha estado sometida a una temperatura lo suficientemente alta para formar grafito.

SULFUROS

Con excepción de la blenda, los pocos sulfuros observados en las secciones delgadas son opacos. Generalmente pueden examinarse de modo más eficaz en superficie pulida con luz reflejada.

BLENDA $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$

Opaca a transparente

Isométrico

 $n = 2,37$ a $2,47$ $(n$ aumenta con $\text{Fe})$

Generalmente se presenta la blenda en masas irregulares o en cristales anhédricos. En sección delgada es de gris a amarilla o parda, pero puede no ser uniforme.

Presenta crucero en seis direcciones (dodecaédrico) formando una red intrincada. El relieve es muy elevado y el mineral muestra con luz reflejada un lustre diamantino. Los cristales transparentes son isotrópicos.

La blenda es un mineral común y ampliamente distribuido en vetas y yacimientos de sustitución. Los asociados habituales son: pirita, galena,

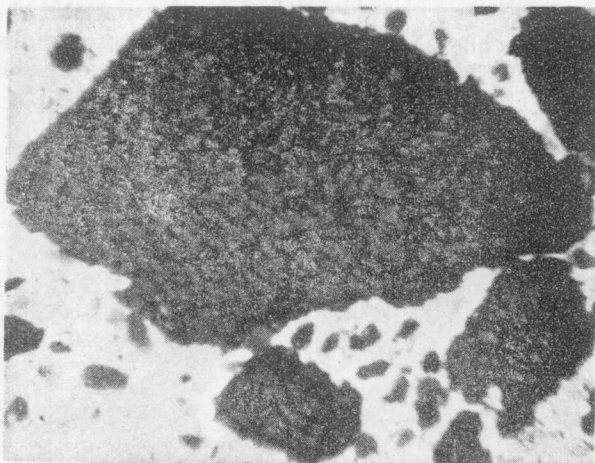


FIG. 11-3. ($\times 20$) Blenda parcialmente translúcida con exfoliación dodecaédrica completa.

marcasita y los minerales de ganga: cuarzo, calcedonia, calcita, dolomita y siderita.

PIRITA FeS_2

Opaco

Isométrico

La pirita es el sulfuro mineral más común. Es amarillo latón, con lustre metálico con luz reflejada. En sección delgada, debe distinguirse de la calcopirita, que es amarilla más oscura, y de la pirrotina, que es bronce oscura. En sección delgada la pirita se parece a la marcasita en el color y se requieren métodos suplementarios para distinguirlos.

La pirita se presenta comúnmente en cristales euhédricos. A menudo existen cubos que dan contornos cuadrados, rectangulares, triangulares y aun hexagonales. También se presenta en granos irregulares, masas y vetillas.

La pirita es un mineral extraordinariamente común y ampliamente dis-

tribuido. Está presente en muchos tipos de rocas, en vetas y en yacimientos de sustitución. Cuando ha existido oxidación, la pirita puede alterarse a limonita.

PIRROTINA

Fe_{1-x}S

Opaca

Hexagonal

La pirrotina tiene color bronce con lustre metálico bajo luz reflejada. Generalmente se presenta en granos y masas irregulares. Es habitual la partición paralela a (0001).

El mineral está presente en las rocas ígneas como un tardío mineral magmático. También se encuentra en vetas y en algunas rocas metamórficas. Se forma a temperaturas más altas que la pirita.

CALCOPIRITA

CuFeS_2

Opaca

Tetragonal

La calcopirita es uno de los minerales de cobre más ampliamente distribuidos; es amarillo latón oscuro con lustre metálico bajo luz reflejada.

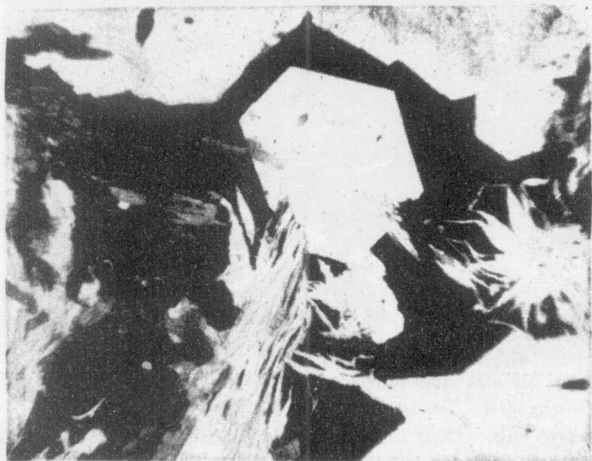


FIG. 11-4. ($\times 60$) Calcopirita (negro) rodeando cuarzo y muscovita.

Se encuentra en granos anhédricos y vetillas y, sólo ocasionalmente, en cristales euhédricos.

El mineral es común en vetas y depósitos minerales junto con otros varios metales. Ocasionalmente, se encuentra en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

HALUROS

El estudio de los haluros y especies relacionadas constituye un problema especial. En este texto se incluyen la halita y la fluorita: la halita es un mineral evaporita; la fluorita es un mineral filoniano y accesorio en muchos tipos de rocas.

Los minerales evaporita son numerosos y dignos de más atención de la que es posible concederles en un texto de iniciación. Además de los haluros, incluyen carbonatos, sulfatos y boratos. Parece apropiado llamar la atención respecto a este grupo junto con los haluros.

Minerales evaporita. En ciertos períodos de los tiempos geológicos, las cuencas sedimentarias han acumulado grandes cantidades de halita, yeso, dolomita, anhidrita y otras sales. La gran cuenca del norte de Alemania y la que, en los Estados Unidos, cubre zonas adyacentes de Nuevo México, Texas, Kansas y Oklahoma son notables ejemplos. Entre las cuencas estudiadas, unas son restos de mares aislados, otras, cuencas poco profundas con conexión intermitente con el océano, y otras, cuencas desérticas aisladas.

Cuando en una cuenca aislada, como el Mar Caspio, se evapora el agua del mar, aumenta la concentración en sales y, finalmente, se precipitan como minerales NaCl, KCl, CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y sales complejas que contienen Mg, Ca, K y Na. A menudo, tienen lugar variaciones en la salinidad a causa de la intermitencia de las corrientes, lo que origina que las sales se depositen en capas que se repiten rítmicamente. La acumulación de evaporitas en las cuencas puede exceder al contenido salino de la masa marina original.

MINERALES EVAPORITAS MAS COMUNES

Mineral	Sistema y composición	Indice de refracción			Figura de interferencia	Exfoliación
		n_α	n_β	n_γ		
Silvinita	I KCl	$n = 1,4903^*$				{100}
Halita †	I NaCl	$n = 1,5443^*$				{100}
Carnalita	O $\text{KMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,4665	1,4753	1,4937*	$B_x +$	indistinta
Cainita	M $\text{KMg}(\text{SO}_4)\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1,494	1,505	1,516	$B_x -$	{001}
Langbeinita	I $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	$n = 1,5347^*$				ninguna
Pilohalita †	T $\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,547	0,560	1,567	$B_x -$	{101}
Thenardita	O Na_2SO_4	1,464	1,474	1,485	$B_x +$	{010}, {101}, {100}
Anhidrita †	O CaSO_4	1,5698	1,5754	1,6136*	$B_x +$	{010}, {100}, {001}
Yeso †	M $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,5207	1,5299	1,5230*	$B_x +$	{010}, {100}, {011}
Kieserita	M $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1,520	1,533	1,584	$B_x +$	{110}, {111}, $\{\bar{1}11\}$, $\{\bar{1}01\}$, {011}
Calcita †	H CaCO_3	$n_e = 1,4863$ $n_o = 1,6583^*$			$U -$	{101}
Aragonito †	O CaCO_3	1,5300	1,6810	1,6854*	$B_x -$	{010}, {110}, {011}
Dolomita †	H $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2$	$n_e = 1,500$ $n_o = 1,679$			$U -$	{101}
Kernita	M $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,454	1,472	1,488	$B_x -$	{100}, {001}
Bórax	M $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1,4466	1,4687	1,4717*	$B_x -$	{100}, {110}
Ulexita	T $\text{NaCaB}_3\text{O}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1,491	1,504	1,520	$B_x +$	{010}, $\{\bar{1}10\}$, {110}
Colemanita	M $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1,5863	1,5920	1,6140*	$B_x +$	{010}, {001}

* (Luz Na).

† Véanse las descripciones del texto.

Las cuencas parcialmente aisladas pueden contener anhidrita y dolomita en abundancia, pero son deficitarias en sales solubles. Las cuencas desérticas contienen boratos y acumulaciones poco extensas de sales solubles.

Las secciones delgadas de las evaporitas pueden realizarse mediante pulimentación en glicol. El estudio de las texturas y relaciones de estos materiales ha sido efectuado por Stewart (1949), Shaller y Henderson (1932) y otros. Las evaporitas más comunes están clasificadas; pueden encontrarse descripciones más completas en la bibliografía al final del capítulo.

	HALITA	
NaCl	$n = 1,544$	Isométrico

Color. Incolora, pero puede contener inclusiones.

Forma. La halita no se encuentra en las secciones delgadas preparadas del modo normal, pues debe ser pulimentada en glicol. Generalmente, aparece la halita en cristales anhedrales (Fig. 11-5).

Exfoliación. Cúbica perfecta.

Relieve. Muy bajo, n aproximadamente igual al del bálsamo o al aceite de clavo.

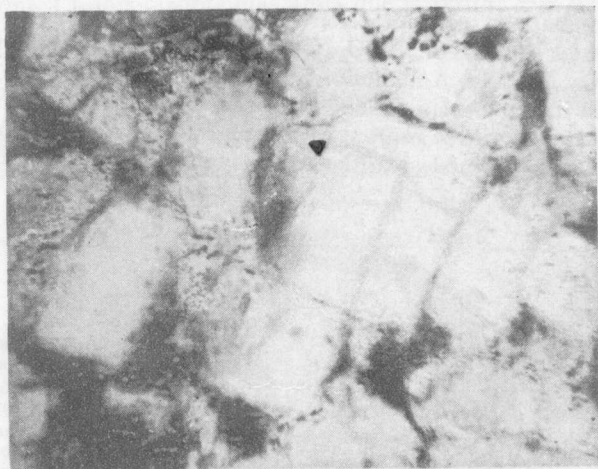


FIG. 11-5. ($\times 60$) Halita con contorno cúbico acentuado por inclusiones a lo largo de los bordes cristalinos.

Birrefringencia. Nula. Oscurece entre nicoles cruzados. La halita procedente de las sales muy comprimidas de los domos salinos puede ser, en secciones gruesas, anisotrópica.

Características distintivas. Son característicos el relieve muy bajo, la exfoliación cúbica y la solubilidad. Casi el único mineral que puede confundirse con la halita es la silvinita, pero esta última tiene un relieve apreciable y un índice menor que el del bálsamo (para la silvinita, $n = 1,490$).

Yacimiento. La halita se encuentra en las capas sedimentarias de rocas salinas, acompañada con frecuencia por anhidrita y yeso. Son asociados característicos la silvinita y la polihalita.

	Fluorita	
CaF ₂	$n = 1,434$	Isométrico

Color. Incolora o púrpura en bandas o manchas.

Forma. A veces se encuentra la fluorita en cristales euhedrales con

contorno cuadrado, pero normalmente es anhedral y a menudo rellena los espacios entre otros minerales.

Exfoliación. Octaédrica perfecta {111}. La exfoliación aparece generalmente como intersección de dos líneas oblicuas a 70° y 110° ; ocasionalmente como intersección de tres líneas a 60° y 120° (Figura 8-35).

Relieve. Medianamente alto, $n < \text{bálsamo}$. Según Merwin, el índice de refracción es remarcablemente constante (1,4338 para la luz de sodio). La dispersión de la fluorita es muy baja; de aquí que se la utilice para la fabricación de objetivos apocromáticos.

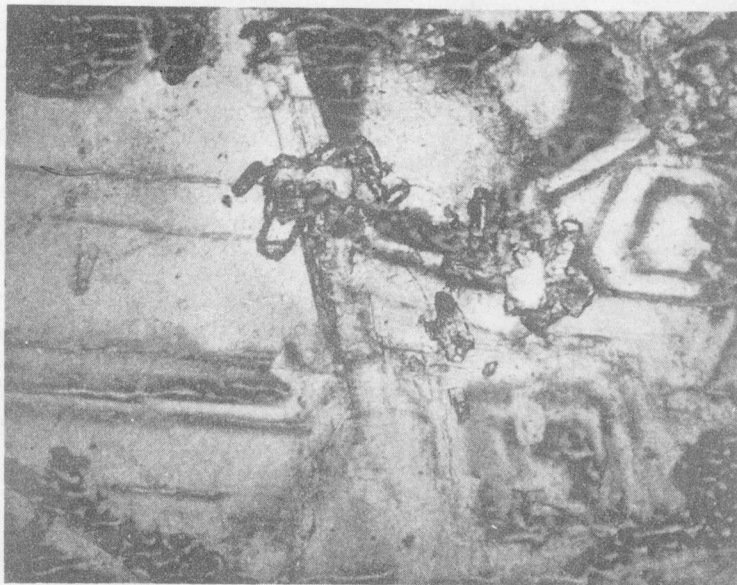


FIG. 11-6. ($\times 18$) Fluorita mostrando estructura zonal.

Birrefringencia. Nula. Oscurece entre nicoles cruzados.

Características distintivas. El relieve relativamente alto, la exfoliación perfecta y su carácter isotrópico distinguen prácticamente la fluorita de todos los demás minerales. Las manchas o bandas púrpura (ver Figura 11-6) son muy características.

Yacimiento. La fluorita es un mineral filoniano común, pero relativamente raro en las rocas; se encuentra en algunos granitos y, ocasionalmente, en areniscas, calizas y fosforitas. En el oeste de los Estados Unidos y en la Alemania Occidental, la fluorita negra radiactiva está asociada con uranio.

OXIDOS

Por lo menos, seis óxidos se encuentran frecuentemente en las secciones delgadas. La ilmenita, la hematites y, a veces, el rutilo son translúcidos u opacos. Por otra parte, los óxidos dan lugar a propiedades ópticas distintivas.

PERICLASA**MgO****Isométrico** $n = 1,738 \text{ a } 1,760$

La periclasa es un mineral raro, pero ampliamente distribuido.

Color. Incolora en sección delgada.

Forma. La periclasa se presenta en pequeños cristales o agregados de cristales anhédricos. Los individuos anhédricos pueden reconocerse por las trazas de crucero.

Exfoliación. Cúbica. Partición, dodecaédrica.

Relieve. Alto $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Nula. Oscurece en tre nícoles cruzados.

Características distintivas. Tomados en conjunto resultan distintivos la exfoliación cúbica, el relieve alto y el carácter isométrico.

Alteración. La periclasa se altera generalmente a brucita que, a su vez, lo hace a hidromagnesita.

Yacimiento. La presentación más habitual de la periclasa es dentro de las calizas metamórficas. Se encuentra en núcleos dentro de las manchas de brucita formada por la hidratación de la periclasa.

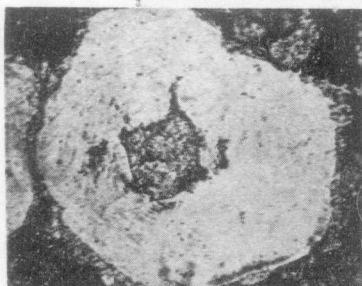


FIG. 11-7. Núcleo de periclase rodeado por brucita en caliza metamórfica.



FIG. 11-8. ($\times 60$) Periclase en una roca brucítica mostrando la exfoliación cúbica.

Periclase artificial. La periclase artificial, actualmente preparada a escala comercial a partir de magnesitas seleccionadas, es más familiar que el mineral natural. Se utiliza como aislante eléctrico de alto poder.

CORINDON

Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$n_e = 1,759 \text{ a } 1,763$

$n_w = 1,767 \text{ a } 1,772$

Opt. (—)

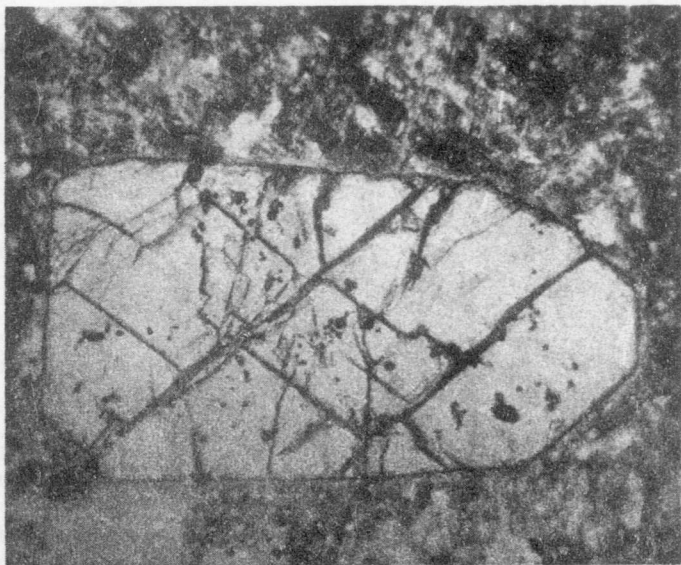


FIG. 11-9. ($\times 40$) Cristal de corindón con partición romboédrica en una sienita de corindón.



FIG. 11-10. ($\times 50$) Cristal de corindón con partición bien desarrollada.

Color. Generalmente incoloro, a veces con manchas azules o rosas que no están coloreadas de un modo uniforme. No son raros los cristales zonados. En las secciones delgadas, el corindón puede ser pleocroico.

Forma. Son comunes los cristales euhédricos. El hábito varía de tabular a prismático; las secciones son hexagonales y pueden mostrar estructura zonal. Los cristales de «esqueleto» se encuentran a veces.

Exfoliación. A menudo partición paralela al romboedro $\{10\bar{1}1\}$ o al pinacoide $\{0001\}$ o a ambos.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_w - n_e = 0,008 - 0,009$. Las secciones son en general más gruesas que de ordinario, debido a la extrema dureza del corindón. Por esta razón, el máximo color de interferencia de la mayoría de las secciones delgadas se corre hacia el segundo orden.

Extinción. Paralela al contorno del cristal o simétrica respecto a la partición romboédrica.

Orientación. Las secciones de los cristales tabulares están longitudinales al rayo lento y las de los cristales prismáticos lo están al rayo rápido, ya que el signo óptico del mineral es negativo.

Maclado. Maclado laminar o macla de contacto con $\{10\bar{1}1\}$ como plano de macla es algo común.

Figura de interferencia. La figura obtenida en sección basal es uniáxica negativa, generalmente con un solo anillo. Algunas figuras son biáxicas con $2V$ alto, hasta 30° .

Características distintivas. Es distintiva la combinación del relieve muy alto con la débil birrefringencia, la partición y el maclado laminar.

Yacimiento. El corindón es especialmente característico de las sienitas de corindón, calizas metamórficas de contacto y pizarras metamorizadas. También puede encontrarse en los esquistos y como un mineral de detritus

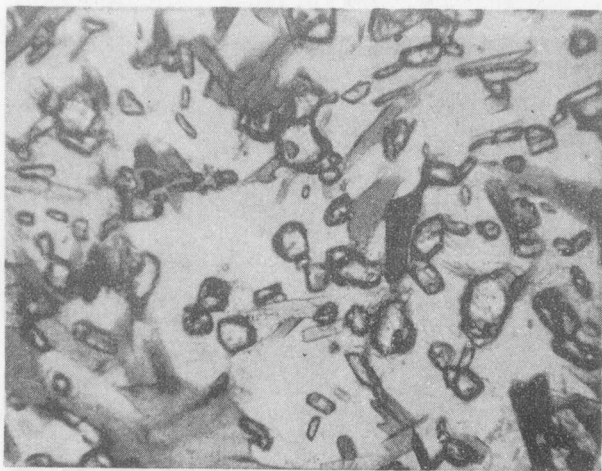


FIG. 11-11. ($\times 60$) Pequeños cristales de corindón diseminados en cuarzo y mezclados con biotita.

esporádico. Es uno de los principales constituyentes del esmeril, que probablemente es una bauxita o laterita metamorizada. En las rocas ígneas no se le encuentra nunca junto al cuarzo original.

HEMATITES



De opaco a translúcido

Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$$n_e = 2,94$$

$$n_w = 3,22$$

Opt. (—)

Con luz reflejada negro acerado con brillo metálico, con tendencia al rojo marginal. Algunas muestras son rojas y translúcidas.

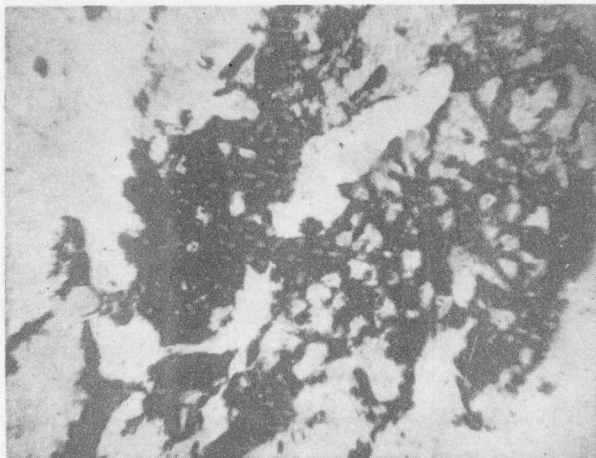


FIG. 11-12. ($\times 20$) Hematites (negro) relleno los intersticios entre el cuarzo y siguiendo las fracturas en una cuarcita.

La hematites se presenta en cristales anhédricos, granos, masas y, ocasionalmente, en escamas diminutas. Puede observarse partición romboédrica pseudocúbica.

El mineral se presenta como el principal constituyente del esquisto hematítico. Es un mineral secundario en muchos tipos de rocas, pero es raro como constituyente original de las rocas ígneas.

ILMENITA



Opaco

Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

Con luz reflejada la ilmenita es negra acerada con lustre metálico. Puede mostrar una alteración marginal blanca o amarillenta hacia leucoxeno.

El mineral se presenta en cristales tabulares diseminados que pueden cortarse en secciones alargadas. Con frecuencia se presentan cristales «esqueleto». También se encuentra en granos irregulares y masas.

La ilmenita es un mineral ampliamente repartido en algunos tipos de rocas ígneas, especialmente en las diabasas y doleritas. Es un constituyente importante de las arenas titaníferas. A menudo está asociada con la magnetita en las menas de hierro.

Leucoxeno. En varias rocas es habitual, como producto de alteración de los minerales de titanio, una sustancia opaca blanca llamada *leucoxeno*.

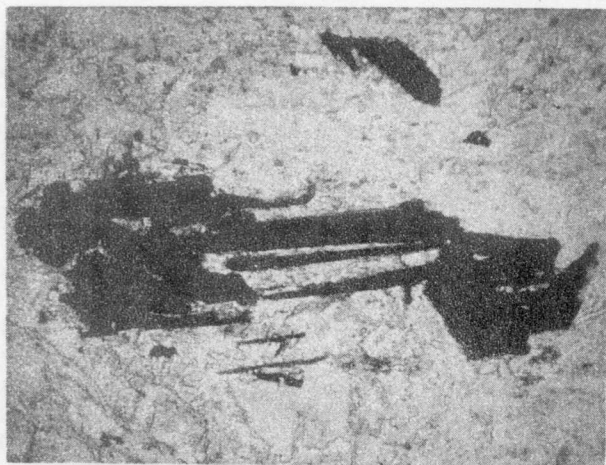


FIG. 11-13. ($\times 18$) Cristal «esqueleto» de ilmenita.

Se presenta en la superficie y alrededor de bordes de la ilmenita y también está diseminada en diversas rocas, siendo probablemente el resultado de una alteración hidrotermal. A veces, se ha identificado al leucoxeno con la esfena. Según Coil, en un yacimiento detrítico de Oklahoma el leucoxeno es un dióxido de titanio hidratado.

RUTILO

TiO_2

Tetragonal

$n_w = 2,603$ a $2,616$

$n_e = 2,889$ a $2,903$

Opt. (+)

Color. De amarillento a pardo rojizo en sección delgada. Con luz reflejada tiene brillo diamantino.

Forma. Generalmente se presenta el rutilo en pequeños cristales de prismáticos a aciculares y en granos. Es característica la macla en rodilla con $\{101\}$ como plano de macla. Son comunes los cristales capilares, especialmente en cuarzo.

Forma. Generalmente se encuentra la casiterita en cristales subhédricos. Son algo comunes las vetillas.

Exfoliación. Prismática, paralela a la longitud.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo. Con luz reflejada, brillo diamantino.

Birrefringencia. Extrema, $n_e - n_o = 0,097$; los colores de interferencia son de orden elevado, pero generalmente están enmascarados por el color del mineral.

Extinción. Paralela a la exfoliación, oblicua al plano de macla.

Maclado. Son habituales los cristales maclados; el plano de macla es $\{101\}$.

Características distintivas. La casiterita se parece a la blenda, pero esta última es isotrópica. Del rutilo se distingue por su menor birrefringencia.

Yacimiento. Se encuentra casiterita en los granitos pegmatíticos, en greisen y en las vetas o filones de temperatura alta. Los asociados habituales son cuarzo, muscovita, escorlita y topacio. La variedad «estaño leñoso» (wood-tin) se encuentra en las riolitas.

OXIDOS MULTIPLES

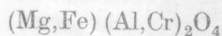
El grupo de la espinela y la perovskita han sido seleccionados como los miembros de esta división que más fácilmente se encuentran en el estudio de las secciones delgadas.

Grupo de la espinela

Las espinelas son aluminatos, ferritos y cromitos de hierro y magnesio. Se presenta en cristales isométricos, generalmente octaedros, y ópticamente son isotrópicos.

Además de las espinelas más habituales descritas aquí —espinela, magnetita y cromita— existen la hercinita (FeAl_2O_4), la magnesioferrita (MgFe_2O_4), la galaxita (MnAl_2O_4), la franklinita [$(\text{Zn}, \text{Mn})\text{Fe}_2\text{O}_4$] y la gahnita (ZnAl_2O_4).

ESPINELA



Isométrico

$$n = 1,72 \text{ a } 1,78$$

Color. De incoloro a verde (pleonasto), verde oliva o pardo (picotita) en las secciones delgadas.

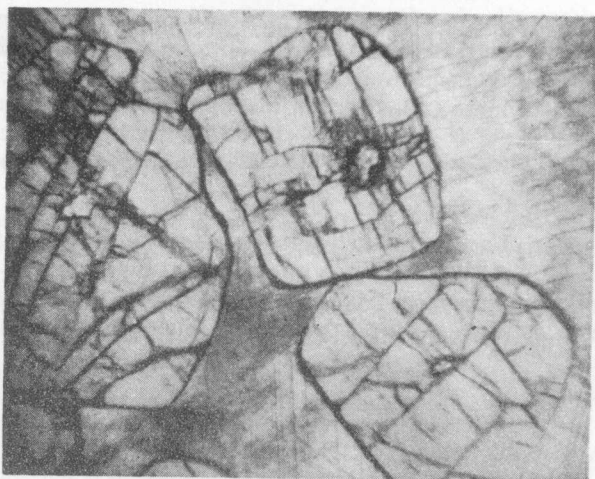
Forma. Prácticamente siempre se presenta la espinela en cristales euhédricos o subhédricos o en granos uniformes. Los cristales son octaédricos y en la mayoría de las secciones tienen contorno rómbico.

Exfoliación. Octaédrica imperfecta aunque no siempre se observa.

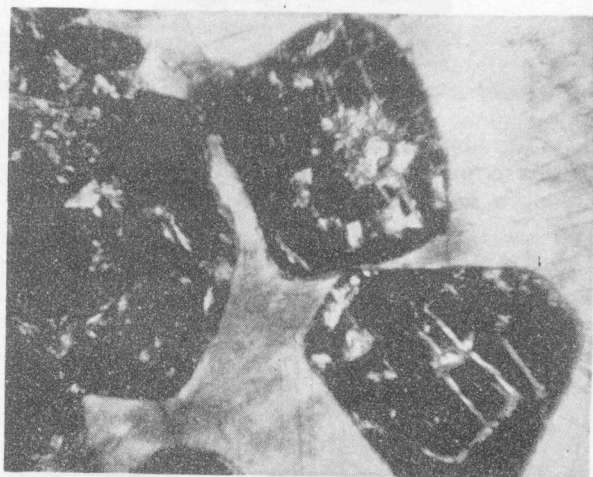
Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Es uno de los pocos minerales isométricos que es invariablemente isotrópico.

Macla. El maclado, según la ley de la espinela con $\{111\}$, como plano de macla, es bastante común, pero no se observa generalmente en las preparaciones.



a



b

FIG. 11-15. ($\times 20$) Dos aspectos de una sección de espinela. (a) Iluminación ordinaria mostrando la espinela en dolomita. (b) El mismo cristal entre nicoles cruzados. (Las rayas y manchas de birrefringencia en la espinela son originadas por alteración.)

Características distintivas. El pleonasto, variedad ferrosa de la espinela, es muy parecida a la hercinita.

La espinela se diferencia del granate por su forma octaédrica.

Minerales afines. Un mineral afín, la hercinita FeAl_2O_4 , es uno de los principales constituyentes de ciertos tipos de esmeril. La picotita es un intermedio entre la espinela y la cromita, se parece a la cromita, pero es más transparente. La galaxita es una espinela manganesífera cuya fórmula es MnAl_2O_4 . Se presenta junto a la alleghanita.

Exfoliación. Paralela a la longitud de los cristales $\{110\}$.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo. Brillo diamantino con luz reflejada.

Birrefringencia. Extrema, $n_e - n_o = 0,286 - 0,287$; los colores de interferencia son muy altos, pero no se manifiestan bien a causa de la refracción total.

Extinción. Paralela.

Maclado. Común (ver forma).

Características distintivas. El mineral que puede confundirse más fácilmente con el rutilo es probablemente la baddeleyita (ZrO_2), que a veces se presenta en las sienitas de corindón. El color, junto con el muy alto relieve, es distintivo.

Minerales afines. Dos polimorfos del rutilo, la anatasa (también tetragonal) y la brookita (rómico) tienen alguna importancia como minerales detríticos.

Yacimiento. El rutilo es un mineral accesorio distribuido con relativa amplitud en varias rocas metamórficas. Ocasionalmente se presenta en rocas ígneas, como en la albita de Kragerö, Noruega. También se presenta el rutilo como mineral detrítico. La esfena es un asociado habitual.

CASITERITA

SnO_2

Tetragonal

$n_o = 1,996$

$n_e = 2,093$

Opt. (+)

Color. En secciones delgadas de incolora a gris, amarillenta, rojiza o parda. A menudo muestra zonas de distinto color.

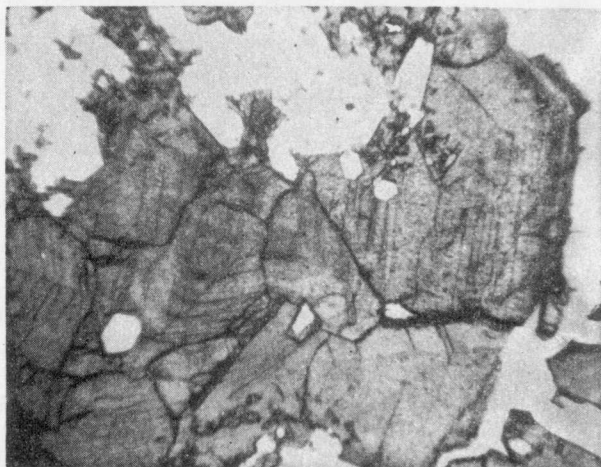
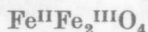


FIG. 11-14. ($\times 20$) Casiterita mostrando las líneas de crecimiento zonal en una sección cortada de una veta de cuarzo.

Yacimiento. La espinela se encuentra en las calizas metamórficas con flogopita y condrodita, en otras rocas metamórficas y también en varias rocas ígneas. Es rara como mineral detrítico.

La picotita es común en las peridotitas, dunitas y serpentinas derivadas.

MAGNETITA



Opaco

Isométrico

Con luz reflejada, negro con brillo metálico. Si se presenta en abundancia, las secciones delgadas son magnéticas. Los cristales pueden ser octaédricos, dando secciones triangulares, cuadradas o rómbicas. A causa de la partición octaédrica puede presentarse una característica triangular.

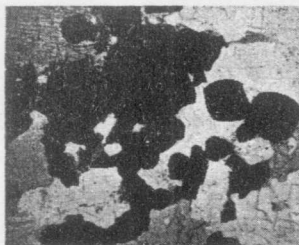
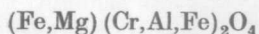


FIG. 11-16. ($\times 7$) Magnetita (negra) de euhedral a anhedral en norita.

La magnetita es habitual en casi todas las rocas ígneas o metamórficas. En las rocas ígneas, es un mineral magmático tardío. Es un mineral detrítico común acumulado a lo largo de las arenas de las modernas o antiguas líneas costeras.

CROMITA



De opaco a translúcido

Isométrico

$$n = 2,07 \text{ a } 2,16$$

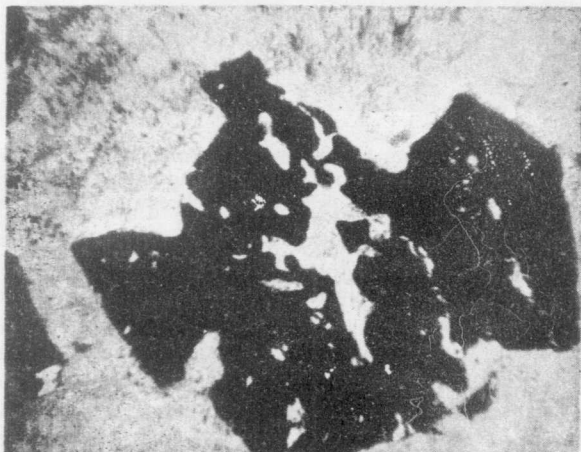


FIG. 11-17. ($\times 20$) Cromita (negro) con contorno redondeado.

Negra con brillo submetálico bajo la luz reflejada. En los bordes delgados, el mineral es a menudo translúcido y pardo. Se presenta en cristales subhédricos, granos y agregados; ocasionalmente se encuentran diminutos octaedros.

La cromita de los meteoritos se aproxima a la composición FeCr_2O_4 , pero la cromita terrestre contiene apreciables cantidades de magnesio y aluminio.

La cromita se encuentra en su mayoría en peridotitas, piroxenitas, dunitas y serpentinas derivadas. A veces es un mineral magmático tardío. En la mayor parte de las serpentinas es un mineral residual, pero puede formarse durante la serpentinización a expensas de la picotita.

PEROVSKITA

CaTiO_3

Pseudoisométrico

$$n = 2,34 \text{ a } 2,38$$

Color. En las secciones delgadas, de amarillo a pardo.

Forma. Generalmente se encuentra la perovskita en diminutos cristales cúbicos.

Exfoliación. Cúbica, notada solamente en los cristales grandes.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo. Es difícil efectuar el ensayo de Becke a causa de la reflexión total. Con luz reflejada tiene brillo diamantino.

Birrefringencia. Nula a 0,002. Los cristales pequeños oscurecen entre nicoles cruzados; los mayores muestran una muy débil birrefringencia.

Maclado. Los cristales grandes muestran maclas polisintéticas complicadas.

Características distintivas. La perovskita recuerda a la melanita (granate) y a la picotita (espinela), pero tiene un índice de refracción mucho más elevado que éstas.

Yacimiento. La perovskita es un mineral raro, pero ampliamente distribuido en las rocas ígneas básicas, especialmente en los basaltos melíticos y las peridotitas. También se encuentra en las cloritas y esquistos talcosos y en algunas calizas metamórficas.

HIDROXIDOS

Todos los miembros de este grupo pierden agua al fuego; por ello se ha aplicado frecuentemente el término hidro-óxidos.

DIASPORA

$\text{AlO}(\text{OH})$

Rómbico

$$n_a = 1,702$$

$$n_\beta = 1,722$$

$$n_\gamma = 1,750$$

$$2V = 84^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = a \text{ o } X$$

Color. En sección delgada, de incoloro azul, pálido.

Forma. La diaspora se presenta en cristales tabulares paralelos a $\{010\}$. Los cristales varían de relativamente grandes a muy diminutos. El mineral se presenta también en agregados menudos.

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{010\}$.

Relieve. Alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_y - n_a = 0,048$; por tanto, el máximo color de interferencia es aproximadamente un poco más alto del tercer orden.

Extinción. Paralela.

Orientación. Los cristales son longitudinal-rápido.

Figura de interferencia. La figura es biáxica positiva con un ángulo axial muy grande. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$, débil.

Características distintivas. La diaspora asociada con la arcilla refractaria recuerda a las partículas de arcilla, pero tiene una birrefringencia más fuerte.

Minerales afines. La boehmita es dimorfa

con la diaspora.

Yacimiento. La diaspora se encuentra en las rocas metamórficas, tales

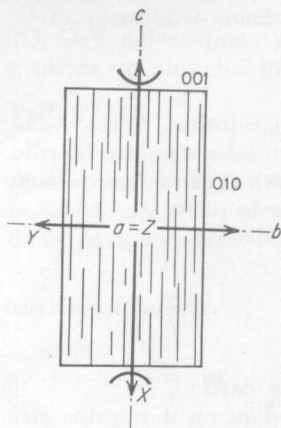


FIG. 11-18. Diagrama de orientación de la diaspora. Sección paralela a $\{100\}$.

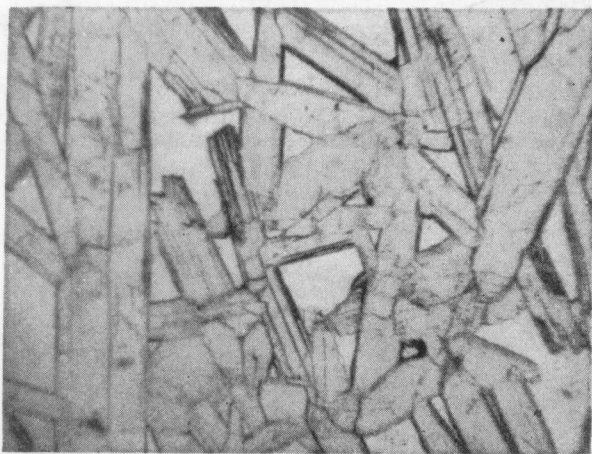


FIG. 11-19. $(\times 20)$ Listones de diaspora entrelazados.

como los esquistos y el esmeril. Se encuentra en unas pocas rocas ígneas alteradas, asociada con la alunita. Es también un constituyente principal de las arcillas refractarias altamente aluminosas.

BRUCITA

 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ Hexagonal
(Subsistema romboédrico) $n_\omega = 1,566$ $n_\epsilon = 1,585$

Opt. (+)

Color. Incoloro en las secciones delgadas.**Forma.** Generalmente se encuentra en agregados hojosos o escamosos que aparecen como fibrosos en las secciones.*a**b*

FIG. 11-20. ($\times 20$) Brucita en caliza metamórfica. (a) Con iluminación ordinaria. (b) Entre nicols cruzados.

Exfoliación. Perfecta en una dirección {0001}, pero no se muestra en las secciones delgadas.

Relieve. Perfecto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_e - n_o = 0,019$. Algunos de los colores de interferencia son anómalos; un peculiar tinte pardo rojizo ocupa el lugar del amarillo y el naranja del primer orden. Si la sección es demasiado delgada, no se encuentran los colores anómalos.

Extinción. Paralela.

Orientación. Los agregados escamosos, que aparentemente son fibrosos, son longitudinal-rápido.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es uniáxica positiva con el primer anillo anómalo (ver birrefringencia). A veces, la figura puede ser biáxica con un ángulo axial pequeño.

Características distintivas. Recuerda a la alunita, pero tiene mejor exfoliación y colores de interferencia anómalos.

Alteración. La brucita se altera a menudo a hidromagnesita, $Mg_4(OH)_2(CO_3)_3 \cdot 3H_2O$.

Yacimiento. La presentación más común de la brucita es en las rocas cálcico-brucíticas metamórficas, como una alteración de la periclasa, MgO . A veces se encuentra en la serpentina.

Minerales bauxitas

El término *bauxita* se utiliza universalmente para los minerales de aluminio. Originalmente se aplicaba (Berthier, 1821) a un material aluminoso que se pensaba que era un solo mineral, pero que se ha encontrado que contiene por lo menos dos constituyentes. Bauxita es propiamente un término genérico para las rocas ricas en hidróxidos de aluminio. Tales rocas se forman frecuentemente por la meteorización en regiones cálidas y húmedas en las que los ácidos orgánicos derivados de la espesa vegetación son abundantes. Este proceso se llama frecuentemente lateritización. El producto *laterita*, a menudo conjuntamente ferruginosas y aluminosas, es una amplia etapa intermedia en la formación de la bauxita. Los minerales aluminosos habituales en la bauxita son: gibbsita, boehmita y cliaquita.

BOEHMITA

$AlO(OH)$

Rómbica

$$n_\alpha = 1,638$$

$$n_\beta = 1,645$$

$$n_\gamma = 1,651$$

$$2V = \text{moderada; Opt. (—)?}$$

$$a = a \text{ o } X; b = \gamma \text{ o } Z; c = \beta \text{ o } Y$$

Forma. Los cristales son diminutos y tabulares.

Exfoliación. En una dirección, paralela a {010}.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,013$.

Características distintivas. En sección delgada, recuerda estrechamente a la gibbsita, pero el índice de refracción es mayor y la birrefringencia más baja.

Yacimiento. Ampliamente distribuida en la bauxita de la que, a veces, puede ser el principal mineral.

GIBBSITA

$\text{Al}(\text{OH})_3$

(Hidrargillita)

Monoclínico

$\angle\beta = 85^\circ 29'$

$n_a = 1,554$ a $1,567$

$n_\beta = 1,554$ a $1,567$

$n_\gamma = 1,576$ a $1,589$

$2V = 0^\circ$ a 40° ; Opt. (+)

$b = a$ o X ; $a \wedge \gamma$ o $Z = 26^\circ$

Color. De incolora a pardo pálido en las secciones delgadas.

Forma. La gibbsita (llamada *hidragillita* por algunos mineralogistas europeos) se encuentra en cavidades en pequeños cristales euhedrales

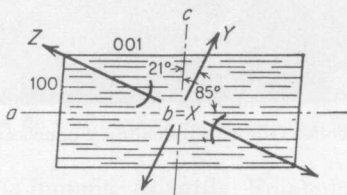


FIG. 11-21. Diagrama de orientación de la gibbsita. Sección paralela a (010).

pseudohexagonales y en finos agregados cristalinos que son a menudo pseudomorfo de los feldespatos. La estructura reticulada es habitual.

Exfoliación. En una dirección paralela a {001}, pero puede ser difícil de ver.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_a = 0,022$. El máximo color de interferencia brilla sobre el primer orden o los colores inferiores del segundo orden.

Extinción. Angulos de extinción oblicuos hasta un máximo de 26° para $a \wedge \gamma$ o Z en secciones paralelas a {010}.

Maclado. Macla polisintética con {001} como plano de macla a menudo aguda y bien definida.

Figura de interferencia. Los cristales son generalmente demasiado pequeños para dar una figura de interferencia. En la mayoría de los cristales el plano axial es normal a (010), pero en algunos es paralelo a (010).

Características distintivas. La estructura agregada de la gibbsita recuerda a la calcedonia, pero el relieve es más alto y la birrefringencia mucho más fuerte. También recuerda a la dahllita, pero este último mineral tiene una birrefringencia débil.

Yacimiento. Algunas bauxitas (se usa bauxita como nombre de roca) están formadas principalmente por gibbsita, otras principalmente de cliaquita amorfa con gibbsita en las cavidades.

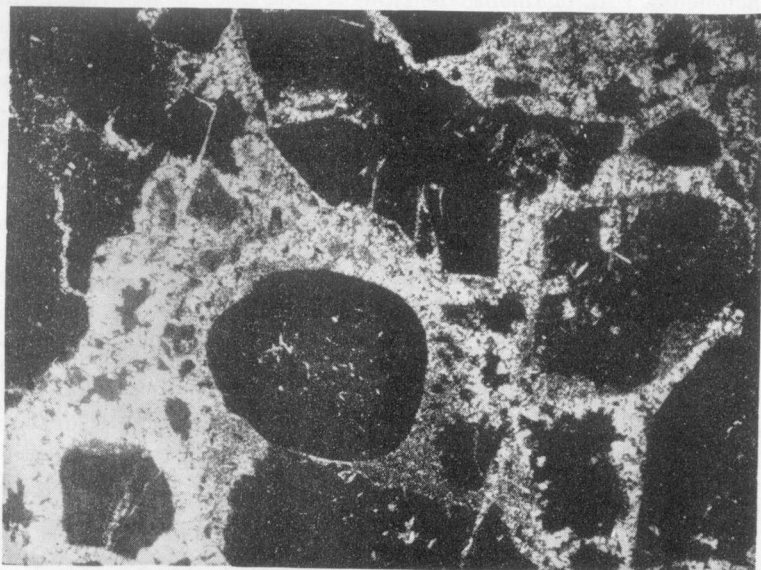


Fig. 11-22. ($\times 25$) ($\times$ nicoles) Gibbsita rodeando y penetrando pisolitas y zonas rotas de cliaquita (negro)

CLIAQUITA

$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{H}_2\text{O})_x$

(En parte bauxita)

Mineraloide

$n = 1,57$ a $1,61$

Color. En sección delgada, de incoloro a pardo fuerte o rojo. Translúcida a casi opaco.

Forma. La cliaquita es pisolítica o masiva sin ninguna indicación de estructura cristalina.

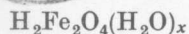
Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo. Es difícil ensayar el relieve y el índice de refracción a menos que el mineral esté pulverizado.

Birrefringencia. Nula. En zonas favorables o en polvo, el mineral es isotrópico.

Características distintivas. Son distintivas la estructura pisolítica (Figura 8-3) y la asociación con la gibbsita. Aparecen con frecuencia en las secciones, delgadas grietas de contracción del gel original de forma esferoideal.

Yacimiento. La cliaquita es el principal constituyente de muchas bauxitas. Los asociados habituales son la gibbsita y la siderita. También puede estar relacionada con minerales tales como la ilmenita y la esfena, porque en algunos casos las bauxitas se derivan de sienitas nefelíticas.

LIMONITA



De opaco a translúcido

Mineraloide

$$n = 2,0 \text{ a } 2,1$$

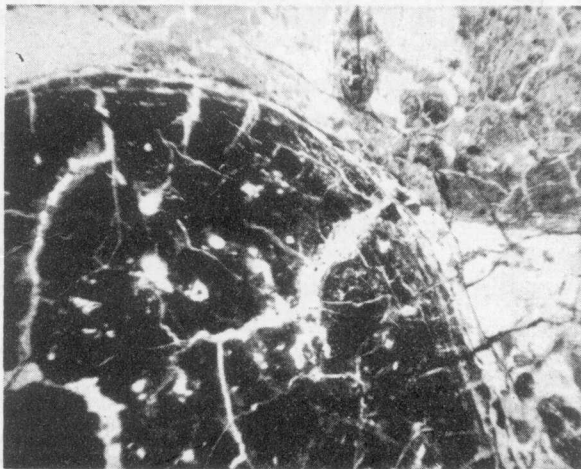


FIG. 11-23. ($\times 20$) Bauxita mostrando un segmento de una pisolita. La zona oscura es cliaquita. Las grietas de contracción están rellenas de gibbsita.

Con luz reflejada la limonita es parda. En algunas masas o en los bordes delgados puede ser translúcida. Frecuentemente forma como una mancha o borde alrededor de otros minerales, particularmente de aquellos que tienen un alto contenido en hierro.

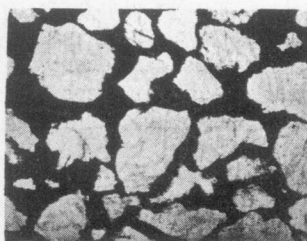


FIG. 11-24. ($\times 9$) Limonita cementando fragmentos detríticos de cuarzo.

Generalmente el mineral es isotrópico, pero puede mostrar una irregular birrefringencia debida a las tensiones. La goethita es similar a la limonita, pero es cristalinamente distinta con extinción paralela.

La limonita es un producto mineral secundario generalmente resultado de oxidación o meteorización; puede formar un cemento de los granos de arena y a menudo está presente en la superficie meteorizada de las rocas.

BIBLIOGRAFIA

Evaporitas

- Schaller, W. T. y E. P. Henderson: Mineralogy of drill cores from the potash field of New Mexico and Texas, *U. S. Geol. Survey Bull.* 833, pág. 124, 1932.
- Stewart, F. H.: The Petrology of the Evaporites of the Eskdale No. 2 Boring, East Yorkshire, *Mineral. Mag.*, vol. 28, págs. 621-675, 1949.

Bauxita

- «Problems of Clay and Laterite Genesis: A Symposium», págs. 1-244; AIME, Nueva York, 1952.

CAPITULO 12

Carbonatos, Sulfatos y Fosfatos

CARBONATOS ✓	SULFATOS	FOSFATOS
Grupo de la calcita	Barita	Monacita
Calcita	Celestina	Apatito
Dolomita	Anhidrita	Dahllita
Magnesita	Yeso	Colofana
Siderita	Polihalita	Lazulita
Grupo del aragonito	Alunita	
Aragonito	Jarosita	

Los minerales del Cap. 12 contienen varios grupos isomorfos cuya variación en las propiedades ópticas puede suministrar criterios inadecuados para la identificación eficaz entre sus miembros. Esto se aplica especialmente a varios grupos de carbonatos y sulfatos. La información sobre la textura revelada por las secciones delgadas puede resultar particularmente útil, pero puede ser necesario recurrir a la química y a los métodos de difracción con rayos X para una identificación precisa.

Grupo de la calcita

El grupo de la calcita, carbonatos romboédricos, está formada por los minerales indicados debajo, junto con la rodocrosita (MnCO_3) y la smithsonita (ZnCO_3). Son hexagonales (subsistema romboédrico) con una perfecta

GRUPO DE LA CALCITA

Mineral	Composición química	n_e	n_w	$n_w - n_e$
Calcita.....	CaCO_3	1,486	1,658	1,172
Dolomita.....	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2$	1,500-1,526	1,680-1,716	0,180-0,190
Magnesita.....	MgCO_3	1,509-1,527	1,700-1,726	0,191-0,199
Siderita.....	FeCO_3	1,596-1,633	1,830-1,875	0,234-0,242

exfoliación romboédrica y un ángulo de exfoliación de 73° a 75° . Son uniáxicos y ópticamente negativos. Todos muestran un cambio en el relieve

cuando se les gira; se obtiene el relieve máximo cuando la diagonal mayor del rombo es paralela a la dirección de vibración del nicol inferior. La birrefringencia es extrema y los máximos colores de interferencia son blanco de orden superior.

La dolomita y la magnesita pueden contener carbonato ferroso en mezcla isomorfa y esto aumenta el valor de los índices de refracción.

Otro miembro del grupo de la calcita es la rodocrosita, que es muy similar a los otros minerales en sus propiedades ópticas. La rodocrosita se presenta en vetas, siendo muy rara como mineral constituyente de las rocas. Otro miembro de este grupo es la smithsonita, que actualmente se presenta en la zona oxidada y a veces es pseudomorfa de la calcita y la dolomita.

CALCITA



Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$$n_e = 1,486$$

$$n_w = 1,658$$

Opt. (—)

Color. Incoloro en las secciones delgadas, pero a menudo está oscurecido.

Forma. De agregados finos a gruesos, generalmente anhédricos. Los cristales euhédricos en las secciones rocosas son raros. A veces muestra la calcita una estructura orgánica de cualquier tipo; frecuentemente es oolítica o esferulítica.

Exfoliación. Perfecta romboédrica $\{10\bar{1}1\}$, generalmente mostrando las dos líneas de intersección a ángulo oblicuo (75° si la sección está cortada normalmente a las líneas de exfoliación). Puede no ser observable la exfoliación en los agregados finos. A veces hay una partición paralela a $\{0\bar{1}12\}$, que es debida a un resbalamiento de macla.

Relieve. Varía con la dirección; es mayor cuando la diagonal larga del rombo es paralela al plano de vibración del nicol inferior y menor cuando la diagonal corta está en esa posición. Ocasionalmente, las secciones paralelas a $\{0001\}$ tienen un relieve alto en todas las posiciones.

Birrefringencia. Extrema, $n_w - n_e = 0,172$. El mayor color de interferencia es gris perla o blanco del máximo orden. Los bordes delgados de las preparaciones muestran generalmente colores brillantes del cuarto o quinto orden y tintes de orden alto. Las películas delgadas de calcita muestran generalmente brillantes colores de interferencia.

Extinción. Simétrica respecto a las trazas de la exfoliación. Cuando una sección está en una posición de extinción, resalta el fino polvo de calcita birrefringente formado durante la pulimentación.

Orientación. Es difícil de determinarla a causa de la elevada birrefringencia.

Maclado. El maclado polisintético con $\{0\bar{1}12\}$ como plano de macla es muy común, especialmente en la calcita procedente de calizas metamórficas. Las maclas laminares son generalmente paralelas a la diagonal mayor, pero también pueden cortarse a ángulo oblicuo dependiendo de

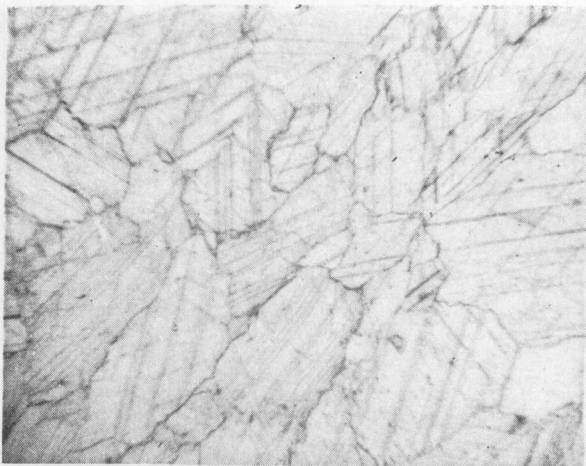


FIG. 12-1. ($\times 20$) Cristales anhédricos de calcita mostrando la exfoliación romboédrica.

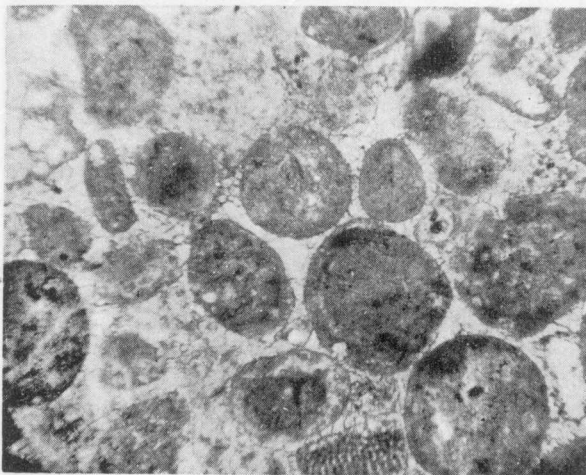


FIG. 12-2. ($\times 60$) Formas oolíticas redondeadas de calcita cementada por calcita granular fina.

cómo se haya cortado la sección. Las maclas laminares son generalmente tan delgadas que muestran colores de interferencia del primer orden.

Figuras de interferencia. La figura de interferencia es uniáxica negativa con muchos anillos. Las escamas de crucero dan una figura muy excéntrica. Ocasionalmente la calcita da una figura biáxica con un pequeño ángulo axial.

Características distintivas. La dolomita, la magnesita y la fluorita pueden confundirse con la calcita. La dolomita es generalmente subhédrica a euhédrica y frecuentemente tiene macla laminar paralela tanto a la diagonal corta como a la larga. La siderita tiene generalmente manchas de

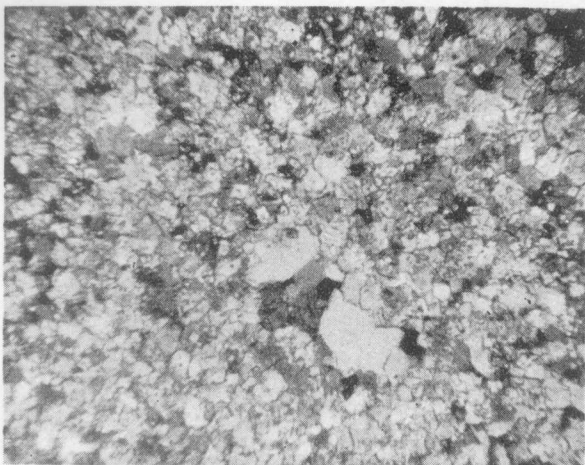


FIG. 12-3. ($\times 60$) Calcita finamente cristalina conteniendo cuarzo grueso. ($\times$ nicoles.)

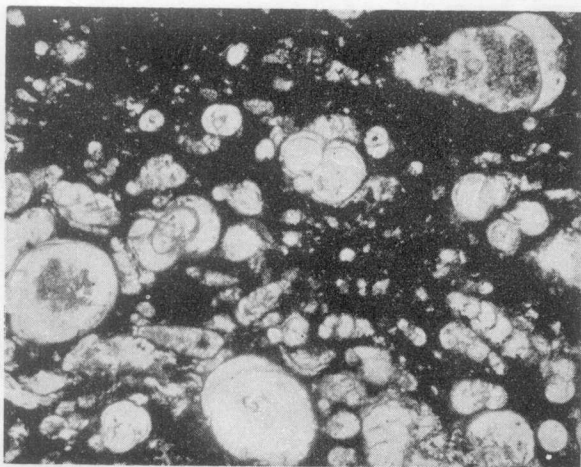


FIG. 12-4. ($\times 25$) Calcita formando moldes de foraminíferos entre pizarra carbonífera.

hierro alrededor del contorno de los granos y su relieve no es bajo en ninguna posición. Dado que no hay ninguna característica distintiva para la magnesita, puede ser necesario recurrir a un ensayo microquímico. El aragonito también es similar a la calcita, pero carece de exfoliación romboédrica y ninguna sección tiene un índice refractivo claramente menor que el del bálsamo; también, el aragonito es biáxico.

Alteración. Con frecuencia está remplazada la calcita por cuarzo. Esta característica se observa frecuentemente en las vetas de cuarzo.

Yacimiento. La calcita es el principal constituyente de las calizas sedimentarias y metamórficas, pero también se encuentra en muchos otros tipos de rocas. Es un mineral muy común en las cavidades de las rocas

ígneas, en las que frecuentemente está asociado con zeolitas; también es, en algunas rocas ígneas, un mineral deutérico. Junto con el cuarzo, la calcita es el mineral más común.

DOLOMITA .

$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$

(inc. Anquerita)

Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$n_e = 1,500$ a $1,526$

$n_w = 1,680$ a $1,716$

Opt. (—)

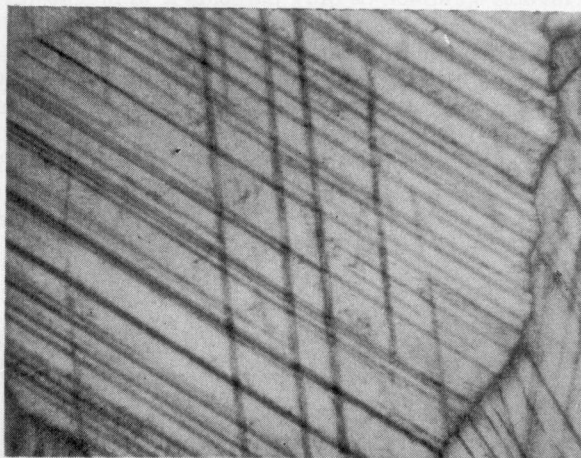


FIG. 12-5. ($\times 20$) Fragmento de un único cristal anhédrico de dolomita mostrando la exfoliación romboédrica.

Color. De incolora a gris.

Forma. De granos finos a gruesos y generalmente subhédricos. Los cristales euhédricos de romboedro son bastante comunes y frecuentemente están curvados. Es frecuente la estructura zonal, debida a la variación en el contenido en hierro.

Exfoliación. Romboédrica perfecta, paralela a $\{10\bar{1}1\}$, que generalmente muestra dos series de líneas de intersección a ángulo oblicuo. También hay partición paralela a $\{02\bar{2}1\}$.

Relieve. Varía con la dirección; es alto cuando la diagonal mayor del rombo es paralela al plano de vibración del nicol inferior y bajo cuando la diagonal menor está en esa posición. Una sección ocasional paralela a $\{0001\}$ tiene relieve elevado en todas posiciones.

Birrefringencia. Extrema, $n_w - n_e = 0,180$ a $0,190$; los colores de interferencia son gris perla o blanco de orden elevado. Colores más bien brillantes del cuarto y quinto orden pueden observarse en los bordes de la preparación.

Extinción. Simétrica a los límites del cristal y a las trazas de exfoliación. Los cristales curvados tienen extinción ondulada.

Maclado. La dolomita de las rocas metamórficas muestra generalmente macla polisintética con $\{0\bar{2}21\}$ como plano de macla. Las maclas laminares son generalmente paralelas conjuntamente a las dos diagonales de los rombos. Como en la calcita, las maclas laminares son en general tan delgadas que muestran colores de interferencia del primer orden.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es uniaxial negativa con muchos anillos.

Características distintivas. La dolomita recuerda mucho a la calcita, pero en muchos casos puede distinguirse por su tendencia a los cristales euhedrales, por su estructura zonal y por el maclado laminar paralelo a la diagonal menor. También es muy parecida a la magnesita y puede ser necesario fiarse de los análisis químicos o microquímicos.

Yacimiento. La dolomita es un mineral muy común. Se encuentra en vetas y yacimientos de remplazamiento, en las calizas y dolomías sedimentarias y en las dolomías metamórficas.

MAGNESITA

$MgCO_3$

Hexagonal
(Sistema romboédrico)

$$n_e = 1,509 \text{ a } 1,527$$

$$n_w = 1,700 \text{ a } 1,726$$

Opt. (—)



FIG. 12-6. ($\times 20$) Magnesita bandeada con un característico cristal romboédrico. Una delgada veta de cuarzo corta la magnesita.

Color. Incoloro.

Forma. Generalmente se presenta la magnesita en agregados de cristales anhédricos a subhédricos. La variedad microcristalina, semejante a la porcelana, tiene un grano del tamaño de una micra. Los cristales euhédricos son extraordinariamente raros.

Exfoliación. Romboédrica perfecta $\{10\bar{1}1\}$, como la calcita, la dolomita y la siderita, excepto en la variedad microcristalina.

Relieve. Cambiante con la rotación, como en la calcita y la dolomita. Tiene relieve elevado cuando la diagonal mayor del rombo es paralela al plano de vibración del nicol y bajo cuando la diagonal menor es la que está en esa posición. Una sección ocasional paralela a {0001} tiene relieve alto en todas posiciones.

Birrefringencia. Extrema, $n_w - n_e = 0,191$ a $0,199$; los colores de interferencia son gris perla (blanco del máximo orden).

Extinción. Simétrica con respecto a las trazas de exfoliación.

Maclado. Ausente o no conocido.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es uniáxica negativa con muchos anillos.

Características distintivas. La magnesita es muy similar a la dolomita y a la calcita, y no tiene, si se dejan a un lado los índice de refracción, propiedades ópticas distintivas. Por esta razón, pueden ser necesarios los análisis químicos o microquímicos para distinguirlos.

Yacimiento. En los Estados Unidos, se encuentran rocas magnésicas metamórficas en Stevens County, Washington. La magnesita es un mineral corriente en las serpentinas, tanto las variedades de cristales gruesos como las microcristalinas.

SIDERITA

FeCO_3

Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$n_e = 1,596$ a $1,633$

$n_w = 1,830$ a $1,875$

Opt. (—)

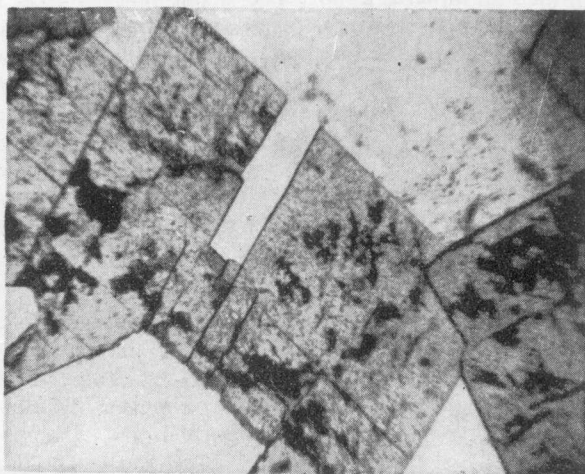


FIG. 12-7. ($\times 20$) Cristales de siderita en cuarzo.

Color. De incolora a gris en sección delgada, pero puede presentar en los bordes manchas amarillentas o pardas; estas manchas son debidas a la alteración.

Forma. La siderita se presenta en agregados, de finos a gruesos, de cristales anhédricos o subhédricos. La variedad microcristalina, semejante a la porcelana, tiene un grano del tamaño de una micra. Los cristales euhédricos son extraordinariamente raros.

Exfoliación. Romboédrica perfecta $\{10\bar{1}1\}$, como la calcita, la dolomita y la magnesita.

Relieve. Varía algo con la rotación; es alto cuando la diagonal mayor del paralelogramo es paralela al plano de vibración del nicol inferior y moderado cuando la diagonal menor está en esa posición. En ambas posiciones el índice de refracción es mayor que el del bálsamo.

Birrefringencia. Extrema, $n_w - n_e = 0,234$ a $0,242$. Los colores de interferencia son gris perla (blanco de orden elevado). Los colores más brillantes pueden presentarse en los márgenes de la preparación.

Extinción. Simétrica respecto a las trazas de la exfoliación.

Maclado. Ocasionalmente se observa una macla laminar paralela a la diagonal menor [plano de macla = $\{01\bar{1}2\}$].

Figura de interferencia. La figura de interferencia es uniáxica negativa con muchos anillos.

Características distintivas. La siderita recuerda muchísimo a los otros carbonatos romboédricos, pero con frecuencia puede distinguirse de los otros carbonatos romboédricos por las manchas pardas de los contornos de los granos y por las grietas a lo largo de la exfoliación. En todas posiciones, el índice de refracción es mayor que el del bálsamo; en la calcita, la dolomita y la magnesita, el índice de refracción es menor que el del bálsamo.

Yacimiento. La principal presentación de la magnesita es en vetas o yacimientos de remplazamiento con cuarzo como asociado habitual. La siderita es también un mineral importante en algunas bauxitas y un mineral destacado en las concreciones férrico arcillosas y en los hierros oolíticos de Inglaterra como asociado de la chamosita; es un mineral secundario en las cavidades de algunos basaltos.

Grupo del aragonito

Los carbonatos rómbicos de Ca, Ba, Sr y Pb forman un grupo isomorfo que comprende los minerales: aragonito, witherita, estroncianita y cerusita.

ARAGONITO



Rómbico
(Pseudohexagonal)

$$n_\alpha = 1,530$$

$$n_\beta = 1,682$$

$$n_\gamma = 1,686$$

$$2V = 18^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$a = \beta \text{ o } Y, b = \gamma \text{ o } Z, c = \alpha \text{ o } X$$

Color. Incoloro en sección delgada.

Forma. Generalmente, el aragonito muestra estructura columnar o fibrosa. Las secciones cruzadas tienen seis lados.

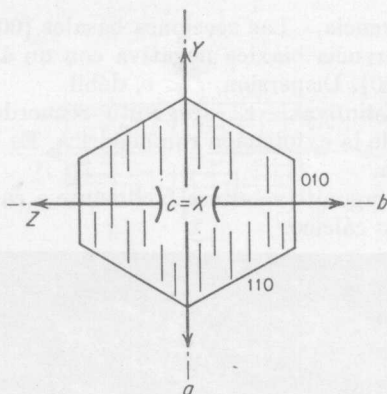


FIG. 12-8. Diagrama de orientación del aragonito. Sección paralela a (001).

Exfoliación. Imperfecta, paralela a la longitud de los cristales (cara 010).

Relieve. Varía con la dirección; el relieve es bajo cuando las columnas o fibras son paralelas al plano de vibración del nicol inferior y alto cuando son normales a esta dirección. Las secciones basales no muestran cambio en el relieve, ya que n_β es casi igual a n_γ .

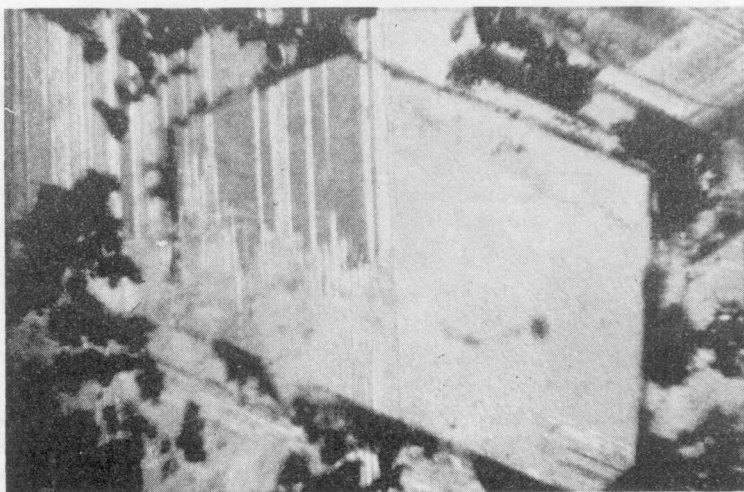


FIG. 12-9. ($\times 22$) Aragonito euhédrico con maclado polisintético. ($\times$ nicoles).

Birrefringencia. Extrema, $n_\gamma - n_a = 0,156$. Los colores de interferencia, gris perla (blanco de orden elevado); los colores más brillantes pueden observarse en los bordes delgados y a lo largo de las grietas.

Extinción. Paralela a los cristales o columnas.

Maclado. Francamente corriente [plano de macla = $\{110\}$], tanto la macla laminar como las de contacto y penetración.

Figura de interferencia. Las secciones basales $\{001\}$ del aragonito dan una figura de interferencia biáxica negativa con un ángulo axial pequeño. El plano axial es $\{100\}$. Dispersión, $r < v$, débil.

Características distintivas. El aragonito recuerda grandemente a la calcita, pero carece de la exfoliación romboédrica. Es biáxico, en tanto que la calcita es uniáxica.

Alteración. El aragonito se altera fácilmente a calcita, que es la forma estable del carbonato cálcico.

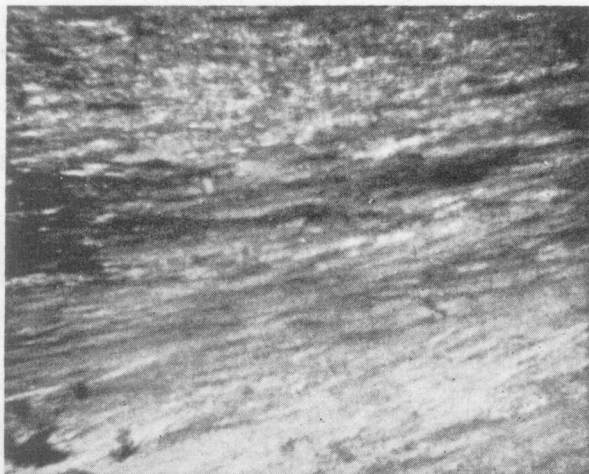


FIG. 12-10. ($\times 20$) Fragmento de un agregado radial de cristales de aragonito. ($\times$ nicoles.)

Yacimiento. La presentación probablemente más común del aragonito es como un mineral secundario en cavidades de basaltos y andesitas. También se encuentra en grietas de calizas, areniscas y ocasionalmente en vetillas. Probablemente era un constituyente originario de los sedimentos ampliamente repartido, pero hace tiempo que ha sido alterado a calcita. También está presente en algunas rocas metamórficas.

SULFATOS

En la naturaleza se encuentran unos 150 sulfatos, entre los cuales se han seleccionado, para su descripción óptica, unas pocas especies más comunes. La descripción de los sulfatos que es menos habitual encontrar, debe buscarse en los libros de la bibliografía.

BARITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,636$$

$$n_\beta = 1,637$$

$$n_\gamma = 1,648$$

$$2V = 36^\circ \text{ a } 37\frac{1}{2}^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X$$

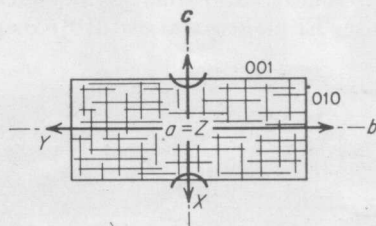


FIG. 12-11. Diagrama de orientación de la barita. Sección paralela a (100).

Color. Incolora en sección delgada.

Forma. Generalmente en agregados granulares, pero los cristales individuales pueden ser alargados.

Exfoliación. En tres direcciones, paralela a $\{001\}$ y $\{110\}$ y, por tanto, a ángulos de 90° y 78° .

Relieve. Medianamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_y - n_a = 0,012$, ligeramente mayor que la del cuarzo.



FIG. 12-12. ($\times 45$) Barita (bandeada) con calcita en una caliza.

Extinción. Paralela a la mejor exfoliación $\{001\}$. La extinción en la sección $\{001\}$ es simétrica.

Orientación. La dirección preferente de exfoliación es la del rayo más lento.

Maclado. Ocasionalmente se encuentran maclas polisintéticas con $\{110\}$ como plano de macla.

Figura de interferencia. Las secciones cortadas paralelamente a $\{100\}$ dan una figura de interferencia biáxica positiva con un ángulo axial mode-

rado (Figura 8-36). Las placas exfoliadas paralelamente a $\{001\}$ dan una figura de bisectriz obtusa. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$, débil.



FIG. 12-13. ($\times 20$) Cristales plumosos característicos de la barita. ($\times$ nicoles).

Características distintivas. La barita recuerda generalmente a la celestina, pero el ángulo axial es menor; pero para distinguirlas, puede ser necesario determinar cuidadosamente los índices de refracción o hacer un ensayo químico.

Yacimiento. La barita es un mineral filoniano importante; sus asociados habituales son el cuarzo y la calcita. También se presenta en calizas y areniscas y es importante en algunas concreciones, pero es raro como mineral constituyente de las rocas en sentido estricto.



CELESTINA

Rómbico

$$n_\alpha = 1,622$$

$$n_\beta = 1,624$$

$$n_\gamma = 1,631$$

$$2V = 51^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X$$

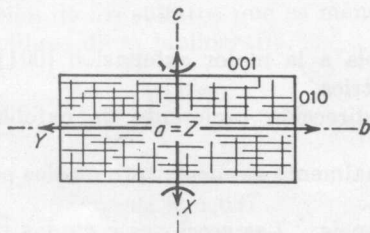


FIG. 12-14. Diagrama de orientación de la celestina. Sección paralela a (100) .

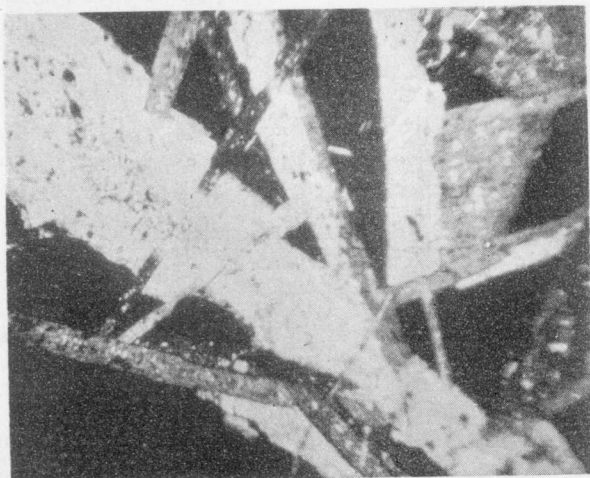


FIG. 12-15. ($\times 20$) Cristales entrelazados de celestina. ($\times$ nicoles.)

Color. En secciones delgadas, incolora.

Forma. Cristales euhédricos a anhédricos; a veces, granular fino. Los cristales euhédricos son comúnmente tabulares paralelos a $\{001\}$ y alargados en la dirección del eje b $[010]$.

Exfoliación. Perfecta paralela a $\{001\}$, imperfecta paralela a $\{110\}$.

Relieve. Perfecto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,009$, la misma que la del cuarzo, por esto el mayor color de interferencia es blanco o amarillo paja.

Extinción. Paralela al contorno y a la exfoliación.

Orientación. La elongación de los cristales tabulares es paralela al rayo más lento.

Figura de interferencia. Las secciones cortadas paralelamente a $\{100\}$ dan una figura de interferencia biáxica positiva con un ángulo axial moderado. Las láminas exfoliadas paralelamente a $\{001\}$ dan una figura de bisectriz obtusa. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$.

Características distintivas. La celestina se parece mucho a la barita, pero el ángulo axial es mayor.

Yacimiento. Generalmente se encuentra la celestina en las calizas sedimentarias, en las que es probablemente más común que la barita.

ANHIDRITA

CaSO_4

Rómbico

$$n_\alpha = 1,570$$

$$n_\beta = 1,576$$

$$n_\gamma = 1,614$$

$$2V = 42^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X$$

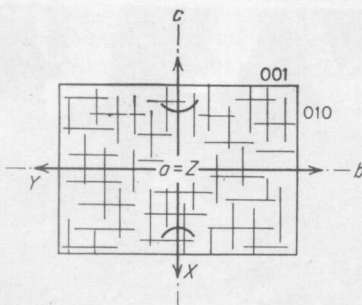


FIG. 12-16. Diagrama de orientación de la anhidrita. Sección paralela a (100).

Color. Incolora en sección delgada.

Forma. Generalmente de agregados finos a de grano medio o cristales anhédricos a subhédricos. Los cristales euhédricos son raros. También se encuentra como inclusiones en la halita.

Exfoliación. En tres direcciones perpendiculares entre sí y paralelas a $\{100\}$, $\{010\}$ y $\{001\}$. También puede mostrar partición paralela a $\{101\}$, que es debida al maclado.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo. Algunas secciones muestran un ligero cambio en el relieve cuando se gira la platina.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_a = 0,044$. Los colores de interferencia son del orden del verde del tercer orden.

Extinción. Paralela a las trazas de la exfoliación.

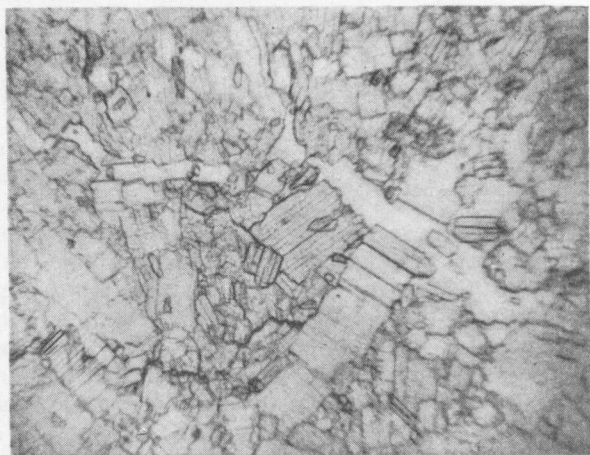
Maclado. La macla polisintética con $\{101\}$ como plano de macla es habitual. La macla laminar se ve mejor en la cara (010) y forma un ángulo de 42° y 48° con las trazas de la exfoliación. También puede haber dos series de maclado laminar (101) (101) que se cortan a ángulos de $83\frac{1}{2}^\circ$ y $96\frac{1}{2}^\circ$.

Figura de interferencia. Los fragmentos exfoliados y las secciones paralelas a $\{100\}$ dan una figura de interferencia biáxica positiva con un ángulo axial moderado. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$.

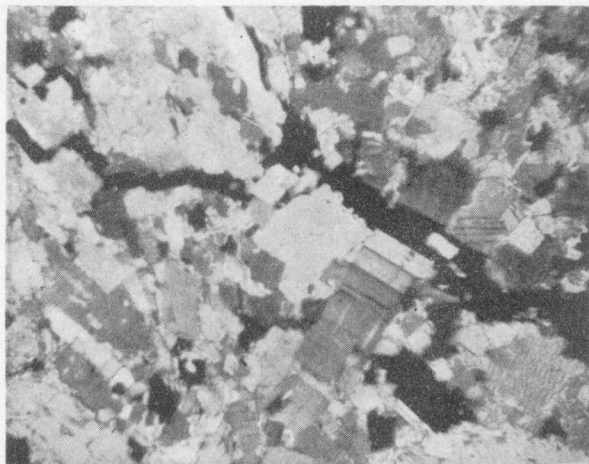
Características distintivas. La anhidrita se distingue del yeso por su elevado relieve y su fuerte birrefringencia. La exfoliación rectangular pseudocúbica es distintiva.

Alteración. Frecuentemente la anhidrita se altera a yeso entre los granos y a lo largo de las vetillas y puede encontrársela como remanente entre el yeso.

Yacimiento. La anhidrita se presenta en las capas sedimentarias. Es frecuente encontrarla en los sondeos profundos, pero cerca de la superficie está generalmente alterada a yeso. También con frecuencia se presenta con halita y es común en las minas de sal; en los domos salinos se encuentra a menudo como una capa rocosa. La roca anhidrita metamórfica existe en los Estados Unidos en Nevada (mina Nevada-Douglas, Lyon County); ocasionalmente se la encuentra formando vetas en profundidad.



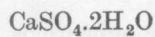
a



b

FIG. 12-17. *a, b.* ($\times 20$) Agregado cristalino de anhidrita con exfoliación rectangular. (a) Iluminación ordinaria. (b) $\times$ nicoles.

YESO



Monoclínico

$$\angle \beta = 80^\circ 42'$$

$$n_\alpha = 1,520$$

$$n_\beta = 1,522$$

$$n_\gamma = 1,529$$

$$2V = 58^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = +37^\circ 28'$$

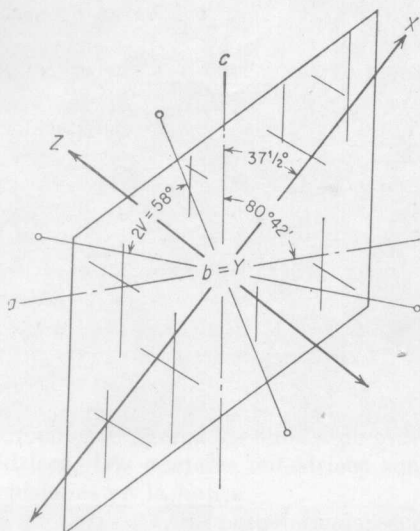


Fig. 12-18. Diagrama de orientación del yeso. Sección paralela a (010).

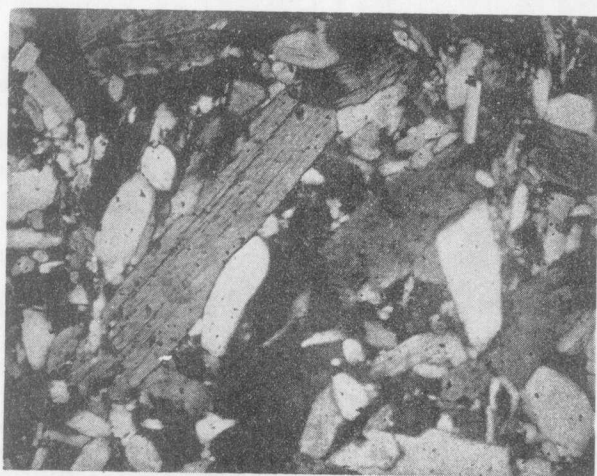


Fig. 12-19. ($\times 18$) Yeso en roca de yeso. ($\times$ nicoles.)

Color. Incoloro en sección delgada.

Forma. Generalmente se presenta el yeso en agregados de anhédricos a subhédricos y con frecuencia de grano desigual. A veces muestra una estructura fibrosa.

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{010\}$, imperfecta paralela a $\{100\}$ y $\{111\}$. $(\bar{1}00) \wedge (\bar{1}01) = 66^\circ 10'$.

Relieve. Bajo, n ligeramente $<$ balsamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_y - n_a = 0,009$ (lo mismo que el cuarzo). El color de interferencia más alto es blanco o amarillo paja. Las

secciones con el más alto color de interferencia no muestran generalmente ninguna exfoliación.

Extinción. Paralela a la exfoliación preferente en las secciones normales a (010).

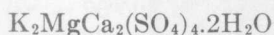
Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelas conjuntamente a los rayos rápido y lento, ya que $b = \beta$ o Y .

Maclado. La macla polisintética, que frecuentemente se encuentra en las secciones delgadas de yeso, es producida por el calentamiento de la sección.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biáxica positiva con un ángulo axial moderado. El plano axial es {010}. Dispersión, $r > v$. Las secciones paralelas a (010) dan una «figura relampagueante».

Características distintivas. Se distingue fácilmente el yeso de la anhidrita por su menor relieve y más baja birrefringencia.

Yacimiento. El yeso es el principal constituyente del yeso roca, que en la mayoría de los casos se ha formado por hidratación de la anhidrita, la cual puede encontrarse en el yeso como un mineral residual. El yeso se encuentra en vetillas y entre los granos de anhidrita. Otros minerales generalmente asociados son la calcita, la dolomita y la halita.



POLIHALITA

Triclinico

$$\angle \alpha = 92^\circ 29'$$

$$\angle \beta = 123^\circ 4'$$

$$\angle \gamma = 88^\circ 21'$$

$$n_\alpha = 1,548$$

$$n_\beta = 1,562$$

$$n_\gamma = 1,567$$

$$2V = \text{ca. } 70^\circ; \text{ Opt. } (-)$$

(Orientación óptica desconocida)



FIG. 12-20. ($\times 15$) Polihalita mostrando el maclado polisintético y la variación en la pigmentación. ($\times$ nicoles.)

Color. En sección delgada de incolora a rojiza. El color rojizo es debido a pigmento hematítico.

Forma. La polihalita muestra una estructura granular o fibrosa.

Exfoliación. Paralela a (100) y partición paralela a (010).

Relieve. Bajo, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_y - n_a = 0,019$. El orden de los colores de interferencia es el del azul del segundo orden.

Extinción. Oblicua.

Maclado. Es muy común la macla polisintética con (010) como plano de macla.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es negativa biáxica con un ángulo axial bastante grande, pero puede ser bastante difícil de obtener a causa del pequeño tamaño de los cristales.

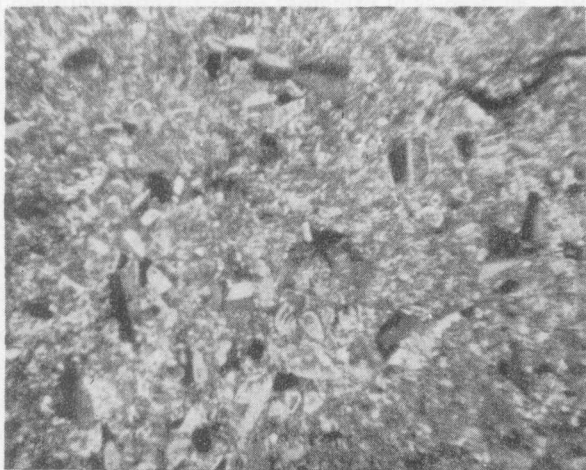
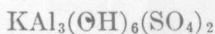


Fig. 12-21. ($\times 20$) Cristales maclados de polihalita en agregado granular. ($\times$ nicoles.)

Características distintivas. La polihalita puede recordar al yeso, pero tanto sus índices de refracción como su birrefringencia son más altos.

Yacimiento. La polihalita se encuentra en las capas de sal; sus asociados habituales son la halita, la silvinita, la magnesita y la anhidrita. En los Estados Unidos se encuentra, según Schaller y Henderson, en la cuenca Permiana del oeste de Tejas y Nuevo Méjico como un producto de alteración de la anhidrita.

ALUNITA



Hexagonal
(Sistema romboédrico)

$$n_\omega = 1,572$$

$$n_e = 1,592$$

Opt. (+)

Color. Incolora en sección delgada.

Forma. Generalmente muestra la alunita agregados finos a gruesos;

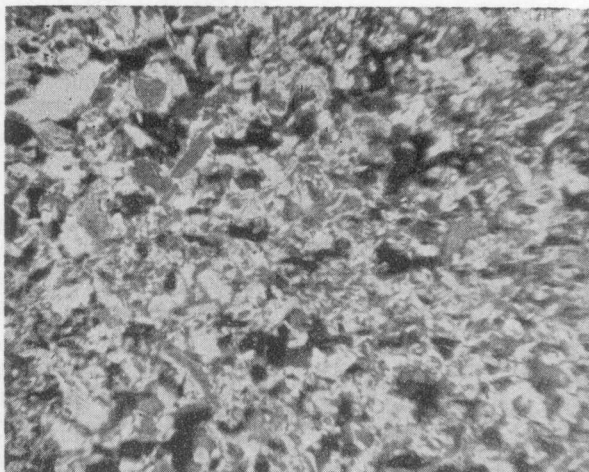


FIG. 12-22. ($\times 60$) Alunita en una veta de alunita. ($\times$ nicoles.)

los cristales varían de la forma tabular a la romboédrica pseudocúbica ($rr' = 90^\circ 50'$).

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{0001\}$.

Relieve. Perfecto, $n >$ bálsamo. Cuando se gira la platina hay un ligero cambio de relieve.

Birrefringencia. Moderada, $n_e - n_w = 0,020$; los colores de interferencia son del rango del azul de segundo orden.

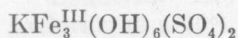
Extinción. Paralela o simétrica en la mayoría de las secciones. Las secciones basales permanecen oscuras en todas posiciones.

Figuras de interferencia. Las secciones basales dan una figura de interferencia uniáxica positiva.

Minerales afines. La natroalunita, el compuesto sódico similar a la alunita, es análogo a ésta en sus propiedades.

Yacimiento. La alunita se presenta como un producto de alteración hidrotermal de las riolitas, dacitas y andesitas. Es también importante como mineral filoniano.

JAROSITA



Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$$n_e = 1,715$$

$$n_w = 1,820$$

$$\text{Opt. } (-)$$

Color. Incolora a parda en sección delgada.

Forma. La jarosita se presenta en agregados cristalinos y, ocasionalmente, en cristales euhédricos, que son similares a los de la alunita porque estos dos minerales son isomorfos.

Exfoliación. Clara en una dirección $\{0001\}$.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Extrema, $n_w - n_e = 0,105$.

Extinción. Paralela o simétrica. Las secciones basales están oscuras en todas las posiciones.

Orientación. Dificil de ensayar a causa de la extrema birrefringencia.

Figura de interferencia. Los cristales tabulares dan una figura uniaxial negativa con muchos anillos.

Minerales afines. Natrojarosita, $\text{NaFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$; amoniojarosita $\text{NH}_4\text{Fe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$; plumbojarosita $\text{PbFe}_6(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4$; y argentojarosita $\text{AgFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ son minerales muy similares a la jarosita.

Alteración. La jarosita se altera fácilmente a limonita.

Yacimiento. La jarosita es un mineral bastante común en la zona oxidada inferior de los yacimientos minerales. Ocasionalmente se encuentra en las rocas ígneas volcánicas, quizás como mineral hidrotermal reciente.

FOSFATOS

Muchos fosfatos minerales se encuentran en pequeñas concentraciones en las pegmatitas, en los yacimientos de minerales metálicos y como constituyentes de rocas. Los minerales descritos constituyen las especies más abundantes.

MONACITA

$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Pr})\text{PO}_4$

Monoclínico

$\angle \beta = 76^\circ 6'$

$n_\alpha = 1,786$ a $1,800$

$n_\beta = 1,788$ a $1,801$

$n_\gamma = 1,837$ a $1,849$

$2V = 6^\circ$ a 19° ; Opt. (+)

$b = \alpha$ o X , $c^* \wedge \gamma$ o $Z = -2^\circ$ a -10°

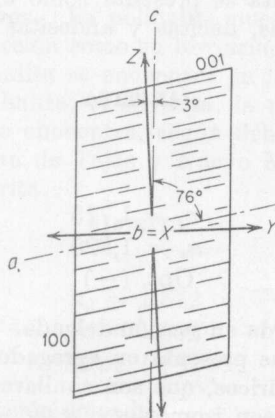


FIG. 12-23. Diagrama de orientación de la monacita. Sección paralela a (010).

Color. En las secciones delgadas, casi incolora a neutra.

Forma. La monacita se encuentra en cristales euhédricos que generalmente son muy pequeños.

Exfoliación. La partición paralela a $\{001\}$ es con frecuencia prominente.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Fuerte a muy fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,049$ a $0,051$. El máximo color de interferencia es superior a tercero o cuarto orden. Los cortes de los cristales tienen una birrefringencia muy débil ya que $n_\beta - n_\alpha = 0,001$ a $0,002$. El mineral puede ser «metamict» con baja birrefringencia.

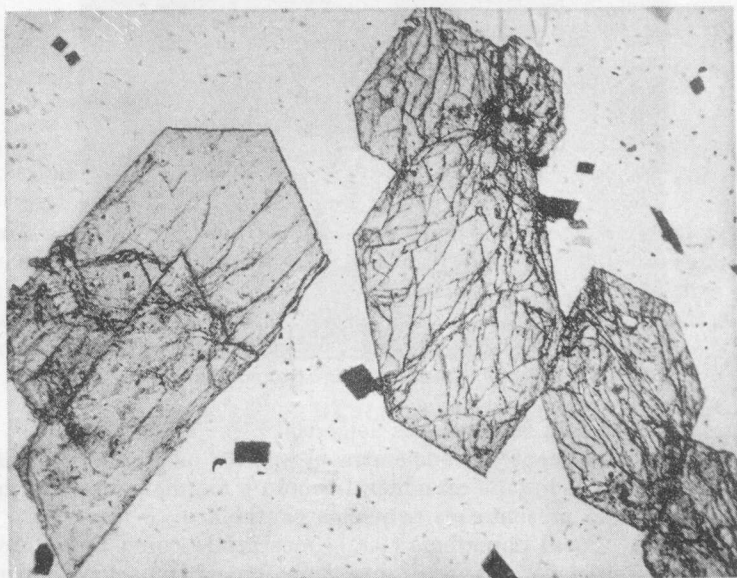


FIG. 12-24. ($\times 19$) Cristales de monacita en una matriz de cuarzo.

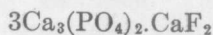
Extinción. Las secciones longitudinales tienen un pequeño ángulo de extinción (2 a 10°). Las secciones paralelas a $\{001\}$ no muestran extinción completa.

Orientación. Los cristales tienen su longitud en la dirección del rayo lento.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biáxica positiva con un ángulo pequeño. El plano axial es normal a $\{010\}$. Dispersión fuerte, $r < v$.

Características distintivas. La monacita se parece más a la esfena que a cualquier otro mineral. Ya que generalmente contiene torio es radiactivo y aun en sección delgada puede afectar a un contador Geiger sensible.

Yacimiento. La monacita se presenta en las pegmatitas y granitos y puede encontrarse en vetas. Es un mineral detrítico y puede encontrarse en estratos sedimentarios antiguos y en arenas más recientes.

**APATITO**

Hexagonal
(Subsistema hexagonal)

$$n_e = 1,630 \text{ a } 1,651$$

$$n_w = 1,633 \text{ a } 1,655$$

Opt. (-)

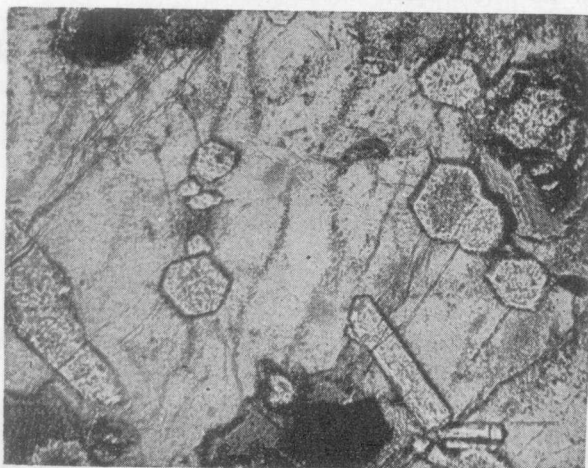


FIG. 12-25. ($\times 30$) Cristales de apatito en una roca ígnea.

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. Generalmente se encuentra el apatito en diminutos cristales prismáticos de seis lados. Es un mineral común y ampliamente distribuido, pero en general se presenta en pequeñas cantidades.

Exfoliación. Basal imperfecta $\{0001\}$ mostrando como unas fracturas cruzadas. Los cristales mayores muestran una exfoliación imperfecta paralela a la longitud $\{10\bar{1}0\}$.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_w - n_e = 0,003$ a $0,004$. Los colores de interferencia son blanco o gris del primer orden. Las secciones en corte son oscuras entre nicoles cruzados.

Extinción. Paralela.

Orientación. Los cristales tienen en general su longitud en la dirección del rayo rápido, pero algunos cristales tabulares la tienen en la del lento.

Figura de interferencia. Las secciones basales son generalmente demasiado pequeñas para dar buenas figuras de interferencia.

Características distintivas. El apatito es característico; el único mineral que se le parece es la dahlita, que se encuentra como mineral secundario asociada a la colofana en las cavidades y grietas.

Minerales afines. Wilkeita, un mineral raro del grupo del apatito con el radical sulfato, la fermorita, apatito estróncico, y la ellestadita son similares al apatito en sus propiedades físicas.

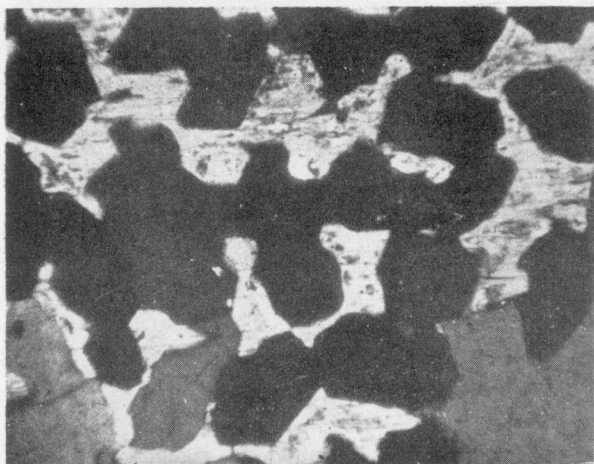
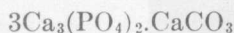


FIG. 12-26. ($\times 20$) Cristales de apatito de una orientación aproximadamente uniforme. ($\times$ nicoles.)

Yacimiento. El apatito es un mineral accesorio común en prácticamente todas las rocas ígneas. En opinión de Tolman y Rogers, es un mineral magmático tardío y no uno temprano. También se encuentra en las pegmatitas, en alguna veta de temperatura elevada, en las calizas metamórficas y es así mismo importante en algunas menas de hierro.

DAHLLITA



Hexagonal
(Subsistema hexagonal)

$$n_e = 1,619 \text{ a } 1,626$$

$$n_w = 1,623 \text{ a } 1,635$$

Opt. (—)

Color. De incoloro a pardo pálido a gris en las secciones delgadas.

Forma. La dahllita se presenta en diminutos cristales hexagonales, en costras con estructura bandeada subradial, en esferulitas y en agregados de grano fino formando concreciones o rocas sedimentarias.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_w - n_e = 0,004 \text{ a } 0,009$. Los colores de interferencia son gris azulado o blanco del primer orden.

Extinción. Paralela. Las secciones permanecen oscuras entre nicoles cruzados, pero ocasionalmente pueden mostrar sectores biáxicos.

Orientación. Los cristales prismáticos están orientados longitudinalmente con el rayo rápido, igual que el apatito; las crestas columnares y las fibras de esferulitas son semejantes. Las secciones de cristales tabulares tienen su longitud en la dirección del rayo lento.

Figura de interferencia. Las secciones basales son generalmente demasiado pequeñas para dar buenas figuras de interferencia.

*a**b*

FIG. 12-27. *a, b.* ($\times 60$) Costra de dahlita mostrando la textura bandeada y fibrosa. (a) Iluminación ordinaria. (b) La misma vista con nicols $\times$ cruzados.

Características distintivas. La dahlita es muy parecida al apatito, pero es siempre un mineral secundario; para tener certeza de su identidad puede ser preciso ensayar la solubilidad de partículas aisladas del mineral.

Minerales afines. La francolita es un mineral estrechamente afín.

Yacimiento. La dahlita se presenta como mineral secundario en la fosforita o rocas fosfáticas. El asociado habitual es la colofana. La dahlita se ha formado probablemente por la cristalización gradual de la colofana y por la migración de parte del fosfato de calcio.

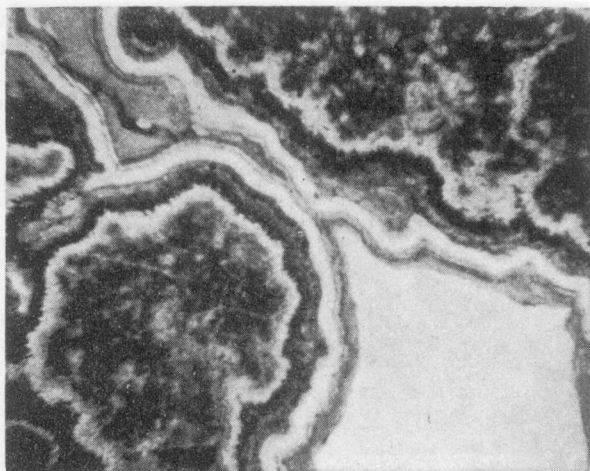
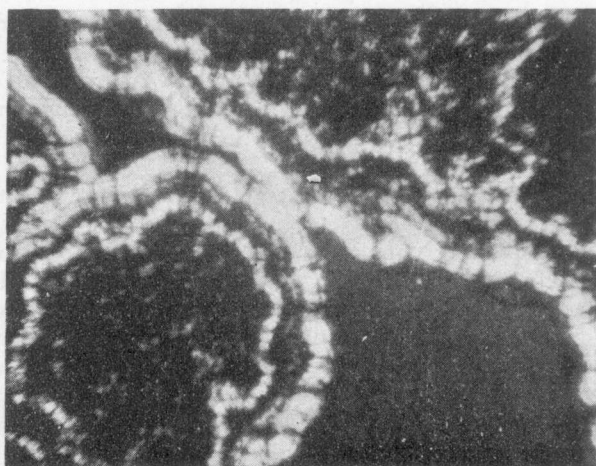
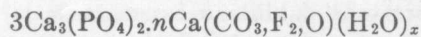
*a**b*

FIG. 12-28. *a. b.* ($\times 20$) Dahllita y colofana en fosfato rocoso. (*a*) Iluminación ordinaria. (*b*) Dahllita (blanca) y colofana (negra) en la misma vista con $\times$ nicols cruzados.

COLOFANA



Mineraloide

$$n = 1,57 \text{ a } 1,62$$

El carbonofosfato amorfo de calcio es considerado generalmente como una forma amorfa del apatito, pero es diferente y debe ser calificado por separado como un mineraloide.



Fig. 12-29. ($\times 18$) Colofana en fosforita oolítica. (Tanto la matriz como las oolitas son colofana.)

Color. Generalmente pardo oscuro, pardo amarillento, gris, etc., en las secciones delgadas, pero a veces es incoloro.

Forma. La colofana es generalmente masiva, pero puede ser oolítica o colofórmica, en granos o fragmentos. Con frecuencia muestra la estructura orgánica de huesos, moluscos, braquiópodos, crinoides, briozoarios o corales.

Exfoliación. Ausente. Puede mostrar una fractura irregular en los contornos de las preparaciones.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo. El índice de refracción es variable, pero generalmente es de 1,60 a 1,61.

Birrefringencia. Generalmente isotrópica, pero puede mostrar una débil forma de birrefringencia (por encima de 0,005). La colofana muestra a veces las estructuras pseudoesferulíticas (elementos concéntricos en lugar de fibrosos).

Orientación. Las zonas de birrefringencia pueden estar orientadas con su longitud en la dirección del rayo rápido o del lento.

Características distintivas. Algunas muestras de colofana recuerdan al ópalo, pero el índice de refracción de este último es siempre menor que el del bálsamo. La chamosita oolítica recuerda a la colofana oolítica.

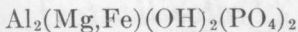
Alteración. La colofana está con frecuencia más o menos remplazada por calcita; los remplazamientos por cuarzo, calcedonia u ópalo son muy raros. En algunas muestras, se está formando dahllita a expensas de la colofana.

Yacimiento. Como principal constituyente, en las calizas fosfáticas sedimentarias, en las fosforitas y en las rocas fosfáticas y en los nódulos de fosfato. Es el mineral dominante en los huesos fósiles, en los que en general se conserva la estructura original del hueso; el hueso fósil se ha formado por enriquecimiento fosfático. En los vertebrados fósiles se han formado por enriquecimiento, en el caso de los braquiópodos fosfáticos

como la *Lingula*, o, en la mayoría de los casos, por el remplazamiento de los organismos originales calcáreos.

Según J. H. C. Martens, se encuentra también como mineral detrítico en las arenas de las playas de los países del Atlántico sur.

LAZULITA



Monoclínico

$$\angle\beta = 88^\circ$$

$$n_\alpha = 1,603 \text{ a } 1,604$$

$$n_\beta = 1,632 \text{ a } 1,633$$

$$n_\gamma = 1,639 \text{ a } 1,642$$

$$2V = \text{ca. } 69^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = +9^\circ$$

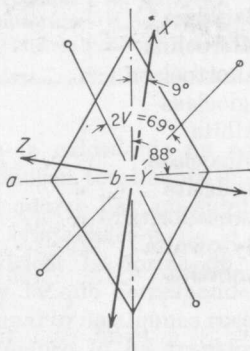


FIG. 12-30. Diagrama de orientación de la lazulita. Sección paralela a (010).

Color. En las secciones delgadas es de azul a incolora. Algunas secciones son pleocroicas desde azules a incoloras. Colores axiales: α o X = incolora; β o Y = azul pálido; γ o Z = azul pálido.

Forma. La lazulita se encuentra ocasionalmente en cristales euhédricos de hábito bipiramidal, pero a veces se encuentra en cristales anhédricos.

Exfoliación. Confusa paralela a $\{110\}$.

Relieve. Marcadamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,036$ a $0,038$, tal que el máximo color de interferencia está sobre el segundo orden o bajo el tercero.

Extinción. Oblicua.

Orientación. La diagonal mayor de las secciones del cristal es el rayo más rápido.

Maclado. La macla polisintética es habitual. Plano de macla = $[001]$.

Figura de interferencia. La figura es biáxica negativa con un gran ángulo axial. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$.

Características distintivas. La lazulita es prácticamente el único mineral pleocroico azul con fuerte birrefringencia.

Yacimiento. La lazulita está confinada en las rocas metamórficas; se encuentra en las cuarcitas y vetas de cuarzo. Sus asociados habituales son el cuarzo, el rutilo, el corindón, la pirofilita, la cianita y la andalucita.

CAPITULO 13

Silicatos: Estructuras reticuladas (Tectosilicatos)

GRUPO DE LA SILICE	FELDESPATOS	FELDESPATOIDES
Cuarzo	Feldespatos alcalinos	Leucita
Cuarzo — α	Ortoclase	Nefelino
Cuarzo — β	Adularia	Cancrinita
Calcedonia	Sanidina	Sodalita
Opalo	Microclina	Häüyna
Tridimita	Anortoclase	Melilita
Cristobalita	Plagioclase	
Lechatelierita	Albita	GRUPO DE LA ESCAPOLITA
Coesita	Oligoclase	ZEOLITAS
	Andesita	Analcima
	Labradorita	Heulandita
	Bytownita	Estilbita
	Anortita	Chabasita
		Natrolita
		Mesolita
		Thompsonita
		Escolecita

Los tectosilicatos forman el mayor y probablemente el más importante grupo de la división estructural de los silicatos. Los grupos SiO_4 de estas series forman un reticulado continuo tridimensional.

El grupo sílice se incluye con frecuencia entre los óxidos que se han clasificado en el Cap. 11. Sin embargo, el cuarzo forma una gran molécula en la que cada silicio tiene cuatro ligaduras simples con el oxígeno; a su vez, cada oxígeno está ligado a dos silicios. Si bien la fórmula empírica es SiO_2 , el término «dióxido de silicio» es en realidad un nombre falso. Aunque el cuarzo se clasifique estructuralmente como un tectosilicato, se incluyen con él varios otros miembros para evitar su separación del grupo de la sílice.

GRUPO DE LA SILICE

La sílice se presenta en la naturaleza en seis minerales o mineraloides que se indican más abajo. Los tres primeros son comunes: la lechatelierita (sílice vítrea) es rara, mientras que la tridimita y la cristobalita están en ocasiones repartidas en las rocas volcánicas.

Con respecto a sus propiedades físicas, las sílices minerales pueden clasificarse en dos grupos. El cuarzo y la calcedonia tienen índices de refracción próximos al del bálsamo y birrefringencia de unos 0,009; los otros cuatro tienen índices más bajos y birrefringencia más débil, la cual llega a ser nula en la lechatelierita y, generalmente, en el ópalo.

SILICES, MINERALES Y MINERALOIDES

Mineral	Sistema cristalino	Indices de refracción
Cuarzo.....	Hexagonal	$n_{\omega} = 1,5442, n_{\epsilon} = 1,5533, n_{\epsilon} - n_{\omega} = 0,009$
Calcedonia.....	Agregados	$n_a = 1,531, n_{\gamma} = 1,539, n_{\gamma} - n_a = 0,008$
Ópalo.....	Mineraloide	$n = 1,40-1,46$
Tridimita.....	Pseudohexagonal	$n_a = 1,469, n_{\gamma} = 1,473. n_{\gamma} - n_a = 0,004$
Cristobalita.....	Pseudoisométrico	$n_a = 1,484, n_{\gamma} = 1,487. n_{\gamma} - n_a = 0,003$
Lechatelierita....	Amorfo	$n = 1,458-1,462$

Siempre se encuentra la calcedonia en agregados de alguna clase y, en consecuencia, no se conocen totalmente sus propiedades ópticas.

Cuando se calienta el cuarzo hay un súbito cambio, a unos 573°C, en sus propiedades y en su cristalización, de la clase trigonal trapezoédrica a la hexagonal trapezoédrica. La forma de baja temperatura se llama *cuarzo- α* o *cuarzo bajo*, y la que corresponde a la temperatura elevada, *cuarzo- β* o *cuarzo alto*. El cuarzo de algunas rocas ígneas era en su formación *cuarzo- β* , pero el enfriamiento lo ha transformado en *cuarzo- α* . Tienen lugar cambios similares cuando se calientan la cristobalina y la tridimita.

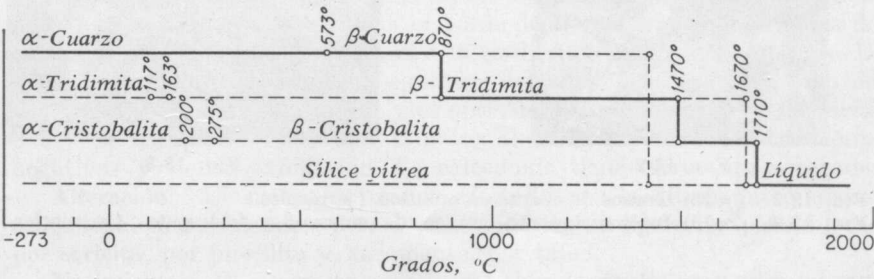


FIG. 13-1. Diagrama de las relaciones entre las diversas formas de sílice. (Según Sosman.)

El diagrama de la Figura 13-1 muestra el intervalo de estabilidad de las diversas sílices minerales. Mediante cuidadosas medidas Tuttle (1949) ha demostrado que la temperatura de inversión del cuarzo varía, como máximo, 1,90°C. Las temperaturas de inversión más bajas se corresponden con las de formación más altas.

La calcedonia y el ópalo son minerales de baja temperatura. El cuarzo tiene un considerable intervalo de temperatura; la tridimita y la cristobalita lo tienen también bastante amplio. Estas dos últimas se encuentran casi exclusivamente en las rocas ígneas volcánicas y, con toda probabilidad, se han formado a partir de gases calientes al final de período magmático.

En una autoclave pueden formarse cristales de cuarzo de varios centímetros a partir de un núcleo de pequeños cristales. Se utiliza una solución de carbonato de sodio, en un sistema sellado a unos 350°C, para transferir la sílice desde una cámara con cuarzo fragmentado a otra que contiene los cristales semilla. La cámara de disolución está a una temperatura unos 10°C más alta.

Hale y Hurlbut (1949) formaron en una autoclave a temperaturas de 376°C (arriba) y 397°C (abajo) un cristal de cuarzo a partir de una esfera de cuarzo. La presión se estimaba en unas 700 atmósferas.

CUARZO- α

SiO_2

(Cuarzo bajo)

Hexagonal
(Subsistema romboédrico)

$$n_o = 1,5442$$

$$n_e = 1,5533$$

Opt. (+)

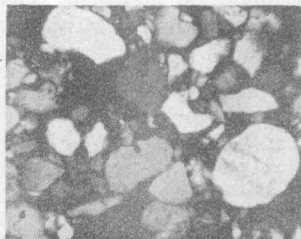


FIG. 13-2.

FIG. 13-2. ($\times 25$) Granos de cuarzo en arenisca. ($\times$ nicoles.)

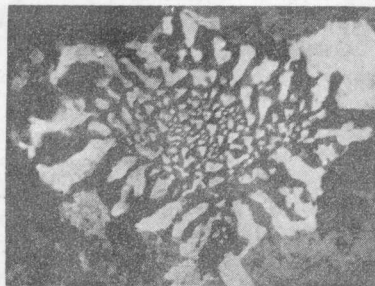


FIG. 13-3.

FIG. 13-3. ($\times 10$) Intercrecimiento gráfico de cuarzo- β y feldespato. ($\times$ nicoles.)

Color. Incoloro en sección delgada. Con frecuencia contiene inclusiones.

Forma. En cuarzo se presenta en cristales prismáticos euhédricos, en vetillas, en granos diseminados y como remplazamiento anhedral. Puede estar intercrecido con ortoclasa o microclino (granito gráfico) o con plagioclasa en formas vermiculares (mirmequita). Con frecuencia se presenta como un mineral intersticial tardío. El cuarzo es habitual como pseudomorfo de otros minerales.

Exfoliación. Generalmente ausente, pero a veces se muestra en los bordes de la preparación. La exfoliación es romboédrica imperfecta $\{10\bar{1}1\}$, casi rectangular en las secciones favorables, ya que $rr' = 85^\circ 46'$.

Relieve. Muy bajo, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_e - n_o = 0,009$; las secciones delgadas de 0,03 mm de espesor muestran, como máximo, color de interferencia blanco del primer orden, con un ligero tinte amarillo. El cuarzo es muy útil para determinar el espesor de cualquier preparación en la que se encuentre.

Extinción. Paralela en los cristales euhédricos y simétrica a las trazas de exfoliación. Las secciones basales permanecen oscuras en todas posiciones. Las vetas de cuarzo muestran con frecuencia estructuras peculiares: llameantes, plumosas, laminares, etc. En las areniscas y las cuarcitas son frecuentes los alargamientos secundarios de los granos de cuarzo.

Orientación. La posición del rayo lento marca la traza del eje c . Los cristales euhédricos tienen por tanto su longitud en la dirección del rayo lento.

Maclado. Aunque el maclado es habitual en el cuarzo, se muestra raramente en las secciones delgadas.

Figura de interferencia. Las secciones basales de espesor ordinario dan una figura positiva uniaxial sin ningún anillo. Las figuras de interferencia de secciones gruesas (mayores de un milímetro) tienen un centro débil o vacío a causa de la polarización rotativa.

Ocasionalmente, el cuarzo da una figura biáxica con $2V$ hasta 10° .

Características distintivas. En general, el cuarzo es fácil de determinar a causa de su falta de alteración, ausencia de exfoliación excepto, quizá, en el borde de la preparación y carencia de maclado. Puede confundirse con él a la cordierita, pero ésta es biáxica. El berilo recuerda al cuarzo en las secciones delgadas, pero tiene su longitud en la dirección del rayo rápido y es ópticamente negativo. Algunas variedades de escapolita recuerdan también al cuarzo, pero son ópticamente negativas y tienen exfoliación. La calcedonia tiene estructura agregada.

Alteración. El cuarzo es menos afectado por la alteración que casi todos los demás minerales, pero a veces muestra un ligero remplazamiento por sericita, por pirofilita y, raramente, por talco.

Yacimiento. El cuarzo es un mineral abundante. Se encuentra en muchos tipos de rocas, ya como mineral esencial, ya como accesorio o secundario. Es especialmente abundante en las areniscas, arkosas, arenas, cuarcitas, granitos, riolitas y gneisses. En muchas rocas ígneas es un mineral secundario en grietas y cavidades. El cuarzo es el más común de todos los minerales filonianos. Se encuentra como remplazamiento de otros minerales y como remplazante de maderas fósiles y fósiles calcáreos.

El cuarzo es uno de los minerales detríticos más habituales.

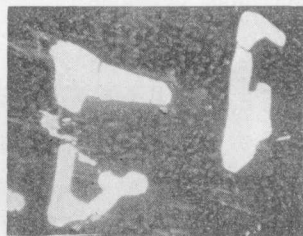


FIG. 13-4. ($\times 10$) Cristales de cuarzo con contorno gráfico rodeados por microclina. ($\times$ nicoles.)

CUARZO- β SiO₂

(Cuarzo alto)

Hexagonal
(Subsistema hexagonal)

El cuarzo que se encuentra en forma de fenocristales en las riolitas y pórfiros cuarcíferos es una forma de alta temperatura conocida como cuarzo- β . Se forma por encima de los 573°; y la forma de baja temperatura, llamada cuarzo- α , por debajo de 573°. Al enfriar, el cuarzo- β se invierte a la forma α , por esto todo cuarzo examinado en sección delgada es cuarzo- α . El hábito de cuarzo- β es en general diferente al de la forma α : predomina la dipirámide hexagonal (la simetría es $A_6.6A_2$) y las caras prismáticas son subordinadas, mientras que en la forma α predomina el prisma.

Como ha demostrado Drugman, las leyes de macla del cuarzo- β son diferentes a las del cuarzo- α , pero las maclas se ven claramente en las secciones delgadas.

CALCEDONIA

SiO₂

$$n_{\omega} = 1,531$$

$$n_{\epsilon} = 1,539$$

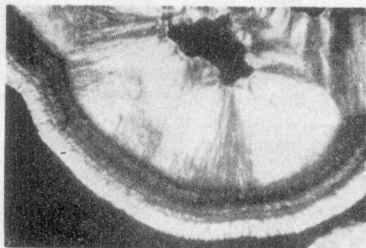
Agregados
[Hexagonal (?)]

Fig. 5.



Fig. 13-6.

Fig. 13-5. ($\times 10$) Calcedonia radial mostrando una parte de una cruz de polarización. ($\times$ nicoles.)

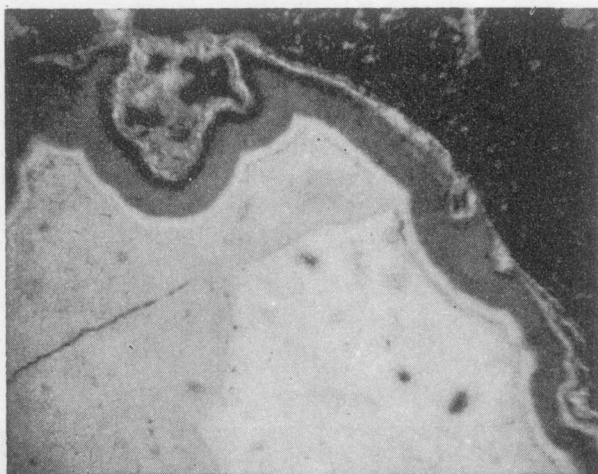
Fig. 13-6. ($\times 8$) Calcedonia bandeada mostrando conjuntamente la estructura «sal y pimienta» y las capas radiales. ($\times$ nicoles.)

Color. De incolora a pardo pálida en las secciones delgadas y frecuentemente blanco azulado con luz reflejada.

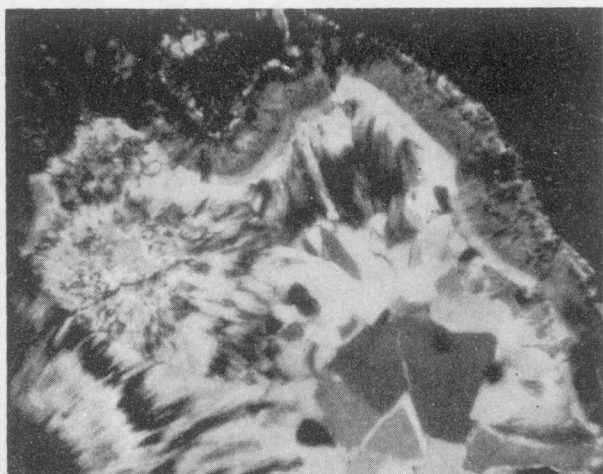
Forma. Generalmente se presenta la calcedonia como un relleno o forro de las cavidades que es frecuentemente esferulítico, como un remplazamiento de fósiles, como material cementante y en forma masiva.

Relieve. Bajo, n aproximadamente el mismo que el del bálsamo, ya ligeramente más bajo o ligeramente más alto.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,008$, prácticamente la misma que la del cuarzo. La calcedonia muestra siempre, entre nicoles cruzados, estructuras agregadas. Con frecuencia toma forma esferulítica con la cruz esferulítica prominente en muchos casos.



a



b

FIG. 13-7. *a, b.* ($\times 20$) Parte de una vesícula rellena de sílice: (a) iluminación ordinaria, y (b) la misma zona ($\times$ nicles) mostrando cuarzo granular rodeado por agregados de calcedonia.

Extinción. Paralela a la longitud de las fibras.

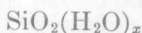
Orientación. Las fibras están generalmente orientadas en la dirección del rayo rápido, pero, en muchos casos, lo están en la del rayo lento. Frecuentemente, las fibras de las zonas concéntricas lo están alternativamente en una y otra dirección.

Características distintivas. La estructura agregada, con unas propiedades ópticas que varían mucho de las del cuarzo, es distintiva para la calcedonia. Los minerales, que más fácilmente pueden confundirse con ella,

son probablemente la gibbsita y la dahllita, pero para ambos el relieve en el bálsamo o en el aceite de clavo es distintivamente más alto.

Yacimiento. La calcedonia es un mineral secundario en las cavidades de las rocas ígneas y, con frecuencia, está asociado con cuarzo, ópalo y zeolitas. También se presenta en las calizas sedimentarias como nódulos y bandas, y como remplazamiento de fósiles. La calcedonia es el principal constituyente de los horstenos y jaspes; se encuentra en la diatomita como remplazamiento del ópalo. El intervalo de temperatura de la calcedonia parece ser más bajo que el del cuarzo.

OPALO



Mineraloide

$n = 1,40$ a $1,46$
(generalmente $1,45$)

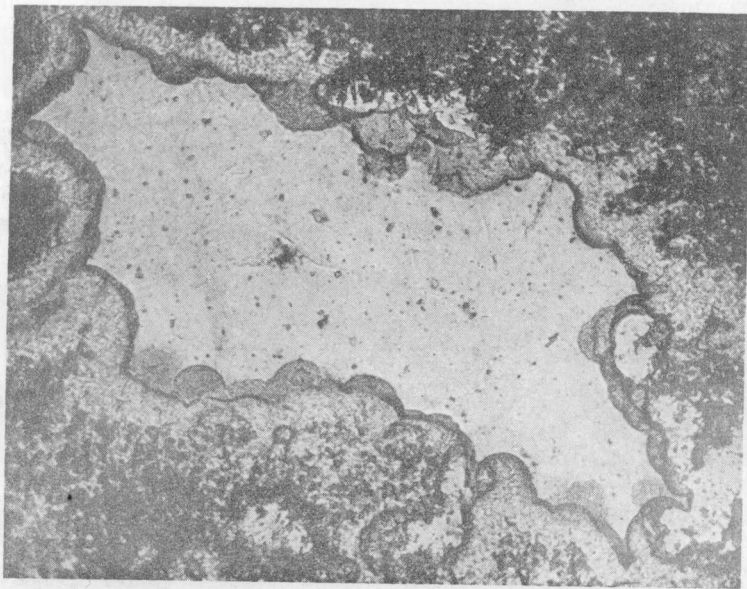


Fig. 13-8. ($\times 65$) Opalo coloforme con calcedonia intercalada.

Como los demás mineraloides, el ópalo es variable en sus propiedades.

Color. En las secciones delgadas es de incoloro a gris o pardo pálido.

Forma. Frecuentemente se encuentra el ópalo en costras colofórmicas, en vetillas o rellenando o forrando cavidades. Con mayor frecuencia es masivo, sin ninguna estructura particular; a menudo se presenta remplazando a madera (Figura 8-4) y a otros materiales orgánicos y también es común como remplazamiento de los feldespatos y como cementante de las areniscas.

Exfoliación. Ausente, pero se encuentran fracturas irregulares en los bordes de las secciones delgadas.

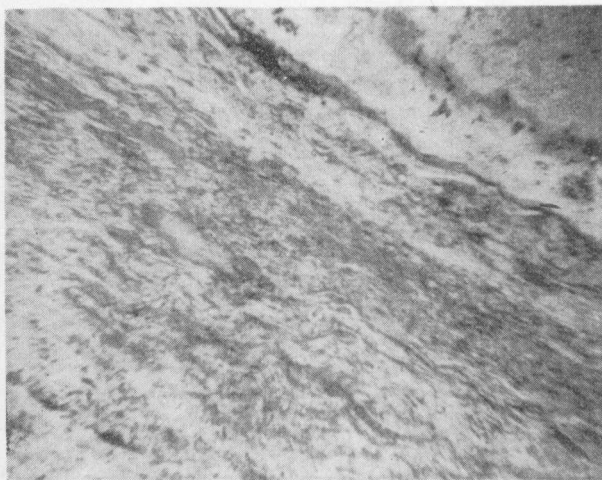


FIG. 13-9. ($\times 20$) Bandeado almenado en ópalo.



FIG. 13-10. ($\times 25$) Remplazamiento de madera por ópalo con bandas contorneadas atribuidas a la etapa de gelatinización.

Relieve. Bastante alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Generalmente nula, pero algunas variedades, especialmente la hialita, pueden mostrar una birrefringencia muy débil que es debida a las presiones. Las secciones de ópalo precioso muestran, especialmente con luz reflejada, colores de interferencia debidos a las películas excesivamente delgadas.

Características distintivas. Son distintivos el relieve alto y el bajo índice de refracción. Es muy similar la lechatalierita (sílice vítrea) y puede ser

necesario ensayar el análisis por agua en tubo cerrado para distinguirlos.

Yacimiento. El ópalo es un mineraloide secundario en las rocas ígneas volcánicas; aparece en cavidades y vetas y remplazando a los feldespatos u otros silicatos. Sus asociados más habituales son el cuarzo, la calcedonia y la tridimita. Es el principal constituyente de la diatomita (Figura 8-7) y la geyserita y, ocasionalmente, se presenta como un material cementante en las areniscas; también se encuentra como en un importante constituyente de las pizarras y las rocas de ópalo.

Lusaterita. Una variedad fibrosa de sílice, con un bajo índice de refracción, conocida como *lusaterita*, se ha considerado que era una variedad de la tridimita o, aún, como mineral diferente, pero, probablemente, es una mezcla de calcedonia y ópalo fibrosos.

TRIDIMITA

SiO₂

Rómbico
(Hexagonal hacia los 117°C)

$$n_{\alpha} = 1,469$$

$$n_{\beta} = 1,469$$

$$n_{\gamma} = 1,473$$

$$2V = 35^{\circ}; \text{Opt. (+)}$$

Color. En las secciones delgadas, incoloro.

Forma. Generalmente se presenta la tridimita en diminutos cristales euhédricos que forran cavidades; los cristales son de seis lados, delgados, tabulares y, con frecuencia, maclados. También se presenta como un agregado cristalino poroso.

Relieve. Moderado, pero $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Muy débil, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,004$; se ve mejor con una placa de ensayo sensible al violeta.

Maclado. Son características las maclas en forma de cuña formadas por dos o tres individuos. El plano de macla es $\{10\bar{1}6\}$.

Figura de interferencia. A causa del pequeño tamaño de los cristales es muy difícil obtener figuras de interferencia con la tridimita.

Características distintivas. La tridimita es muy parecida a la cristobalita, no sólo en su aspecto general sino también en su presentación geológica. (Según la experiencia de A. F. Rogers, la estructura en baldosa, que con frecuencia se dice que es característica de este mineral, no es totalmente habitual.) El maclado de la tridimita y las secciones en forma de cuña son características; en su ausencia, puede ser necesario determinar el índice de refracción de los granos aislados. (Para la tridimita, $n < 1,480$; para la cristobalita, $n > 1,480$.)

Alteración. Se ha encontrado en varias localidades tridimita paramorfa de la cristobalita y en diversos lugares, paramorfa del cuarzo (pseudo-tridimita de Mallard).

Yacimiento. La presentación característica de la tridimita es en las cavidades de rocas ígneas volcánicas, tales como obsidianas, riolitas, andesitas, etc.; es un mineral tardío formado por gases calientes. La tridimita

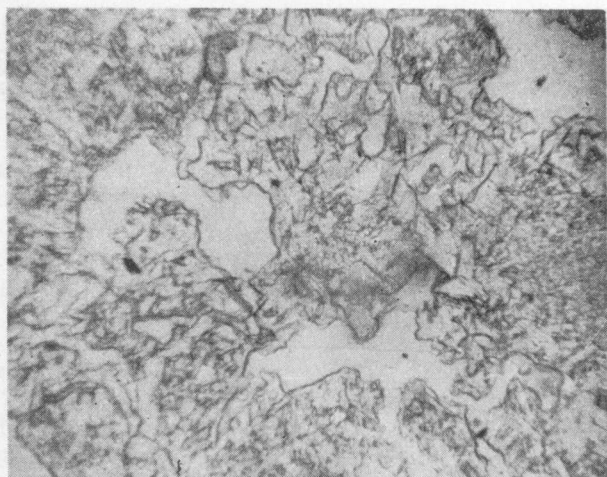
*a**b*

FIG. 13-11. *a, b.* ($\times 60$) (*a*) Tridimita rodeando cavidades vesiculares, y (*b*) la misma zona ($\times$ nicoles) mostrando pequeños cristales maclados.

no es muy abundante, pero es común y está ampliamente distribuida. A. F. Rogers ha estudiado en Imperial County, California, una roca feldespato-tridimita formada por la acción de los gases calientes sobre una obsidiana riolítica. En Tejas, Estados Unidos, se presenta la tridimita en una toba riolítica.

Tridimita artificial. El principio constituyente de los ladrillos de sílice es la tridimita con cristobalita como asociada; se fabrican calentando cuarcitas de bajo contenido en hierro; se dice que los mejores son los que tienen una mayor cantidad de tridimita.

SiO_2 **CRISTOBALITA**Pseudoisométrico
(Isométrico hacia los 230°)

$$n_\alpha = 1,484$$

$$n_\gamma = 1,487$$

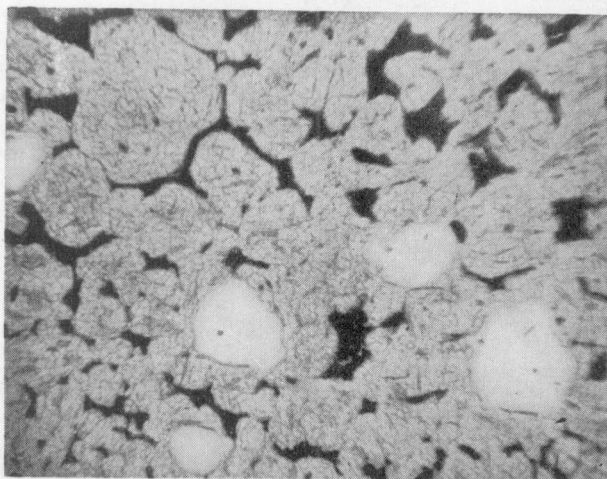
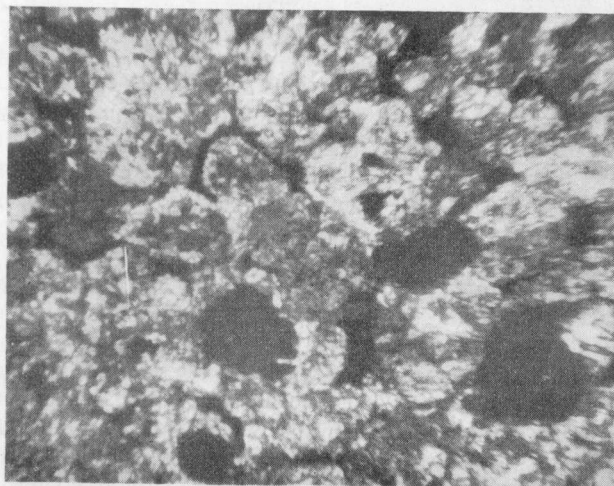
*a**b*

FIG. 13-12. *a, b.* ($\times 60$) (*a*) Cristobalita mostrando agregados de pequeños cristales y (*b*) la misma zona ($\times$ nicoles) mostrando diminutos cristales anisotrópicos.

Color. Incolora en sección delgada.

Forma. La cristobalita se encuentra en diminutos cristales cuadrados o en agregados en las cavidades de las rocas ígneas volcánicas; también se

presenta intercalada entre las fibras feldespáticas de las esferulitas (ver Figura 13-12).

Exfoliación. La cristobalita tiene una fractura curvada peculiar que es altamente característica.

Relieve. Moderado, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Muy débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,003$; se detecta mejor con una placa de análisis sensible al violeta. Entre nicóles cruzados muestra con frecuencia una estructura en mosaico que es debida en parte al maclado.

Características distintivas. La cristobalita recuerda mucho a la tridimita, pero, generalmente, la fractura curvada la distingue; puede ser preciso determinar el índice de refracción de los fragmentos destacados. (Para la cristobalita, $n > 1,480$; para la tridimita, $n < 1,480$.)

Yacimiento. La cristobalita se encuentra en rocas ígneas volcánicas, tales como la obsidiana, riolita, andesita, auganita y basalto. El hecho de que generalmente se presente en cavidades es una prueba de que se ha formado por gases calientes en una última etapa.

La cristobalita se encuentra en algunas muestras de ópalo y, de aquí, que se haya formado a una temperatura más baja que su intervalo de estabilidad.

Cristobalita artificial. La cristobalita y la tridimita son los principales constituyentes de los ladrillos de sílice que se obtienen calentando cuarcitas de bajo contenido en hierro.

LECHATÉLIERITA

SiO_2

(Sílice vítrea)

Mineraloide

$n = 1,458 \text{ a } 1,462$

Color. Incolora en sección delgada. La tendencia hacia la opacidad es debida a diminutas burbujas.

Forma. La lechatelierita es sílice vítrea amorfa. Generalmente es vesicular y puede también ser bandeada y mostrar estructura fluidal.

Relieve. Bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Nula. Oscura entre nicóles cruzados.

Características distintivas. Puede distinguirse la lechatelierita de los demás vídrios por su índice de refracción muy bajo. Es muy parecida al ópalo, excepto en su presentación geológica; puede ser necesario el ensayo en tubo cerrado para tener la certeza de que no es ópalo.

Yacimiento. La lechatelierita es el principal constituyente de las fulguritas, que son tubos huecos de vidrio producido por la acción de los rayos sobre la arenisca cuarzosa.

Un modo interesante de presentación de la lechatelierita es la del Cráter Mateor, Arizona, Estados Unidos, en el que se ha producido sílice vítrea altamente vesicular a causa del calor generado como resultado del impacto explosivo de un enorme meteorito o una multitud de ellos (meteorito del Cañón del Diablo).

Lechatelierita artificial. Actualmente se fabrica la sílice vítrea en gran escala para diferentes clases de aparatos químicos, lentes y vídrios que

trasmiten la luz ultravioleta. Tiene un coeficiente remarcablemente bajo de expansión térmica.

COESITA

SiO₂

Monoclínico
 $\angle\beta = 120^\circ$

$$n_\alpha = 1,599$$

$$n_\gamma = 1,604$$

$$2V = 54^\circ; \text{Opt. (+)}$$

En el laboratorio se produce una fase de sílice densa (P.e. = 3,01) y extremadamente estable a 35.000 atm. y 500-800°C por la reacción de partes iguales de metasilicato sódico y fosfato amónico. Se forma a un tiempo como agregados extremadamente pequeños y como cristales de unos 0,6 mm de longitud. El material es incoloro y transparente y las placas pseudohexagonales producen extinción asimétrica.

Por bajo de 35.000 atm. en el intervalo entre 500 y 800° se forma cuarzo normal antes que sílice densa. Ocasionalmente, cerca de las 35.000 atm. se observan ambas fases. Por encima de 800°C a 35.000 atm. se produce solamente cuarzo normal. Las condiciones requeridas para la formación de coesita, junto con su gran estabilidad, proporcionan un criterio para estimar más exactamente las condiciones bajo las que las rocas profundas han cristalizado.

FELDESPATOS

El grupo de los feldespatos (Figura 13-13a, b) se aproxima a un sistema ternario y puede ser considerado a base de tres componentes: ortoclasa, Or = KAlSi₃O₈; albita, Ab = NaAlSi₃O₈; y anortita, An = CaAl₂Si₂O₈. Or y Ab forman el *grupo de los feldespatos alcalinos*, con An ausente o como constituyente menor. Ab y An forman el *grupo de las plagioclasas* con una variación en su composición que va del 100 % Ab hasta el 100 % An.

LOS MINERALES FELDESPATICOS

Feldespatos alcalinos		Plagioclasas		
Monoclínico:	Composición	Triclínico:	Composición	
			Ab	An
Ortoclasa	(KNa)AlSi ₃ O ₈	Albita	100	0
Sanidina	(KNa)AlSi ₃ O ₈		90	10
Adularia	(KNa)AlSi ₃ O ₈	Oligoclasa	70	30
Triclínico:		Andesina	50	50
		Labradorita	30	70
		Bytownita	10	90
Microclina	(KNa)AlSi ₃ O ₈	Anortita	0	100
Anortoclasa	(NaK)AlSi ₃ O ₈			

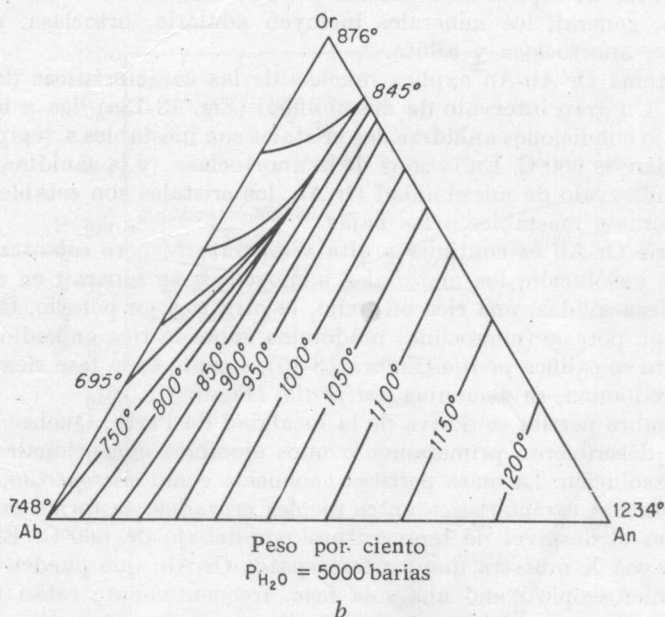
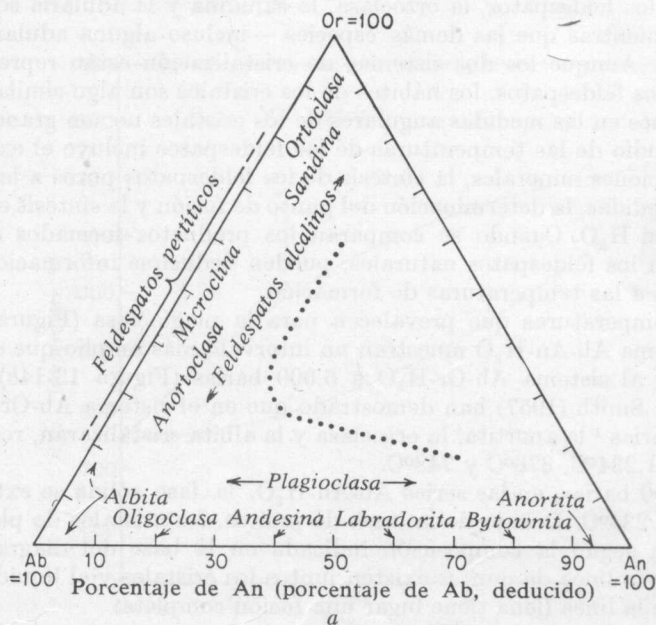


FIG. 13-13. (a) Distribución aproximada de los feldespatos en el sistema ternario Or-Ab-An. Las fusiones anhidras indican una zona de completa miscibilidad en la serie Or-An a la derecha de la línea de puntos. (Modificada de Troger, 1955.) (b) Temperaturas de formación en el sistema cuaternario Or-Ab-An- H_2O a 5,000 barías. (Según Yoder, Stewart y Smith, 1957.)

Entre los feldespatos, la ortoclasa, la sanidina y la adularia son monoclínicos, mientras que las demás especies —incluso alguna adularia— son triclinicos. Aunque los dos sistemas de cristalización están representados en todos los feldespatos, los hábitos de los cristales son algo similares y las desviaciones en las medidas angulares de los cristales no son grandes.

El estudio de las temperaturas de los feldespatos incluye el examen de las asociaciones minerales, la síntesis de los feldespatos puros a las temperaturas medidas, la determinación del punto de fusión y la síntesis en bomba sellada con H_2O . Cuando se comparan los productos formados artificialmente con los feldespatos naturales, pueden deducirse informaciones concernientes a las temperaturas de formación.

Las temperaturas que prevalecen para la plagioclase (Figura 13-14a) en el sistema Ab-An- H_2O muestran un intervalo más amplio que el correspondiente al sistema Ab-Or- H_2O a 5.000 barías (Figura 13-14b). Yoder, Stewart y Smith (1957) han demostrado que en el sistema Ab-Or-An- H_2O a 5.000 barías ¹ la anortita, la ortoclasa y la albita cristalizarán, respectivamente, a 1.234°C, 876°C y 748°C.

A 5.000 barías, en las series Ab-An- H_2O , la fase sólida se extiende de 748°C a 1.234°C. Debajo de la línea de puntos, los cristales de plagioclase se forman según la composición indicada en la base del diagrama. Por encima de la línea de puntos existen juntos los cristales y el líquido. Y por encima de la línea llena tiene lugar una fusión completa.

En las Ab-Or- H_2O a 5.000 barías puede formarse una serie de feldespatos. En general, los minerales incluyen adularia, ortoclasa, sanidina, microclina, anortoclasa y albita.

El sistema Or-Ab-An explica muchas de las características de los feldespatos. Un gran intervalo de miscibilidad (Fig. 13-13a) liga a la Or y a la An. Bajo condiciones anhidras, los cristales son inestables a temperaturas que excedan de 900°C. En la zona de la anortoclasa (y la sanidina Na) que limita el intervalo de miscibilidad Or-Ab, los cristales son estables a altas temperaturas e inestables a las bajas.

La serie Or-Ab es continua a alta temperatura, pero ~~calentando~~ ^{En Francia} tiene lugar una exsolución; los materiales homogéneos se separan en dos fases feldespáticas sólidas: una rica en sodio, la otra rica en potasio. Cuando la fase rica en potasio (microclina) predomina sobre la rica en sodio (albita), el conjunto se califica *pertita* (Figura 13-15); cuando es la fase rica en sodio la que predomina, se denomina *antipertita* (Figura 13-16).

El nombre *pertita* se deriva de la localidad de Perth, Quebec, Canadá, donde se describieron primeramente unos ejemplos excepcionales de este tipo de exsolución. La masa *pertítica*, conocida como *micropertita*, muestra una disposición característica entre nicols cruzados; se forma en la serie Or-Ab con el desnivel de temperatura por debajo de 660°C. El estudio con los rayos X muestra que los feldespatos Or-Ab, que pueden aparecer bajo el microscopio como una sola fase, frecuentemente están formados por dos fases; a estos feldespatos puede llamárselos *criptopertita*.

El grupo Ab-An incluye el grupo de la plagioclase desde la albita a la

¹ 1 baria = 1 kg/cm², aproximadamente.

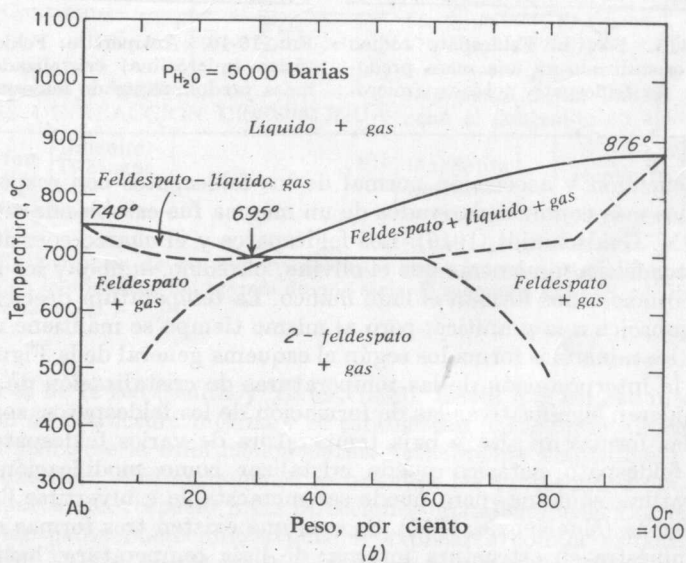
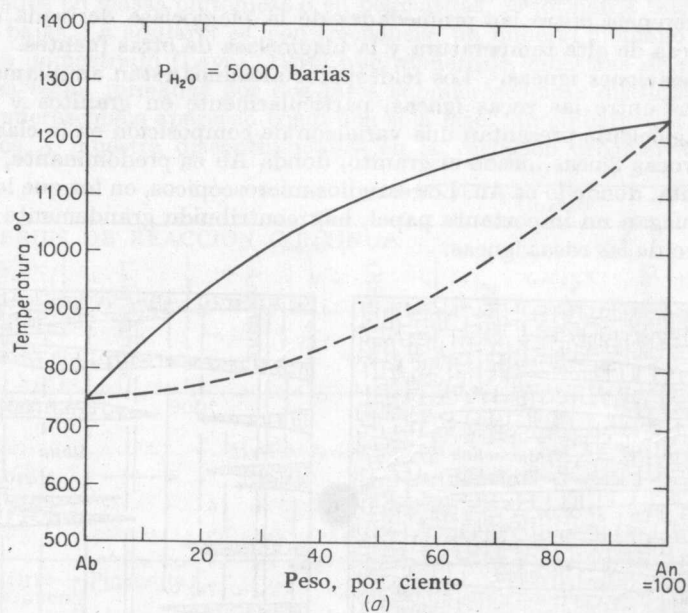


FIG. 13-14. Proyecciones de los sistemas ternarios de feldespato a una presión H_2O de 5.000 barías. (a) El sistema plagioclasea $\text{Ab}-\text{An}-\text{H}_2\text{O}$. (b) El sistema de los feldespatos alcalinos $\text{Ab}-\text{Or}, \text{H}_2\text{O}$. (Según Yoder, Stewart y Smith, 1957.)

anortita. Köhler (1949) ha demostrado que las propiedades ópticas de la plagioclasa maclada puede reflejar la historia térmica del material. Existe una diferencia entre las propiedades de la plagioclasa derivada de rocas volcánicas de alta temperatura y la plagioclasa de otras fuentes.

Asociaciones ígneas. Los feldespatos alcalinos están ampliamente distribuidos entre las rocas ígneas, particularmente en granitos y sienitas. Las plagioclases presentan una variación de composición en la clasificación de las rocas ígneas, desde el granito, donde Ab es predominante, hasta la peridotita, donde lo es An. Los estudios microscópicos, en los que los feldespatos juegan un importante papel, han contribuido grandemente al conocimiento de las rocas ígneas.

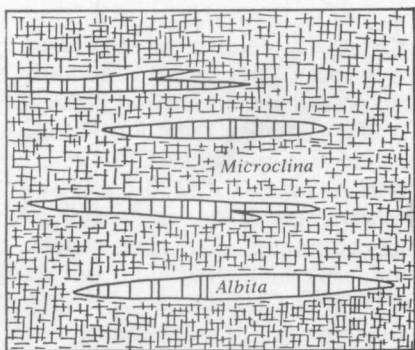


FIG. 13-15. Pertita. Feldespato sódico (albita) cristalizado en una masa predominante de feldespato potásico (microclina).

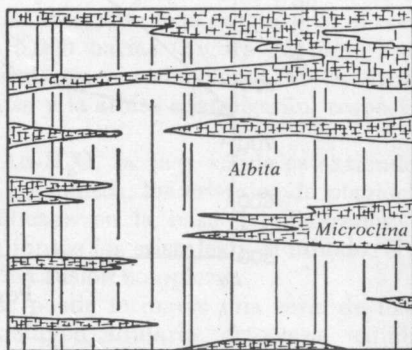


FIG. 13-16. Antipertita. Feldespato potásico (microclina) cristalizado en una masa predominante de feldespato sódico (albita).

La sucesión y asociación normal de los feldespatos con respecto a los minerales más comunes derivados de un magma fue establecida totalmente por V. M. Goldschmidt (1916). Los feldespatos y el cuarzo constituyen los productos félsicos, mientras que el olivino, piroxeno, anfíbol y los minerales metálicos asociados forman el lado máfico. La temperatura desciende de la etapa gabroica a la granítica, pero al mismo tiempo se mantiene una sucesión en los minerales formados según el esquema general de la Figura 13-17.

En la interpretación de las temperaturas de cristalización de las rocas se consideran significativas las de formación de los feldespatos; son reconocibles las formas de alta y baja temperatura de varios feldespatos.

El feldespato potásico puede cristalizar como modificación de alta temperatura, sanidina, pero puede ser metaestable e invertirse finalmente a microclina (MacKenzie, 1957). Se cree que existen tres formas de albite, según muestra su estructura interna: de baja temperatura, hasta 450°C; de temperatura intermedia, desde 450°C hasta 1000°C; y de alta temperatura, por encima de 100°C.

Son indicativos de altas temperaturas la sanidina, la albite y otros feldespatos que se forman en las lavas y bajo otras condiciones superficiales

semejantes. Por otro lado, la ortoclasa, la albita y otros feldespatos bien cristalizados en masas plutónicas o en pegmatitas, se forman a temperaturas más bajas. La adularia es, con frecuencia, un mineral filoniano.

Se ha demostrado (Laves, 1954) que numerosas muestras de albita y oligoclasa están formadas por dos fases submicroscópicas distintas; en el estudio microscópico aparecen como una sola fase. Sin embargo, el estudio con rayos X muestra discontinuidades en la variación progresiva de las

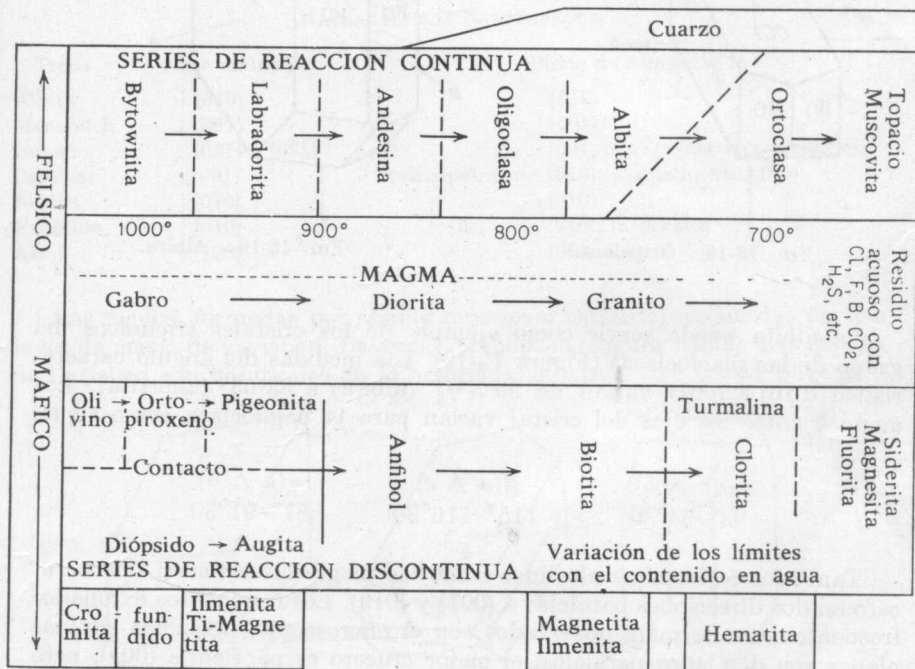


FIG. 13-17. Secuencia de los feldespatos en las rocas ígneas. Orden aproximado de separación en la cristalización normal de una serie de magmas. (Modificado de Tröger y V. M. Goldschmidt.)

dimensiones de la red (Smith y Yoder, 1956). Hasta que esto se interprete en función de estructura interna y se establezcan datos ópticos más precisos, debe utilizarse la información óptica actualmente disponible.

Cristalización. Ordinariamente se orientan las propiedades ópticas de los feldespatos con respecto a las direcciones cristalográficas. Los cristales de los feldespatos monoclinicos pueden explicarse con la ortoclasa (Figura 13-18). El ángulo interfacial significativo $(010) \wedge (001)$ y el ángulo entre las dos exfoliaciones principales es de 90° . El ángulo β , que mide la inclinación del eje a , es de $63^\circ 57'$. Los miembros triclinicos del grupo de los feldespatos alcalinos muestran moderadas, pero significativas, diferencias angulares; el ángulo $(010) \wedge (001)$ se desvía de los 90° .

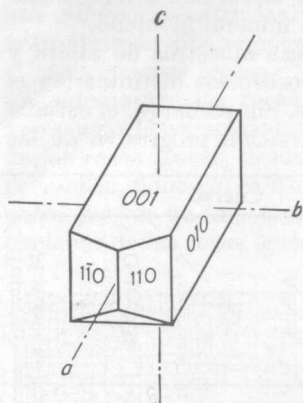


FIG. 13-18. Ortoclasa.

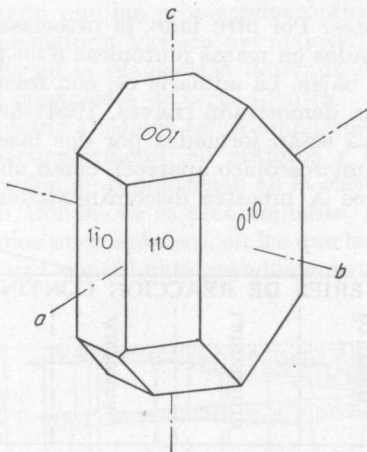


FIG. 13-19. Albita.

La albita puede servir como ejemplo de los cristales triclínicos del grupo de las plagioclasas (Figura 13-19). Las medidas del ángulo característico $(010) \wedge (001)$ varían de $90^{\circ}31\frac{1}{2}'$ (albita) a $83^{\circ}53'$ (anortita). Los ángulos entre los ejes del cristal varían para la plagioclasea como sigue:

$$\alpha(c \wedge b) \\ 93^{\circ}-94^{\circ}30'$$

$$\beta(a \wedge c) \\ 115^{\circ}-116^{\circ}30'$$

$$\gamma(a \wedge b) \\ 87^{\circ}-91^{\circ}30'$$

Tanto los feldespatos alcalinos como las plagioclasas tienen buen crucero en dos direcciones paralelas a (001) y (010) . Los fragmentos exfoliados frecuentemente forman, observados con el microscopio, pequeñas láminas planas con dos lados paralelos; el mejor crucero es paralelo a (001) , pero (010) es también buena (Figura 13-20). Los fragmentos de 0,1 a 0,4 mm y aun mayores, llenan el campo del microscopio con figuras de interferencia que son realmente medibles; Tuttle las describe como excelentes preparaciones para determinar el ángulo óptico con la platina universal.

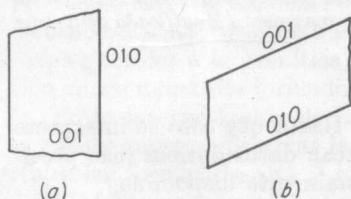


FIG. 13-20. Fragmentos de feldespato exfoliados. (a) Exfoliación paralela a (001) . (b) Exfoliación paralela a (010) .

Frecuentemente muestran los feldespatos cambios de fases que externamente pueden aparecer como un solo cristal, pero que en la realidad representan dos o más individuos que muestran diferencia en la birrefringencia cuando se examinan en sección delgada entre nicoles cruzados.

La plagioclasea puede exhibir varias etapas de crecimiento por su estructura zonal; la complejidad en el crecimiento a veces produce como un desarrollo anormal con un cristal núcleo central de plagioclasea con una envuelta de ortoclasa.

Maclas. Los feldespatos muestran por lo menos siete tipos de maclas. Se observa con tanta frecuencia el desplazamiento simétrico que se utiliza la macla universalmente para el estudio y la identificación.

Las maclas se describen refiriéndolas a las direcciones del cristal de feldespato; se definen refiriéndolas a los ejes según los cuales tiene lugar el maclado y los planos de composición a lo largo de los cuales los individuos se unen.

MACLAS DE LOS FELDESPATOS

Tipo	Eje de macla	Plano de composición
Albita	$\perp (010)$	(010)
Manebach	$\perp (001)$	(001)
Baveno	$\perp (021) \text{ ó } (0\bar{2}1)$	(021) ó (0 $\bar{2}$ 1) (derecha o izquierda)
Carlsbad	$\parallel [001]$	principalmente (010); parcialmente (100)
Actina	$\parallel [010]$	(010)
Periclina	$\parallel [010]$	En zona (010); intervalos
Ala	$\parallel [100]$	(001) ó (010)

Las maclas formadas por simple repetición están representadas por las leyes de macla de Carlsbad, Baveno y Manebach (Figura 13-21). Las maclas de Carlsbad son habituales en la ortoclasa, mientras que las de Baveno y

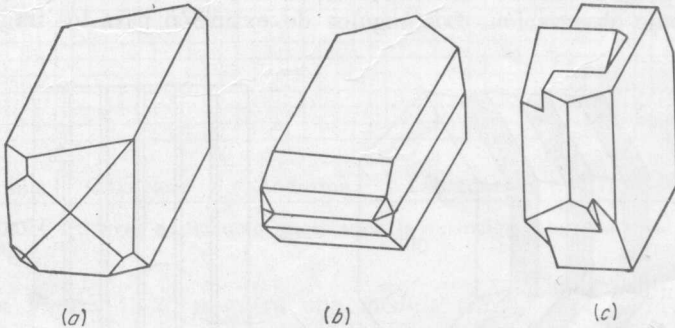


FIG. 13-21. Tipos de cristales maclados comunes en la ortoclasa, pero que también se encuentran en otros feldespatos. (a) Baveno, (b) Manebach, (c) Carlsbad.

Manebach se observan ocasionalmente. La macla de Carlsbad también puede presentarse en la plagioclasa. En sección delgada, la macla de Carlsbad muestra con frecuencia dos cristales individuales separados por un solo plano de composición (Figura 13-22a). Estos individuos varían en su extinción entre nicoles cruzados. Las maclas de Baveno suelen estar separadas por un plano diagonal (Figura 13-22b).

La macla múltiple o polisintética es abundante en la plagioclasa (Figura 13-23a). La macla de la albita está ampliamente extendida; se reconoce por el paralelismo entre los planos de composición y la exfoliación (010) (Figura 13-23b). Los fragmentos que muestran la macla de albita son útiles para la identificación de las plagioclasas.

De acuerdo con Emmons y Gates (1943) la macla polisintética es una forma tardía en el crecimiento del cristal de plagioclasa. Una fuerza habitual que conduce a la macla polisintética es la interferencia mutua en el crecimiento de los cristales. Ordinariamente, un fenocristal sufre una pequeña macla en una masa de grano fino.

Donnay (1943) da gran importancia al papel de los factores internos en el maclado.

Método de Schuster. En esta identificación, conocida como método de Schuster, se montan las láminas exfoliadas sobre un cristal portaobjetos; los fragmentos con exfoliación algo más clara mostrarán planos de composición paralelos a los bordes de la misma. Esto es indicativo de las maclas de albita con planos de composición normales a (001). Las curvas de Schuster

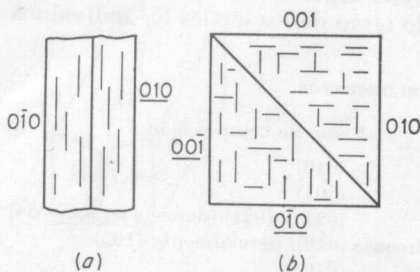


FIG. 13-22. *a, b.* Secciones de cristales maclados como ejemplo para la ortoclasa: (a) Carlsbad y (b) Baveno.

muestran los ángulos de extinción correspondientes a la variación completa de las especies de plagioclasa (Figura 13-24). La referencia a la curva para la extinción (001) dará el valor adecuado de la macla de albita para la plagioclasa bajo observación. Los ángulos de extinción para los fragmentos

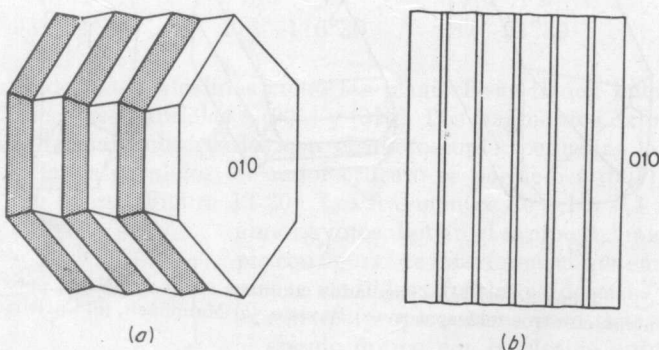


FIG. 13-23 *a, b.* (a) Maclado en un solo cristal de plagioclasa. (b) Fragmento exfoliado mostrando la macla de albita. Exfoliación paralela a (001).

a (010) también dan o pueden dar ángulos más significativos para las plagioclasas en el extremo sódico de la gráfica.

Método Michel-Levy. Si se observan las maclas de albita en sección delgada, no prevalecen las limitaciones de orientación como en el caso de los fragmentos. Aquí el método Schuster no es aplicable. Sin embargo, en tales casos se ha encontrado útil el método estadístico de Michel-Levy.

El método depende de la presencia de un número satisfactorio de cristales en la sección para proporcionar una identificación suficientemente

representativa. Se procuran las secciones cristalinas cortadas normalmente a (010), las cuales son reconocibles por tres factores: (1) la agudeza de los planos de composición con un ligero cambio en el enfoque (2) la uniformidad de la iluminación de toda la lámina cuando es paralela a los planos de vibración de los nicols, y (3) la igualdad de los ángulos de extinción para toda la serie de maclas cuando se gira a la derecha o a la izquierda.

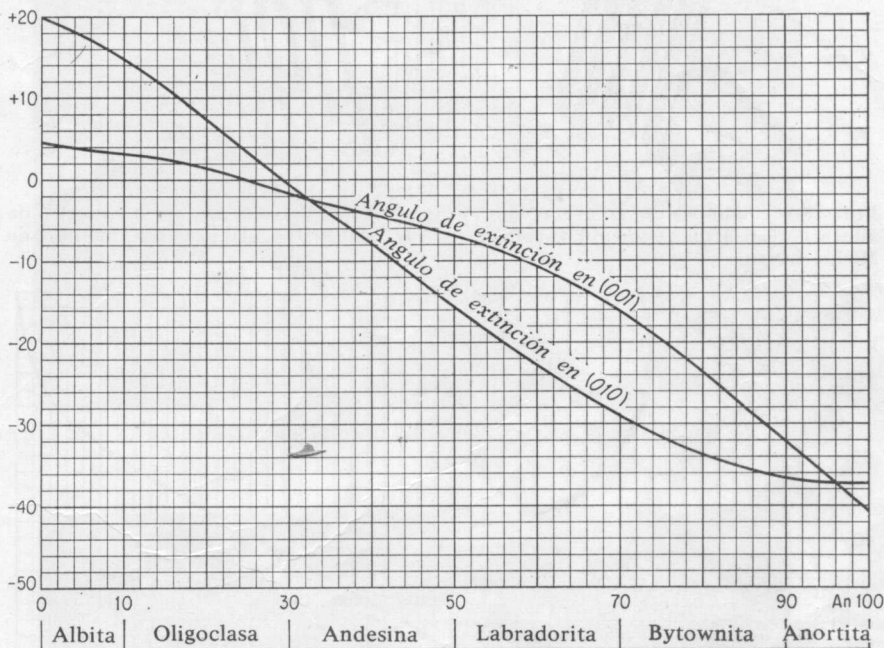


Fig. 13-24. Curvas de Schuster mostrando la extinción sobre las exfoliaciones (001) y (010).

La Figura 13-25 muestra una medida simple. Por lo menos, deben medirse ocho o diez cristales para indicar el ángulo de extinción máximo para una plagioclasa particular. Una diferencia de hasta 6° en los ángulos L y R es admisible, pero se emplea el promedio. Las secciones cristalinas, en las que los grupos de macla L y R muestran alternadamente iluminación uniforme, dan resultados satisfactorios. Recordando el ángulo de extinción (Figura 13-26) se utiliza la dirección del rayo rápido; por otra parte, no deben obtenerse ángulos mayores de 45° . Debe hacerse notar que los ángulos de $19\frac{1}{2}^\circ$ ó menores aparecen dos veces en la curva: desde An_0 a An_{21} el ángulo es negativo y por encima de An_{21} es positivo. En ausencia del borde (001 : 100) —y éste está presente raramente— no pueden distinguirse los ángulos positivos y negativos. Para identificar las plagioclasas del tramo An_0 a An_{21} de las An_{21} - An_{38} se emplean los índices de refracción y el signo óptico: la mayoría de los del primer grupo tienen índices de refracción menores que el bálamo y son ópticamente positivos, los otros tienen índices de refracción mayores que el bálamo y son ópticamente negativos.

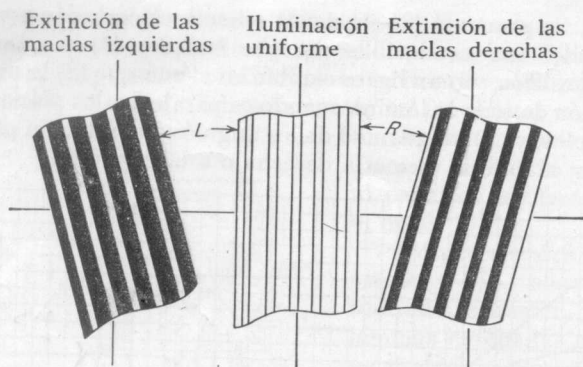


Fig. 13-25. Método de determinación de los ángulos de extinción en las maclas de albita cortadas normalmente a (010) para los feldespatos plagioclasas (método de Michel-Levy).

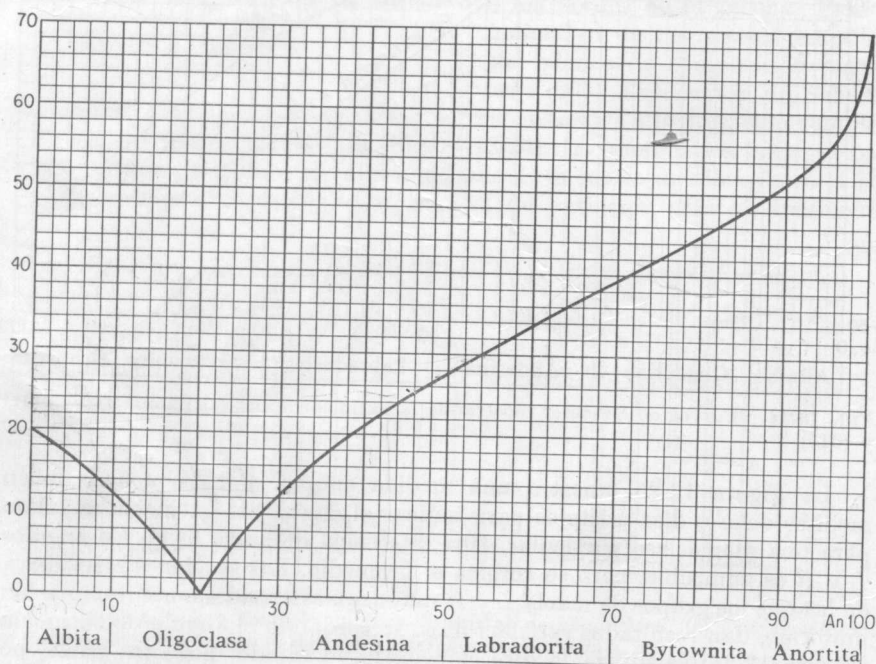


Fig. 13-26. Curva de los ángulos de máxima extinción de las maclas de albita cortadas normalmente a (010) para los feldespatos plagioclasa (método de Michel-Levy).

Extinción de las maclas combinadas Albita-Carlsbad. Cuando están presentes conjuntamente las maclas de Albita y de Carlsbad (Figura 13-27, 13-28) bastará para la determinación una sola sección cristalina normal a (010). Tales secciones (Figura 13-29) darán en general cuatro posiciones de extinción para el cristal: X_1 , X_2 y Y_1 , Y_2 . En las secciones normales a (010), la cara de composición para ambas clases de maclas pueden recono-

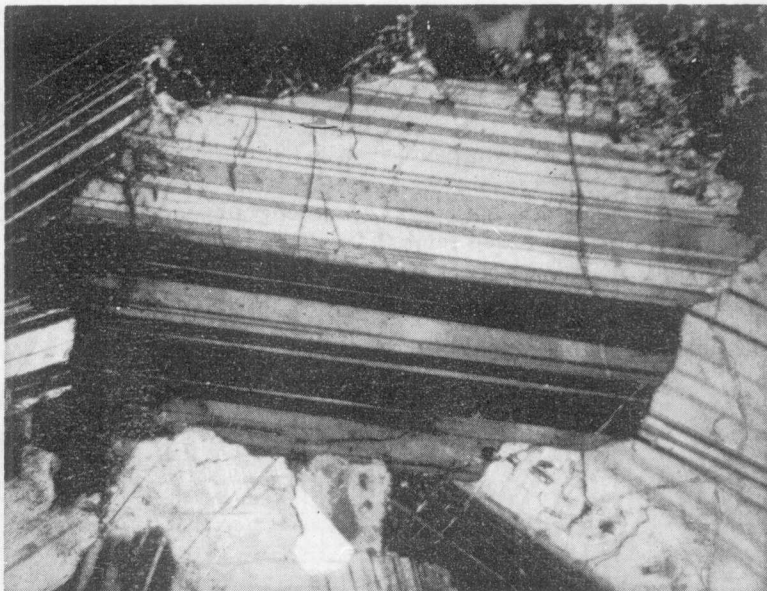


FIG. 13-27. ($\times 18$) Maclado combinado Carlsbad-albita en la plagioclasa. ($\times$ nicoles.)

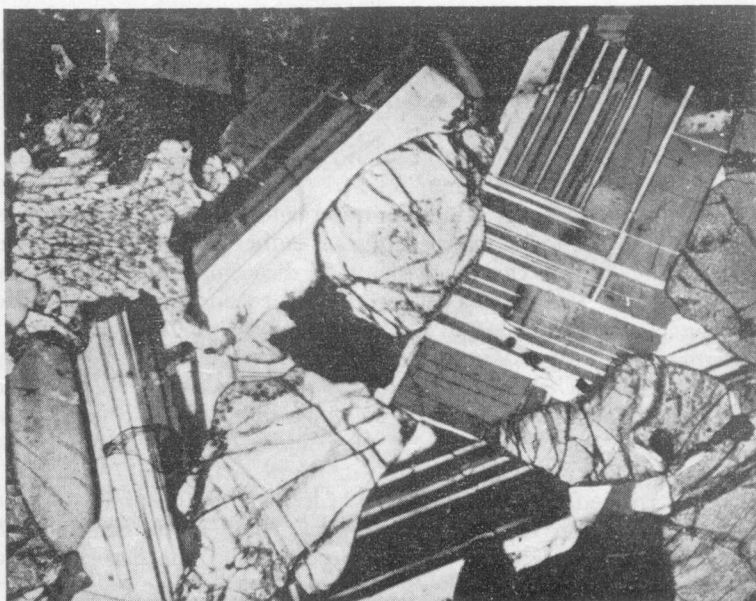


FIG. 13-28. ($\times 24$) Maclas de albita, Carlsbad y periclina en la plagioclasa. ($\times$ nicoles.)

cerse en la posición a 45° : aquí desaparece la macla de albita y el cristal aparece como una sola macla de Carlsbad. En la posición 0° , desaparecen prácticamente ambas maclas, de albita y Carlsbad.

Se miden (Figura 13-29) los ángulos de extinción X_1 , X_2 e Y_1 , Y_2 de las maclas de albita en cada mitad de la sección: el promedio de los dos más pequeños (valores Y) se lleva a las líneas horizontales de la Figura 13-30 y el promedio de los dos mayores (valores X) a las curvas. La intersección de la correspondiente línea horizontal con la curva apropiada, da una línea vertical que indica la cantidad relativa de moléculas de anortita.

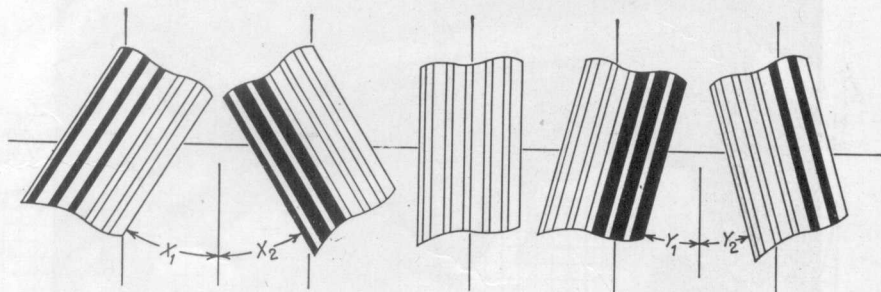


FIG. 13-29. Método de determinación de las dos series de ángulos de extinción (X e Y) en secciones de maclas combinadas Carlsbad-albita cortadas normalmente a (010).

Con una composición a unos An_{20} , no puede detectarse en sección delgada la macla de Carlsbad y el método no es aplicable en la realidad. En este caso, el ángulo de extinción máxima para las maclas de albita en sección normal a (010) es 0° .

Ángulo de la sección rómbica. Cuando se observa la macla de periclina puede proporcionar una información útil (Figura 13-31). Es polisintética y se resuelve en individuos tabulares que recuerdan a las maclas de albita tal como se observan con el microscopio; sin embargo, los planos de la macla de periclina pueden ser casi normales a la dirección del plano de composición de la albita. Las maclas de periclina se reconocen por su inclinación con referencia al borde $(001) \wedge (010)$ (el ángulo de la sección rómbica). En la Figura 13-31a se muestra un cristal de plagioclasa con la proyección de la sección rómbica y el correspondiente plano de composición de la periclina. Es la inclinación de la sección, más bien que la forma, lo significativo; ésta varía con la composición de la plagioclasa desde un ángulo positivo de 37° para la albita (An_0) hasta un ángulo negativo de 17° para la anortita (An_{100}), alrededor de la composición intermedia de andesita (An_{40}) el ángulo de inclinación es 0° . En la Figura 13-32 se da, de acuerdo con Schmidt (1919), la variación de los ángulos para los diversos tipos de plagioclasas.

En los feldespatos alcalinos —particularmente en la microclina— aparecen frecuentemente combinaciones de las maclas de albita y de periclina. Entre nicols cruzados la combinación produce un modelo enrejado dis-

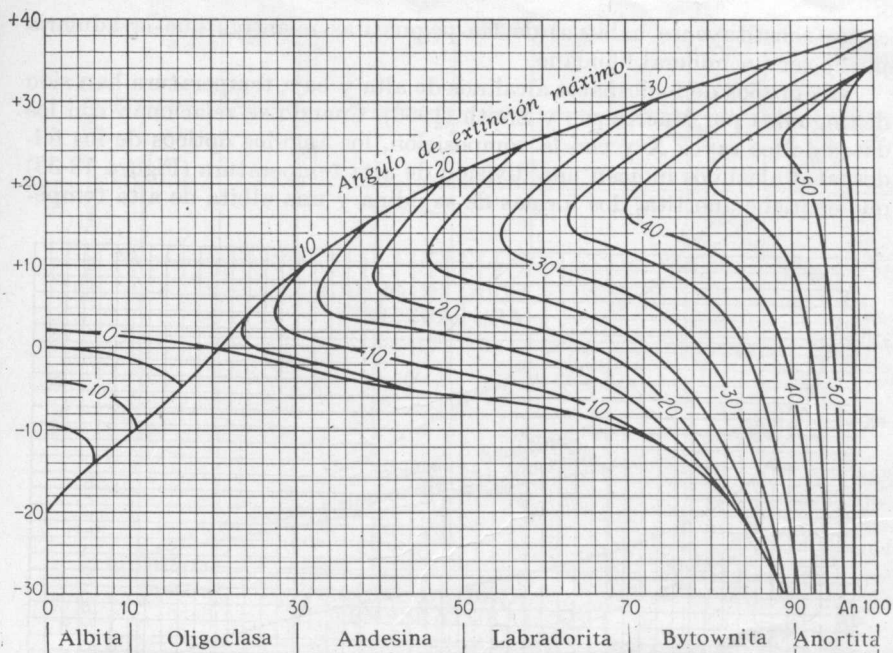


FIG. 13-30. Curvas de los ángulos de extinción de las maclas combinadas Carlsbad albita normales a (010) para los feldespatos plagioclase. (Según F. E. Wright.)

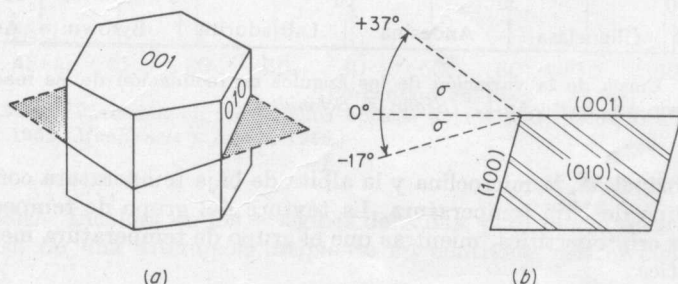


FIG. 13-31. Inclinación de los planos de macla periclina. (a) Inclinación del plano de composición proyectado mostrando la sección rómbica. (b) Planos de macla de periclina en (010). El ángulo δ con (001) varía desde $+37^\circ$ a -17° (ángulo de la sección rómbica).

tintivo. Además, con frecuencia atraviesan la estructura enrejada lenguas de albita a intervalos más o menos regulares. El intercrecimiento que forma la disposición se conoce como pertita (Figura 13-15).

Grupo de los feldespatos alcalinos

El feldespato alcalino de las rocas volcánicas es frecuentemente la sanidina, mientras que las rocas plutónicas producen ortoclase. La microclina

es un constituyente habitual de las pegmatitas mientras que la adularia puede ser un mineral filoniano.

Los grupos de feldespatos alcalinos de alta y baja temperatura han sido distinguidos por MacKenzie y Smith (1956). Cuando se relacionan con los datos de los rayos X y con la composición, los ángulos ópticos de los feldespatos alcalinos indican una división de alta temperatura (Figura 13-33) que contiene anortita, dos formas de sanidina y una albita de alta tempe-

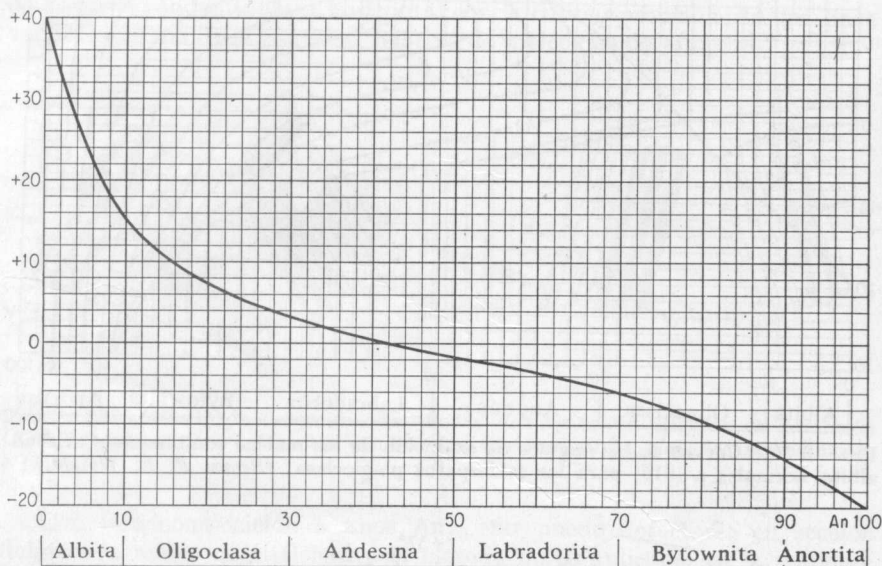
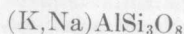


Fig. 13-32. Curva de la variación de los ángulos de inclinación de las maclas de periclina desde An_0 hasta An_{100} . (Según E. Schmidt.)

ratura; la ortoclasa, la microclina y la albita de baja temperatura constituyen un grupo de baja temperatura. La textura del grupo de temperatura más alta es criptopertítica, mientras que el grupo de temperatura menor es micropertítica.



ORTOCLASA

Monoclínico
 $\angle \beta = 63^\circ 57'$

$$n_\alpha = 1,518$$

$$n_\beta = 1,524$$

$$n_\gamma = 1,526$$

$$2V = 69^\circ \text{ a } 72^\circ; \text{ Opt. } (-)$$

$$b = \gamma \text{ o } Z, a \wedge \alpha \text{ o } X = +5^\circ \text{ a } +12^\circ,$$

$$c \wedge \beta \text{ o } Y = -14^\circ \text{ a } -21^\circ$$

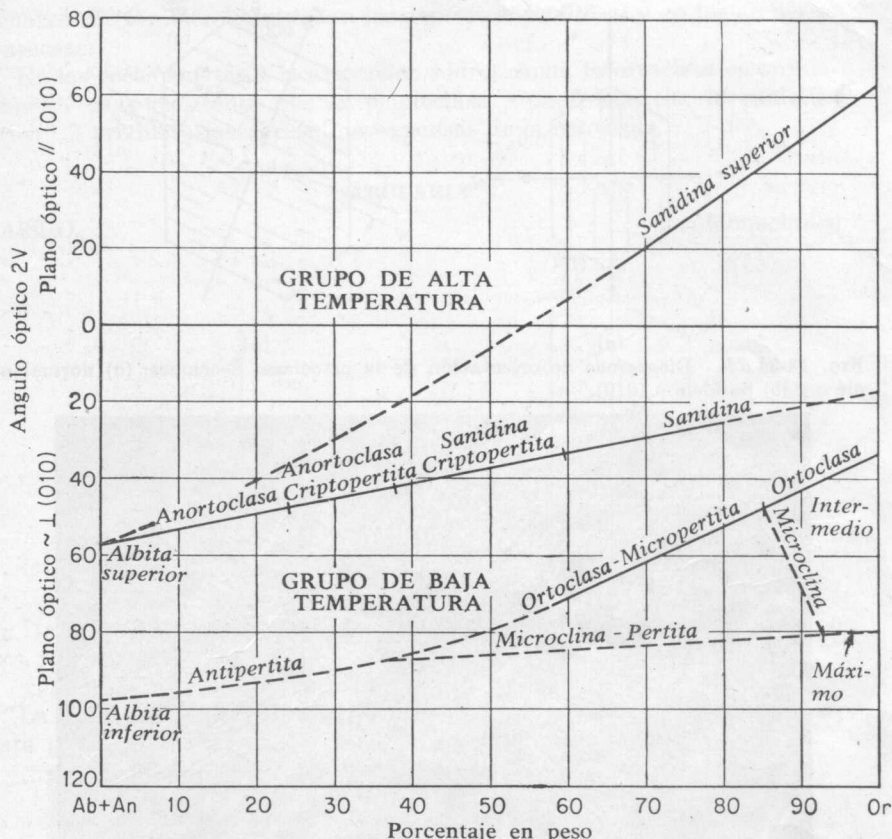


FIG. 13-33. Variación en los ángulos ópticos de los feldespatos alcalinos. (Según Tuttle, 1952; MacKenzie y Smith, 1956.)

Color. Incolora en las secciones delgadas, pero puede estar oscurecido a causa de una alteración incipiente en contraste con el cuarzo que es limpio.

Forma. La ortoclasa se presenta en fenocristales, en cristales subhédricos y anhédricos, y en esferulitas.

Exfoliación. Exfoliación perfecta paralela a {001}, menos perfecta paralela a {010} e imperfecta paralela a {110}.

Relieve. Bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Débil, $n_y - n_a = 0,008$; tanto que los colores de interferencia son blanco o gris del primer orden y el máximo es un poco más bajo que el del cuarzo en la misma preparación.

Extinción. En {001} paralela, en {010} desde 5° a 120° ; se incrementa con el contenido en sodio.

Orientación. Las trazas de la exfoliación en {010} forman un ángulo pequeño con el rayo rápido.

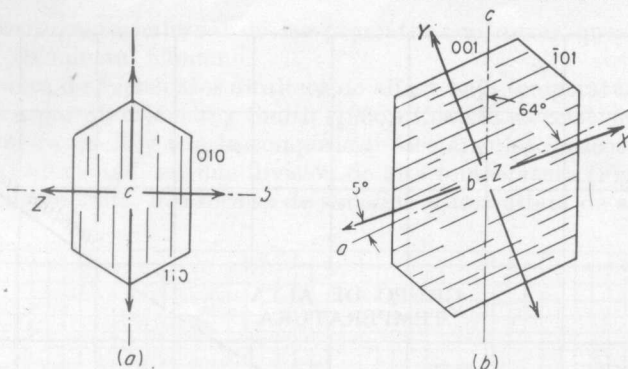


Fig. 13-34 a, b. Diagramas de orientación de la ortoclasa. Secciones: (a) normal a eje c y (b) paralela a (010) .

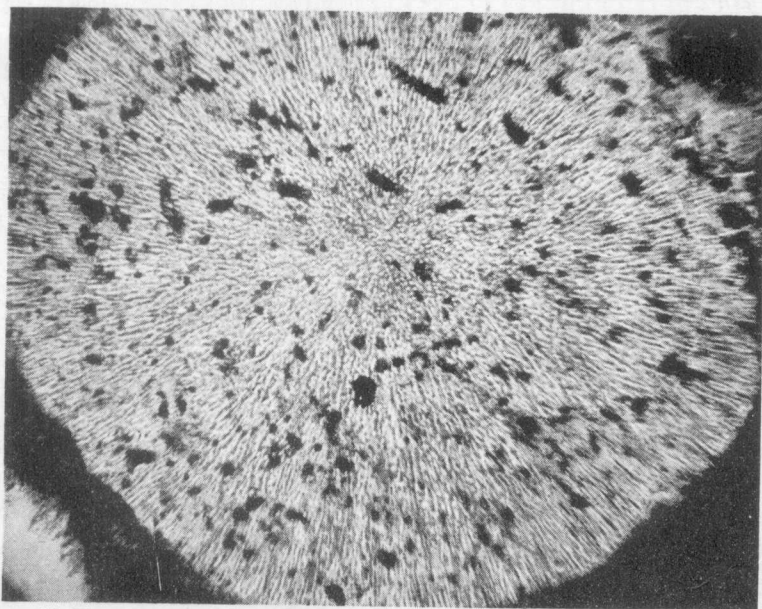


Fig. 13-35. ($\times 160$) Esferulita de ortoclasa-cristobalita en vidrio volcánico.

Maclado. Macla según la ley de Carlsbad (eje c ó $[001]$ = eje macla). Hay maclas simples formadas por dos individuos.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biáxica negativa con un gran ángulo axial. El plano axial es normal a $\{010\}$. Dispersión, $r > v$.

Características distintivas. La ortoclasa se distingue de su dimorfa la sanidina por su gran ángulo axial.

Yacimiento. La ortoclasa es un mineral ampliamente distribuido en las rocas ígneas tales como los granitos y las sienitas. En las esferulitas de la obsidiana y la riolita está frecuentemente intercrecida con cristobalita

o cuarzo. Es también habitual en los depósitos detríticos y en las areniscas y arcosas.

En las rocas sujetas a la alteración hidrotermal, la ortoclasa es ordinariamente más resistente que la plagioclasa. Con frecuencia, la caolinita forma un producto meteorizado a expensas de la ortoclasa.

ADULARIA



Monoclínico

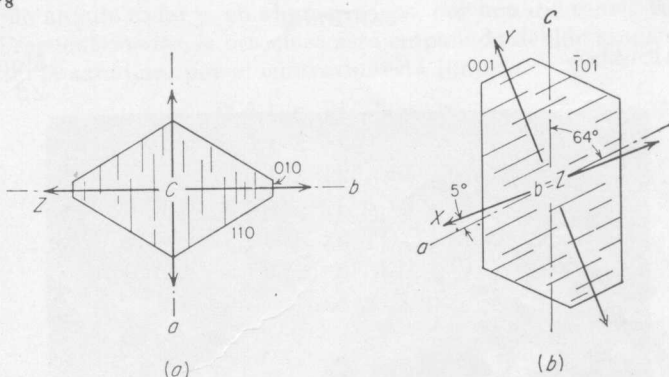


FIG. 13-36 *a, b*. Diagramas de orientación de la adularia. Secciones: (*a*) normal al eje *c*, y (*b*) paralela a (010).

La adularia es probablemente una variedad de la ortoclasa, pero se trata por separado de ella a causa de su significado genético.

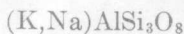


FIG. 13-37. ($\times 20$) Veta de feldespato, probablemente adularia. ($\times$ nicoles.)

Las propiedades ópticas de la adularia corresponden a las de la ortoclasa, pero el hábito cristalino es pseudo-rómbico con una sección rómbica. ($110 \wedge 1\bar{1}0 = 61^\circ 13'$). La cara (010) es estrecha o está ausente.

La adularia es un feldespato de temperatura bastante baja que se encuentra en vetas y depósitos de remplazamiento y en algunas rocas de metamorfismo de bajo grado. Es característica de los minerales de edad terciaria de oro y plata del tipo bonanzas. Los cristales son comúnmente diminutos y pueden identificarse solamente con un objetivo de poder bastante alto. El estudio con rayos X indica una fase triclinica.

SANIDINA



Monoclínico

$\angle\beta = 63^\circ 57'$

$n_\alpha = 1,517$ a $1,520$

$n_\beta = 1,523$ a $1,525$

$n_\gamma = 1,524$ a $1,526$

$2V = 0^\circ$ a 12° ; Opt. (-)

Orientación: (1) Pl. ax. $\{010\}$, $b = \beta$ o Y ,

$a \wedge \alpha$ o $X = +5^\circ$ o (2) Pl. ax. $\perp \{010\}$,

$b = \gamma$ o Z , $a \wedge \alpha$ o $X = +5^\circ$

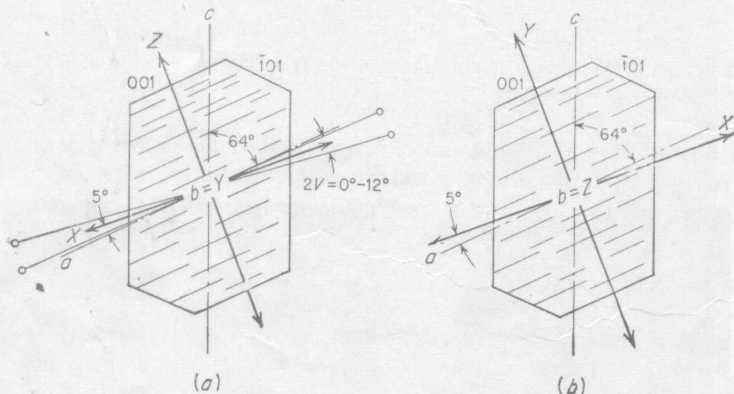


Fig. 13-38 a, b. Diagramas de orientación de la sanidina. Secciones paralelas a $\{010\}$.

Color. Incolora en las secciones delgadas; limpia en contraste con la ortoclasa que está con frecuencia oscurecida.

Forma. La sanidina se presenta generalmente en cristales diferenciados con fenocristales.

Exfoliación. Perfecta paralela a $\{001\}$, menos perfecta paralela a $\{010\}$. También puede haber partición paralela a $\{100\}$.

Relieve. Bajo, $n <$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,007$, tanto que los colores de interferencia son gris y blanco grisáceo del primer orden.

Extinción. En (001) , paralela; en (010) , $+5^\circ$. Las secciones normales al eje óptico permanecen prácticamente oscuras ya que el ángulo axial es con frecuencia muy pequeño.

Maclado. Generalmente, según la ley de Carlsbad (eje c ó $[001] =$ eje de macla). Las maclas son unión simple de dos individuos y raramente polisintéticas.

Figura de interferencia. Algunas secciones dan una figura de interferencia biáxica negativa con un pequeño ángulo axial, pero el ángulo puede ser tan pequeño que la figura sea casi uniáxica. Dispersión, (1) $r < v$, (2) $r > v$.

Características distintivas. La sanidina se distingue de la ortoclasa por el pequeño ángulo axial y, en algunos casos, por una diferencia en la orientación. Frecuentemente, la ortoclasa está empañada debido a una alteración incipiente; la sanidina, por el contrario, está límpida.



FIG. 13-39. ($\times 12$) Cristal de sanidina el cual ha sufrido corrosión en sus extremos.

Yacimiento. Generalmente, se ha considerado a la sanidina como característica de algunas rocas volcánicas como las riolitas y traquitas y sus correspondientes tobas, pero MacKenzie y Smith han sugerido también su presencia en las rocas plutónicas.

MICROCLINA



Triclínico

$$\angle \alpha = 89^\circ 53'$$

$$\angle \beta = 64^\circ 10'$$

$$\angle \gamma = 90^\circ 51'$$

$$n_\alpha = 1,518 \text{ a } 1,522$$

$$n_\beta = 1,522 \text{ a } 1,526$$

$$n_\gamma = 1,525 \text{ a } 1,530$$

$$2V = 77^\circ \text{ a } 84^\circ; \text{Opt. } (-).$$

Pl. ax. o γ o Z son, aproximadamente, $\perp$ (010). Ángulo entre la traza del pl. ax. y la arista $(001) : (010) = +5^\circ$

Color. En secciones delgadas, incoloras, pero puede estar empañada a causa de una alteración incipiente.

Forma. La microclina se encuentra generalmente en cristales subhédricos a anhédricos. Raramente se ven en las secciones rocosas cristales euhédricos.

Exfoliación. Perfecta, paralela a $\{001\}$, menos perfecta paralela a $\{010\}$, imperfecta paralela a $\{110\}$ y $\{1\bar{1}0\}$.

Relieve. Bajo, $n < \text{bálsamo}$.

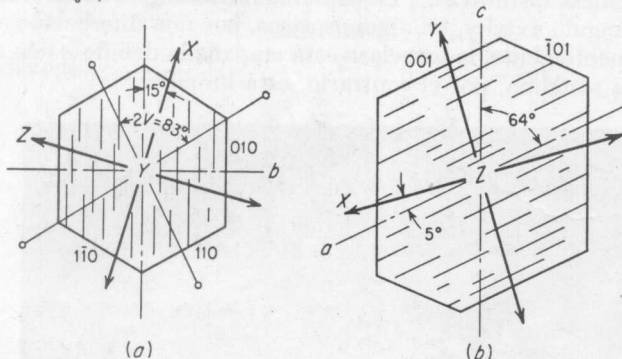


FIG. 13-40 a, b. Diagramas de orientación de la microclina. Secciones: (a) normal al eje c , y (b) paralela a (010) .

Birrefringencia. Débil, $n_y - n_a = 0,007$, tanto que los colores de interferencia son blanco y gris del primer orden.

Extinción. Ángulo de extinción en $(001) = +15^\circ$, en $(010) = +5^\circ$.

Orientación. Las trazas de exfoliación en (010) son aproximadamente paralelas al rayo rápido.

Maclado. En la microclina es casi universal el maclado polisintético; la macla se efectúa en dos direcciones, una según la ley de la albita ($\{010\} = \text{plano de macla}$) y la otra según la de la periclina (eje b ó $[010] = \text{eje de macla}$). Esto da lugar, generalmente, a la llamada estructura en *parrilla* o *cuadrícula* (Figura 13-41), estando las dos series de láminas a ángulo recto. La macla laminar tiene normalmente forma de husillo, y la extinción es en general ondulada.

Intercrecimiento. Comúnmente, la albita está intercrecida con microclina, tanto que las direcciones (010) son paralelas. Este intercrecimiento es conocido como *pertita*.

Figura de interferencia. Debido al maclado es normalmente difícil obtener buenas figuras de interferencia. Dispersión, $r > v$.

Características distintivas. La microclina se distingue de la ortoclasa por el maclado polisintético y de la ortoclasa y la albita por el ángulo de extinción de 15° en (001) y por la forma de husillo de la macla laminar.

Yacimiento. La microclina se encuentra en algunos granitos, sienitas y gneises. En forma de *pertita*, es el feldespato principal de las pegmatitas graníticas. Es también un mineral habitual en areniscas, arkosas y se le encuentra como mineral detrítico en las arenas.

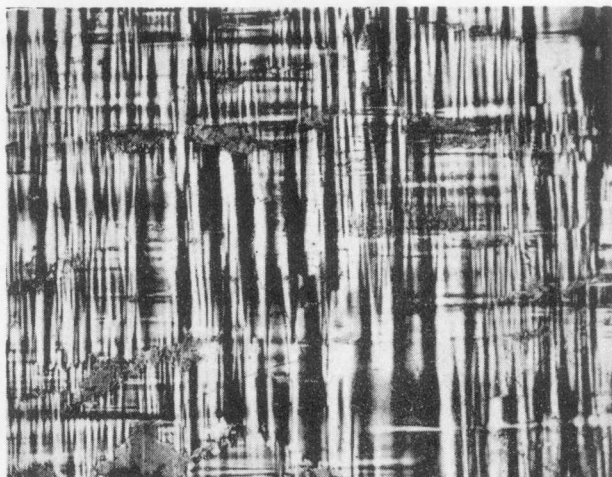


FIG. 13-41. ($\times 15$) Sección de microclina cortada paralelamente a (001). ($\times$ nicoles.)

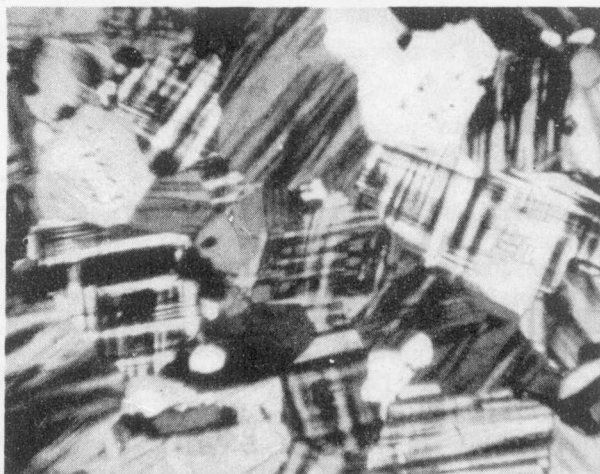


FIG. 13-42. ($\times 12$) Cristales anhédricos de microclina orientados al azar. ($\times$ nicoles.)

ANORTOCLASA

(Na,K)AlSi₃O₈

(Microclina sódica)

Triclínico

$\angle \alpha = 90^{\circ}6'$

$\angle \beta = 63^{\circ}42'$

$\angle \gamma = 90^{\circ}17'$

$n_{\alpha} = 1,522$ a $1,536$

$n_{\beta} = 1,526$ a $1,539$

$n_{\gamma} = 1,527$ a $1,541$

$2V = 43^{\circ}$ a 54° ; Opt. (-).

Pl. ax., aproximadamente, $\perp$ a $\{010\}$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La anortoclasa se presenta en fenocristales y en cristales anédricos; también en grandes masas exfoliables.

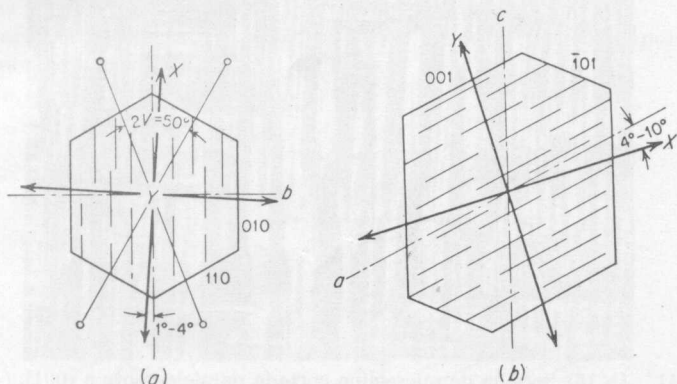


FIG. 13-43 a, b. Diagrama de orientación de la anortoclasa. Secciones: (a) normal al eje c, y (b) paralela a (010).

Exfoliación. Perfecta paralela a {001}, menos perfecta paralela a {010}, igual que en los demás feldespatos.

Relieve. Bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Débil, $n_y - n_a = 0,005 - 0,007$; los colores de interferencia son blanco y gris del primer orden.

Extinción. En (001) = $+1^\circ$ a $+4^\circ$, en (010) = $+4^\circ$ a 10° .

Maclado. Macla polisintética en dos direcciones, como la microclina, pero las láminas son más delgadas. Puede ser preciso disponer de una sección poco usual para detectar el maclado.

Figura de interferencia. La figura es biáxica negativa con un ángulo axial moderado. Dispersión, $r > v$.

Características distintivas. Prácticamente, puede distinguirse a la anortoclasa de todos los demás feldespatos por su ángulo axial de unos 50° (el de la sanidina es más bajo y los de los demás son más altos). El pequeño ángulo de extinción en (001) la distingue del microclino y todas las demás plagioclasas con excepción de la albita.

Yacimiento. La presentación característica de la anortoclasa es en las rocas ígneas ricas en sodio, tales como los pórfidos rómbicos. A veces se encuentra en las pegmatitas. Comparativamente, es un mineral raro.

Grupo de las plagioclasas

Los minerales plagioclasas forman un grupo importante para el que se han desarrollado un número de métodos poco habitual que ayuda en su estudio e identificación, los cuales se explican en este texto mediante



FIG. 13-44. ($\times 30$) Porción de un cristal de anortoclase mostrando la exfoliación.

figuras y diagramas. Por conveniencia, las figuras relativas a los diferentes métodos están clasificadas a continuación:

MÉTODOS DE LAS PLAGIOCLASAS

	Ilustraciones del texto
Indices de refracción	
Plagioclase normal (n_a , n_β y n_γ).....	13-45a
Plagioclase de alta temperatura (n_a , n_β y n_γ).....	13-45b
Fragmentos exfoliados orientados en (001) ó (010).....	13-46
Plagioclase vítrea fundida a 1500°C y enfriada.....	13-47
Birrefringencia	
$n_\gamma - n_a$ para la plagioclase normal.....	13-48
Angulo de extinción en los cristales maclados	
Iluminación uniforme de las maclas polisintéticas en secciones delgadas (Método de Michel-Levy).....	13-26
Maclas combinadas albita-Carlsbad.....	13-30
Extinción en fragmentos exfoliados.....	13-24
Inclinación de las maclas de periclina (ángulo de la sección rómbica).....	13-32
Angulos ópticos	
Angulo $2V$ para la plagioclase normal.....	13-49
Proyecciones estereográficas para la plagioclase normal y de alta tem- peratura.....	13-50

A medida que progresa el estudio de este grupo, se va desarrollando una pequeña pero importante distinción entre las plagioclases de temperatura

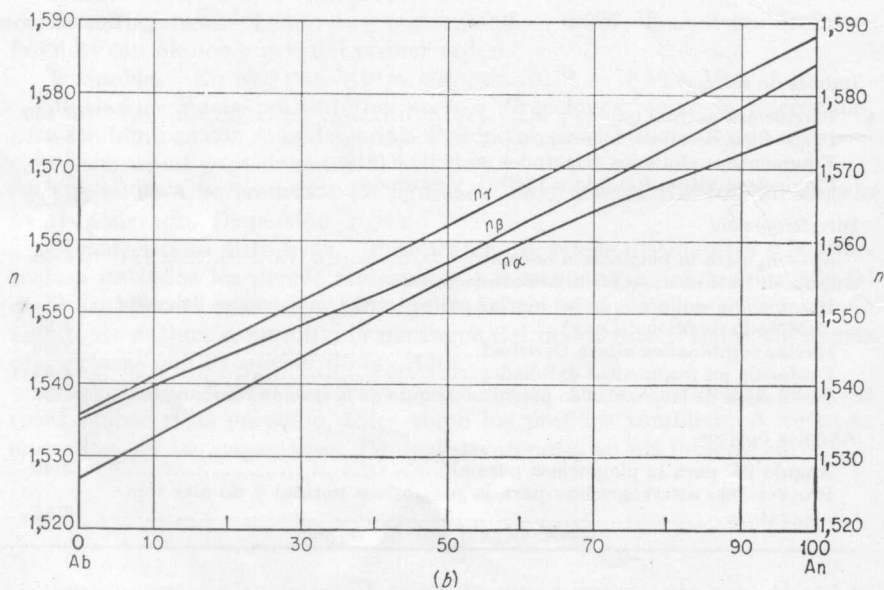
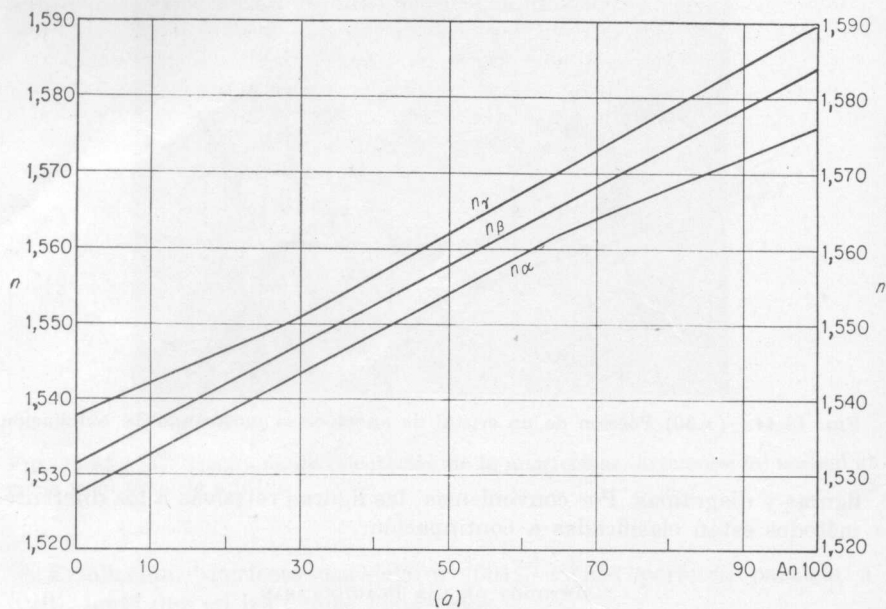


FIG. 13-45 a, b. (a) Índices de refracción de la plagioclase normal (Chayes, 1952). (b) Índices de refracción de la plagioclase invertida a alta temperatura, modificaciones por calentamiento (Smith, 1957).

de origen normal y los tipos de alta temperatura. Esto es más remarcable en el intervalo de An_0 a An_{35} (albita y oligoclasa). Los datos ópticos, fundamentales en la distinción entre las formas de alta y baja temperatura, todavía no han sido establecidos con la extensión deseable para los estudios de rutina. La Figura 13-50 muestra dos tipos de datos que pueden aplicarse con la platina universal. Las plagioclasas normales han sido convertidas en plagioclasas de alta temperatura y se han determinado con precisión los índices (Smith, 1957), los cuales se indican en la Figura 13-45b.

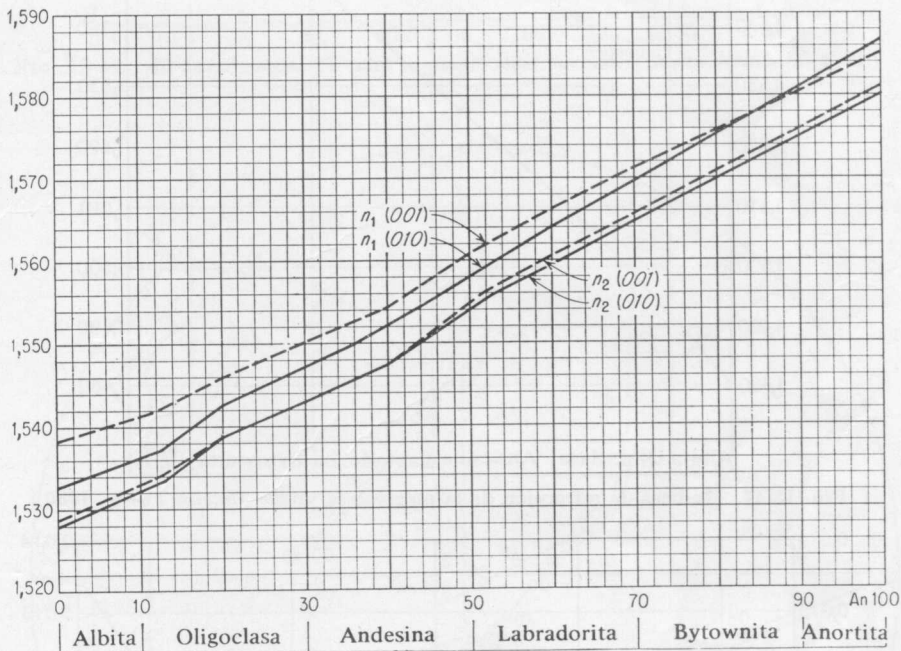


FIG. 13-46. Curvas de los índices de refracción n_1 y n_2 de las escamas exfoliadas de los feldespatos plagioclasa. (Según Tsuboi.)

La determinación del índice de refracción del vidrio formado por la fusión de la plagioclasa se utiliza como un método de identificación (Foster, 1955). Se colocan sobre una lámina de platino fragmentos seleccionados de plagioclasa, tan libres como sea posible de toda forma de impureza, y se calienta el material a unos 1.500°C con el soplete y se enfría en agua. Se determina, por el método de inmersión con líquidos índices, el índice de refracción del vidrio formado; los índices de refracción de la plagioclasa vítrea son significativos de la plagioclasa original (Figura 13-47).

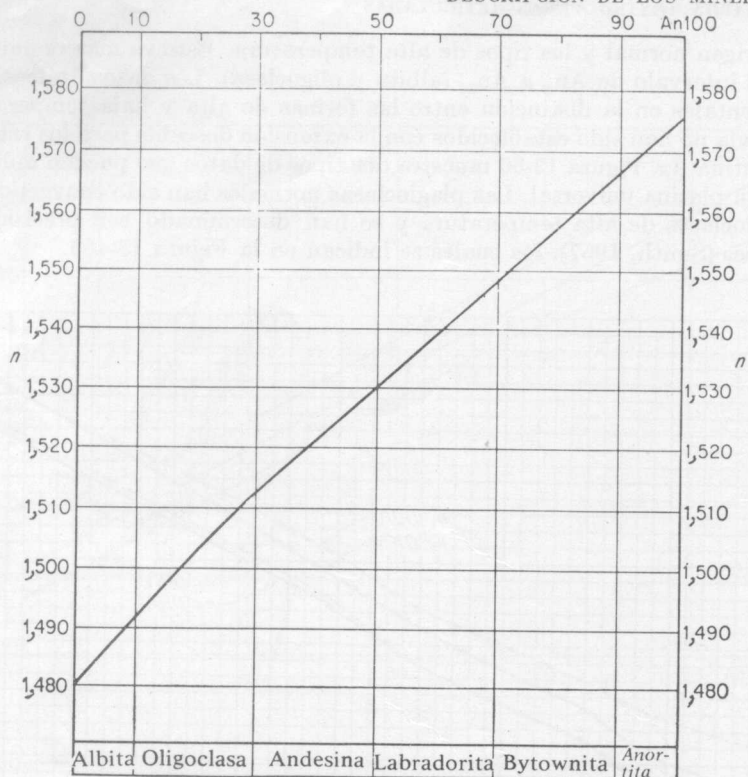


FIG. 13-47. Índices de refracción de la plagioclase vítrea. (Según Foster, 1955.)

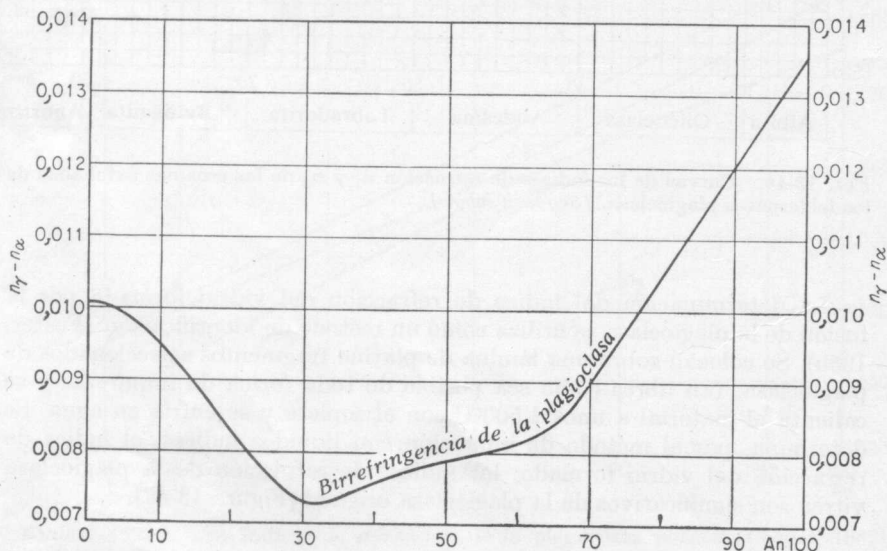


FIG. 13-48. Birrefringencia de la plagioclase normal. (Modificado de Chayes, 1952.)

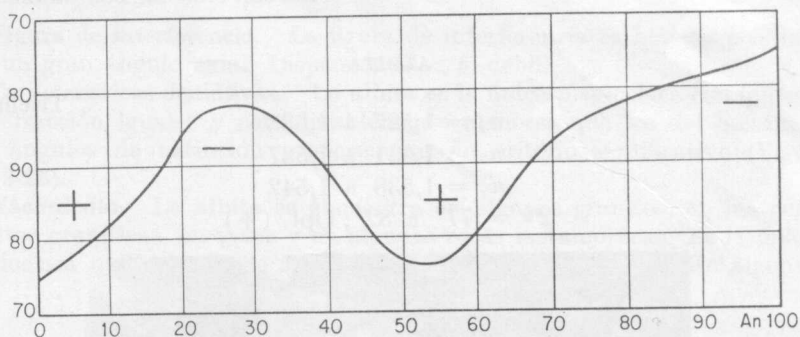


FIG. 13-49. El ángulo axial $2V$ para la plagioclasa normal. (Según Reinhard, 1931.)

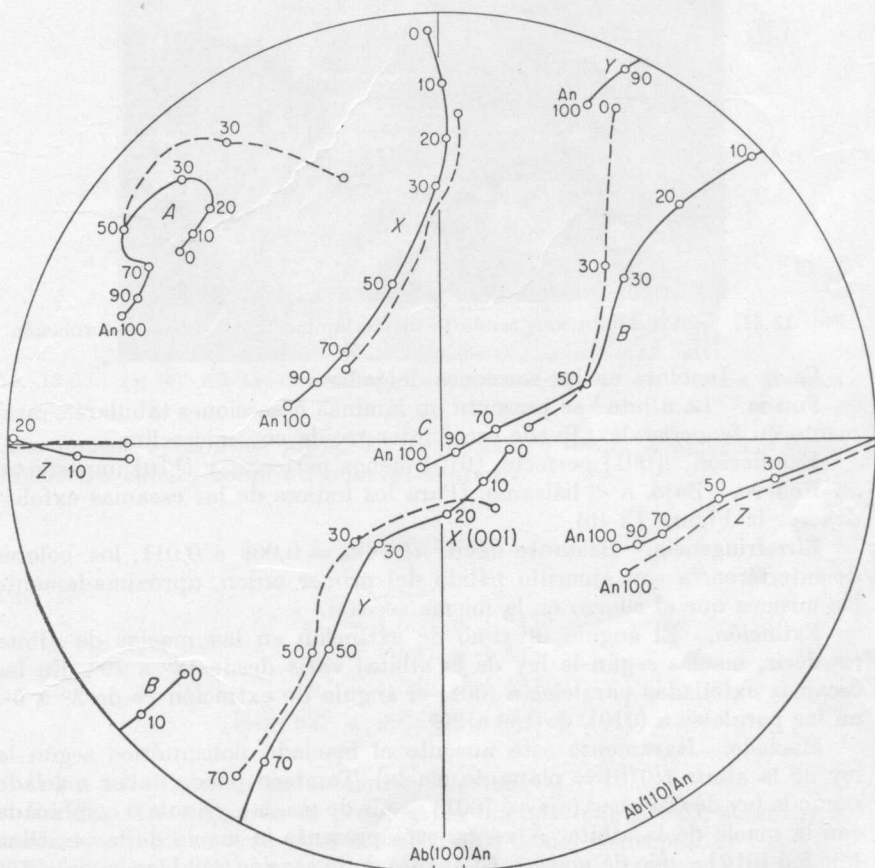


FIG. 13-50. Proyección estereográfica de X, Y y Z y de los ejes ópticos A y B orientados con respecto a (001) y del eje c tanto para la plagioclasa normal (líneas llenas) como para la de alta temperatura (líneas de puntos). (Según Muir, 1955.)

ALBITA

 An_{0-10}

Triclínico

$$\begin{aligned}
 n_{\alpha} &= 1,527 \text{ a } 1,533 \\
 n_{\beta} &= 1,531 \text{ a } 1,537 \\
 n_{\gamma} &= 1,538 \text{ a } 1,542 \\
 2V &= 77^{\circ} \text{ a } 82^{\circ}; \text{Opt. (+)}
 \end{aligned}$$

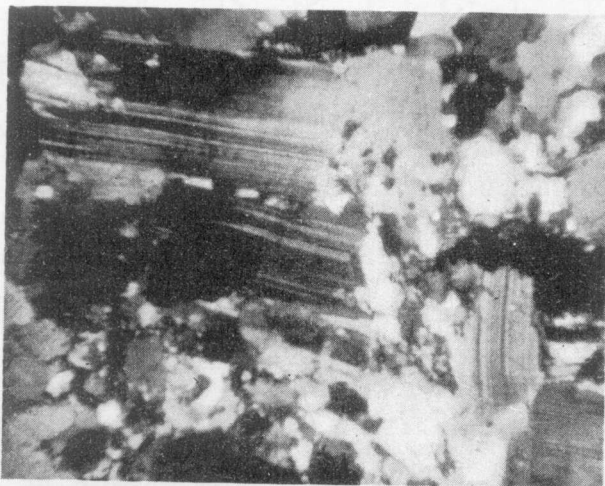


FIG. 13-51. ($\times 12$) Albita mostrando la macla laminar curvada por deformación.

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La albita¹ se presenta en láminas o secciones tabulares, raramente en fenocristales. Puede estar intercrecida con microclina.

Exfoliación. {001} perfecta, {010} menos perfecta, y {110} imperfecta.

Relieve. Bajo, $n <$ bálsamo. (Para los índices de las escamas exfoliadas ver la Figura 13-46).

Birrefringencia. Bastante débil, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,009$ a $0,011$; los colores de interferencia son amarillo pálido del primer orden, aproximadamente los mismos que el cuarzo en la misma sección.

Extinción. El ángulo máximo de extinción en las maclas de albita (es decir, maclas según la ley de la albita) varía desde 12° a 19° . En las escamas exfoliadas paralelas a (001) el ángulo de extinción es de 3° a 5° ; en las paralelas a (010), de 15° a 20° .

Maclado. Raramente está ausente el maclado polisintético según la ley de la albita ({010} = plano de macla). También puede haber maclado según la ley de Carlsbad (eje c ó [001] = eje de macla), ya sola o combinada con la macla de la albita. A veces, está presente la macla de la periclina (eje b ó [010] = eje de macla). El ángulo de la sección rómbica es de $+15^{\circ}$ a $+37^{\circ}$.

¹ (La palabra albita puede emplearse en tres sentidos: (1) como nombre de un mineral, 2) como una molécula y (3) para describir una macla polisintética || a (0 10).

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biáxica positiva con un gran ángulo axial. Dispersión, $r < v$, débil.

Características distintivas. La albita es la única plagioclasa con índices de refracción iguales y considerablemente menores que los del bálsamo. Los ángulos de extinción proporcionan un criterio significativo (Figura 13-26).

Yacimiento. La albita se encuentra en algunos granitos, en las pegmatitas graníticas, en vetas y en algunas rocas metamórficas. Es la única plagioclasa que es en todo semejante a un mineral filoniano. En algunas



Fig. 13-52. ($\times 30$) Albita intercrecida con microclina en una textura perítica.

rocas ígneas, subsilíceas alteradas (espilitas), se forma a expensas de la plagioclasa cálcica como un mineral deutérico.

OLIGOCLASA

Triclínico

An₁₀₋₃₀

$$n_{\alpha} = 1,533 \text{ a } 1,543$$

$$n_{\beta} = 1,537 \text{ a } 1,548$$

$$n_{\gamma} = 1,542 \text{ a } 1,551$$

$$2V = 82^{\circ} \text{ a } 90^{\circ}; \text{Opt. (+) o (-)}$$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La oligoclasa se presenta en cristales euhédricos, subhédricos y anhédricos. El aspecto es el mismo de los demás feldespatos.

Exfoliación. {001} perfecta, {010} menos perfecta, {110} y {1 $\bar{1}$ 0} imperfecta.

Relieve. Bajo, n o menor, o mayor o aproximadamente igual al del bálsamo. (Para los índices de las escamas exfoliadas, ver la Figura 13-46.)

Birrefringencia. Débil o bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,008$ a $0,009$; los colores de interferencia son gris o blanco del primer orden.

Extinción. El ángulo de extinción máxima en las maclas de albita (maclas según la ley de la albita) varía de 0° a 12° . El ángulo de extinción de una escama exfoliada en (001) varía desde 0° a 3° ; en las escamas {010}, de 0° a $+15^\circ$ (Figura 13-24).

Maclado. Como en la albita.

Figura de interferencia. La figura es biáxica, positiva o negativa, con un ángulo axial muy grande, o neutro ($2V = 90^\circ$) para An_{17} . Dispersión, $r > v$, débil.

Características distintivas. Los índices de refracción son, en un extremo, ligeramente inferiores al bálamo, pero, en general, están por encima. Los ángulos de extinción (Figura 13-26) son distintivos.

Yacimiento. La oligoclasa es un mineral muy común en las rocas ígneas persilíceas, tales como granitos y riolitas, y también en las sienitas, traquitas y otras rocas ígneas. Ocasionalmente se encuentra en las pegmatitas graníticas y en algunas rocas metamórficas.

ANDESINA

An_{30-50}

Triclínico

$$n_\alpha = 1,543 \text{ a } 1,554$$

$$n_\beta = 1,548 \text{ a } 1,558$$

$$n_\gamma = 1,551 \text{ a } 1,562$$

$$2V = 76^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{Opt. (+) o (-)}$$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La andesina se encuentra en cristales euhédricos a anhédricos.

Exfoliación. {001} perfecta, {010} menos perfecta, {110} y {110} imperfecta.

Relieve. Bajo, n siempre menor que el del bálamo. (Para los índices de las escamas exfoliadas, ver Figura 13-46).

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,008$, tanto que los colores de interferencia son gris o blanco del primer orden.

Extinción. El ángulo de extinción máxima en las maclas de albita (maclas según la ley de la albita) varía desde 13° a $27 \frac{1}{2}^\circ$. En las escamas exfoliadas (001), el ángulo de extinción varía desde 0° a -7° ; en las escamas (010), de 0° a -16° .

Maclado. Como en la albita. En la andesita, el ángulo de la sección rómbica varía desde $+3^\circ$ a -2° .

Figura de interferencia. La figura es biáxica, positiva o negativa, con un ángulo axial grande, o neutro ($2V = 90^\circ$) para An_{38} . Dispersión, $r < v$.

Características distintivas. La andesita se diferencia de las demás plagioclasas por sus ángulos de extinción máxima en los cristales maclados y por sus índices de refracción (ángulos de extinción, Figura 13-26).

Yacimiento. La andesina es un mineral común y ampliamente distribuido en las rocas ígneas, especialmente en las dioritas y andesitas. La ande-

sina se encuentra también en las rocas metamórficas. La composición An_{50} marca el límite entre los tipos de rocas ígneas silíceas (o ácidas) y cálcicas (o básicas).

LABRADORITA

An_{50-70}

Triclínica

$$n_{\alpha} = 1,554 \text{ a } 1,564$$

$$n_{\beta} = 1,558 \text{ a } 1,569$$

$$n_{\gamma} = 1,562 \text{ a } 1,573$$

$$2V = 76^{\circ} \text{ a } 90^{\circ}; \text{ Opt. (+) }$$

Color. Incolora en las secciones delgadas, a menudo con inclusiones regularmente dispuestas.

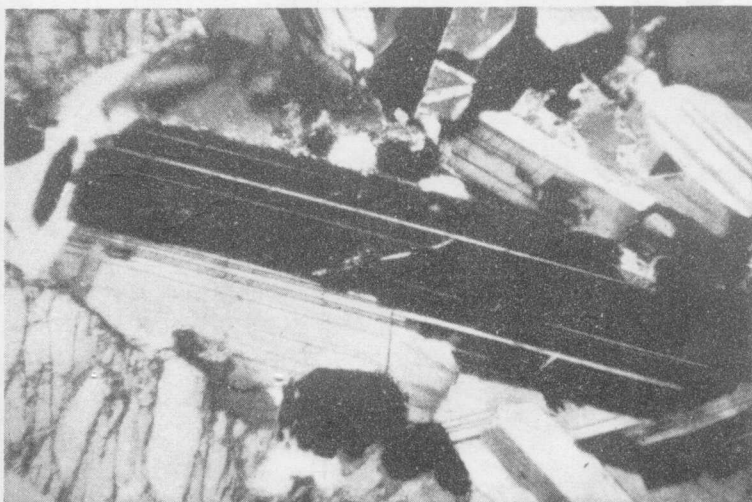


Fig. 13-53. ($\times 15$) Cristales de labradorita mostrando la macla de albita ($\times$ nicoles).

Forma. La labradorita se presenta en cristales euhédricos a anhédricos.

Exfoliación. $\{001\}$ perfecta, $\{010\}$ menos perfecta, $\{110\}$ y $\{1\bar{1}0\}$ imperfecta.

Relieve. Medianamente bajo, $n >$ bálsamo. (Para los índices de las escamas exfoliadas, ver Figura 13-46).

Birrefringencia. Débil, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,008$ a $0,009$; los colores de interferencia son gris o blanco del primer orden.

Extinción. El ángulo de extinción máxima en las maclas de albita (macla según la ley de la albita) varía desde $27\frac{1}{2}^{\circ}$ a 39° . El ángulo de extinción en las escamas exfoliadas (001) varía desde -7° a -16° ; en las escamas (010), desde -16° a -29° .

Maclado. Como en la albita.

Figura de interferencia. La figura es generalmente biáxica positiva con un gran ángulo axial, pero, a veces, es biáxica negativa y neutral para An_{68} . Dispersión, $r < v$.

Características distintivas. Se distingue la labradorita de las demás plagioclasas por los ángulos de extinción máxima de las maclas de albita y por los índices de refracción (Figura 13-26, 13-45a).

Yacimiento. La labradorita es un mineral muy común en las rocas ígneas subsilíceas tales como auganitas, basaltos, gabros y gabros de olivino. Es el constituyente principal de la mayoría de las anortositas. La labradorita se presenta también en las rocas metamórficas.

BYTOWNITA

An₇₀₋₉₀

Triclínico

$$n_{\alpha} = 1,564 \text{ a } 1,573$$

$$n_{\beta} = 1,569 \text{ a } 1,579$$

$$n_{\gamma} = 1,573 \text{ a } 1,585$$

$$2V = 79^{\circ} \text{ a } 88^{\circ}; \text{Opt. } (-)$$

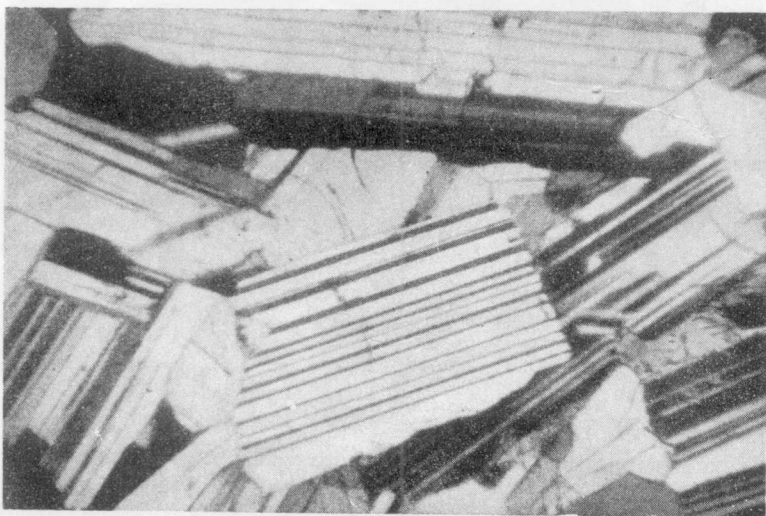


FIG. 13-54. ($\times 15$) Bytownita mostrando los maclados de albita y Carlsbad ($\times$ nicoles).

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La bytownita se presenta en cristales subhédricos a anhedricos.

Exfoliación. $\{001\}$ perfecta, $\{010\}$ menos perfecta, $\{110\}$ y $\{1\bar{1}0\}$ imperfecta.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo. (Para los índices de las escamas exfoliadas, ver la Figura 13-46.)

Birrefringencia. Bastante débil, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,009$ a $0,012$. Los colores de interferencia son gris, blanco o amarillo pálido del primer orden.

Extinción. El ángulo de máxima extinción en las maclas de albita (maclas según la ley de la albita) varía desde 39° a 51° . El ángulo de extin-

ción en las escamas exfoliadas (001) varía desde -16° a -32° ; en las escamas {010}, desde -29° a -36° .

Maclado. Como en la albita.

Figura de interferencia. La figura es biáxica negativa con un ángulo axial muy grande. Dispersión, $r > v$.

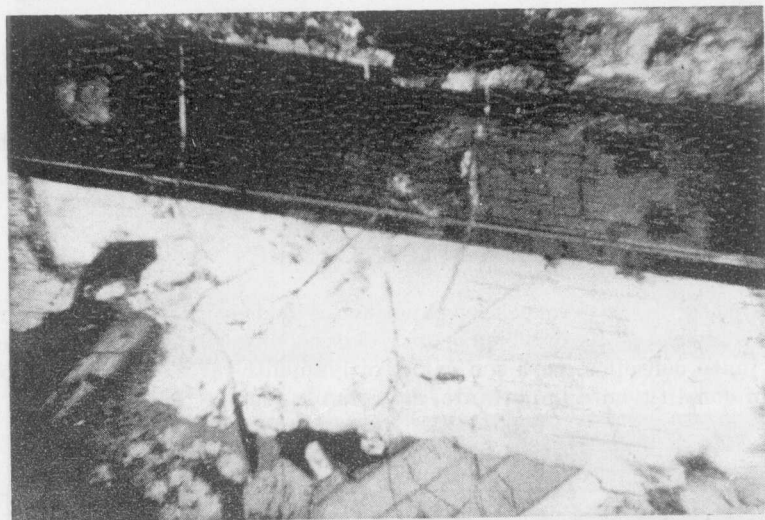


FIG. 13-55. ($\times 15$). Bytownita mostrando los maclados de albita y Carlsbad. ($\times$ nicoles)

Características distintivas. La bytownita se diferencia de las demás plagioclasas por los ángulos de extinción y por los índices de refracción (Figuras 13-26, 13-45a).

Yacimiento. La bytownita generalmente se presenta en los gabros, anortosistas o basaltos, pero es un mineral comparativamente raro.

ANORTITA

An_{90-100}

Triclínico

$$n_\alpha = 1,573 \text{ a } 1,577$$

$$n_\beta = 1,579 \text{ a } 1,585$$

$$n_\gamma = 1,585 \text{ a } 1,590$$

$$2V = 77^\circ \text{ a } 79^\circ; \text{Opt. } (-)$$

Color. Incolora.

Forma. La anortita se presenta en planchas o listones anhédricos o subhédricos.

Exfoliación. {001} perfecta, {010} menos perfecta, {110} y $\{1\bar{1}0\}$ imperfecta.

Relieve. Perfecto, $n >$ bálsamo. (Para los índices de las escamas exfoliadas, ver la Figura 13-46.)

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,012$ a $0,013$; los colores de interferencia son gris, blanco o amarillo del primer orden.

Extinción. El ángulo de máxima extinción en las maclas de albita (maclas según la ley de la albita) varía desde 51° a 70° . El ángulo de extinción en las escamas exfoliadas (001) varía desde -32° a -40° ; en las (010), es de unos -37° .

Maclado. Como en la albita.

Características distintivas. La anortita se distingue de las demás plagioclasas por los ángulos de extinción y los índices de refracción (Figuras 13-26, 13-45a).

Yacimiento. La anortita es rara en comparación con las otras plagioclasas. Se encuentra en unos pocos depósitos contacto-metamórficos y en unas pocas lavas.

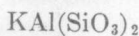
LOS FELDESPATOIDES

En algunas rocas ígneas, el papel de los feldespatoides es semejante al de los feldespatos. Estos o bien ocupan el papel de los feldespatos o se encuentran junto con ellos, pero son comparativamente raros. La nefelina puede ser un constituyente importante, así como la leucita.

FELDESPATOIDES

Mineral	Composición química	Sistema cristalino	Índices de refracción
Leucita.....	KAl	Pseudoisométrico	$n_\alpha = 1,508$, $n_\gamma = 1,509$
Nefelina.....	NaAl	Hexagonal	$n_e = 1,527-1,543$, $n_\omega = 1,530-1,547$
Cancrinita....	NaAl + CO ₃	Hexagonal	$n_e = 1,496-1,500$, $n_\omega = 1,507-1,524$
Sodalita.....	NaAl + Cl	Isométrico	$n = 1,483-1,487$
Haüyna.....	NaAl + S	Isométrico	$n = 1,496-1,510$
Melilita.....	Ca, Mg, Al	Tetragonal	$n_e = 1,626-1,629$, $n_\omega = 1,632-1,634$

LEUCITA



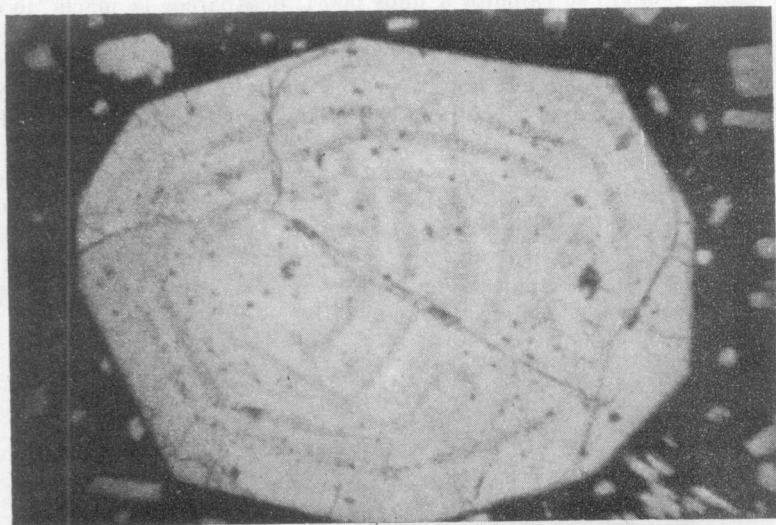
Pseudoisométrico
(Isométrico hacia los 600°C)

$$n_\alpha = 1,508$$

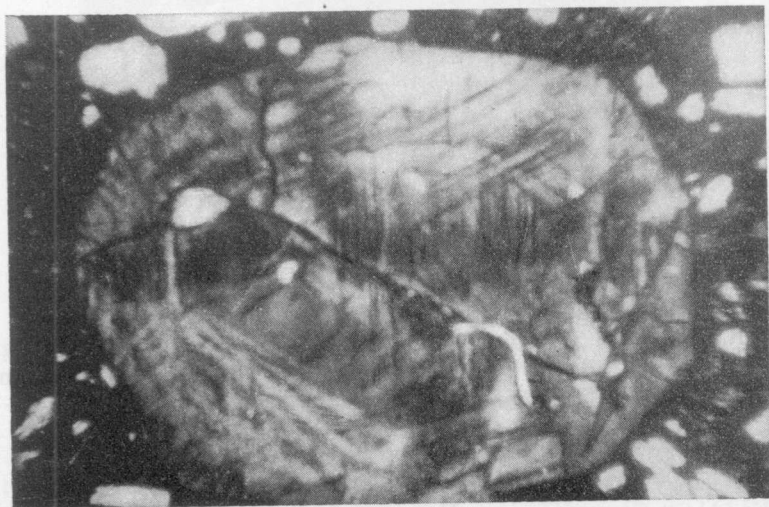
$$n_\gamma = 1,509$$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La leucita se presenta, prácticamente siempre, en cristales euhédricos. La forma cristalina es trapezoédrica $\{211\}$, que muestra secciones octogonales. Frecuentemente contiene inclusiones y éstas pueden estar dispuestas de una manera regular, ya radial o concéntricamente (Figura 8-12).



a



b

FIG. 13-56 *a, b*. ($\times 15$). (*a*) Leucita mostrando un desarrollo desigual del contorno trapezoidal. (*b*) El mismo cristal mostrando el maclado. ($\times$ nicoles).

Relieve. Perfecto, $n <$ bálsamo.

Birrefringencia. Muy débil, $n_y - n_x = 0,001$; se detecta mejor utilizando la placa de ensayo sensible al violeta. Los cristales diminutos pueden mostrar alguna birrefringencia.

Extinción. Con frecuencia es ondulante.

Maclado. Una disposición característica de la leucita es el complicado maclado polisintético en varias direcciones, que a menudo recuerda al de la

microclina. Cuando se calienta a unos 600°C desaparece la macla, lo cual prueba que el $KAl(SiO_3)_2$ es dimorfo.

Características distintivas. La leucita recuerda a la analcima, la cual muestra una birrefringencia débil, pero no tiene un maclado polisintético definitivo; la microclina tiene una birrefringencia mayor y un relieve más bajo.

Yacimiento. La leucita se presenta casi exclusivamente como fenocristales en las lavas (tefrita leucítica, leucitita, basalto leucítico, fonolita leucítica, etc.) y en las tobas correspondientes. Las rocas de aspecto leucítico son comunes en Italia pero raras en la mayoría de las demás partes del mundo. Una localidad destacada en los Estados Unidos de América para las rocas de aspecto leucítico es la Leucite Hills, Wyoming.

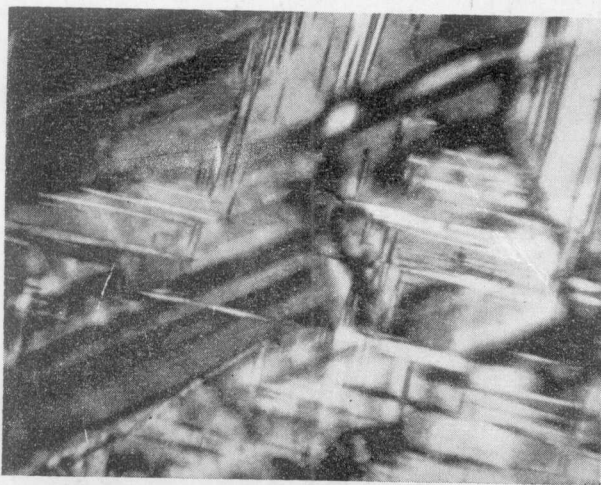


FIG. 13-57. ($\times 12$) Maclado en cruz en leucita. ($\times$ nicoles).

La leucita es extraordinariamente rara en las rocas ígneas de grano grueso (fergusita), en tales rocas se ha alterado en general a la llamada *pseudoleucita* (mezcla de ortoclasa y nefelina).

NEFELINA

$(Na, K)(Al, Si)_2O_4$
(Esencialmente $NaAlSiO_4$
con un exceso de SiO_2)

(En parte eleolita)

Hexagonal
(Subsistema hexagonal)

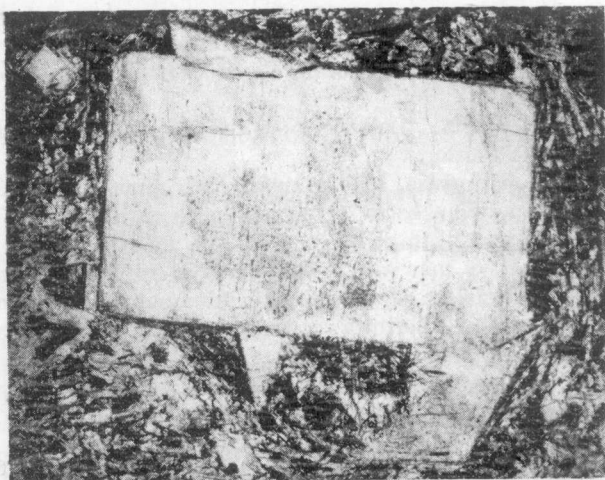
$$n_e = 1,527 \text{ a } 1,543$$

$$n_w = 1,530 \text{ a } 1,547$$

Opt. (—)

Color. Incolora en las secciones delgadas. Puede mostrar hileras de inclusiones.

Forma. La nefelina se presenta en cortos cristales prismáticos exago-

FIG. 13-58. ($\times 12$) Nefelina euhédrica en sección delgada.FIG. 13-59. ($\times 12$) Cristales anhédricos y euhédricos de nefelina en sección delgada. ($\times$ nicoles.)

nales (fenocristales) en las rocas compactas, y en anhédricos en las granulares. Los cristales tienen secciones rectangulares y hexagonales y a veces muestran estructura zonal (Figura 8-27).

Exfoliación. Imperfecta paralelamente a $\{10\bar{1}0\}$, aunque no siempre aparente.

Relieve. Muy bajo, n aproximadamente el mismo que el bálsamo, pero en general ligeramente más alto.

Birrefringencia. Débil, $n_o - n_e = 0,003$ a $0,004$; los colores de interferencia son gris del primer orden.

Extinción. Paralela para las secciones rectangulares. Las secciones basales permanecen oscuras entre nicoles cruzados.

Orientación. Las secciones rectangulares tienen la dirección del rayo rápido.

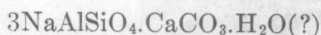
Figura de interferencia. Las secciones basales dan una figura uniáxica negativa sin ningún anillo.

Características distintivas. El mineral que puede confundirse más fácilmente con la nefelina es la ortoclasa, pero esta última tiene mejor exfoliación y es biáxica. También recuerda a la melilita y a la escapolita; la primera tiene relieve más alto y la última birrefringencia más fuerte.

Alteración. La nefelina se altera muy fácilmente a ceolita, sodalita, muscovita (gieseckita), cancrinita o hidronefelita (una variedad de la natrolina).

Yacimiento. La nefelina está confinada a las rocas ígneas ricas en sodio como las sienitas nefelíticas, nefelitas y algunos basaltos. No se asocia con cuarzo original.

CANCRINITA



Hexagonal

$$n_e = 1,496 \text{ a } 1,500$$

$$n_w = 1,507 \text{ a } 1,524$$

Opt. (-)

Color. De incolora, en las secciones delgadas, a amarilla muy pálida, en las que son algo más gruesas de lo normal.

Forma. Los cristales son generalmente anhédricos con tendencia a la elongación paralela al eje *c*.

Exfoliación. Buena exfoliación paralela a $\{10\bar{1}0\}$.

Relieve. Perfecto, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Variable desde bastante débil (0,007) a moderada (0,028). Los colores de interferencia varían desde el amarillo pálido del primer orden a la mitad del segundo orden.

Extinción. Paralela al contorno y a las trazas de la exfoliación. Algunas secciones son isotrópicas.

Orientación. Los límites del cristal y las trazas de exfoliación tienen la dirección del rayo rápido.

Figura de interferencia. Las secciones basales dan una figura de interferencia uniáxica negativa con tan solo uno o dos anillos.

Características distintivas. La cancrinita se distingue de los minerales similares por su birrefringencia más fuerte.

Alteración. A veces hay alteración a lo largo de las grietas y fracturas de exfoliación.

Minerales afines. La hidronefelina, una alteración ceolítica de la nefelina, es un mineral estrechamente afín.

Yacimiento. La cancrinita es un mineral raro, pero ampliamente distribuido, característico de las sienitas. Probablemente es un mineral deutérico, dado que, con frecuencia, rodea y aparentemente reemplaza a los feldespatos. Sus asociados son: plagioclasas (especialmente albita), microclina, nefelina y sodalita.

SODALITA



Isométrico

$$n = 1,483 \text{ a } 1,487$$

Color. En las secciones delgadas, de incoloro a gris, frecuentemente con bordes oscuros.

Forma. La sodalita se presenta en cristales euhédricos de seis lados (sección de dodecaedros) y en anhédricos.

Exfoliación. Imperfecta paralela a $\{110\}$, más fácilmente visible en los límites de la preparación.

Relieve. Perfecto, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Nula.

Extinción. Oscura entre nicoles cruzados.

Características distintivas. La sodalita recuerda a la analcima, pero esta última es generalmente secundaria. Puede ser necesario efectuar análisis microquímicos para confirmar la determinación de la sodalita.

Alteración. Las sodalitas se alteran fácilmente a ceolitas.

Minerales afines. La noseana (a veces llamada noselita) es un mineral afín que contiene el radical sulfato en lugar del cloruro.

Yacimiento. La sodalita está prácticamente confinada a las rocas ígneas ricas en sodio como las sienitas y traquitas. Es especialmente prominente en las rocas llamadas sienitas sodalíticas. Es un asociado habitual de la nefelina.

HAÜYNA



(En parte lazurita)

Isométrica



$$n = 1,496 \text{ a } 1,510$$

Con la haüyna, con frecuencia citada con la menos eufónica variante de haüynita, se incluye la lazurita, considerada como una simple haüyna de aspecto sulfúrico. (El nombre *lazurita* se descarta por su similitud a lazulita.)

Color. En las secciones delgadas, incolora, de gris, azul pálido, verde azulado a azul fuerte. De transparente a translúcido.

Forma. Generalmente se presenta la haüyna en cristales anhédricos a anhédricos y en agregados cristalinos. Tanto los dodecaedros como los octaedros son formas cristalinas habituales.

Exfoliación. Puede mostrar exfoliación imperfecta (dodecaédrica, como en la sodalita).

Relieve. Bastante bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Normalmente, la haüyna es isotrópica, pero puede mostrar una birrefringencia muy débil, alrededor de 0,004.

Características distintivas. La haüyna recuerda a la sodalita, pero su índice de refracción es más alto y su exfoliación menos prominente. La presencia de pirta es característica de la haüyna de aspecto sulfuroso del lapislázuli.

SODALITA



Isométrico

$$n = 1,483 \text{ a } 1,487$$

Color. En las secciones delgadas, de incoloro a gris, frecuentemente con bordes oscuros.

Forma. La sodalita se presenta en cristales euhédricos de seis lados (sección de dodecaedros) y en anédricos.

Exfoliación. Imperfecta paralela a $\{110\}$, más fácilmente visible en los límites de la preparación.

Relieve. Perfecto, $n <$ bálsamo.

Birrefringencia. Nula.

Extinción. Oscura entre nicoles cruzados.

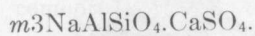
Características distintivas. La sodalita recuerda a la analcima, pero esta última es generalmente secundaria. Puede ser necesario efectuar análisis microquímicos para confirmar la determinación de la sodalita.

Alteración. Las sodalitas se alteran fácilmente a ceolitas.

Minerales afines. La noseana (a veces llamada noselita) es un mineral afín que contiene el radical sulfato en lugar del cloruro.

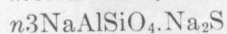
Yacimiento. La sodalita está prácticamente confinada a las rocas ígneas ricas en sodio como las sienitas y traquitas. Es especialmente prominente en las rocas llamadas sienitas sodalíticas. Es un asociado habitual de la nefelina.

HAÜYNA



(En parte lazurita)

Isométrica



$$n = 1,496 \text{ a } 1,510$$

Con la haiüna, con frecuencia citada con la menos eufónica variante de haiüynita, se incluye la lazurita, considerada como una simple haiüna de aspecto sulfúrico. (El nombre *lazurita* se descarta por su similitud a lazulita.)

Color. En las secciones delgadas, incolora, de gris, azul pálido, verde azulado a azul fuerte. De transparente a translúcido.

Forma. Generalmente se presenta la haiüna en cristales anhédricos a anédricos y en agregados cristalinos. Tanto los dodecaedros como los octaedros son formas cristalinas habituales.

Exfoliación. Puede mostrar exfoliación imperfecta (dodecaédrica, como en la sodalita).

Relieve. Bastante bajo, $n <$ bálsamo.

Birrefringencia. Normalmente, la haiüna es isotrópica, pero puede mostrar una birrefringencia muy débil, alrededor de 0,004.

Características distintivas. La haiüna recuerda a la sodalita, pero su índice de refracción es más alto y su exfoliación menos prominente. La presencia de piritas es característica de la haiüna de aspecto sulfuroso del lapislázuli.

Minerales afines. La noseana (o noselita), mineral del grupo de la sodalita, es similar a la haiüyna, pero contiene poco o ningún calcio.

Yacimiento. La haiüyna se presenta (1) en las rocas volcánicas ricas en sodio, como la fonolita, y (2) en las calizas contacto-metamórficas o gneisses diópsido-muscovíticos conocidos como lapislázuli. La pirita es un componente invariable del lapislázuli.

MELILITA

$m(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7)$

Tetragonal

$n(\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7)$

$n_e = 1,626$ a $1,629$

$n_w = 1,632$ a $1,634$

Opt. (—)



FIG. 13-60. ($\times 190$) Melilita (relieve perfecto) en nefelinita.

La melilita, aunque compleja en la composición, es esencialmente una mezcla isomorfa, según Buddington, de dos miembros finales: gehlenita (CaAl) y åkermanita (CaMg).

Color. De incolora a amarillo pálido en las secciones delgadas.

Forma. La forma habitual de la melilita son los cristales euhédricos de forma tabular que muestra secciones rectangulares. Frecuentemente tiene una «estructura en estaca» debida a líneas normales a la longitud de las secciones.

Exfoliación. Indistinta paralelo a $\{001\}$, donde aparece frecuentemente como una simple grieta en el centro de la sección.

Relieve. Marcadamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_w - n_e = 0,005$ a $0,006$; los colores de interferencia son gris de primer orden y frecuentemente azul Berlín anómalo.

Extinción. Paralela.

Orientación. Las secciones rectangulares tienen la dirección del rayo lento, dado que el mineral es tabular y ópticamente negativo.

Figura de interferencia. Las secciones basales dan una figura negativa uniáxica sin ningún anillo.

Características distintivas. Las secciones alargadas con birrefringencia débil y estructura en estaca son características. A veces recuerda a la nefelina, pero el relieve es marcadamente alto en lugar de bajo.

Minerales afines. Otros minerales del grupo de la melilita son la gehlenita $\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{SiO}_7$, que se presenta en las calizas metamórficas, y la åkermanita, $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$, que se encuentra en las escorias de los hornos y como un producto de laboratorio.

Alteración. Tiene lugar una alteración incipiente a lo largo de líneas normales a la longitud del cristal, lo cual da lugar a la llamada *estructura en estacas*. También puede alterarse a calcita y ceolita.

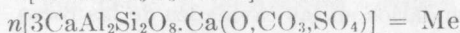
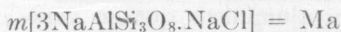
Yacimiento. La melilita se presenta en las rocas ígneas subsilíceas tales como las lavas leucíticas y nefelíticas y en los basaltos meliliticos (alnoitas). Los asociados habituales son la augita, el olivino, la nefelina, la leucita y la perovskita. Es también un constituyente importante de una roca ígnea alcalina de grano grueso llamada uncomphgrita en la región de San Juan, Colorado, U. S. A.

La melilita se encuentra en las escorias de los hornos y del clinker del cemento Portland.

GRUPO DE LA ESCAPOLITA

(Wernerita)

Tetragonal



$$n_e = 1,540 \text{ a } 1,571$$

$$n_w = 1,550 \text{ a } 1,607$$

Opt. (—)

La escapolita es una mezcla isomorfa de los dos miembros arriba indicados. El miembro sódico se llama *marialita*, y el cálcico, *meionita*. El nombre *wernerita* se aplica a ciertos miembros intermedios.

Debe notarse que la composición química es similar a la de las plagioclasas con la adición de NaCl , CaCO_3 , etc.

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. Los minerales del grupo de la escapolita se presentan generalmente en agregados columnares. Normalmente los cristales son bastantes largos.

Relieve. Bajo a perfecto, $n >$ bálsamo.

Exfoliación. Clara paralelo a $\{100\}$, menos clara paralelo a $\{110\}$. En la mayoría de las secciones, las trazas de exfoliación son paralelas a

la longitud; en las secciones a través de la exfoliación muestra dos direcciones perpendiculares.

Birrefringencia. De bastante débil a bastante fuerte, $n_w - n_e = 0,010$ a $0,036$. Los máximos colores de interferencia varían del amarillo del primer orden al violeta del segundo orden, según la composición química. La birrefringencia aumenta con el contenido en calcio o meionita.

Extinción. Paralela en la mayoría de las secciones. Las secciones basales permanecen oscuras entre nicoles cruzados.

Orientación. Las trazas de exfoliación y los lados mayores de los cristales son paralelos al rayo rápido.

Figura de interferencia. Las secciones basales dan una figura negativa uniáxica con unos pocos anillos. Las secciones longitudinales dan una «figura relampagueante».

Características distintivas. La escapolita es similar a la plagioclasa, pero carece de maclado, tiene extinción paralela y generalmente una birrefringencia más fuerte. Las variedades con birrefringencia más débil recuerdan a la cordierita, que es biáxica, o al cuarzo, que es ópticamente positivo. Sin análisis químicos es difícil determinar las diversas clases de escapolita, pero aumenta la birrefringencia con el contenido en cuarzo.

Alteración. Con frecuencia, la escapolita se altera a muscovita y a agregados fibrosos mal definidos.

Yacimiento. La presentación característica de la escapolita es en las calizas contacto-metamórficas, en las que está asociada frecuentemente con idocrasa, diópsido, granate, etc. También se presenta en ciertos gneis y en algunos gabros como una alteración de alta temperatura de la plagioclasa.

LAS CEOLITAS

Las ceolitas son hidrosilicatos sódico-cálcico-alumínicos que en general se presentan como minerales secundarios en las cavidades de las rocas ígneas subsilíceas, especialmente basaltos. Aunque variables en sus pro-

CEOLITAS

Mineral	Composición química	Sistema cristalino	n_a	n_β	n_γ
Analcima.....	Na	Isométrico		$n = 1,487$	
Heulandita....	Ca	Monoclínico	1,496-1,499	1,497-1,501	1,501-1,505
Estilbita.....	Ca, Na	Monoclínico	1,494-1,500	1,498-1,504	1,500-1,508
Chabasita.....	Ca, Na	Monoclínico	$n_a = 1,478-1,485$, $n_\gamma = 1,480-1,490$		
Natrolita.....	Na	Rómbico	1,473-1,480	1,476-1,482	1,485-1,493
Mesolita.....	Na, Ca	Monoclínico	1,505	1,505	1,506
Thomsonita....	Na, Ca	Rómbico	1,512-1,530	1,513-1,532	1,518-1,542
Escolécita.....	Ca	Monoclínico	1,512	1,519	1,519

propiedades ópticas, todos tienen índices de refracción bajos y una birrefringencia bastante débil. Los cuatro últimos de la lista son columnares o fibrosos, pero hay también otras ceolitas fibrosas como la ptilolita, mordenita y laumontita. Unas pocas ceolitas, como la harmotoma y la brewsterita, contienen bario.

**ANALCIMA**

(Analcita)

Isométrico

$$n = 1,487$$

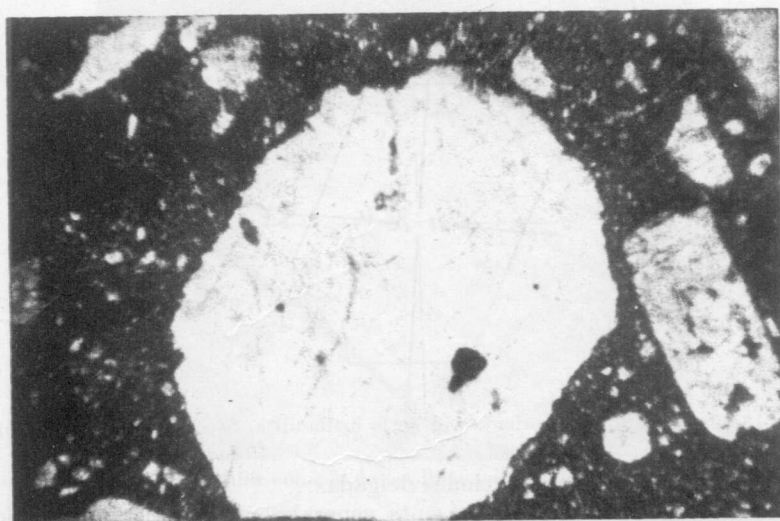


FIG. 13-61. ($\times 15$) Analcima euhédrica con un tosco perímetro trapezoidal.

Color. En las secciones delgadas, incolora.

Forma. La analcima se presenta en cristales iguales de disposición trapezoidal que dan secciones octogonales a redondeadas. (Figura 8-25). También puede presentarse en masas terrosas irregulares.

Exfoliación. Cúbica imperfecta, que aparece frecuentemente en las secciones como dos series de líneas perpendiculares.

Relieve. Moderado, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. La analcima o bien permanece oscura entre nicols cruzados o muestra una birrefringencia muy débil (no más de 0,002). Utilizando la placa, sensible al violeta, se detecta la doble refracción.

Características distintivas. La leucita es muy parecida a la analcima, pero tiene un índice de refracción ligeramente más alto (1,508 contra 1,487).

Yacimiento. La analcima es un mineral secundario en las cavidades y grietas de las rocas ígneas, asociada generalmente con otras ceolitas y con calcita. En algunas rocas ígneas, como las teschenitas y los basaltos de analcima, se presenta en masas terrosas como mineral deutérico.

HEULANDITA



Monoclínico

$$\angle\beta = 88^\circ 34'$$

$$n_\alpha = 1,496 \text{ a } 1,499$$

$$n_\beta = 1,497 \text{ a } 1,501$$

$$n_\gamma = 1,501 \text{ a } 1,505$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 48^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \gamma \text{ o } Z, c \wedge \beta \text{ o } Y = -6^\circ$$

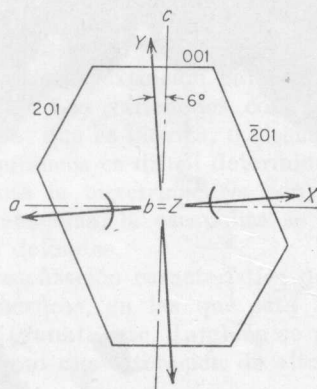


Fig. 13-62. Diagrama de orientación de la heulandita. Sección paralela a (010).

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. La heulandita se presenta generalmente en cristales definidos que son tabulares paralelamente a {010}.

Exfoliación. Perfecta en una dirección {010}.

Relieve. Bastante bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,007$; los colores de interferencia son superiores al blanco del primer orden. Las secciones paralelas a {010}, que incluyen las escamas exfoliadas, tienen una birrefringencia muy débil ya que $n_\beta - n_\alpha = 0,001$.

Extinción. Paralela a las trazas de exfoliación.

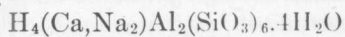
Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelas al rayo más rápido.

Figura de interferencia. La figura es biáxica positiva con un ángulo axial moderado. El plano axial es normal a {010}. Dispersión, $r < v$.

Características distintivas. La heulandita recuerda a la estilbita, pero tiene mejor exfoliación y es ópticamente positiva, en tanto, que la estilbita es negativa. Las secciones {010} del pinacoide de la heulandita son asimétricas y las secciones correspondientes de la estilbita simétricas, según el maclado.

Yacimiento. La heulandita es un mineral secundario en las grietas y cavidades de las rocas ígneas, especialmente en los basaltos. La estilbita es un asociado habitual.

ESTILBITA



Monoclínico
 $\angle \beta = 51^\circ$

$$n_\alpha = 1,494 \text{ a } 1,500$$

$$n_\beta = 1,498 \text{ a } 1,504$$

$$n_\gamma = 1,500 \text{ a } 1,508$$

$$2V = 33^\circ \pm; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, a \wedge \alpha \text{ o } X = +5^\circ$$

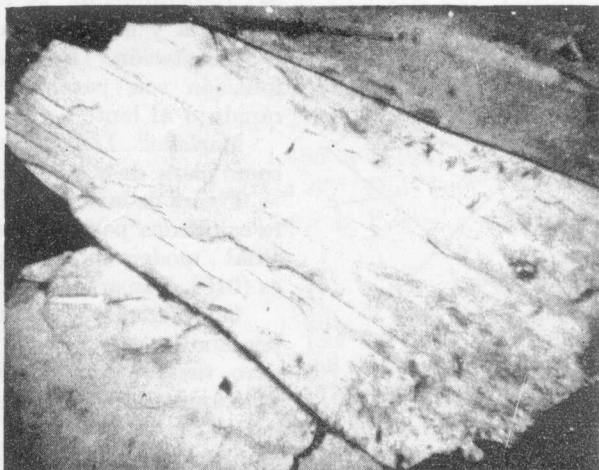


FIG. 13-63. ($\times 12$) Cristales cónicos de estilbita en disposición radial. ($\times$ nicoles.)



FIG. 13-64. ($\times 12$) Estilbita con perímetro euhédrico en una masa granular de estilbita. ($\times$ nicoles.)

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. Generalmente se presenta la estilbita en agregados como de grava.

Exfoliación. Buena en una dirección $\{010\}$.

Relieve. Bastante bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,006$ a $0,008$; los colores de interferencia son gris o blanco del primer orden.

Extinción. La extinción es paralela en las secciones que muestran buena exfoliación. El ángulo de extinción de las secciones con colores de

interferencia más altos es de unos 5° . Generalmente, la extinción es ondulada y no uniforme.

Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelas o al rayo rápido o al lento.

Maclado. Las maclas con $\{001\}$ como plano de macla son habituales.

Figura de interferencia. La figura es biáxica positiva con un ángulo axial moderado. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$.

Características distintivas. La heulandita es similar a la estilbita, pero tiene mejor exfoliación y es ópticamente positiva en vez de negativa.

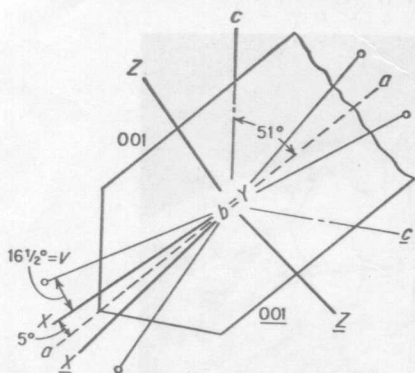
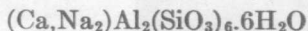


Fig. 13-65. Diagrama de orientación de la estilbita maclada. Sección paralela a $\{010\}$; plano de macla = $\{001\}$.

Yacimiento. La estilbita es un mineral secundario en las cavidades y grietas de las rocas ígneas. Los asociados habituales son calcita, heulandita y otras ceolitas. Se la ha encontrado como un mineral termal en los intersticios de la arenisca.

CHABACITA



Monoclínico
(Pseudorromboédrico)

$$n_\alpha = 1,478 \text{ a } 1,485$$

$$n_\gamma = 1,480 \text{ a } 1,490$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 32^\circ; \text{Opt. (+)}$$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. Generalmente se encuentra la chabacita en cristales romboédricos que se aproximan al cubo ($10\bar{1}1 : \bar{1}101 = 85^\circ 14'$).

Exfoliación. Romboédrica imperfecta, por consiguiente casi rectangular.

Relieve. Moderado, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Muy débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,002$ a $0,010$; los colores de interferencia son gris del primer orden.

Extinción. La extinción es simétrica respecto a los límites del cristal y a las trazas de exfoliación.

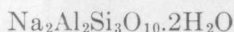
Figura de interferencia. La figura es o uniáxica o biáxica con un ángulo axial pequeño. El carácter óptico es positivo.

Características distintivas. La chabacita puede confundirse con las demás ceolitas, especialmente con la analcima.

Minerales afines. La gmelinita es una ceolita muy similar en sus propiedades a la chabacita, pero con índices de refracción ligeramente menores.

Yacimiento. La chabacita es un mineral secundario en las cavidades y grietas de las rocas ígneas, especialmente en los basaltos. Frecuentemente está asociada con calcita, prehnita y otras ceolitas.

NATROLITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,473 \text{ a } 1,480$$

$$n_\beta = 1,476 \text{ a } 1,482$$

$$n_\gamma = 1,485 \text{ a } 1,493$$

$$2V = 60^\circ \text{ a } 63^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

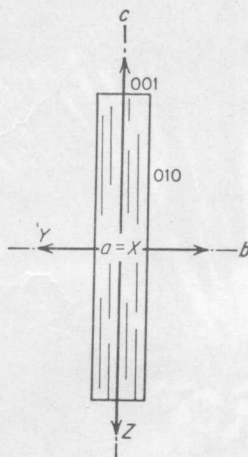


FIG. 13-66. Diagrama de orientación de la natrolita. Sección paralela a (100).

Color. En las secciones delgadas, incolora.

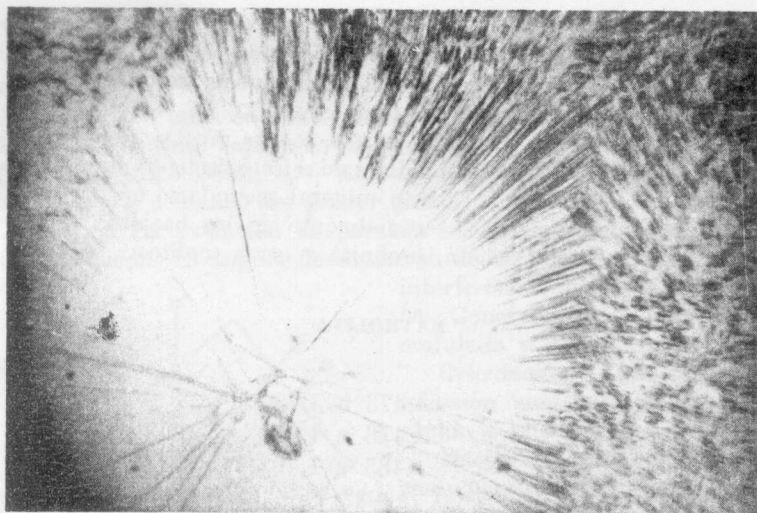
Forma. Generalmente se presenta la natrolita en largos cristales prismáticos o en agregados fibrosos que son más o menos radiales. Las secciones de los cristales son aproximadamente cuadradas. ($110 \wedge \bar{1}\bar{1}0 = 89^\circ$).

Exfoliación. Paralela a la longitud de los cristales $\{110\}$.

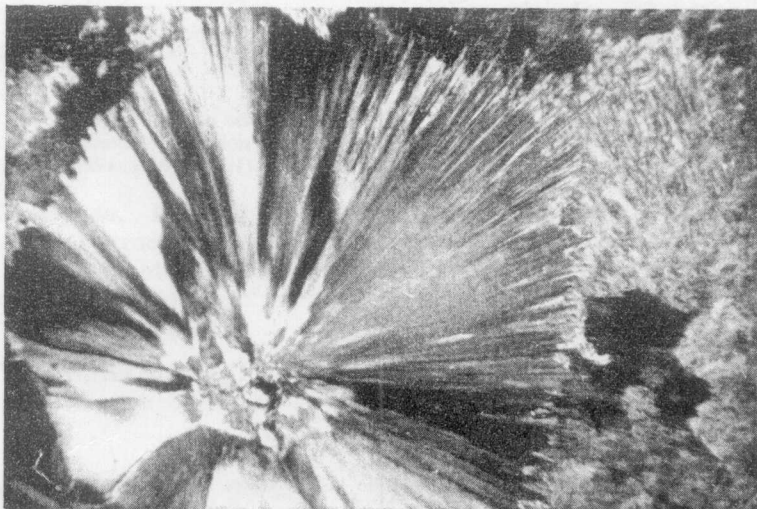
Relieve. Moderado, $n <$ bálamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,012 \text{ a } 0,013$; el máximo color de interferencia es el amarillo o el naranja de primer orden.

Extinción. Paralela en las secciones longitudinales, simétrica en la transversales.



a



b

FIG. 13-67 *a, b.* ($\times 15$) (*a*) Natrolita mostrando la agrupación acicular radial. (*b*) La misma sección entre nicoles cruzados.

Orientación. Los cristales tienen siempre la dirección del rayo lento.

Figura de interferencia: A causa del pequeño tamaño de los cristales, es difícil obtener una buena figura.

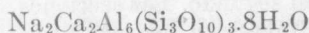
Características distintivas. La escolecita recuerda a la natrolita, pero tiene la dirección del rayo rápido en vez de la del lento y extinción oblicua. La thomsonita tiene extinción paralela, pero tiene la dirección del rayo lento en algunas secciones y del rápido en otras.

Yacimiento. La natrolita es un mineral secundario que se encuentra en las cavidades de las rocas ígneas, especialmente en el basalto. Los asociados son otras ceolitas y la calcita.



FIG. 13-68. ($\times 15$) Racimos de cristales de natrolita. ($\times$ nicoles.)

MESOLITA



Monoclínico

$$n_\alpha = 1,505$$

$$n_\beta = 1,505$$

$$n_\gamma = 1,506$$

$$2V = \text{ca. } 80^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$c \wedge \beta \text{ o } Y = 2^\circ \text{ a } 5^\circ$$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. Generalmente se presenta la mesolita en agregados fibrosos.

Exfoliación. Perfecta en dos direcciones: (110) y ($1\bar{1}0$).

Relieve. Moderado, $n <$ bálsamo.

Birrefringencia. Muy débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,001$; el máximo color de interferencia es el gris del primer orden.

Extinción. El ángulo de máxima extinción en las secciones longitudinales es muy pequeño, de 2° a 5° .

Orientación. Las fibras tienen en parte la dirección del rayo lento y en parte la del rápido.

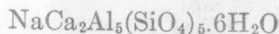
Maclado. La macla con {110} como plano de macla es universal, pero el maclado no es sobresaliente.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biáxica positiva

con un ángulo axial muy grande. La figura se sitúa a través de las fibras. Dispersión, $r > v$, fuerte.

Características distintivas. La mesolita es muy parecida a otras ceolitas fibrosas. En común con la thomsonita, las fibras tienen en parte la dirección del rayo rápido y en parte, la del lento. Puede distinguirse de la thomsonita por su ángulo de máxima extinción de 2° a 5° y por su mayor ángulo axial.

Yacimiento. La presentación de la mesolita es la misma que la de las demás ceolitas; en cavidades de los basaltos y rocas afines.



THOMSONITA

Rómbico

$$n_\alpha = 1,512 \text{ a } 1,530$$

$$n_\beta = 1,513 \text{ a } 1,532$$

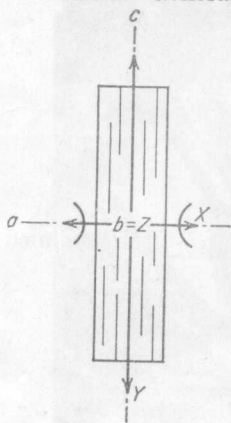
$$n_\gamma = 1,518 \text{ a } 1,542$$

$$2V = 44^\circ \text{ a } 55^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \gamma \text{ o } Z, c = \beta \text{ o } Y$$

Color. Incolora en las secciones delgadas.

Forma. Generalmente, la thomsonita se presenta en agregados columnares o fibrosos. Los cristales euhédricos son muy raros.



Exfoliación. En una dirección $\{010\}$.

Relieve. Bastante bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,006$ a $0,012$; los máximos colores de interferencia varían según las diferentes muestras del blanco del primer orden al azul del segundo. Las secciones transversales de las fibras muestran los más altos colores de interferencia para un espesor determinado.

Extinción. Paralela.

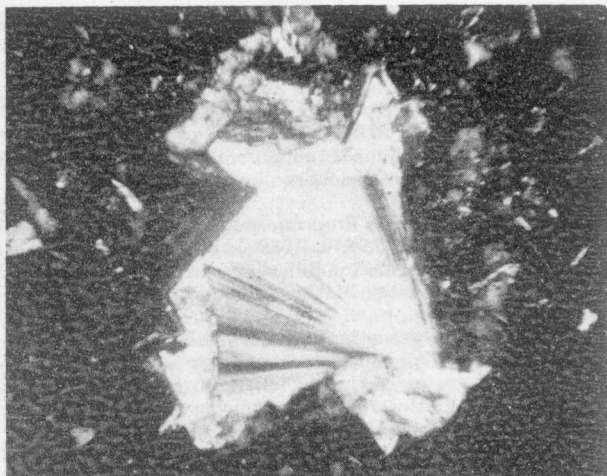
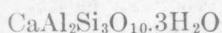
Orientación. Algunas de las fibras tienen la dirección del rayo rápido y de otras la del lento, ya que $c = Y$.

Figura de interferencia. La figura es biáxica positiva con un ángulo axial bastante grande. La figura se forma transversal a las fibras ya que el plano axial es $\{001\}$. Dispersión, $r > v$, fuerte.

Características distintivas. La thomsonita es muy parecida en su aspecto general y en propiedades ópticas a las otras ceolitas fibrosas. La natrolita tiene la dirección del rayo lento y la esolecita la del rápido, mientras que algunas de las fibras de la thomsonita la tienen del rápido y otras del lento. Lo mismo ocurre en la mesolita, pero en la mesolita el ángulo de máxima extinción es de unos 3° . El ángulo axial de la mesolita es mucho más grande que el de la thomsonita.

Yacimiento. La thomsonita se presenta como relleno de cavidades en las rocas volcánicas subsilíceas tales como los basaltos amigdaloides.

FIG. 13-69. Diagrama de orientación de la thomsonita. Sección paralela a (010) .

FIG. 13-70. ($\times 12$) Cristales radiales de thomsonita formando un grupo. ($\times$ nicoles.)

ESCOLECITA

Monoclónico
 $\angle\beta = 89^\circ 18'$

$$n_\alpha = 1,512$$

$$n_\beta = 1,519$$

$$n_\gamma = 1,519$$

$$2V = 36^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \gamma \text{ o } Z, c \wedge \alpha \text{ o } X = -15^\circ \text{ a } -18^\circ$$

Color. En las secciones delgadas, incolora.

Forma. La escolecita se presenta en agregados cristalinos con estructura de columnar a fibrosa.

Exfoliación. Marcada en dos direcciones $\{110\}$ a ángulo de unos 88° .

Relieve. Bajo, $n <$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,007$; los colores de interferencia son gris o blanco del primer orden.

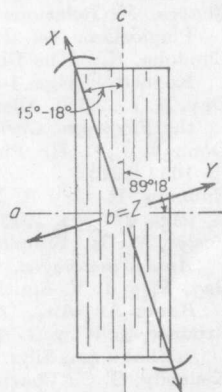
Extinción. El ángulo de extinción máxima en las secciones longitudinales es de -15° a -18° .

Orientación. Los cristales tienen siempre la dirección del rayo rápido.

Maclado. El maclado es habitual; el eje c $[001]$ es el eje de macla y el plano de composición es (100) .

Figura de interferencia. La figura es biáxica negativa con un ángulo axial moderado. El plano axial es normal a $\{010\}$. Dispersión, $r < v$, fuerte.

Características distintivas. La escolecita es muy semejante a la natrolita y demás ceolitas fibrosas raras. La extinción oblicua a unos 17° y el maclado son las características más distintivas de la escolecita.

FIG. 13-71. Diagrama de orientación de la escolecita. Sección paralela a (010) .

Yacimiento. La esolecita es un mineral secundario que se encuentra en las cavidades de las rocas ígneas, especialmente basaltos.

BIBLIOGRAFIA

Silice

- Brown, C. S., et. al.: The Growth and Properties of Large Crystals of Synthetic Quartz, *Mineral. Mag.*, vol. 29, págs. 858-874, 1952.
- Coes, L. J. Jr.: A New Dense Crystalline Silica, *Science*, vol. 118, págs. 131-132, 1953.
- Eitel, W.: «The Physical Chemistry of the Silicates», págs. 620-629, University of Chicago Press, Chicago, 1954.
- Hale, D. R.: The Properties of Synthetic Quartz Crystals and Their Growing Technique, *Brush Strokes*, Brush Development Company, Cleveland, 1952.
- : The Laboratory Growing of Quartz, *Science*, núm. 2781, págs. 393-394, 1948.
- Kerr, P. F. y E. Armstrong: Recorded Experiments in the Production of Quartz, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 54, supl. 1, págs. 1-34, 1943.
- Ramsdell, L. S.: The Crystallography of «Coesite», *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 975-982, 1955.
- Tuttle, O. F.: The Variable Inversion Temperature of Quartz as a Possible Geologic Thermometer, *Am. Mineralogist*, vol. 34, págs. 723-730, 1949.

Feldespatos

- Baskin, Y.: A Study of Authigenic Feldspars, *J. Geol.*, vol. 64, págs. 132-155, 1956.
- Bowen, N. L. y O. F. Tuttle: The System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - H_2O , *J. Geol.*, vol. 58, págs. 489-511, 1950.
- Bradley, O.: An Investigation of High-Temperature Optics in Some Naturally Occurring Plagioclases, *Mineral. Mag.*, vol. 30, págs. 227-245, 1953.
- Calkins, F. C.: A Decimal Grouping of the Plagioclases, *J. Geol.*, vol. 25, págs. 157-159, 1917.
- Chayes, F.: Relations between Composition and Indices of Refraction in Natural Plagioclase, *Am. J. Sci.*, Bowen Volume, págs. 85-105, 1952.
- Chudoba, K.: «The Determination of the Feldspars in Thin Section» (trad. por W. Q. Kennedy), págs. 1-61, Thomas Murby & Co., Londres, 1933.
- Day, A. L., E. T. Allen y J. P. Iddings: The Isomorphism and Thermal Properties of the Feldspars, *Carnegie Inst. Wash. Publ.* 31, págs. 1-95, 1902.
- Donnay, J. D. H.: Plagioclase Twinning, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 54, págs. 1645-1652, 1943.
- Emmons, R. C. y R. M. Gates: Plagioclase Twinning, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 54, págs. 287-304, 1943.
- Foster, W. R.: Simple Method for the Determination of the Plagioclase Feldspars, *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 179-185, 1955.
- Gay, P. y J. V. Smith: Phase Relations in the Plagioclase Feldspars: Composition Range An_0 - An_{20} , *Acta Cryst.*, vol. 8, págs. 64-65, 1955.
- Grunner, J. W. y G. A. Thiel: The Occurrence of Fine Grained Authigenic Feldspar in Shales and Silts, *Am. Mineralogist*, vol. 22, págs. 842-846, 1937.
- Kennedy, G. C.: Charts for Correlation of Optical Properties with Chemical Composition of Some Common Rock-forming Minerals, *Am. Mineralogist*, vol. 32, págs. 561-574, 1947.
- Köhler, A.: Recent Results of Investigations on the Feldspars, *J. Geol.*, vol. 57, páginas 592-599, 1949.
- Laves, F.: Artificial Preparation of Microcline, *J. Geol.*, vol. 59, págs. 511-512, 1951.
- : Phase Relations of the Alkali Feldspars, *J. Geol.*, vol. 60, págs. 436-450, 1952.
- Mackenzie, W. S.: The Effect of Temperature on the Symmetry of High-Temperature Soda-Rich Feldspars, *Am. J. Sci.*, Bowen Volume, págs. 319-342, 1952.

- y J. V. Smith: Orthoclase Microperthites, *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 707-732, 1955.
- y —: The Alkali Feldspars (tres artículos), *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 707-732 y 733-747, 1955, y vol. 41, págs. 405-427, 1956.
- Muir, I. D.: Transitional Optics of Some Andesines and Labradorites, *Mineral. Mag.*, vol. 30, págs. 545-568, 1955.
- Reinhard, M.: *Universaldrehtischmethoden*, Wepf & Cie., Basel, 1931.
- Schmidt, E.: Die Winkel der kristallographischen Achsen der Plagioklase, *Chem. Erde*, vol. 1, págs. 351-406, 1919.
- Smith, J. R. y H. S. Yoder: Variations in X-ray Powder Diffraction Patterns of Plagioclase Feldspars, *Am. Mineralogist*, vol. 41, págs. 632-647, 1956.
- Smith, J. V. y W. S. Mackenzie: The Alkali Feldspars—A Simple X-ray Technique, *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 733-747, 1955.
- Tröger, W. E.: Optische Eigenschaften und Bestimmung der Wichtingsten Gesteinbildenden Minerale (Feldspäte) (H. Freund, ed.) «Handbuch der Mikroskopie in der Technik», 1.^a ed. vol. 4, págs. 79-119, Umschau Verlag, Frankfurt, 1955.
- Turner, F. J.: Determination of Plagioclase with the Four-Axis Universal Stage, *Am. Mineralogist*, vol. 32, págs. 389-410, 1947.
- Tuttle, O. F.: Optical Studies on Alkali Feldspars, *Am. J. Sci.*, Bowen Volume, páginas 553-567, 1952.
- Yoder, H. S., D. B. Stewart y J. R. Smith: Feldspars, Annual Report of the Director, Geophys. Lab., *Carnegie Inst. Wash.*, n.º 1277, págs. 206-217, 1957.

CAPITULO 14

Silicatos: Estructuras en cadena (Inosilicatos)

GRUPO DEL PIROXENO	GRUPO DEL ANFIBOL	GRUPO DE LA EPIDOTA
Ortopiroxenos	Ortanfiboles	Rómbico
Enstatita	Antofilita	Zoisita
Hiperstena	Clinoanfíboles	Monoclínico
Clinopiroxenos	Cummingtonita	Clinozoisita
Diópsida	Grunerita	Epidota
Augita	Tremolita-	Piedmontita
Pigeonita	Actinolita	Allanita
Hedenbergita	Hornblenda	
Egirina-Augita	Lamprobolita	
Egirina	Riebeckita	
Jadeíta	Glaucofana	
Espodumena		

Los inosilicatos comprenden cierto número de minerales importantes en las rocas ígneas y metamórficas. En esta división estructural los grupos SiO_4 forman cadena continua $(\text{SiO}_3)_n$. Después de los tectosilicatos, los inosilicatos son los conjuntos más importantes que forman componentes de rocas.

GRUPO DEL PIROXENO

Los piroxenos son metasilicatos que con frecuencia son componentes de rocas primigenias (Figura 14-1). En todo el grupo se aprecia un predominio de la composición química y de las correspondientes propiedades ópticas. Los cristales presentan secciones transversales características (Figuras 8-30, 8-33). La exfoliación es paralela a $\{110\}$, y el ángulo $(110:1\bar{1}0)$ es aproximadamente de 93° . A veces aparecen separaciones paralelas a $\{001\}$ ó $\{100\}$. Es corriente encontrar la formación de maclas siendo el plano de macla $\{100\}$. Los minerales son todos biaxiales de ángulos axiales bastante grandes. El plano axial de los ejes ópticos es (010) .

Para identificar los miembros individuales se emplea los ángulos de máxima extinción en secciones longitudinales (Figura 14-1 y 14-2).

La augita y la pigeonita son con mucho los minerales más corrientes de este grupo. La jadeíta y la egirina se conocen con el nombre de *piroxenos sódicos*.

PIROXENOS

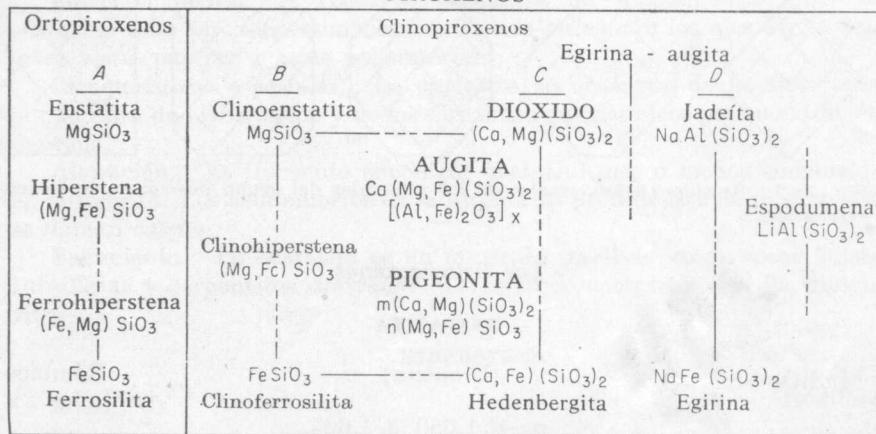


FIG. 14-1. Diagrama que representa las relaciones químicas aproximadas de los metasilicatos que componen el grupo piroxeno: A: series de la Enstatita-Ferrosilicato; B: series de la Clinoenstatita-Clinoferrosilicato; C: series de la Diópsida-Hedenbergita; D: Jadeíta-Egirina. La augita y la pigeonita tienen una composición intermedia. La espodumena representa una especie de los bordes del grupo piroxeno. La augita-egirina es intermedia.

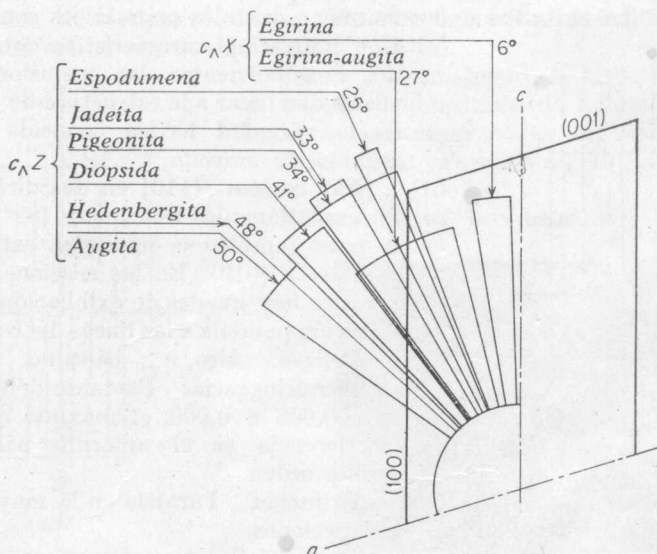


FIG. 14-2. Angulos de extinción del clinopiroxeno en (010).

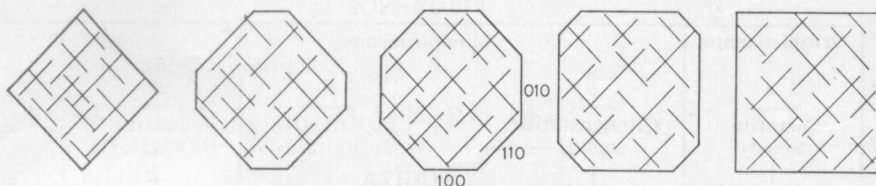


FIG. 14-3. Secciones transversales de los minerales del grupo piroxeno que tienen exfoliación.

Los Ortopiroxenos

ENSTATITA

MgSiO_3

(Broncita)

Rómbico

$$n_\alpha = 1,650 \text{ a } 1,665$$

$$n_\beta = 1,653 \text{ a } 1,670$$

$$n_\gamma = 1,658 \text{ a } 1,674$$

$$2V = 58^\circ \text{ a } 80^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y; c = \gamma \text{ o } Z$$

Color. De incolora a neutra en secciones delgadas. La broncita tiene pleocroísmo débil.

Forma. La enstatita se encuentra en cristales prismáticos con la sección transversal característica del piroxeno. Son corrientes las inclusiones, las cuales dan lugar a la estructura de *schiller*, de la variedad férrica conocida con el nombre de *broncita*.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos casi rectos (88° y 92°). A veces también se encuentra exfoliación paralela a $\{010\}$. En las secciones transversales hay huellas de exfoliación en una dirección paralela a las líneas del contorno.

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,008$ a $0,009$; el máximo color de interferencia es el amarillo pálido de primer orden.

Extinción. Paralela en la mayoría de las secciones.

Maclas. Se encuentran muy raras veces.

Orientación. Los cristales y las huellas de exfoliación son largo-lento (la mayor longitud del cristal es la del rayo lento).

Figura de interferencia. Es biaxial positiva de ángulo axial moderado a muy grande. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$, débil.

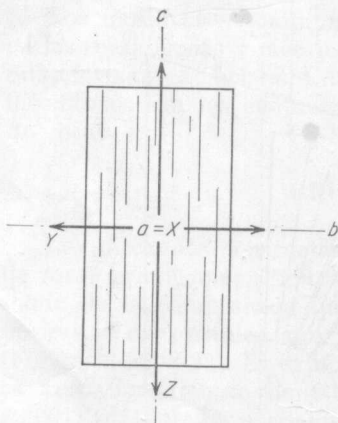


FIG. 14-4. Diagrama de orientación de la enstatita. Sección paralela a $\{100\}$.

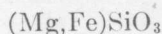
Entrecrecimiento. A veces se encuentra un acoplamiento entre la enstatita y un piroxeno monoclinico. Tienen en común los ejes c y, a primera vista, parecen maclas polisintéticas.

Características especiales. La enstatita se distingue de la hiperstena por su falta de pleocroísmo y de los piroxenos monoclinicos por su extinción paralela.

Alteración. Es frecuente encontrar enstatita más o menos convertida en antigorita. Los pseudomorfos de la antigorita procedentes de la enstatita se llaman *bastita*.

Yacimiento. La enstatita es un mineral característico de rocas ígneas subsilíceas y serpentitas derivadas. También se encuentran en los meteoritos.

HIPERSTENA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,673 \text{ a } 1,715$$

$$n_\beta = 1,678 \text{ a } 1,728$$

$$n_\gamma = 1,683 \text{ a } 1,731$$

$$2V = 63^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

Color. De neutro a verde pálido o rojo pálido en secciones delgadas. Pleocroico del verdoso al rojizo pálido. Son frecuentes las inclusiones y dan lugar a la estructura de schiller (Figura 8-15). *rojo* *Pleocroísmo*

Forma. Normalmente la hiperstena aparece en cristales subhédricos de hábito prismático. Las secciones transversales son casi cuadradas.

Exfoliación. Paralela a $\{110\}$; a veces paralela a $\{010\}$ y $\{100\}$.

Relieve. Alto, $n >$ bálamo.

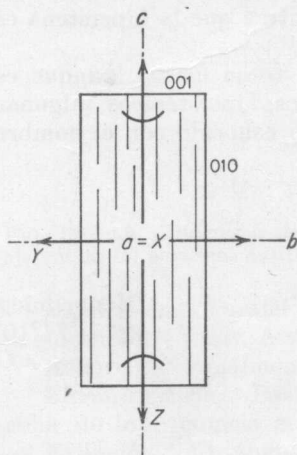


FIG. 14-5. Diagrama de orientación de la hiperstena. Sección paralela a $\{100\}$.



FIG. 14-6. ($\times 9$) Hiperstena (gris) en norita. El mineral brillante es plagioclasa y el negro, magnetita.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,010$ a $0,016$; el color de interferencia máximo es el amarilló a rojo de primer orden.

Extinción. Paralela en la mayoría de las secciones.

Orientación. Las huellas de exfoliación son largo-lento.

Figura de interferencia. La figura es biaxial negativa de ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r > v$, débil.

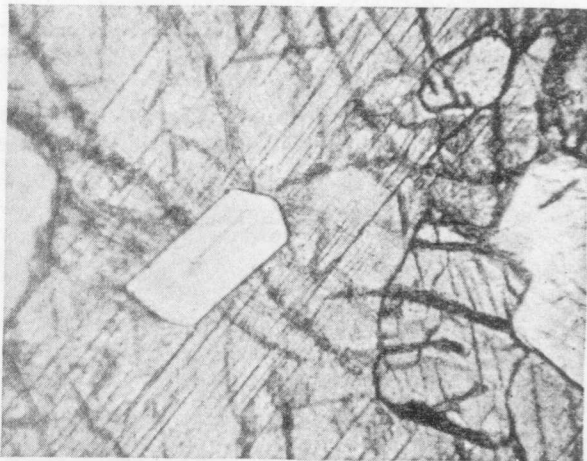


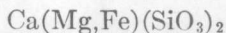
FIG. 14-7. ($\times 80$) Hiperstena con exfoliación. Se ve dentro un cristal de feldespato.

Características especiales. El pleocroísmo es la característica más señalada de la hiperstena. Se parece a algunas variedades de la andalucita, aunque este último mineral es largo-rápido, mientras que la hiperstena es largo-lento.

Yacimiento. La hiperstena se encuentra en rocas ígneas, aunque es especialmente característica de la norita, gabros hipersténicos, algunas andesitas y un granito hipersténico característico conocido con el nombre de charnockita.

Los Clinopiroxenos

DIOPSIDA



Monoclínico
 $\angle \beta = 74^\circ 10'$

$$n_\alpha = 1,650 \text{ a } 1,698$$

$$n_\beta = 1,657 \text{ a } 1,706$$

$$n_\gamma = 1,681 \text{ a } 1,727$$

$$2V = 58^\circ \text{ a } 60^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -37^\circ \text{ a } -44^\circ$$

Color. De incoloro, neutro, gris pálido a verde brillante en secciones delgadas.

Forma. Normalmente aparece en cristales subhédricos de hábito prismático corto. Las secciones transversales tienen cuatro u ocho lados.

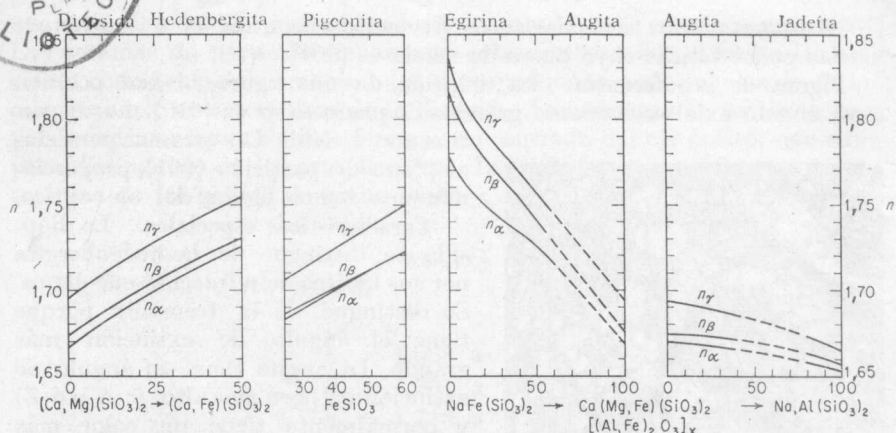


FIG. 14-8. Indices de refracción de los clinopiroxenos corrientes. Los componentes moleculares se presentan en un tanto por ciento de izquierda a derecha. (Ver Hess y Poldervaart.)

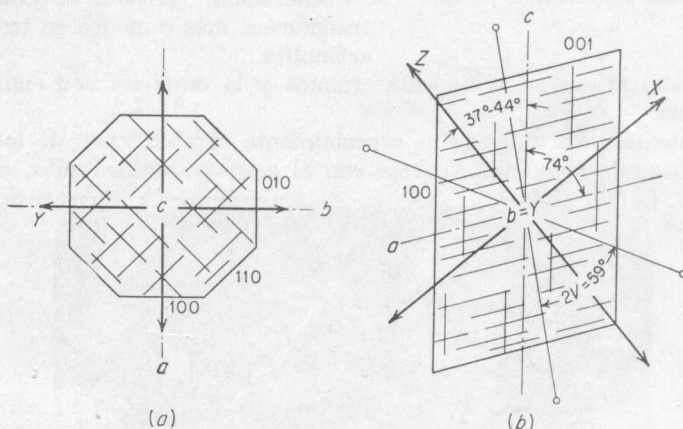


FIG. 14-9 a,b. Diagrama de orientación de la diópsida. Secciones: (a) normales al eje c y las (b) paralelas a (010) .

Exfoliación. Paralela a $\{110\}$ y así en dos direcciones que forman ángulos de 87° y 93° . A veces se desarrolla una exfoliación paralela a $\{001\}$.

Relieve. Normalmente alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,029$ a $0,031$; el máximo color de interferencia es aproximadamente superior al segundo grado.

Extinción. El ángulo máximo de extinción en secciones cortadas paralelamente al eje c varía de -37° a -44° . En las secciones transversales la extinción es simétrica a las huellas de exfoliación.

Orientación. La dirección de extinción que forma el ángulo más pequeño con las huellas de exfoliación en secciones longitudinales es la del rayo más lento.

Maclas. Son bastante frecuentes las maclas cuyo plano de macla es

{100}. Como maclas secundarias es frecuente encontrar la formación de maclas polisintéticas cuyo plano de macla es {001}.

Figura de interferencia. La diópsida da una figura biaxial positiva cuyo ángulo axial es bastante grande. El plano axial es {010}. La dispersión $r < v$, débil. Las escamas paralelas al plano de partición {001} proporcionan una buena figura del eje óptico.

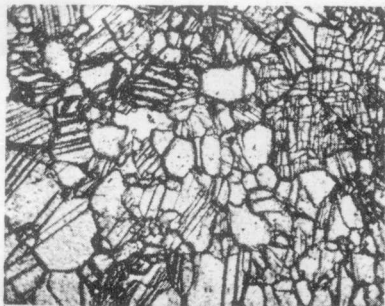


FIG. 14-10. ($\times 36$) Diópsida procedente de la zona metamórfica de contacto.

Características especiales. La diópsida se distingue de la hedenbergita por sus índices de refracción más bajos. Se distingue de la tremolita porque tiene el ángulo de extinción más grande. La augita tiene un ángulo de extinción un poco más alto. ($c \wedge \gamma$ ó Z) y normalmente tiene un color más oscuro. La pigeonita tiene un ángulo axial más pequeño.

Alteración. A veces la diópsida se transforma más o menos en tremolita-actinolita.

Minerales afines. La diópsida crómica y la omfacita son similares a la diópsida.

Yacimiento. La diópsida es especialmente característica de las zonas metamórficas de contacto. Aparece con el granate, wollastonita, idocrasa

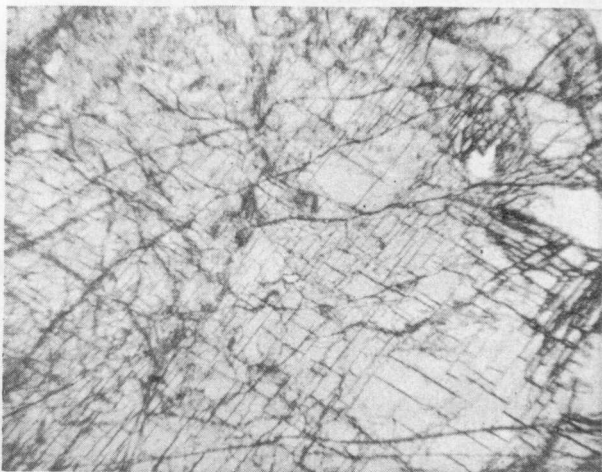


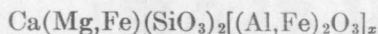
FIG. 14-11. ($\times 20$) Diópsida presentando una exfoliación paralela a (110). Las dos direcciones casi forman ángulo recto.

y otros silicatos. Se encuentra en algunos gneis y esquistos y en algunas rocas ígneas.

Diálaga. Este nombre se emplea para designar una variedad de la diópsida férrica con partición característica paralela a {100}. Se raya con

una hoja de cuchillo y tiene un brillo nacarado, más o menos metaloide. Las escamas de partición tienen una extinción paralela, aunque las secciones cortadas paralelamente a $\{010\}$ proporcionan unos ángulos de extinción grandes, característicos de la diópsida. Las escamas de partición proporcionan una figura de interferencia no centrada del eje óptico, que sirve para distinguirla de los ortopiroxenos. La diálaga es especialmente característica de los gabros de grano basto.

AUGITA



Monoclónico
 $\angle\beta = 74^\circ 10'$

$$n_\alpha = 1,688 \text{ a } 1,712$$

$$n_\beta = 1,701 \text{ a } 1,717$$

$$n_\gamma = 1,713 \text{ a } 1,737$$

$$2V = 58^\circ \text{ a } 62^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -45^\circ \text{ a } -54^\circ$$

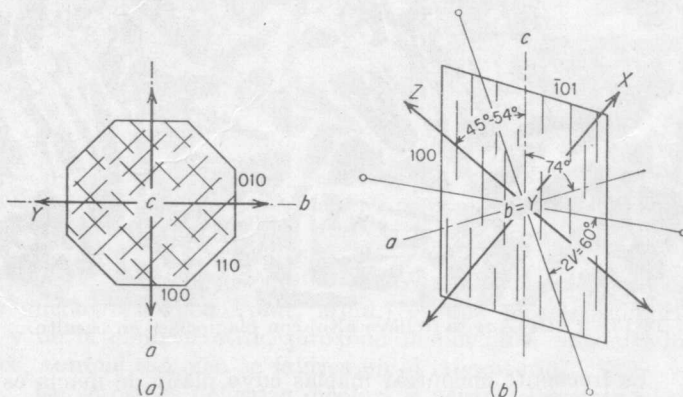


Fig. 14-12 a, b. Diagramas de orientación de la augita. Las secciones (a) son normales al eje c, y las (b) paralelas a (010).

Color. Casi incolora, neutra, verdoso pálido o castaño púrpura pálido en secciones delgadas. A veces hay una estructura zonal. No suele haber pleocroísmo y cuando lo hay es débil; se ve mejor en las secciones (100).

Forma. La augita corrientemente aparece en cortos cristales prismáticos con secciones transversales de cuatro u ocho lados.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos de 87° y 93° . En las secciones longitudinales las trazas de exfoliación están en una dirección. La diálaga tiene una partición particular paralela a $\{100\}$.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,021 \text{ a } 0,025$. El máximo color de interferencia está aproximadamente en el centro del segundo orden. Las secciones paralelas a $\{100\}$ tienen colores de primer orden bajos.

Extinción. El máximo ángulo de extinción de las secciones longitudinales varía de 36° a 45° . Estas secciones tienen los máximos colores de

interferencia. Algunas variedades tienen extinción ondulada concéntrica conocida con el nombre de estructura *albardillada* (hourglass). Las secciones transversales presentan extinción paralela o simétrica según predomine $\{100\}$, $\{010\}$ ó $\{110\}$.

Orientación. El rayo rápido coincide con la dirección de extinción que forma el ángulo más pequeño con las trazas de exfoliación.

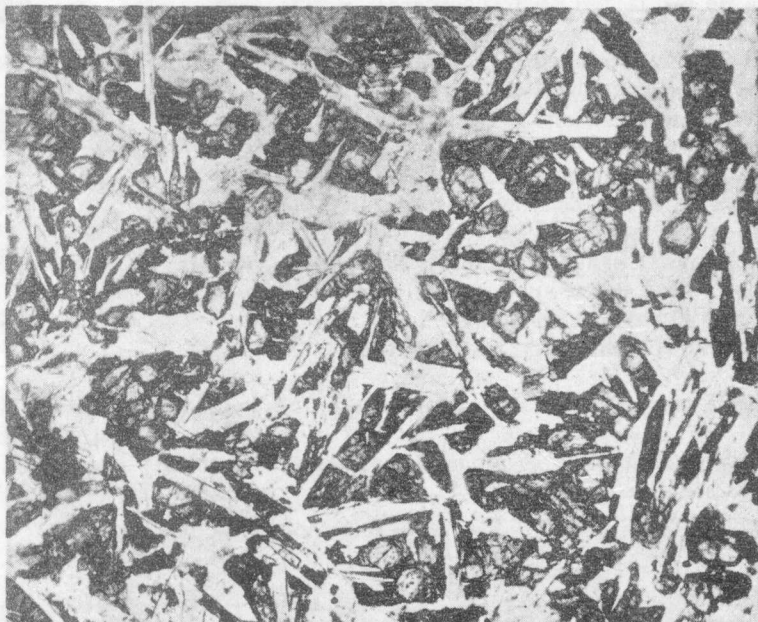


FIG. 14-13. ($\times 24$) Augita (relieve alto) con plagioclasea en basalto.

Maclas. Es frecuente encontrar maclas cuyo plano de macla es $\{100\}$; éstas aparecen a veces como grietas de macla. También hay maclas polisintéticas cuyo plano de macla es $\{001\}$. Cuando se combinan las maclas $\{100\}$ con las polisintéticas $\{001\}$, se forma lo que se llama estructura de *espiguilla*.

Figura de interferencia. La figura es biaxial positiva con un ángulo bastante grande. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r > v$.

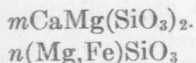
Características especiales. Con frecuencia es difícil distinguir la augita de la diópsida. El ángulo de extinción $c \wedge \gamma$ o Z es un poco más pequeño, y en la diópsida el color es más brillante.

Alteración. La augita se transforma en dos productos: (1) la hornblenda formada en un estado magmático posterior y en posición paralela con la augita; (2) la uralita o actinolita-tremolita secundaria, formada por una alteración hidrotermal.

Yacimiento. La augita es un mineral muy corriente en rocas ígneas subsilíceas tales como las auganitas, gabros, basaltos, gabros olivínicos, limburgitas y peridotitas. Localmente se encuentra en gneis y granulitas.

La augita es también un mineral detrítico corriente.

PIGEONITA



(Augita-Enstatita)

Monoclínico

 $\angle\beta = (?)$

$$n_\alpha = 1,680 \text{ a } 1,718$$

$$n_\beta = 1,698 \text{ a } 1,725$$

$$n_\gamma = 1,719 \text{ a } 1,744$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 40^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$b = \beta, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -22^\circ \text{ a } -45^\circ$$

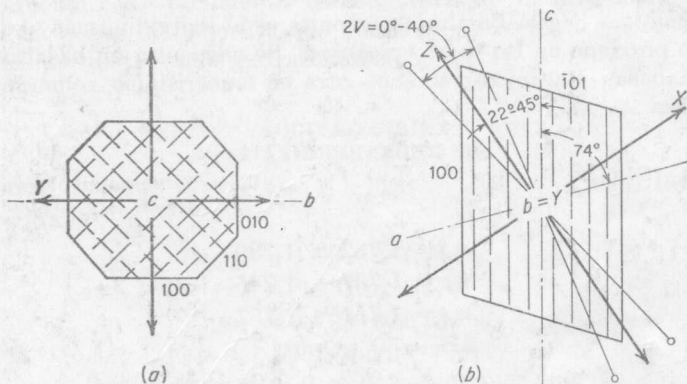


FIG. 14-14 a, b. Diagrama de orientación de la pigeonita. Las secciones (a) normales al eje c , y las (b) paralelas a (010) .

La pigeonita (llamada así por A. N. Winchell en recuerdo del lugar donde se encontró Pigeon Point, Minn.) es una mezcla isomorfa de la diópsida y de la clinoenstatita, piroxeno monoclínico encontrado en los meteoritos, aunque también se fabrica en el laboratorio.

Color. En secciones delgadas incolora o neutra. Presenta pleocroísmo débil.

Forma. La pigeonita aparece normalmente en cristales anhédricos.

Exfoliación. En dos direcciones $\{110\}$ formando ángulos de aproximadamente 87° y 93° .

Relieve. Medianamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,021$ a $0,033$; así el máximo color de interferencia varía del segundo orden inferior al superior.

Extinción. El ángulo máximo de extinción varía de 22° a 45° . Aumenta cuando lo hace el contenido de clinoenstatita.

Orientación. El rayo lento, en las secciones longitudinales, coincide con la dirección de extinción que forma el ángulo más pequeño con las trazas de exfoliación.

Maclas. Característica de la pigeonita es la macla polisintética cuyo plano de macla es (100) .

Figura de interferencia. La figura de interferencia es positiva biaxial con un ángulo axial de bastante pequeño a muy pequeño. El plano axial

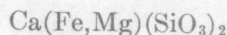
es corrientemente (010), aunque en aquellas variedades cuyo contenido de calcio es bajo, el plano axial es normal a (010). Para una cierta composición la pigeonita deberá tener $2V = 0^\circ$; Hallimond encontró en Mull una pigeonita uniaxial.

Características especiales. La augita es el único mineral que puede llegar a confundirse con la pigeonita, pero ésta tiene el ángulo axial más pequeño.

Minerales afines. La clinoenstatita, último individuo de calcio-libre de la serie de la pigeonita, es un producto que se puede fabricar en el laboratorio (Geophysical Laboratory), aunque se encuentra en forma de mineral en los meteoritos.

Yacimiento. Según Barth, la pigeonita es el individuo más abundante del grupo piroxeno en las rocas volcánicas. Se encuentra en basaltos, doleritas y diabasas. Raramente se encuentra en fenocristales, soliendo existir en la masa.

HEDENBERGITA



Monoclínico

$$\angle\beta = 74^\circ 30'$$

$$n_\alpha = 1,732 \text{ a } 1,739$$

$$n_\beta = 1,737 \text{ a } 1,745$$

$$n_\gamma = 1,751 \text{ a } 1,757$$

$$2V = 60^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -48^\circ$$

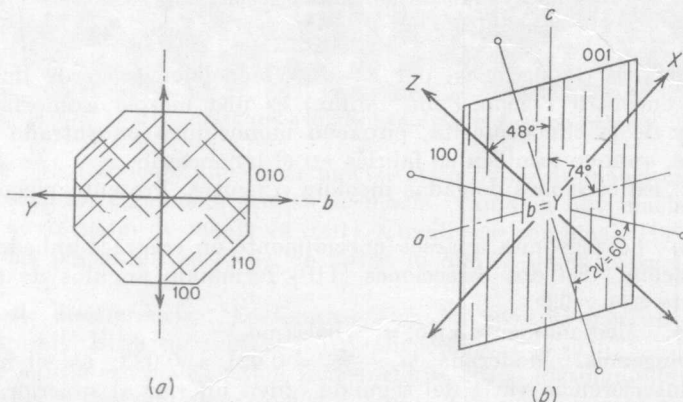


FIG. 14-15 a, b. Diagramas de orientación de la hedenbergita. Las secciones (a) son normales al eje c, y las (b) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas de neutro a verdoso.

Forma. La hedenbergita, normalmente, aparece en agregados columnares.

Exfoliación. {110} en dos direcciones formando ángulos de 87° y 93° (como los otros piroxenos).

Relieve. Muy alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,018$ a $0,019$; el máximo color de interferencia es aproximadamente violeta de primer orden.

Extinción. El máximo ángulo de extinción en secciones longitudinales es aproximadamente 42° ($c \wedge \alpha$ o X).

Orientación. La dirección de extinción, que forma un ángulo más pequeño con las huellas de exfoliación, es el rayo más rápido.

Figura de interferencia. La figura es positiva biaxial con un ángulo axial bastante grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, débil.

Características especiales. La hedenbergita se diferencia de la diópsida y de la augita por los índices más elevados de refracción.

Yacimiento. El yacimiento característico de la hedenbergita se encuentra en zonas metamórficas de contacto. A menudo va asociado con minerales de hierro como ganga silicatada.

AUGITA-EGIRINA

Composición química intermedia
entre la egirina y la augita

Monoclínico

$$n_\alpha = 1,680 \text{ a } 1,745$$

$$n_\beta = 1,687 \text{ a } 1,770$$

$$n_\gamma = 1,709 \text{ a } 1,782$$

$$2V = \text{ca. } 60^\circ; \text{Opt. (+) o (-)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = -15^\circ \text{ a } -38^\circ$$

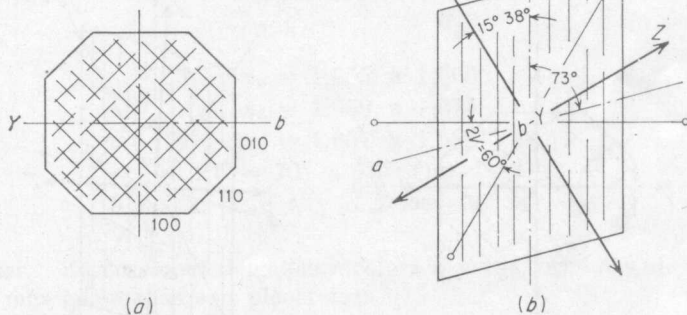


FIG. 14-16 a, b. Diagramas de orientación de la egirina-augita. Las secciones (a) son normales al eje c , y las (b) paralelas a (010) .

Color. En secciones delgadas, verde. Pleocroico desde el amarillo-verde (β o Y) hasta el verdoso (α o X , γ o Z).

Forma. La augita-egirina aparece corrientemente en cubos euhédricos de hábito prismático corto con $\{100\}$ como forma dominante.

Exfoliación. En dos direcciones $\{110\}$ formando ángulos de 87° y 93° .

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,029$ a $0,037$; los colores de interferencia oscilan hasta la mitad del segundo orden.

Extinción. En las secciones longitudinales la máxima extinción varía de -15° a -38° .

Orientación. En las secciones de ángulo de máxima extinción, la dirección de extinción más cercana al eje c es el rayo más rápido.

Maclas. Son corrientes las maclas cuyo plano de macla es $\{100\}$.

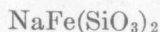
Figura de interferencia. Es positiva biaxial con un ángulo biaxial bastante grande.

El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. La augita-egirina se parece a la egirina, pero se la puede distinguir por sus ángulos de extinción más grandes. Se la distingue con mayor facilidad de las variedades verdes de la hornblenda por las secciones transversales del piroxeno y la exfoliación.

Yacimiento. La augita-egirina aparece en rocas ígneas ricas en sodio, tales como las sienitas, traquitas, sienitas nefelínicas, fonolitas, etc.

EGIRINA



Monoclínico

$$\angle\beta = 73^\circ 9'$$

$$n_\alpha = 1,745 \text{ a } 1,777$$

$$n_\beta = 1,770 \text{ a } 1,823$$

$$n_\gamma = 1,782 \text{ a } 1,836$$

$$2V = 60^\circ \text{ a } 66^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = -2 \text{ a } -10^\circ$$

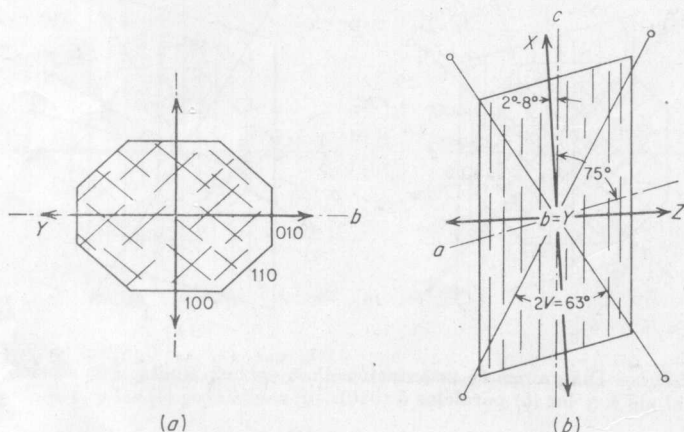


FIG. 14-17 *a, b*. Diagramas de orientación de la egirina. Las secciones (*a*) son normales al eje c , y las (*b*) paralelas a (010) .

Color. En secciones delgadas verde. Fuertemente pleocroico. Colores axiales; α o X , verde oscuro; β o Y , verde brillante; γ o Z , amarillo.

Forma. La egirina se encuentra corrientemente en largos cristales prismáticos, a menudo en forma de hoja con la típica sección transversal

de los piroxenos de cuatro a ocho lados aunque con frecuencia está mejor desarrollado el $\{100\}$ que el $\{010\}$.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos de 87° y 93° .

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Fuerte a muy fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,037$ a $0,059$; los colores de interferencia deben ser de tercero o cuarto orden, aunque es difícil determinarlo porque el color del mineral a veces enmascara los colores de interferencia.

Extinción. El ángulo máximo de extinción en secciones longitudinales es muy pequeño (de 2° a 10°).

Orientación. Los cristales son siempre largo-rápido.

Figura de interferencia. La figura es negativa biaxial de ángulo axial bastante grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. La egirina se parece a algunos de los anfíboles, aunque se distingue de ellos por su máximo ángulo de extinción y el carácter largo-rápido. Todos los otros piroxenos monoclinicos tienen ángulos de extinción más grandes.

Minerales afines. La acmita es un piroxeno muy relacionado con la egirina. Se diferencia de él por su color más castaño.

Yacimiento. La egirina, aunque es un mineral bastante raro, es característica de las rocas ígneas ricas en sosa, tales como la sienita nefelínica, fonolita, sienita, traquita, granito sódico, aplita sódica, etc. En estas rocas se encuentra como recrecimiento en criatales de augita-egirina.

JADEITA

$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$

(Jade en parte)

Monoclinico
 $\angle\beta = 72^\circ 44\frac{1}{2}'$

$n_\alpha = 1,655$ a $1,666$

$n_\beta = 1,659$ a $1,674$

$n_\gamma = 1,667$ a $1,688$

$2V = 70^\circ$ a 75° ; Opt. (+)

$b = \beta$ o Y , $c \wedge \gamma$ o $Z = -30^\circ$ a -36°

Color. En secciones delgadas incolora a verde. Algunas de las variedades más coloreadas son pleocroicas.

Forma. La jadeíta normalmente aparece en agregados granulares a columnares o algo fibrosos. La textura varía de grano fino a basto. Son muy raros los cristales euhédricos.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos de aproximadamente 87° a 93° .

Relieve. Bastante alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,012$ a $0,023$; los máximos colores de interferencia son de segundo orden.

Extinción. El máximo ángulo de extinción en las secciones longitudinales varía de 33° a 44° .

Orientación. La dirección de extinción más cercana al eje c es el rayo más lento.

Maclas. A veces se encuentran maclas cuyo plano de macla sea $\{100\}$.

Figura de interferencia. La figura es positiva biaxial con un ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$. Dispersión, $r < v$.

Características especiales. La jadeíta se distingue de la nefrita (variedad de actinolita-tremolita) por su ángulo de extinción más grande y sus índices de refracción más elevados. Se distingue de la diópsida por sus máximos ángulos de extinción más pequeños y su hábito columnar.

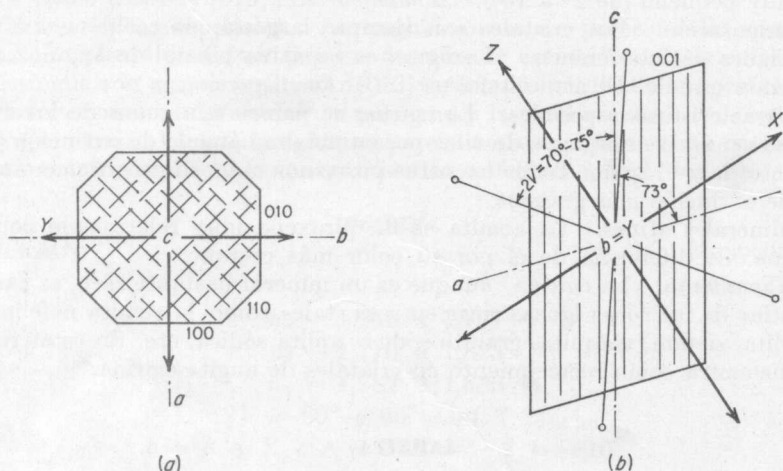


FIG. 14-18 a, b. Diagramas de orientación de la jadeíta. Las secciones (a) son normales al eje c , y las (b) paralelas a (010) .

Minerales afines. La cloromelanita es una jadeíta negra verdosa que lleva hierro y en secciones delgadas es fuertemente pleocroica.

Alteración. A veces se ve que la jadeíta se ha transformado en actinolita-tremolita.

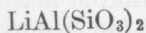
Yacimiento. La jadeíta se encuentra exclusivamente en roca de jadeíta (jadeitita), que es una roca metamórfica de un solo mineral, formada, según Grubermann, en la zona profunda de metamorfismo. La albíta es uno de los asociados característicos. No se conoce muy bien el origen de la jadeíta; se encuentra en solo unas pocas localidades de Burma superior, al este del Turquestán, al norte de Italia y Guatemala.

Jade. El nombre de *jade* (en chino, Yu) es un término general que se emplea para designar dos minerales diferentes: (1) la nefrita, variedad tenaz, compacta de la actinolita-tremolita, y (2), jadeíta, individuo independiente del grupo del piroxeno, incluyendo su variedad con hierro, llamada cloromelanita.

Los minerales como el jade o *pseudo-jade* abarcan la bowenita, serpentina tenaz y dura; la californita, variedad compacta de la idocrasa; el «jade de Sud Africa», grosularita masiva verde; el «jade de Oregón», variedad tam-

bién de la grossularita; «jade de Styrian», especie de pseudofita, clorita compacta; así como también la sillimanita, pectolita y wollastonita.

ESPODUMENA



Monoclínico
 $\angle\beta = 69^\circ 40'$

$$n_\alpha = 1,651 \text{ a } 1,668$$

$$n_\beta = 1,665 \text{ a } 1,675$$

$$n_\gamma = 1,677 \text{ a } 1,681$$

$$2V = 54^\circ \text{ a } 69^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -23^\circ \text{ a } -27^\circ$$

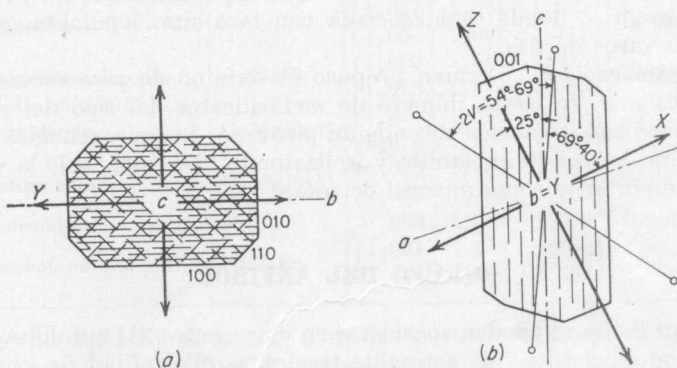


Fig. 14-19 a, b. Diagramas de orientación de la espodumena. Las secciones (a) son normales al eje c, y las (b) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas incoloro. Algunas variedades tienen color (violáceo en la kunzita, verdoso en la hiddenita) si se miran en secciones gruesas y son pleocroicas.

Forma. La espodumena se encuentra en cristales euhédricos tabulares paralelos a $\{100\}$ y alargados en la dirección de $\{001\}$. Los cristales en general tienden a ser anchos, y a veces llegan al orden a varios milímetros.

Exfoliación. Perfectamente paralela a $\{110\}$ ($110 \wedge 1\bar{1}0 = 93^\circ$). Separación paralela a $\{100\}$, la cual es con frecuencia más dominante que la exfoliación.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,013$ a $0,027$; el máximo color de interferencia varía del primer orden superior al segundo orden medio.

Extinción. El máximo ángulo de extinción en secciones longitudinales varía de 23° a 27° . En secciones transversales es paralelo o simétrico. Las secciones orientadas cortadas en sentido paralelo a la partición según (100) tienen extinción paralela.

Orientación. La dirección de extinción que forma el ángulo más pequeño con las huellas de exfoliación es la dirección del rayo más lento.

Maclas. Se conocen maclas cuyo plano de macla es $\{100\}$.

Figura de interferencia. La espodumena forma una figura de interferencia biaxial positiva con un ángulo axial bastante grande. El plano axial es (010). La dispersión, $r < v$.

Características especiales. La espodumena se parece a la diópsida en el aspecto general, pero se distingue de ella por su ángulo de extinción más pequeño ($c \wedge \gamma = \text{ca. } 25^\circ$) y frecuentemente por su partición tan manifiesta (100).

Alteración. A veces la espodumena pasa a una mezcla de albita y muscovita que se conoce con el nombre de cymatolita. En este caso la muscovita es una alteración de la eucryptita (hexagonal, LiAlSiO_4).

Se sabe que la kunzita se transforma en cookeita, silicato de aluminio y litio relacionado con la lepidolita.

Yacimiento. El típico yacimiento de la espodumena es las pegmatitas de granito lítico donde está asociada con la albita, lepidolita, elbaita y minerales raros de litio.

Los piroxenoides. Berman propuso el término de *piroxenoides* con el fin de designar un cierto número de metasilicatos del tipo del piroxeno, pero que no son isomorfos con ningún piroxeno. Los piroxenoides abarcan la rodonita, bustamita, pectolita y wollastonita. De éstas, solo la wollastonita es importante como mineral de rocas.

GRUPO DEL ANFIBOL

Los anfíboles se pueden considerar en cinco series: (1) antofilita, (2) grunerita-cummingtonita, (3) actinolita-tremolita, (4) anfíbol de aluminio y (5) anfíbol sódico.

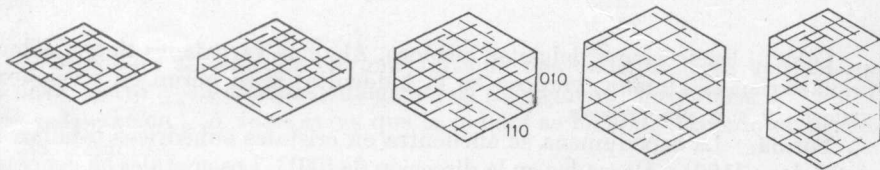


FIG. 14-20. Las secciones transversales de los minerales pertenecientes al grupo del anfíbol, mostrando exfoliación.

La serie de antofilita es rómbica mientras que las otras son monoclinicas. La composición RSiO_3 es fundamental para el grupo con $\text{R} = \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}$. Las series de antofilita, cummingtonita-grunerita y actinolita-tremolita se componen principalmente de una variación del contenido de RSiO_3 , mientras que los anfíboles de aluminio y sodio contienen Al y Na además de la composición de base. Las relaciones químicas generales se indican más abajo.

Los anfíboles tienen secciones transversales de rómbicas a pseudohexagonales, y una exfoliación perfecta paralela a $\{110\}$ formando ángulos de aproximadamente 56° y 124° , como se ve en la Figura 14-20. Son bastante

comunes las maclas paralelas a {100}. Exceptuando la crossita, en todos los anfíboles el plano de los ejes ópticos es {010}.

GRUPO DEL ANFÍBOL

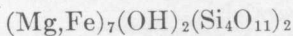
Mineral	Composi- ción química	n_α	n_β	n_γ	2V	c: γ o Z
Róm- bico {	Antofilita.....	MgFe	{ 1,598 1,652	{ 1,615 1,662	{ 1,623 1,676	{ 70-90° 0°
	Cummingtonita.....	FeMg	{ 1,639 1,657	{ 1,645 1,669	{ 1,664 1,686	{ 68-87° 15-20°
Monoclinico {	Grunerita.....	Fe	{ 1,657 1,663	{ 1,684 1,697	{ 1,699 1,717	{ 79-86° 10-14°
	Tremolita-actinolita (inc. nefrita).....	CaMgFe	{ 1,600 1,628	{ 1,613 1,644	{ 1,625 1,655	{ 79-85° 10-20°
	Hornblenda.....	CaMgFeAl	{ 1,614 1,675	{ 1,618 1,691	{ 1,633 1,701	{ 52-85° 12-30°
	Lamprobolita.....	CaMgFeAl	{ 1,670 1,692	{ 1,683 1,730	{ 1,693 1,760	{ 64-80° 0-10°
	Riebeckita.....	NaFe	{ 1,693 1,621	{ 1,695 1,638	{ 1,697 1,639	{ Grande 45°
	Glaucofana.....	NaAlFe	{ 1,621 1,655	{ 1,638 1,664	{ 1,639 1,668	{ 85° 4- 6°

El grupo del anfíbol es más o menos paralelo al grupo del piroxeno. Sin embargo, los individuos correspondientes de los dos grupos no son dimorfos. La hornblenda es con mucho el mineral más corriente del grupo. La cummingtonita es un anfíbol monoclinico castaño pálido, pero tiene la misma composición de la antofilita. La lamprobolita es una hornblenda basáltica. La riebeckita, glaucofana y unos pocos minerales más raros se conocen con el nombre de *anfíboles sódicos*.

El grupo del anfíbol es uno de los más complejos de todos los grupos minerales. Hay muchos anfíboles que no están en ninguna de las listas expuestas en estos apartados.

Ortoanfíboles

ANTOFILITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,598 \text{ a } 1,652$$

$$n_\beta = 1,615 \text{ a } 1,662$$

$$n_\gamma = 1,623 \text{ a } 1,676$$

$$2V = 70^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

Color. En secciones delgadas incoloras o ligeramente coloreadas. Algunas de las variaciones coloreadas tienen pleocroísmo.

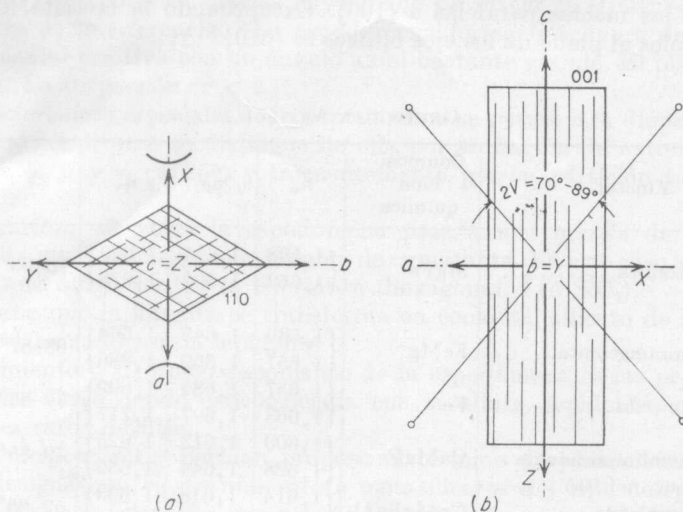


FIG. 14-21 *a, b.* Diagramas de orientación de la antofilita. Las secciones (*a*) son normales al eje *c*, y las (*b*) paralelas al (010).

Forma. Aspectos característicos de la antofilita son los cristales prismáticos largos y los agregados columnares a fibrosos. A veces es asbestiforme.

Exfoliación. En dos direcciones {110} formando ángulos de 54° y 126° . Son corrientes las fracturas transversales.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_y - n_a = 0,016$ a $0,025$, los colores de interferencia oscilan hasta el segundo orden bajo.

Extinción. En secciones longitudinales es paralela, en las transversales es simétrica al contorno o exfoliación.

Orientación. Largo-lento.

Maclas. No existen.

Figura de interferencia. La figura es biaxial positiva de ángulo axial grande o neutro ($2V = 90^\circ$). El plano axial es {010}. Dispersión, $r > v$ o $r < v$.

Características especiales. La antofilita se parece a la tremolita-actinolita, aunque se distingue de ellas por su extinción paralela.

Minerales afines. La gedrita es una variedad aluminosa de la antofilita. Ópticamente es negativa en vez de positiva.

Alteración. La antofilita se transforma a veces en talco. Antiguamente el mineral parcialmente alterado se llamaba *antofilita hidratada*.

Yacimiento. La antofilita es característica de las rocas metamórficas. Es el principal componente del esquito de antofilita y es también un mineral secundario en peridotitas y dunitas.

La antofilita es el principal componente de los asbestos de masa fibrosa.

Clinoanfíboles
ANFIBOLES MONOCLÍNICOS

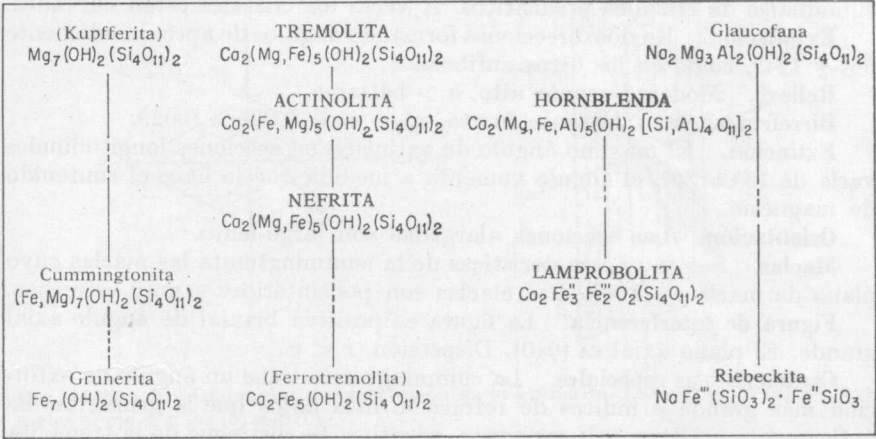


FIG. 14-22. Principales grupos entre los anfíboles monoclinicos.

CUMMINGTONITA

Monoclinico



$n_\alpha = 1,639 \text{ a } 1,657$

$n_\beta = 1,645 \text{ a } 1,669$

$n_\gamma = 1,664 \text{ a } 1,686$

$2V = 68^\circ \text{ a } 87^\circ; \text{Opt. (+)}$

$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -15^\circ \text{ a } -20^\circ$

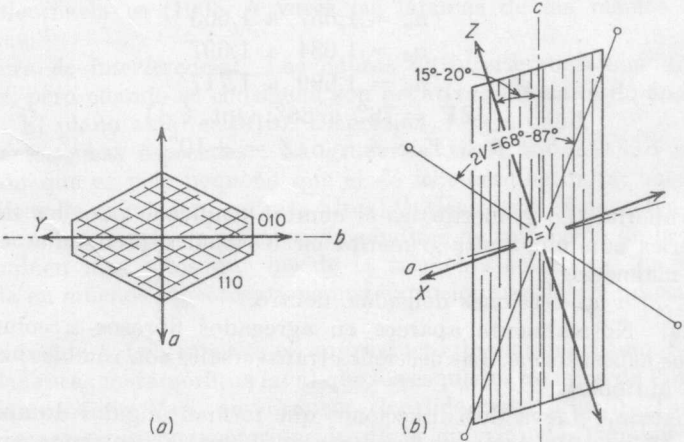


FIG. 14-23 a, b. Diagramas de orientación de la cummingtonita. Las secciones (a) son normales al eje c, y las (b) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas de incoloro a neutro. Presenta ligero pleocroísmo.

Forma. Este mineral aparece normalmente en agregados paralelos a subradiales de cristales prismáticos. A veces los cristales están curvados.

Exfoliación. En dos direcciones formando ángulos de aproximadamente 56° y 124° , como en los otros anfíboles.

Relieve. Moderadamente alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,025$ a $0,029$.

Extinción. El máximo ángulo de extinción en secciones longitudinales varía de 15° a 20° ; el ángulo aumenta a medida que lo hace el contenido de magnesio.

Orientación. Las secciones alargadas son largo-lento.

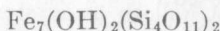
Maclas. Son muy características de la cummingtonita las maclas cuyo plano de macla es $\{100\}$. Las maclas son polisintéticas y muy estrechas.

Figura de interferencia. La figura es positiva biaxial de ángulo axial grande. El plano axial es (010). Dispersión, $r < v$.

Características especiales. La cummingtonita tiene un ángulo de extinción más grande e índices de refracción más bajos que la grunerita. Es ópticamente positiva, y la grunerita, negativa. Se distingue de la tremolita por sus índices de refracción más altos. La antofilita es muy similar a la cummingtonita y se distingue de ella por su extinción paralela y su ausencia de maclas.

Yacimiento. Hasta ahora la cummingtonita solo se ha encontrado en rocas metamórficas. Es un mineral característico de los esquistos de la Mina Homestake de Dakota del Sur. Es también característico de la corneana de diversas localidades de California.

GRUNERITA



Monoclínico

$$n_\alpha = 1,657 \text{ a } 1,663$$

$$n_\beta = 1,684 \text{ a } 1,697$$

$$n_\gamma = 1,699 \text{ a } 1,717$$

$$2V = 79^\circ \text{ a } 86^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -10^\circ \text{ a } -14^\circ$$

La grunerita (no grünerita) es el nombre empleado para los minerales de las series cummingtonita-grunerita en los cuales predomina el hierro sobre el magnesio.

Color. En las secciones delgadas, neutro.

Forma. Normalmente aparece en agregados fibrosos a columnares. A veces es asbestiforme. Las secciones transversales son rómbicas como en los otros anfíboles.

Exfoliación. Lleva dos direcciones que forman ángulos de aproximadamente 56° y 124° como en los otros anfíboles. Es corriente encontrar fracturas transversales.

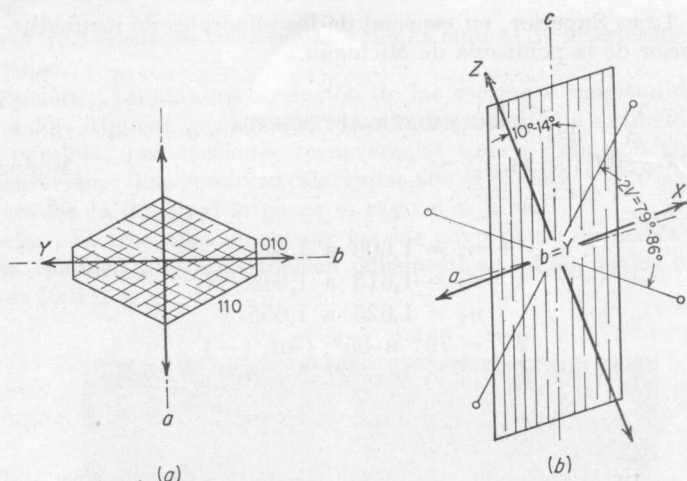


FIG. 14-24 *a, b*. Diagramas de orientación de la grunerita. Las secciones (*a*) son normales al eje *c*, y las (*b*) a (010).

Relieve. Moderadamente alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Fuerte, $n_y - n_a = 0,042$ a $0,054$; los colores de interferencia oscilan entre los de segundo orden superior y los de tercer orden bajo. Las secciones que tienen extinción paralela presentan colores de primer orden bajos.

Extinción. En las secciones longitudinales el máximo ángulo de extinción varía de 10° hasta aproximadamente 15° . Esta variación se debe a la variación en la composición química. El cambio de hierro por magnesio da lugar a un aumento del ángulo de extinción.

Orientación. Las secciones alargadas son largo-lento.

Maclas. Característica de la grunerita es la macla polisintética cuyo plano de macla es (100). A veces las láminas de las maclas son muy estrechas.

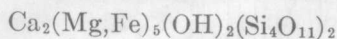
Figura de interferencia. Las figuras de interferencia son difíciles de obtener, pero cuando se consiguen son negativas biaxiales de ángulo axial grande. El plano axial es (010). Dispersión, $r > v$, débil.

Características especiales. La grunerita tiene un máximo ángulo de extinción que es más pequeño que el de la cummingtonita; sin embargo, sus índices de refracción son más altos. Ópticamente es negativa mientras que la cummingtonita es positiva. Los índices de refracción de la grunerita son también más altos que los de la tremolita-actinolita. La antofilita, parecida en muchos aspectos, tiene una extinción paralela y nunca presenta maclas.

Yacimiento. La grunerita es un producto de metamorfismo. Se encuentra en las rocas metamórficas igual que los esquistos de mica de Collobrières, Departamento de Var, en Francia (localidad de origen). También se encuentra como una transformación de la eulysita de Tunaberg, Suecia; es un componente muy importante en algunos minerales de hierro de la

región del Lago Superior, en especial de los minerales de magnetita de la parte superior de la península de Michigán.

TREMOLITA-ACTINOLITA



Monoclínico

$$\angle\beta = 74^\circ 48'$$

$$n_\alpha = 1,600 \text{ a } 1,628$$

$$n_\beta = 1,613 \text{ a } 1,644$$

$$n_\gamma = 1,625 \text{ a } 1,655$$

$$2V = 79^\circ \text{ a } 85^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -10^\circ \text{ a } -20^\circ$$

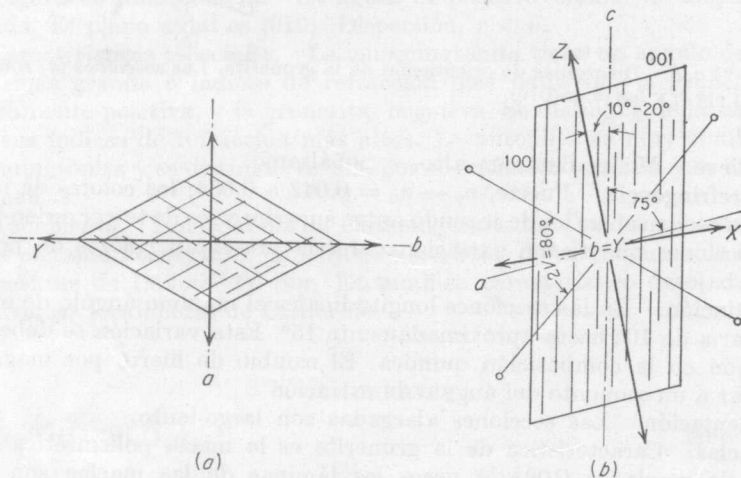


FIG. 14-25 a, b. Diagramas de orientación de las tremolita-actinolita. Las secciones (a) son normales al eje c, y las (b) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas, de incolora a verde pálido. Las variedades verdes presentan un débil pleocroísmo. La *actinolita* es el nombre que se da a la tremolita ferrífera verde.

Forma. La tremolita-actinolita se encuentra en cristales prismáticos largos y en agregados de columnares a fibrosos. Son corrientes las variedades asbestiformes. La sección transversal típica es rómbica con $(110 \wedge 110) = 56^\circ$.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos de aproximadamente 56° y 124° . Las secciones longitudinales presentan huellas de exfoliación paralelas a la longitud. Hay particiones paralelas a (100).

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Moderada a bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,022$ a $0,027$; por tanto, los colores de interferencia varían desde el segundo orden bajo al medio. Los colores más altos los presentan las secciones longitudinales

estrechas. Las secciones transversales tienen colores de interferencia blancos a amarillos.

Extinción. La máxima extinción de las secciones longitudinales varía de 10° a 20° . Algunas secciones longitudinales tienen una extinción paralela o casi paralela. Las secciones transversales tienen extinción simétrica.

Orientación. Las secciones alargadas son largo-lento. En las secciones transversales la diagonal larga es el rayo más lento.

Macla. Es frecuente encontrar maclas cuyo plano de macla sea $\{100\}$. A veces también hay finas maclas polisintéticas en las cuales el plano de macla es $\{001\}$.



FIG. 14-26. ($\times 50$). Tremolita en caliza dolomítica metamórfica.

Figura de interferencia. La tremolita-actinolita da una figura negativa biaxial de ángulo axial muy grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r < v$, débil. La mejor figura de colores de interferencia bajos la proporcionan las anchas secciones alargadas.

Características especiales. Se caracteriza por el ángulo de extinción y por secciones transversales anfibólicas. La wollastonita tiene la misma apariencia que la tremolita, pero el plano axial óptico es normal a la exfoliación en vez de paralela a ella.

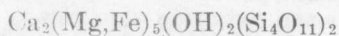
Minerales afines. Se parece mucho a la tremolita el anfíbol incoloro, edenita, pero sus ángulos de extinción son más grandes.

Alteración. Algunas veces la tremolita-actinolita se transforma en talco.

Yacimiento. Se encuentra en los depósitos metamórficos de contacto, en esquistos y gneis y en calizas metamórficas. También se encuentra en vez del piroxeno en las rocas ígneas.

NEFRITA

(Jade en parte)



Monoclínico

$$n_\alpha = 1,600 \text{ a } 1,628$$

$$n_\beta = 1,613 \text{ a } 1,644$$

$$n_\gamma = 1,625 \text{ a } 1,655$$

$$2V = 79^\circ \text{ a } 85^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y; c \wedge \gamma \text{ o } Z = -10^\circ \text{ a } -20^\circ$$

La nefrita es en realidad una variedad tosca y compacta de la tremolita-actinolita, aunque aquí la tratemos por separado.

Color. En secciones delgadas, de incoloro a gris.

Forma. Normalmente aparece en agregados fibrosos a fibro-laminares de cristales prismáticos imperfectos.

Exfoliación. Es como la tremolita-actinolita, aunque se distingue con dificultad a causa de las fibras entrecruzadas.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,022$ a $0,027$; por tanto, los colores de interferencia oscilan desde el gris de primer orden hasta los colores brillantes del segundo orden medio.

Extinción. Varía desde la paralela hasta un máximo de aproximadamente 10° a 20° . Extinción paralela la tienen algunas secciones longitudinales más anchas. La extinción de la nefrita es a veces ondulante y poco definida.

Orientación. La mayoría de las secciones son largo-lento.

Maclas. A veces se encuentra un plano de macla $\{100\}$, pero no es lo corriente.

Figura de interferencia. A causa de su estructura en agregados, la nefrita no suele dar buenas figuras de interferencia. Cuando se consigue es biaxial negativa de ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$, como en los otros anfíboles.

Minerales afines. No hay una diferencia pronunciada entre la nefrita y las otras variedades de la tremolita-actinolita. La llamada seminefrita se emplea para designar un anfíbol intermedio entre la nefrita y la tremolita-actinolita menos compacta, y más basta. Este término fue empleado por primera vez por F. J. Turner.

Características especiales. La nefrita se distingue de la jadeíta, el otro mineral de jade, por tener su máximo ángulo de extinción más pequeño y sus índices de refracción menores, y también por su peso específico más bajo. Se distingue de las otras variedades de la tremolita-actinolita por ser más compacta, lo cual se debe a los agregados cristalinos entrecruzados.

Alteración. A veces la nefrita se transforma en talco.

Yacimiento. La nefrita aparece por lo general asociada a la serpentina en forma de «riñón» de estructura más o menos esquistosa y también aparece en guijarros grandes y pequeños que son transportados por el agua.

No cabe duda que es un producto de metamorfismo, aunque no se conoce bien su origen.

La nefrita es un mineral muy abundante, apreciado por ciertos países como material utilizable para hacer armas y ornamentos.

HORNBLENDA

Ca₂(Mg,Fe,Al)₅(OH)₂[(Si,Al)₄O₁₁]₂

Monoclínico

∠β = 75°2'

$$n_{\alpha} = 1,614 \text{ a } 1,675$$
$$n_{\beta} = 1,618 \text{ a } 1,691$$
$$n_{\gamma} = 1,633 \text{ a } 1,701$$
$$2V = 52^{\circ} \text{ a } 85^{\circ}; \text{ Opt. } (-)$$
$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = -12^{\circ} \text{ a } -30^{\circ}$$

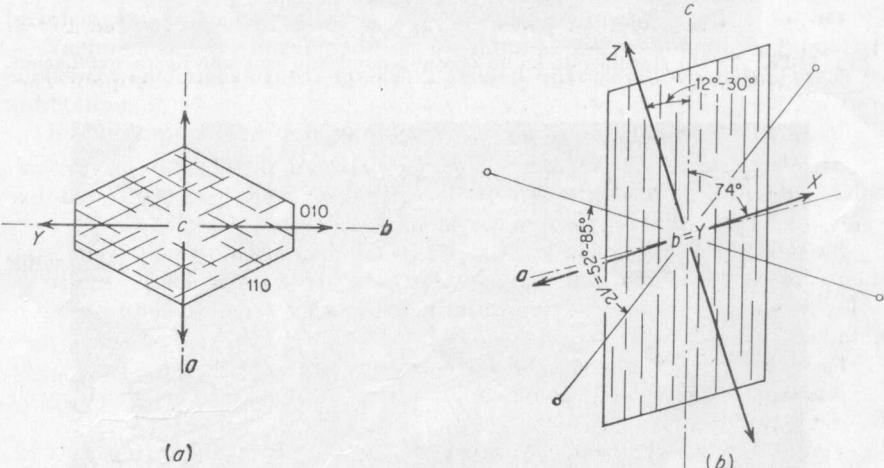


FIG. 14-27 *a, b*. Diagramas de orientación de la hornblenda. Las secciones (*a*) son normales al eje *c*, y las (*b*) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas es verdoso o castaño en diversos tonos. El pleocroísmo es como sigue:

<i>a</i> o <i>X</i>	<i>β</i> o <i>Y</i>	<i>γ</i> o <i>Z</i>
Verde amarillento	Verde oliva	Verde oscuro
Verde pálido	Verde	Verde oscuro
Castaño pálido	Verdoso	Verde oscuro
Verde amarillento	Amarillo	Castaño
Castaño verdoso	Castaño rojizo	Castaño rojo

Esquemas de absorción: γ ó $Z > \beta$ ó $Y > a$ ó X

Forma. Los cristales tienen un hábito prismático con secciones transversales pseudo hexagonales ($110 \wedge 1\bar{1}0 = 55^{\circ}49'$). Casi nunca los cristales están bien acabados. (Figura 8-21.)

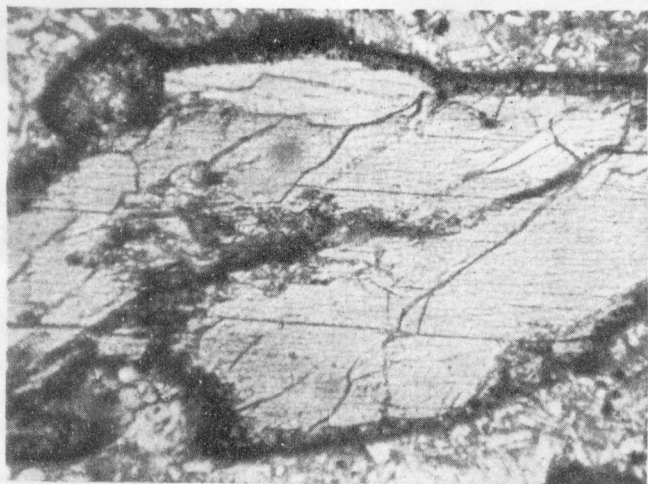


FIG. 14-28. ($\times 60$) Hornblenda en un cristal redondeado con una ligera exfoliación.

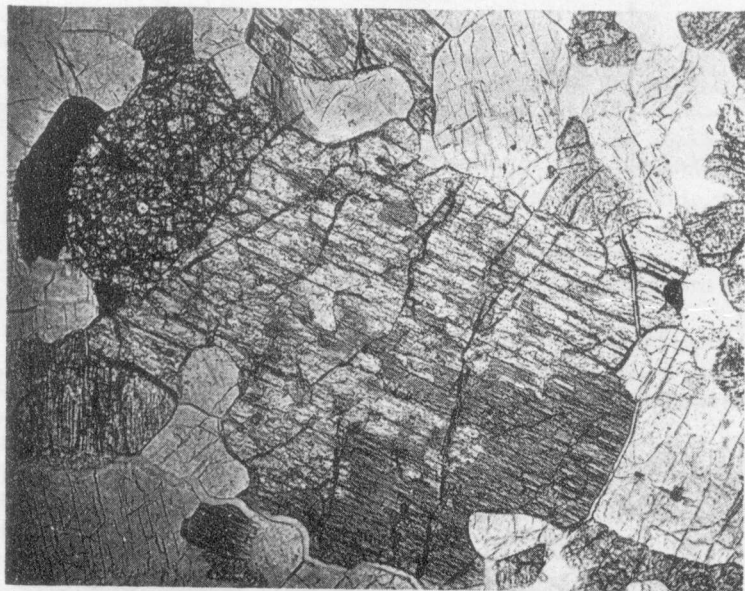


FIG. 14-29. ($\times 22$) Hornblenda (oscura) en un último estado magmático formada a expensas del piroxeno.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos de aproximadamente 56° y 124° .

Relieve. Bastante alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_a = 0,019$ a $0,026$. Los máximos colores de interferencia están aproximadamente en la mitad del segundo

orden, aunque a veces en muchas variedades se modifica el color de los minerales o se enmascaran los colores de interferencia.

Extinción. En secciones longitudinales el máximo ángulo de extinción varía aproximadamente desde 12° a alrededor de 13° . En las secciones transversales la extinción es simétrica al contorno o a las huellas de exfoliación.

Maclas. Son bastante corrientes las maclas cuyo plano de macla es $\{100\}$. Las maclas se manifiestan a veces como vetas.

Figura de interferencia. La figura es biaxial negativa de ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r < v$, débil.

Características especiales. La hornblenda se diferencia de la augita por su exfoliación, pleocroísmo y máximo ángulo de extinción. La hornblenda parda se parece a la biotita, pero esta última tiene mejor exfoliación (solo en una dirección) y extinción paralela o casi paralela. La lamprobolita tiene un ángulo de extinción más pequeño, índices de refracción más altos y una birrefringencia más fuerte.

Yacimiento. La hornblenda es un mineral muy abundante y que se encuentra en muchas rocas ígneas. También aparece en esquistos, gneis y anfibolitas.

Es un componente dominante de muchos sedimentos detríticos.

LAMPROBOLITA ¹

(Hornblenda basáltica)

Silicato de Ca, Mg, Fe, Al

Monoclínico

$\angle\beta = 73^\circ 58'$

$n_\alpha = 1,670$ a $1,692$

$n_\beta = 1,683$ a $1,730$

$n_\gamma = 1,693$ a $1,760$

$2V = 64$ a 80° ; Opt. (—)

$b = \beta$ o Y , $c \wedge \gamma$ o $Z = 0$ a -12°

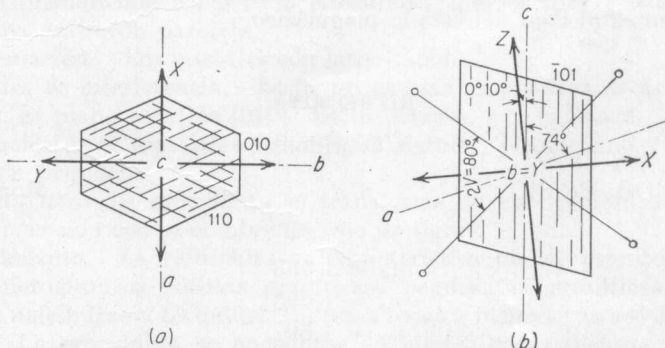


FIG. 14-30 a, b. Diagramas de orientación de la lamprobolita. Las secciones (a) son normales al eje c, y las (b) paralelas a (010).

¹ A. F. Rogers [*Am. Mineralogist*, 25; 826-828 (1940)] llamó lamprobolita a la hornblenda basáltica.

Color. De amarillo a pardo, con frecuencia a franjas opacas. Presenta un pleocroísmo bastante fuerte: α o X , amarillo brillante; β o Y , pardo; γ o Z , castaño rojizo oscuro.

Forma. Aparece casi invariablemente en cristales euhédricos de secciones transversales pseudo hexagonales, como los anfíboles. Normalmente, el habitus es prismático corto.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones formando ángulos de 56° y 124° , como en los otros anfíboles.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante fuerte a muy fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,026$ a $0,072$. Los colores de interferencia deberían ser de orden alto, aunque normalmente se disimulan por el color del mineral.

Extinción. El máximo ángulo de extinción es muy pequeño, de cero hasta 12° en algunas variedades.

Orientación. Los cristales son largo-lento. Las secciones transversales tienen extinción simétrica.

Maclas. El plano de macla es $\{100\}$, aunque no se nota, debido a que el ángulo de extinción es muy pequeño.

Figura de interferencia. Es biaxial negativa de ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r < v$.

Características especiales. La lamprobolita se distingue de la hornblenda castaña normal porque tiene el ángulo de extinción más pequeño y una birrefringencia más fuerte. En las secciones de seis lados la biotita no presenta exfoliación.

Minerales afines. La kaersutita es un anfíbol de titano afín a la lamprobolita.

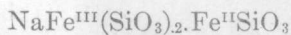
Yacimiento. La lamprobolita se encuentra en rocas volcánicas tales como las andesitas, auganitas, basaltos, bassanitas, tefroitas y tobas correspondientes.

También es corriente encontrarlo como mineral detrítico.

Parece ser que la lamprobolita se ha formado por oxidación del hierro a partir de la hornblenda normal, probablemente por la acción de los gases calientes al final del estado magmático.

RIEBECKITA

(inc. Crocidolita)



Monoclínico
 $\angle\beta = 76^\circ 10'$

$$n_\alpha = 1,693$$

$$n_\beta = 1,695$$

$$n_\gamma = 1,697$$

$$2V_{\text{grande}}; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = +5^\circ$$

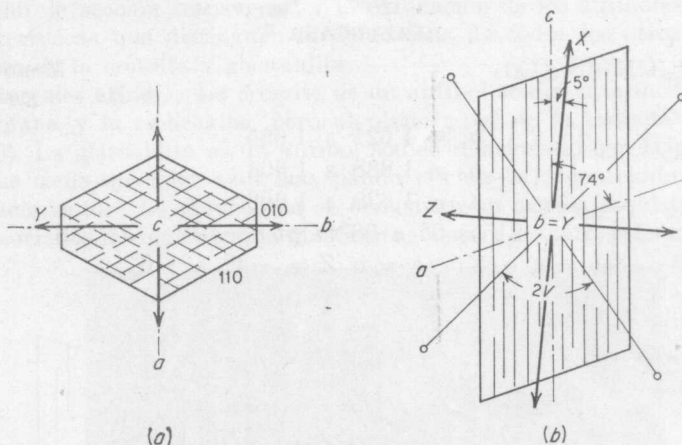


FIG. 14-31 a, b. Diagrama de orientación de la riebeckita. Las secciones (a) son normales al eje c , y las (b) paralelas a (010) .

Color. En secciones delgadas azul oscuro. Fuerte pleocroísmo; a o X , azul oscuro; β o Y , azul más brillante; γ o Z , verdoso. Absorción: a o $X > \beta$ o $Y > \gamma$ o Z .

Forma. La riebeckita se encuentra en cristales prismáticos subhédricos y en agregados fibrosos y asbestiformes. Según recientes investigaciones, la crocidolita es una variedad fibrosa de la riebeckita.

Exfoliación. $\{110\}$ en dos direcciones, formando ángulos de aproximadamente 56° y 124° .

Relieve. Alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Muy débil, $n_\gamma - n_a = 0,004$; los colores de interferencia van enmascarados por el color oscuro del mineral.

Extinción. El máximo ángulo de extinción en las secciones alargadas es aproximadamente 5° , pero la crocidolita, que es una variedad fibrosa, tiene una extinción paralela.

Orientación. Los cristales son largo-rápido.

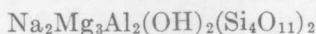
Figura de interferencia. La figura es biaxial negativa de ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, fuerte.

Características especiales. Son éstas el color, pleocroísmo y ángulo de extinción pequeño.

Alteración. La crocidolita se transforma en cuarzo fibroso teñido de hierro, conocido con el nombre de «ojo de tigre».

Yacimiento. La riebeckita es característica de los granitos ricos en sosa, microgranitos, aplitas graníticas, pegmatitas graníticas, sienitas, sienitas nefelínicas y traquitas. En estas rocas a menudo va asociada con la egrina. La crocidolita se encuentra en ciertas rocas metamórficas muy silíceas tales como las «piedras de hierro» de Griqualand West, en Africa del Sur.

GLAUCOFANA



Monoclínico

$$\angle\beta = 77^\circ$$

$$n_\alpha = 1,621 \text{ a } 1,655$$

$$n_\beta = 1,638 \text{ a } 1,664$$

$$n_\gamma = 1,639 \text{ a } 1,668$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 68^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y; c \wedge \gamma \text{ o } Z = -4^\circ \text{ a } -6^\circ$$

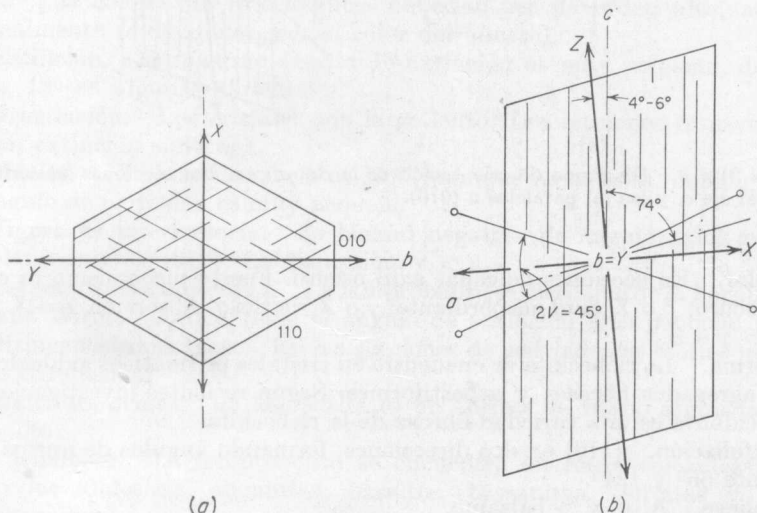


FIG. 14-32 *a, b*. Diagramas de orientación de la glaucofana. Las secciones (*a*) son normales al eje *c*, y las (*b*) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas, de azul a violeta. Pleocroísmo: α o *X*, neutro; β o *Y*, violeta; γ o *Z*, azul.

Forma. La glaucofana se encuentra en cristales prismáticos o agregados columnares. Las secciones transversales son pseudo hexagonales o rómbicas.

Exfoliación. {110} en dos direcciones que forman ángulos de 56° y 124° .

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,013$ a $0,018$; el máximo color de interferencia es aproximadamente violeta sensible, aunque el color del mineral puede modificar e incluso enmascarar los colores de interferencia.

Extinción. El máximo ángulo de extinción en las secciones longitudinales es muy pequeño (4° a 6°). Las secciones transversales tienen extinción simétrica.

Orientación. Los cristales son largo-lento.

Figura de interferencia. La figura es biaxial negativa con un ángulo axial de pequeño a moderado. El plano axial es {010}. La dispersión, $r < v$, fuerte.

Características especiales. Los colores axiales, el ángulo de extinción pequeño, la sección transversal y la exfoliación de los anfíboles son todas características que distinguen la glaucofana de todos los otros minerales excepto de la crossita y glastaldita.

Minerales afines. La crossita es un anfíbol sódico intermedio entre la glaucofana y la riebeckita, pero el plano axial de la crossita es normal a (010). La glastaldita es un anfíbol sódico relacionado con la glaucofana, aunque tiene un color azul más pálido por su bajo contenido de hierro.

Yacimiento. La glaucofana se encuentra en ciertos esquistos y gneis. Los asociados normales son la muscovita, cuarzo, granate, esfena, lawsonita

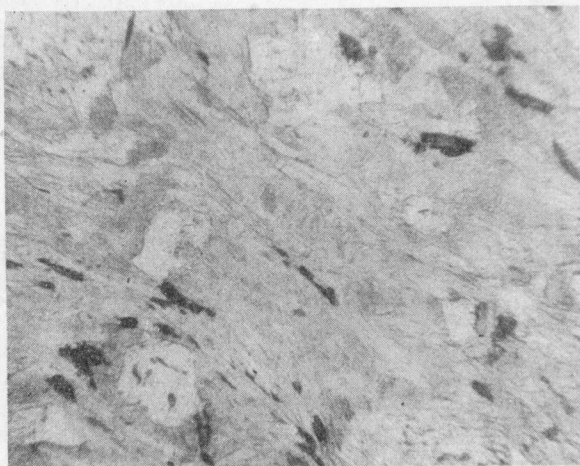


FIG. 14-33. ($\times 50$) Glaucofana formando una masa cristalina afelpada en el esquisto.

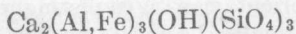
y clinozoisita. Los esquistos de glaucofana abundan en Coast Ranges de California; también se encuentran en Syra (Grecia), Italia, Japón, aunque en general es un mineral raro.

GRUPO DE LA EPIDOTA

El grupo de la epidota se compone de silicatos de calcio y aluminio, a veces con hierro o sustituidos por hierro, manganeso o cerio. El silicato de aluminio y calcio aparece en forma de zoisita si es rómbico o clinozoisita si es monoclinico. Los otros individuos del grupo son monoclinicos.

Rómbicos

ZOISITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,696 \text{ a } 1,700$$

$$n_\beta = 1,696 \text{ a } 1,703$$

$$n_\gamma = 1,702 \text{ a } 1,718$$

$$2V = 30^\circ \text{ a } 60^\circ; \text{Opt. (+)}$$

Dos orientaciones

$$(1) a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X$$

$$(2) a = \gamma \text{ o } Z, b = \alpha \text{ o } X, c = \beta \text{ o } Y$$

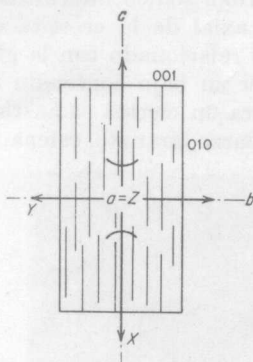


FIG. 14-34. Diagramas de orientación de la zoisita. Las secciones son paralelas a (010). Orientación (1).

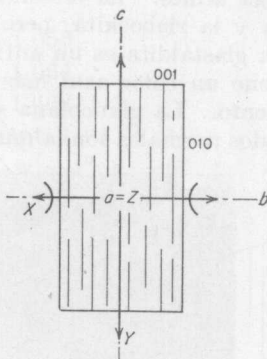


FIG. 14-35. Orientación (2).

Existen dos variedades de la zoisita: variedad no férrica cuya orientación es (1) y además tiene colores de interferencia anormales y otra variedad férrica de orientación (2) y colores normales de interferencia.

Color. En secciones delgadas por lo general incolora, pero la zoisita magnesiánica (thulita) es rosa y pleocroica.

Forma. Normalmente la zoisita aparece en agregados columnares, pero no es corriente encontrar cristales euhédricos.

Exfoliación. Perfecta en una dirección {010}.

Relieve. Alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Débil a moderada, $n_y - n_a = 0,006$ a $0,018$; los colores de interferencia en una dirección (2) son normales; en la otra variedad (1), los hay anormales (azul oscuro).

Extinción. En la mayoría de las secciones, paralela.

Orientación. En algunas variedades (1) los cristales son largo-rápido; en otras (2), largo-rápido o largo-lento.

Maclas. Puede haber maclas polisintéticas.

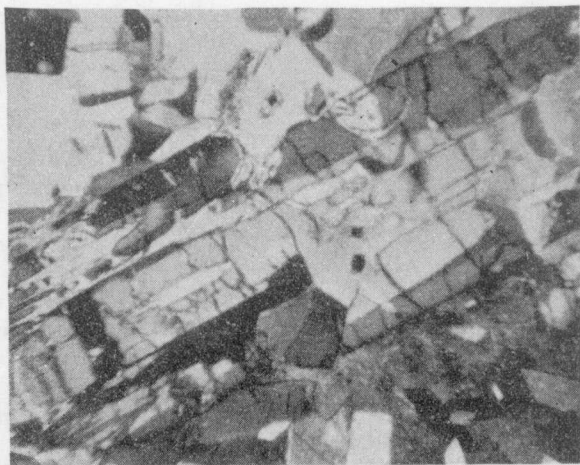
Figura de interferencia. Es biaxial positiva de ángulo axial moderado. El plano axial es ó {010} ó (2) {001}. La dispersión (1) $r < v$, bien definida, ó (2), $r > v$, bien definida.

Características especiales. La zoisita férrica (orientación 2) se distingue de la clinozoisita por sus colores de interferencia normales. La zoisita no férrica (orientación 1) se distingue de la clinozoisita por tener el ángulo axial más pequeño y porque el color de interferencia no es normal, de un azul oscuro.

Yacimiento. La zoisita es un mineral bastante raro que se encuentra en algunas rocas metamórficas. La clinozoisita es mucho más abundante que la zoisita.



a



b

FIG. 14-36 *a, b.* ($\times 20$). Cristales hojosos de zoisita en una matriz de cuarzo. (*a*) Iluminación normal, y (*b*) nicoles cruzados.

Monoclínico

CLINOZOISITA



(Epidota de hierro libre)

Monoclínico
 $\angle\beta = 64^\circ 30'$

$$n_\alpha = 1,710 \text{ a } 1,723$$

$$n_\beta = 1,715 \text{ a } 1,729$$

$$n_\gamma = 1,719 \text{ a } 1,734$$

$$2V = 66^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = 0^\circ \text{ a } +12^\circ$$

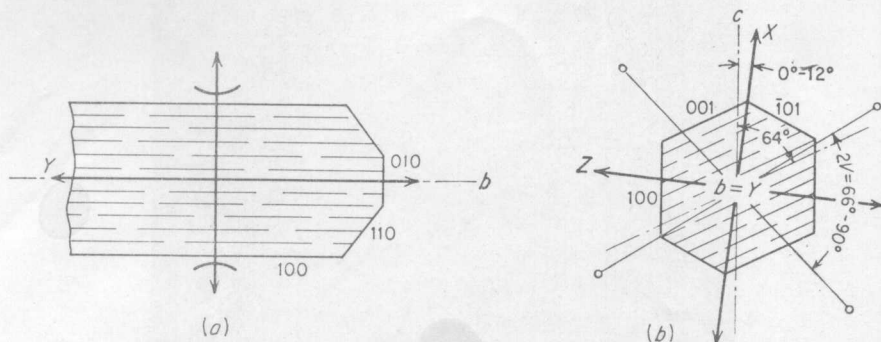


Fig. 14-37 a, b. Diagramas de orientación de la clinozoisita. Las secciones (a) son normales al eje c , y las (b) paralelas a (010) .

Color. En secciones delgadas, incolora y no pleocroica.

Forma. La clinozoisita, bien sea epidota de hierro libre o pobre en hierro, aparece corrientemente en cristales alargados o agregados columnares. Las secciones transversales son de seis lados con $(100 \wedge 001) = 64\frac{1}{2}^\circ$.

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{001\}$.

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil a bastante débil, $n_y - n_a = 0,005$ a $0,011$; los colores de interferencia están en el centro del primer orden, pero no son normales. El gris es algo azul, no hay blanco y el amarillo es un amarillo verdoso. Sin embargo, los colores de primer orden de las secciones más potentes son normales.

Extinción. En la mayoría de las secciones la extinción es paralela, ya que los cristales son casi siempre alargados en la dirección del eje b .

Orientación. Algunas secciones son largo-lento y otras largo-rápido, ya que $b = \beta$ o Y .

Maclas. A veces se encuentran en algunas variedades maclas polimórficas, cuyo plano de macla es $\{100\}$.

Figura de interferencia. Es biaxial positiva de ángulo axial grande a muy grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r < v$, fuerte.

Características especiales. La clinozoisita se distingue de la epidota por su birrefringencia más débil, su falta de pleocroísmo y por su signo óptico positivo; de la zoisita por su claro color de interferencia amarillo-verde del primer orden y su ángulo axial grande.

Yacimiento. La clinozoisita se encuentra prácticamente igual que la epidota. Es bastante abundante y a veces se ha confundido con la zoisita. Normalmente es un mineral deutérico de las rocas ígneas. La clinozoisita se encuentra también como producto de metamorfismo dinámico en rocas tales como las anfibolitas, esquistos de hornblenda y esquistos glaucófánicos.

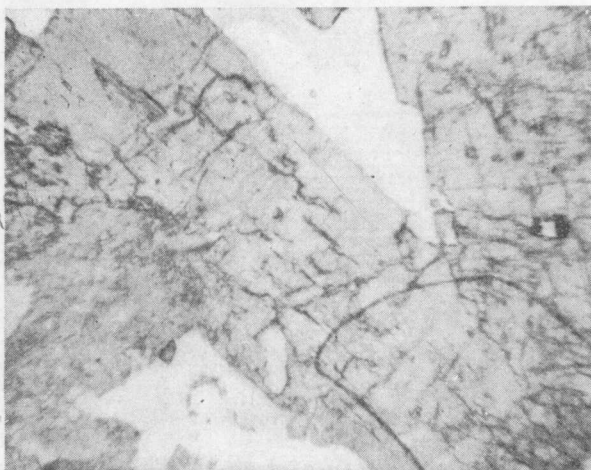
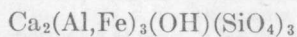
*a**b*

FIG. 14-38 *a, b.* ($\times 20$) Cristales alargados de clinozoisita colocados en cuarzo. (*a*) Iluminación normal, y (*b*) nicoles cruzados.

EPIDOTA

(Pistacita)



Monoclínico

$$\angle \beta = 64^\circ 37'$$

$$n_\alpha = 1,720 \text{ a } 1,734$$

$$n_\beta = 1,724 \text{ a } 1,763$$

$$n_\gamma = 1,734 \text{ a } 1,779$$

$$2V = 69^\circ \text{ a } 89^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = +1^\circ \text{ a } +5^\circ$$

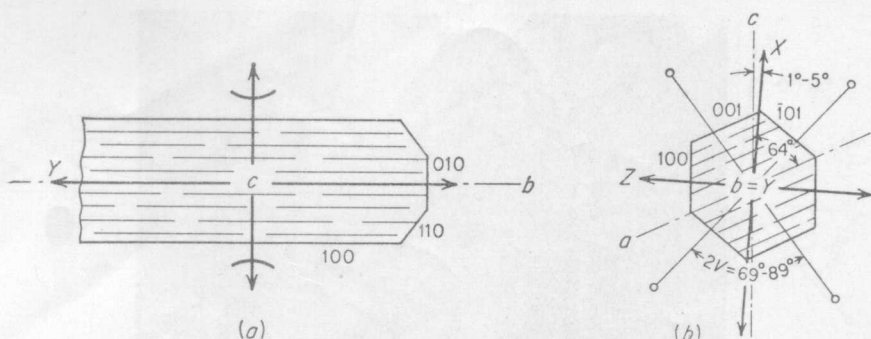


FIG. 14-39 *a, b*. Diagramas de orientación de la epidota. Las secciones (*a*) son normales al eje *c*, y las (*b*) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas es incoloro a verde amarillento, por lo general no uniforme. El mineral es algo pleocroico.

Forma. La epidota se encuentra en agregados de granulares a columnares y en cristales más o menos claros, los cuales en la dirección del eje-*b* son alargados y tienen una sección transversal pseudo-hexagonal cuyas formas son {001}, {100} y {101} ($100 \wedge 001 = 64^\circ 37'$).

Exfoliación. Perfecta en una dirección {001}.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada a fuerte, $n_y - n_a = 0,014$ a $0,045$, aumentando a medida que lo hace el contenido de hierro. Los máximos colores de interferencia van del segundo orden bajo al tercer orden superior. Los colores del medio del primer orden son anormales como los de la clinozoisita.

Extinción. En secciones alargadas es paralela, ya que la epidota, al revés que la mayoría de los cristales monoclinicos, es alargada en la dirección del eje *b*.

Orientación. Como $b = \beta$ o *Y*, algunas secciones longitudinales son largo-lento y otras largo-rápido.

Maclas. Son corrientes las maclas cuyo plano de macla sea {100}.

Figura de interferencia. Es biaxial negativa con ángulo axial grande. Las escamas de exfoliación proporcionan una figura de eje óptico, ya que uno de los ejes ópticos es casi normal a {001}. El plano axial es {010}. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. La epidota se distingue de la clinozoisita y zoisita por su birrefringencia más fuerte, y de la diópsida y augita por su extinción paralela.

Yacimiento. La epidota es bastante abundante y se encuentra en muchos tipos de rocas ígneas y metamórficas. En las rocas ígneas es normalmente un mineral deutérico o magmático tardío. Es el mineral dominante en la epidosita, roca metamórfica de epidota y cuarzo.

También la epidota es corriente encontrarla como mineral detrítico.

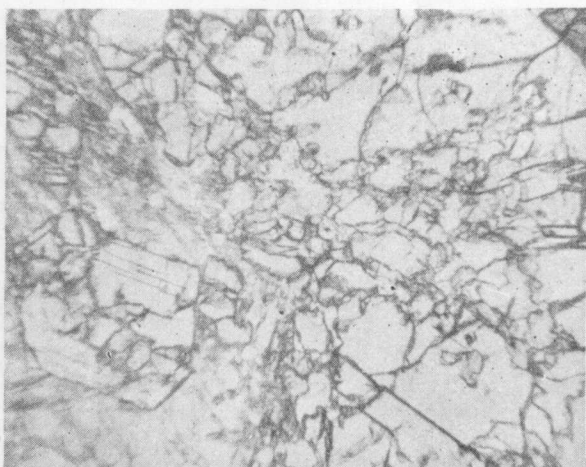
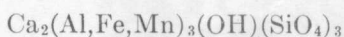


FIG. 14-40. ($\times 20$) Cristales de epidota distribuidos por cuarzo.

PIAMONTITA

(Epidota magnésica)



Monoclínico

$$\angle \beta = 64^\circ 39'$$

$$n_\alpha = 1,745 \text{ a } 1,758$$

$$n_\beta = 1,764 \text{ a } 1,789$$

$$n_\gamma = 1,806 \text{ a } 1,832$$

$$2V = 56^\circ \text{ a } 86^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = -5^\circ \text{ a } -7^\circ$$

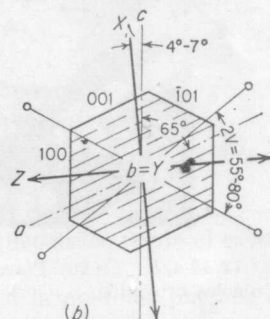
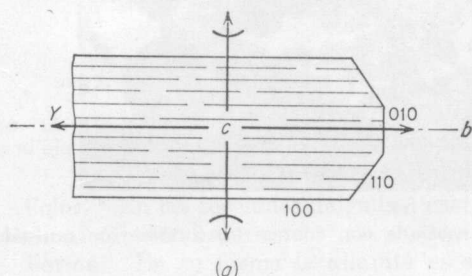


FIG. 14-41 a, b. Diagrama de orientación de la piamontita. Las secciones (a) son normales al eje c , y las (b) paralelas a (010).

Color. Característicos colores axiales muy vivos: amarillo, naranja, rojo, violeta. Pleocroico: α o X , amarillo a naranja; β o Y , amatista a violeta; γ o Z , carmín a rojo oscuro.

Forma. En su forma la piamontita es muy parecida a la epidota.



(a)



(b)

FIG. 14-42 *a, b.* ($\times 20$) Piemontita asociada con cuarzo. (a) iluminación normal y (b) nicoles cruzados.

Exfoliación. En una dirección $\{001\}$.

Relieve. Alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Muy fuerte, $n_y - n_a = 0,061$ a $0,082$. Los colores de interferencia son de primer orden, pero más o menos desfigurados por el color del mineral.

Extinción. En secciones alargadas paralelas, ya que los cristales, como los de la epidota, son alargados en la dirección del eje b .

Orientación. Es difícil de determinar la dirección del rayo más rápido y más lento.

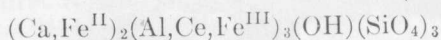
Figura de interferencia. La figura es positiva biaxial de ángulo axial grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, fuerte.

Características especiales. El color y el pleocroismo de la piamontita son tan característicos que es muy difícil confundirlos con los de cualquier otro mineral.

Yacimiento. La piamontita se encuentra en la mayoría de los esquistos y gneis, y también en los pórfidos de cuarzo alterados, y en South Mountain, Pa.

ALLANITA

(Ortita)



Monoclínico

$$\angle \beta = 65^\circ$$

$$n_\alpha = 1,64 \text{ a } 1,77$$

$$n_\beta = 1,65 \text{ a } 1,77$$

$$n_\gamma = 1,66 \text{ a } 1,80$$

$$2V = \text{grande; Opt. } (-)$$

$$b \doteq \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = +36^\circ$$

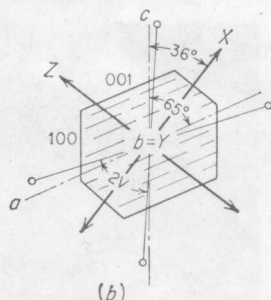
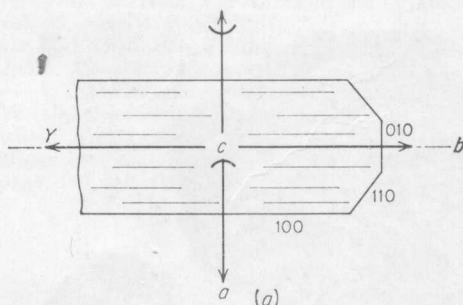


FIG. 14-43 a, b. Diagramas de orientación de la allanita. Las secciones (a) son normales al eje c , y las (b) paralelas a $\{010\}$.

Color. En las secciones delgadas, castaño y pleocroico desde el castaño pálido al castaño oscuro.

Forma. En su forma la allanita es similar a la epidota, pues es una variedad cérica de ésta. Con frecuencia se encuentra en posición paralela como un tumor que le hubiera salido a la epidota.

Relieve. Alto, $n >$ bálamo.

Exfoliación. Imperfecta y paralela a $\{001\}$.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,01$ a $0,03$; los colores de interferencia están por lo general enmascarados por el color castaño del mineral.

Extinción. Normalmente paralela, como los otros individuos del grupo de la epidota.

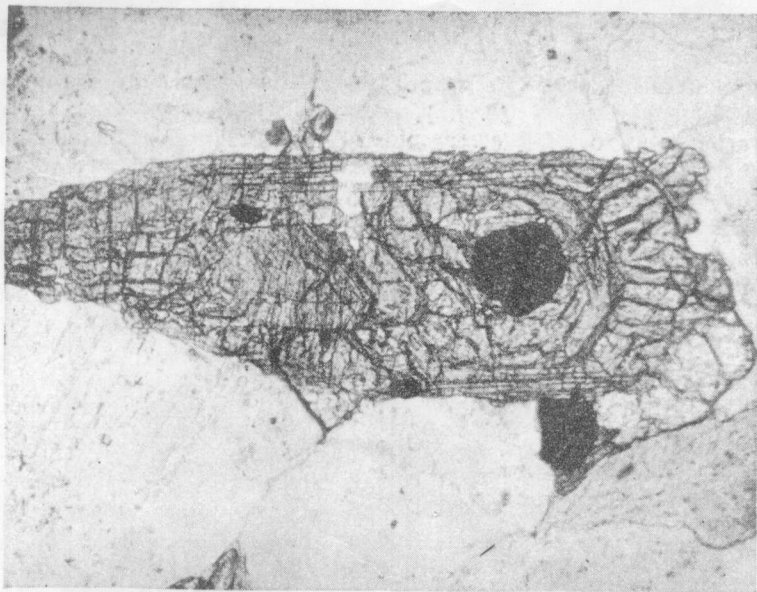


FIG. 14-44. Allanita en pranita.

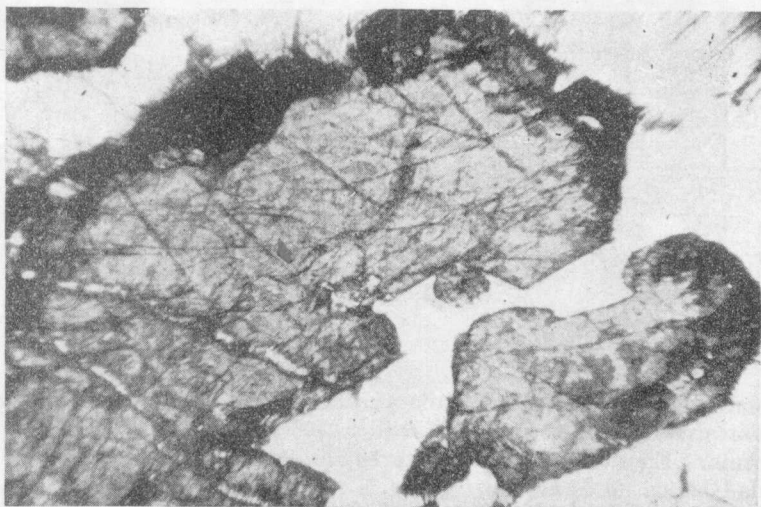


FIG. 14-45. ($\times 20$) Cristales de allanita en una matriz de cuarzo.

Orientación. Difícil de obtener.

Maclas. Como las de la epidota.

Características especiales. La allanita se distingue de la hornblenda parda por su extinción paralela y la exfoliación en una dirección en vez de en dos.

Minerales afines. La ortita de magnesio es una rara variedad de magnesio de la allanita.

Alteración. La allanita se transforma o pasa a una sustancia amorfa con casi la misma composición química de la allanita. Este mineraloide se ha producido por la rotura de la celda espacial, debido a emanaciones radiactivas.

Yacimiento. La allanita se encuentra en granitos, sienitas, pegmatitas graníticas y gneis.

BIBLIOGRAFIA

Piroxenos

- Hess, H. H.: Pyroxenes of Common Mafic Magmas, *Am. Mineralogist*, vol. 26, páginas 515-535, 1941.
- : Chemical Composition and Optical Properties of Common Clinopyroxenes, Part I., *Am. Mineralogist*, vol. 34, págs. 621-666, 1949.
- , R. J. Smith and G. Dengo: Antigorite from the Vicinity of Caracas, Venezuela, *Am. Mineralogist*, vol. 37, págs. 68-75, 1952.
- Poldervaart, A.: Correlation of Physical Properties and Chemical Composition in the Plagioclase, Olivine and Orthopyroxene Series, *Am. Mineralogist*, vol. 35, páginas 1067-1079, 1950.
- : The Relationship of Orthopyroxene to Pigeonite, *Mineral. Mag.*, vol. 28, págs. 164-172, 1947.
- y H. H. Hess: Pyroxenes in the Crystallization of Basaltic Magma, *J. Geol.*, vol. 59, págs. 472-489, 1951.
- Tröger, E.: Über den Fassait und über die Einteilung der Klinopyroxene, *Neues Jahrb. Mineral. Monatshefte*, n.º 6, págs. 132-139, 1951.
- : «Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale», pág. 149, Verlag Schweizerbart, Stuttgart, 1952.
- Winchell, A. N.: Mineralogical and Petrographic Study of the Gabbroid Rocks of Minnesota, and More Particularly, of the Plagioclasites, *Am. Geologist*, vol. 26, págs. 197-245, 1900.

CAPITULO 15

Silicatos: Estructuras de SiO_4 individuales, múltiples, y en anillos

ESTRUCTURAS SIMPLES SiO_4 (NESOSILICATOS)

Grupo del Olivino	Grupo del Granate	Familia de la Sillimanita
Forsterita	Estauroлита	Andalucita
Olivino	Esfena	Sillimanita
Fayalita	Idocrasa	Cianita
Monticellita	Circón	Mullita
Grupo de la Humita	Axinita	Dumortierita
Condrodita	Iddingsita	Topacio

ESTRUCTURAS MÚLTIPLES DE SiO_4 (SOROSILICATOS)

Lawsonita

ESTRUCTURAS SEXTUPLES EN ANILLOS (CICLOSILICATOS)

Berilo
Turmalina
Cordierita
Wollastonita

Los minerales del Cap. 15 forman tres divisiones de estructuras de silicatos, a saber: nesosilicatos, sorosilicatos y ciclosilicatos. Los minerales de grupos de tetraedros independientes son los más numerosos y reúnen en su grupo gran número de especies importantes. Solo se menciona un silicato de grupo múltiple (lawsonita) y cuatro silicatos de estructuras de anillos (berilo, turmalina, cordierita y wollastonita).

ESTRUCTURAS INDEPENDIENTES DE SiO_4

Grupo del Olivino

El grupo del olivino se compone de dos individuos extremos, forsterita y fayalita y las mezclas isomorfas intermedias, olivino. También pertenece a este grupo la tefroíta, que es un mineral raro cuya fórmula corresponde a Mn_2SiO_4 . Muy relacionada con el olivino está la sal doble, mon-

ticellita (CaMgSiO_4) y a veces se la considera perteneciente a este grupo. Es rómbica. La larnita, aun teniendo la composición Ca_2SiO_4 no pertenece al grupo del olivino porque es monoclinica.

GRUPO DEL OLIVINO

Mineral	Composición química	n_α	n_β	n_γ *	$2V$
Forsterita (Fo)	Mg_2SiO_4	$\left\{ \begin{array}{l} 1,635 \\ 1,640 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,651 \\ 1,660 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,670 \\ 1,680 \end{array} \right.$	$85-90^\circ$
Olivino (Fo_mFa_n).....	$(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,651 \\ 1,681 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,670 \\ 1,706 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,689 \\ 1,718 \end{array} \right.$	$70-90^\circ$
Fayalita (Fa).....	Fe_2SiO_4	$\left\{ \begin{array}{l} 1,805 \\ 1,835 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,838 \\ 1,877 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,847 \\ 1,886 \end{array} \right.$	$47-54^\circ$
Monticellita.....	CaMgSiO_4	$\left\{ \begin{array}{l} 1,641 \\ 1,651 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,646 \\ 1,662 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,655 \\ 1,669 \end{array} \right.$	$75-80^\circ$

Los minerales del grupo del olivino se caracterizan por tener sus índices de refracción bastante altos y una fuerte birrefringencia. El plano axial es (001) y corrientemente el ángulo axial es muy grande.

El olivino es un mineral muy abundante como parte integrante de rocas ígneas subsilíceas. La forsterita se encuentra casi exclusivamente en calizas metamórficas o zonas metamórficas de contacto. La fayalita se encuentra en pegmatitas graníticas, en litofisas de obsidianas riolíticas y en algunos minerales, pero es muy rara.

FORSTERITA

Mg_2SiO_4

Rómbica

$$n_\alpha = 1,635 \text{ a } 1,640$$
$$n_\beta = 1,651 \text{ a } 1,660$$
$$n_\gamma = 1,670 \text{ a } 1,680$$
$$2V = 85^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{ Opt. } (+)$$
$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \alpha \text{ o } X, c = \beta \text{ o } Y$$

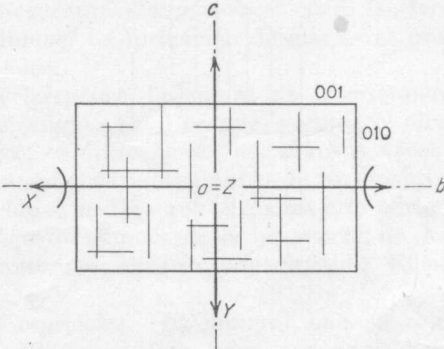


FIG. 15-1. Diagrama de orientación de la forsterita. La sección es paralela a (100).

Color. En secciones delgadas, incolora.

Forma. Normalmente aparece en cristales de euhédricos a subhédricos,

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálsamo. Los índices aumentan a medida que lo hace el contenido de hierro.

Exfoliación. $\{010\}$ imperfecta. Es corriente encontrar fracturas irregulares.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,035$ a $0,040$. El máximo color de interferencia está colocado en la parte superior del segundo orden.

Extinción. Paralela a los contornos cristalinos y a las huellas de exfoliación.

Orientación. Los cristales que tienen exfoliación son largo-lento.

Figura de interferencia. La figura es biaxial positiva con un ángulo axial muy grande. El plano axial es $\{001\}$. La dispersión, $r < v$.

Características especiales. La forsterita es un olivino de hierro libre y, por tanto, se parece al olivino corriente, pero tiene unos índices de refracción algo más bajos.

Alteración. La forsterita se transforma a menudo en antigorita aunque no se encuentra la magnetita secundaria, tan común en el olivino transformado.

Yacimiento. La forsterita se encuentra en calizas metamórficas como un producto de dolomitización. La flogopita es un asociado corriente. La forsterita también se encuentra en zonas metamórficas de contacto, donde a menudo se la encuentra asociada con la magnetita.

OLIVINO

$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

(Crisolita)

Rómbico

$n_\alpha = 1,651$ a $1,681$

$n_\beta = 1,670$ a $1,706$

$n_\gamma = 1,689$ a $1,718$

$2V = 70^\circ$ a 90° ; Opt. (+), también (—)

$a = \gamma$ o Z , $b = \alpha$ o X , $c = \beta$ o Y

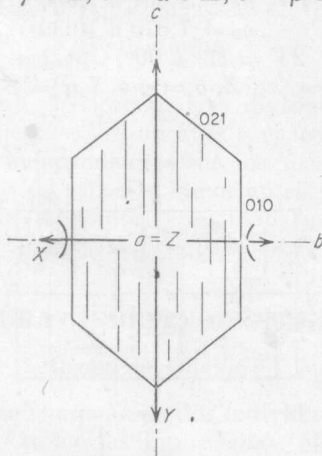


Fig. 15-2. Diagrama de orientación del olivino. La sección es paralela a (100) .

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. El olivino se encuentra en cristales anhédricos de contornos poligonales y en fenocristales con el contorno característico de la Figura 8-28, que es una sección paralela a $\{100\}$.

Exfoliación. Imperfecta, paralela a $\{010\}$; son frecuentes las fracturas irregulares.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,037$ a $0,041$; el máximo color de interferencia está en la parte superior del segundo orden.

Extinción. Paralela al contorno cristalino y a las huellas de exfoliación.



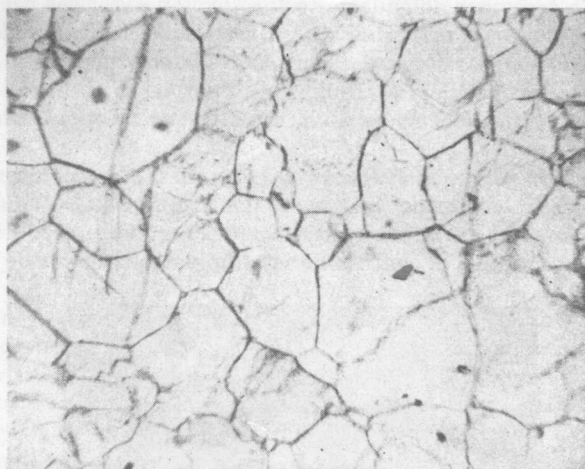
FIG. 15-3. ($\times 12$) Macla de olivino en la dunita. ($\times$ nicoles.)

Orientación. Los cristales que tienen exfoliación son largo-lento.

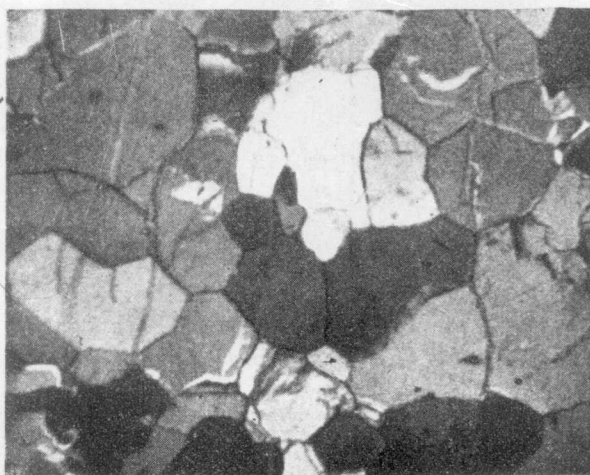
Maclas. Se encuentran algunas veces, pero las láminas son anchas y no están bien definidas. La formación de maclas es probablemente debida a dos cristales vecinos.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es normalmente biaxial positiva de ángulo axial grande, aunque el olivino, que tiene alto contenido de hierro, es ópticamente negativo. A veces el olivino tiene su ángulo axial de tamaño variable dentro de un cristal independiente, disminuyendo el ángulo a medida que se acerca a la parte exterior del cristal. Según Tomkeieff, esto demuestra la presencia de formación de zonas, siendo las zonas exteriores más ricas en fayalita. El plano axial es $\{001\}$. La dispersión, $r < v$.

Características especiales. El mineral que se confunde más con el olivino es la diópsida, pero ésta tiene mejor exfoliación, una extinción oblicua y una birrefringencia algo más débil.



(a)



(b)

FIG. 15-4 *a, b.* ($\times 20$) Cristales anhédricos de olivino trabados en la dunita. (a) iluminación normal, y (b) nicoles cruzados.

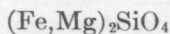
Minerales afines. Se llama *hialosiderita* al olivino rico en hierro con aproximadamente un 50 por ciento de Fe_2SiO_4 . Los índices de refracción y la birrefringencia son más altos que los del olivino.

Alteración. Normalmente el olivino se transforma en antigorita y después en magnetita a lo largo de fracturas irregulares (ver Figura 16-38, página 411). En las rocas basálticas es bastante frecuente encontrar una transformación de los anillos exteriores del olivino, ricos en hierro, en iddingsita de color rojo parduzco.

Yacimiento. El olivino es un mineral bastante corriente en rocas ígneas subsilíceas tales como basaltos, gabros de olivino, y peridotitas. Es mineral predominante en la dunita, roca monominerálica. Es un mineral de residuo en muchas serpentinas.

Localmente, el olivino puede ser importante como mineral detrítico.

FAYALITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,805 \text{ a } 1,835$$

$$n_\beta = 1,838 \text{ a } 1,877$$

$$n_\gamma = 1,847 \text{ a } 1,886$$

$$2V = 47^\circ \text{ a } 54^\circ; \text{Opt. (—)}$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \alpha \text{ o } X, c = \beta \text{ o } Y$$

Color. En secciones delgadas de incoloro a amarillento o neutro; a veces presenta un ligero pleocroismo.

Forma. En cavidades, la fayalita es euhédrica, aunque por lo general aparece en cristales anhédricos.

Exfoliación. Imperfecta en una dirección $\{010\}$.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,042 \text{ a } 0,051$.

Extinción. Paralela a las huellas de exfoliación.

Orientación. Las huellas de exfoliación y los cristales que tienen exfoliación son largo-lento.

Maclas. Son características de la fayalita, así como del olivino, las maclas vicinales con láminas anchas.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biaxial negativa con un ángulo axial moderado. El plano axial es $\{001\}$ como en el olivino. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. La fayalita se parece al olivino en sus propiedades, pero se diferencia de él porque tiene un ángulo axial más pequeño, índices de refracción más altos y un carácter ópticamente negativo.

Alteración. La fayalita a veces se encuentra con la grunerita como un producto de transformación.

Minerales afines. La knebelita, una fayalita magnésica, y la hortornelita $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})_2\text{SiO}_4$ son individuos intermedios del grupo del olivino y se parecen a la fayalita por sus propiedades ópticas.

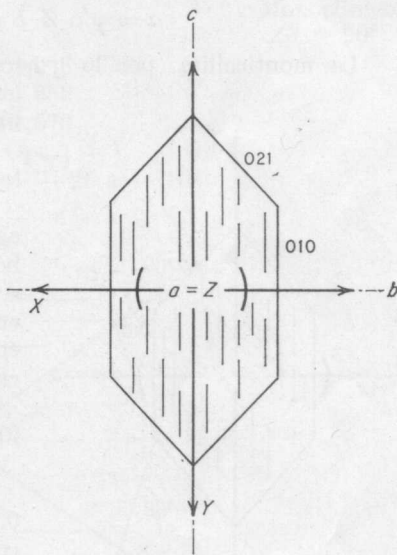


FIG. 15-5. Diagrama de orientación de la fayalita. La sección es paralela a (100) .

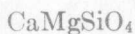
La tefroíta, Mn_2SiO_4 , es un mineral característico de los depósitos minerales del Franklin Furnace y Langban, se parece también a la fayalita.

Yacimiento. La fayalita es un mineral bastante raro. Es un asociado de los minerales de hierro. La fayalita magnesia, mineral de bajo contenido de hierro que se encuentra en Tunaberg, Suecia, aparece en unas rocas llamadas eulitas, cuyo origen se desconoce. También se encuentra en abundancia en depósitos de alta temperatura de Santa Eulalia, Chihuahua, México, según indicó Basil Prescott.

También se encuentra con abundancia en las litofisas de la obsidiana riolítica que va con la cristobalita.

La fayalita es uno de los componentes más característicos de las escorias de hornos.

MONTICELLITA



Rómbico

$$n_a = 1,641 \text{ a } 1,651$$

$$n_\beta = 1,646 \text{ a } 1,662$$

$$n_\gamma = 1,655 \text{ a } 1,669$$

$$2V = 75^\circ \text{ a } 80^\circ; \text{Opt. (—)}$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = a \text{ o } X, c = \beta \text{ o } Y$$

La monticellita, por lo general, se considera como perteneciente al grupo del olivino, aunque estrictamente hablando es una sal doble.

Color. En secciones delgadas es incoloro.

Forma. Normalmente aparece en agregados granulares de cristales de anhédricos a subhédricos, aunque también se encuentra en cristales prismáticos euhédricos. En algunas rocas ígneas se encuentra en anillos alrededor de los cristales de olivino.

Exfoliación. Imperfecta, paralela a $\{010\}$.

Relieve. Bastante alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_a = 0,014 \text{ a } 0,018$; por tanto, el máximo color de interferencia es rojo de primer orden.

Extinción. Paralela a la exfoliación y a los principales contornos cristalinos.

Orientación. Los cristales que tienen exfoliación son largo-lento.

FIG. 15-6. Diagrama de orientación de la monticellita. La sección es paralela a $\{100\}$.

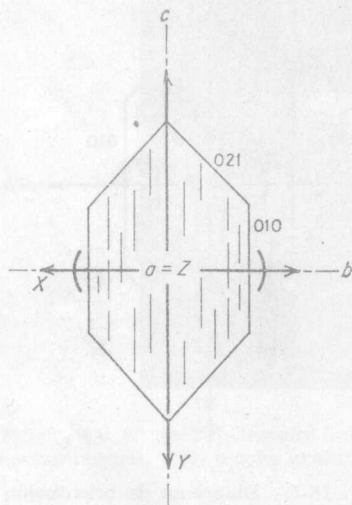


Figura de interferencia. La figura de interferencia es biaxial con un ángulo axial grande. El plano axial es (001) , como en el olivino. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. La monticellita es un mineral bastante difícil de reconocer ya que no tiene propiedades características. Se parece

a la forsterita y al olivino, pero su birrefringencia es más débil que la de cualquiera de ellos. Se distingue también de la forsterita y de la mayoría de los olivinos, porque es ópticamente negativa.

Alteración. Parte de la monticellita de Crestmore se sustituye por idocrasa.

Yacimiento. La monticellita es un mineral, metamórfico de contacto; normalmente se encuentra en calizas y dolomitas. En Crestmore, famosa localidad minera de Riverside County, California, se encuentran grandes masas de monticellita formando verdaderas rocas de este mineral.

A veces se encuentra en rocas ígneas tales como la aloita (Bowen), polzenita (Scheumann) y el basalto de nefelina. En estas rocas aparece como recubrimiento del olivino o formando anillos concéntricos.

Grupo de la Humita

Representantes de este grupo son la humita, condrodita, clinohumita, ilvaíta, ardenita y langbanita.

CONDRODITA

Monoclínico
 $\angle\beta = 90^\circ$



$$n_\alpha = 1,592 \text{ a } 1,643$$

$$n_\beta = 1,602 \text{ a } 1,655$$

$$n_\gamma = 1,621 \text{ a } 1,670$$

$$2V = 70^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$b = \gamma \text{ o } Z, a \wedge \alpha \text{ o } X = -26 \text{ a } -31^\circ$$

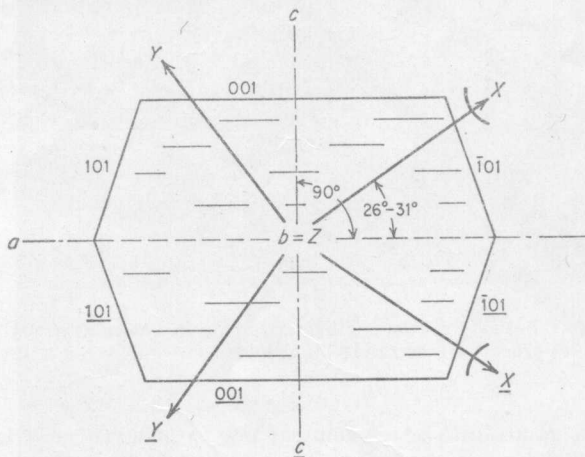
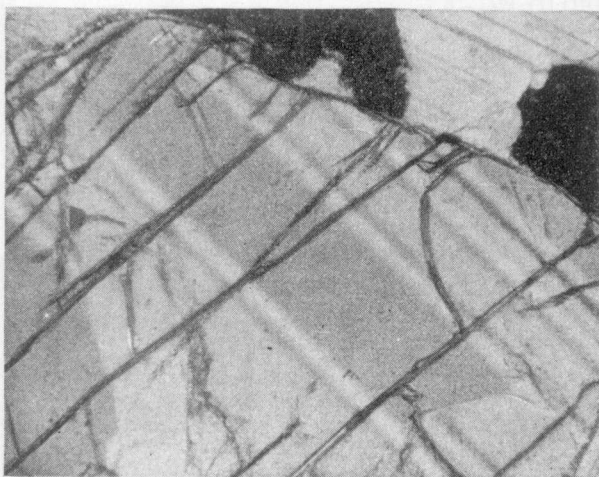


FIG. 15-7. Diagrama de orientación de la condrodita. Macla con un plano de macla correspondientes a (001). La sección es paralela a (010).

Color. De incoloro a amarillento o pardusco. Las variedades de color más oscuro son pleocroicas desde el neutro al pardo o pardo pálido, al pardo-rojizo, etc.



(a)



(b)

FIG. 15-8 *a, b.* ($\times 60$) Parte de un cristal partido de la condrodita. (a) Iluminación normal y (b) nicoles cruzados mostrando las maclas.

Forma. La condrodita se encuentra, por lo general, en cristales subhédricos, más o menos alargados y en grandes anhedros. Aunque el mineral es monoclinico, la $\angle \beta$ entre los ejes a y c es 90° (sigonía rómbica).

Exfoliación. Con frecuencia es paralela a (001) debido a las maclas.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_a = 0,027$ a $0,035$; el máximo color de interferencia varía de verde a rojo de segundo orden, según las variedades.

Extinción. El máximo ángulo de extinción, medido desde el plano de macla {001}, varía de -26° a -31° .

Orientación. La dirección de extinción más cercana al plano de macla es el rayo más rápido.

Maclas. Son bastante frecuentes las maclas, las cuales pueden aparecer como maclas simples, maclas de compenetración o polisintéticas. El plano de macla es {001}. Sin las maclas es muy difícil orientar la condrodita. Puede haber también maclas paralelas a {105} y {305}.

Figura de interferencia. La figura es biaxial positiva de ángulo axial grande. El plano axial es normal a {010}. La dispersión, $r > v$, débil.

Características especiales. Por lo general, la condrodita se distingue del olivino por su pleocroísmo.

Minerales afines. Parecidos a la condrodita hay otros tres minerales pertenecientes a su grupo, que son norbergita, humita y clinohumita. Para distinguirlos hay que hacer uso de los ángulos de extinción y los índices de refracción.

La alleghanyita, manganeso análogo a la condrodita, se parece mucho a ella, pero es ópticamente negativa.

Yacimiento. La condrodita es uno de los minerales más característicos de la caliza metamórfica. Con frecuencia está asociado con la flogopita y espinela.

Grupo del granate

(Piropo	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	$n = 1,741$ a $1,760$
(Almandina	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	$n = 1,778$ a $1,815$
(Espessartina	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	$n = 1,792$ a $1,820$
(Uvarovita	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$	$n = 1,838$ a $1,870$
(Grossularita	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	$n = 1,736$ a $1,763$
(Andradita	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	$n = 1,857$ a $1,887$

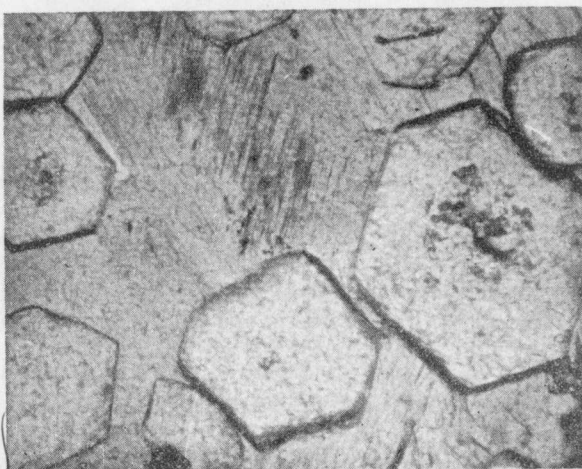
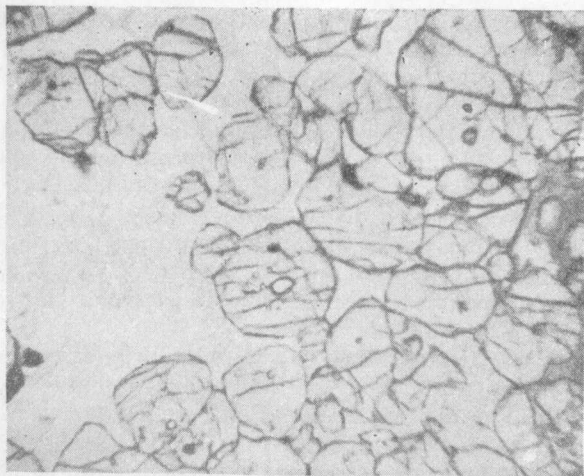
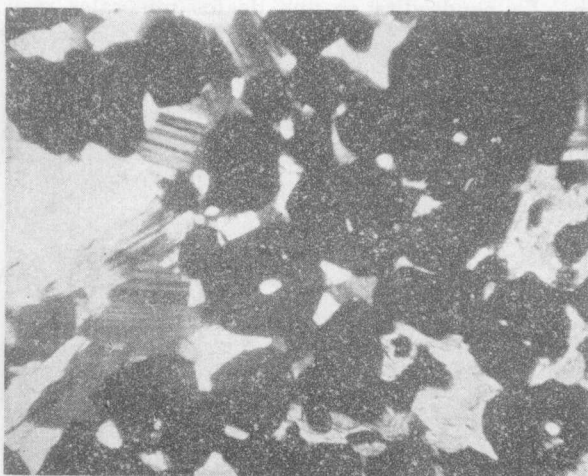


FIG. 15-9. ($\times 25$) Cristales de granate dodecaédricos.



(a)



(b)

FIG. 15-10. ($\times 20$) Cristales de granate anhédricos en una matriz de cuarzo-plagioclasa, (a) Iluminación normal, y (b) nicoles cruzados con carácter isotrópico.

En este capítulo hemos dividido en dos subgrupos los seis minerales del grupo del granate: la serie del piropo, almadina-espessartina (llamada pyralspita, por Winchell) y la serie uvarovita-grossularia-andradina (según Winchell, ugrandita). Es raro encontrar un granate que corresponda a cualquiera de las fórmulas dadas. Hay mezclas isomorfas de individuos extremos en cantidades variables. Se le da el nombre en atención al individuo que predomine en el mineral.

Color. Incoloro, rojizo pálido, de pardo pálido a pardo oscuro, gris verdoso, etc., si se mira en secciones delgadas. Los cristales a veces aparecen a bandas.

Forma. Es corriente encontrar cristales euhédricos dodecaédricos en secciones de seis lados y en secciones de ocho cristales trapezoédricos. El granate también se encuentra en granos poligonales, agregados y masas. Son frecuentes las inclusiones.

Exfoliación. No hay, pero se encuentran separaciones paralelas a $\{110\}$. Son características las fracturas irregulares.

Relieve. Muy alto, superficie rugosa; $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. La mayor parte de las variedades son oscuras entre nicoles cruzados, pero algunas tienen una birrefringencia débil o muy débil. Las áreas birrefringentes aparecen en zonas o por sectores (ver Figura 8-26).



FIG. 15-11. ($\times 20$) Cristales de granate anormales procedentes de una zona metamórfica de contacto. Darwin, California. (Cortesía del profesor Vincent Kelley.)

Características especiales. El granate se parece a la espinela, aunque esta última se encuentra en octaedros. Para determinar las diferentes clases de granate se emplean los índices de refracción, combinados con la determinación del peso específico.

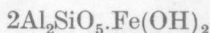
Alteración. La clorita es el producto más corriente de transformación del granate.

Yacimiento. El granate es característico de las rocas metamórficas. Es también bastante frecuente como mineral detrítico. La almandina es el granate corriente de esquitos y gneis. El piropo se limita casi prácticamente a las peridotitas y serpentinas derivadas. La grossularita y andradina son frecuentes en zonas metamórficas de contacto. La melanita, variedad castaño oscura de la andradina, se encuentra en rocas ígneas sódicas tales como la nefelina, sienitas, fonolitas, etc.

La essartina se encuentra en pegmatitas, esquitos y cuarcitas.

La uvarovita, el más raro de los granates, se encuentra como mineral secundario en la cromita y también en algunas zonas metamórficas de contacto.

El granate es corriente encontrarlo como mineral detrítico. Con frecuencia los granos son acanalados o hundidos.



ESTAUIROLITA

Rómbico

$$n_\alpha = 1,736 \text{ a } 1,747$$

$$n_\beta = 1,741 \text{ a } 1,754$$

$$n_\gamma = 1,746 \text{ a } 1,762$$

$$2V = 80^\circ \text{ a } 88^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \beta \text{ o } Y, b = \alpha \text{ o } X, c = \gamma \text{ o } Z$$

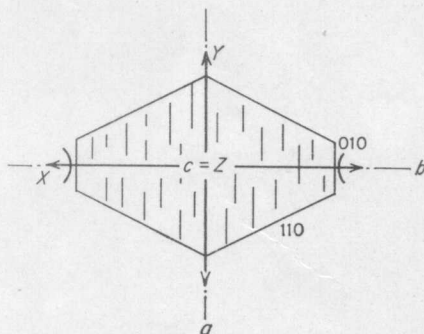


FIG. 15-12. Diagrama de orientación de la estauirolita. La sección es paralela a (001)

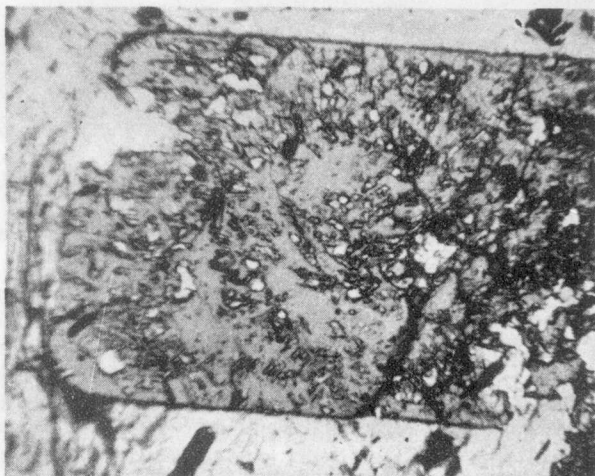
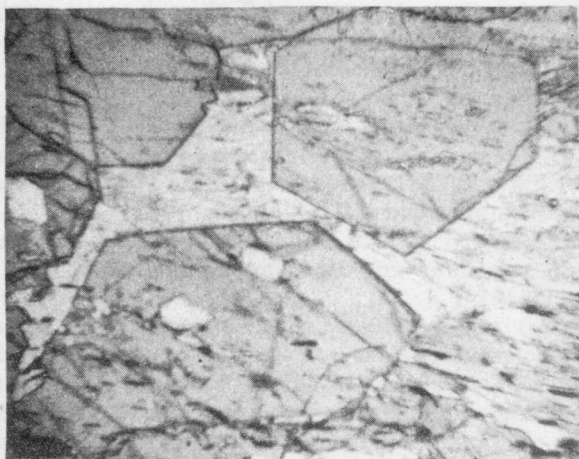
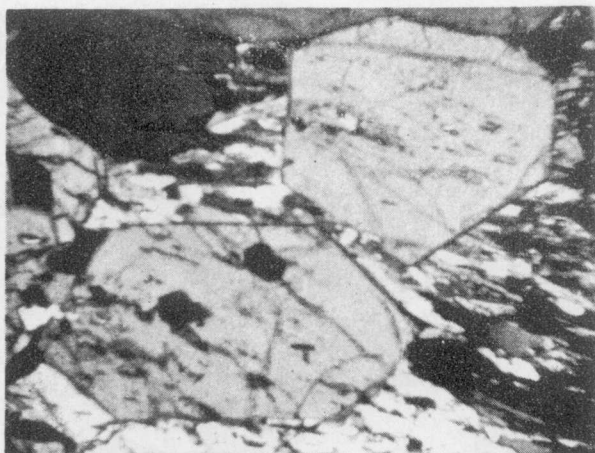


FIG. 15-13. ($\times 20$) Cristal de estauirolita con inclusiones de cuarzo.

Color. En secciones delgadas, amarillo pálido. Pleocroísmo característico casi incoloro tirando a pardo amarillo. Absorción: γ o $Z > \beta$ o $Y > \alpha$ o X .



(a)



(b)

FIG. 15-14 *a, b.* ($\times 20$) Cristales bastos de estaurolita en el esquisto. (a) Iluminación normal y (b) nicoles cruzados presentando alineación en los granos de cuarzo de la matriz.

Forma. Normalmente la estaurolita aparece en cristales euhédricos de hábito prismático corto y en secciones transversales de seis lados con la forma $\{110\}$ y $\{010\}$.

$$(110 \wedge 1\bar{1}0) = 51^\circ$$

Normalmente los cristales tienen una longitud de un centímetro o más.

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Exfoliación. Sin ninguna característica y paralela a (010) .

Inclusiones. Casi siempre predominan inclusiones de cuarzo ordenadas de forma irregular (Fig. 8-29).

Birrefringencia. Bastante débil, $n_y - n_a = 0,010$ a $0,015$; el máximo color de interferencia es de primer orden de amarillo a rojo.

Extinción. En la mayoría de las secciones, paralela, en las secciones transversales, simétrica.

Orientación. Los cristales son largo-lento.

Maclas. Son frecuentes las maclas de penetración cuyo plano de macla corresponde a $\{023\}$ ó $\{232\}$, pero nunca se han visto maclas polisintéticas. En secciones delgadas, raras veces se han encontrado maclas.

Figura de interferencia. La figura de interferencia es biaxial positiva con un ángulo axial muy grande. El plano axial es $\{100\}$. La dispersión, $r > v$, débil.

Características especiales. Estas características son el color, el pleocroísmo y las inclusiones de cuarzo.

Yacimiento. La estauroлита se encuentra en forma de metacristales en rocas metamórficas tales como esquistos, filitas y gneis. Los asociados corrientes son el granate, cianita y silliminita, además del cuarzo.

La presencia de estauroлита demuestra que la roca de origen fue una roca sedimentaria.

Es también frecuente encontrarla como mineral detrítico.

ESFENA

(Titanita)



Monoclínico
 $\angle\beta = 60^\circ 17'$

$$n_a = 1,887 \text{ a } 1,913$$

$$n_\beta = 1,894 \text{ a } 1,921$$

$$n_y = 1,979 \text{ a } 2,054$$

$$2V = 23^\circ \text{ a } 50^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge a \text{ o } X = +33^\circ \text{ a } 43^\circ$$

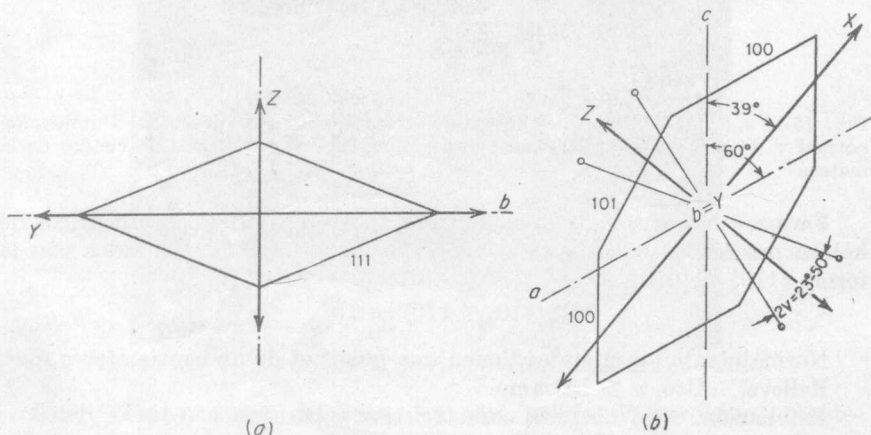


FIG. 15-15 a, b. Diagramas de orientación de la esfena.

Color. En secciones delgadas, de casi incoloro a neutro. En secciones gruesas, algunas variedades son pleocroicas. Colores axiales: α o X , casi incoloro; β o Y , de amarillo pálido a verdoso pálido; γ o Z , de amarillo a pardo-rojo.

Forma. Normalmente se encuentra en cristales euhédricos de sección transversal rómbica aguda o en granos irregulares.

Exfoliación. A menudo se encuentra en la esfena una partición (paralela a 221) dominante. Estas direcciones de partición no son paralelas a los contornos cristalinos.

Relieve. Muy alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Extrema, $n_\gamma - n_\alpha = 0,092$ a $0,141$; los colores de interferencia son blancos, de orden alto, aunque, por lo general, se ven oscurecidos debido a la reflexión total.

Extinción. A causa de su fuerte dispersión, no siempre la esfena presenta una extinción completa. Las secciones rómbicas tienen extinción paralela.

Maclas. A veces hay maclas cuyo plano de macla corresponde a $\{100\}$ (Figura 18-8). También puede haber maclas polisintéticas paralelas a (221).

Figura de interferencia. La figura es biaxial positiva de ángulo axial moderado. El plano axial es $\{010\}$. La bisectriz aguda es casi normal a (102). La dispersión, $r > v$, fuerte.



FIG. 15-16. ($\times 20$) Cristales de esfena euhédricos de relieve alto, secciones rómbicas angulares y partición prominente.

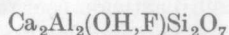
Características especiales. La monacita es algo parecida a la esfena, pero se la distingue de esta última por tener una birrefringencia más baja y una dispersión más débil. Son muy características de la esfena las secciones transversales rómbicas agudas.

Yacimiento. La esfera es un mineral accesorio muy abundante (probablemente mineral deutérico), que se encuentra en rocas en granos y en rocas

metamórficas tales como gneís y esquistos. Probablemente se ha formado en un último estado de rocas ígneas.

No es muy corriente encontrarlo como mineral detrítico excepto localmente, como en la orilla sur de Lake Tahoe, donde procede de las granodioritas.

IDOCRASA



(Vesuvianita)

Tetragonal

$$n_e = 1,701 \text{ a } 1,726$$

$$n_w = 1,705 \text{ a } 1,732$$

Opt. (—)

Color. En secciones delgadas, de incoloro a neutro. En secciones gruesas puede ser pleocroico.

Forma. Aparece en cristales euhédricos, en agregados columnares, en anhedros de contornos poligonales y en agregados finos.

Exfoliación. Imperfecta paralela a {110}.

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. De muy débil a débil, $n_w - n_e = 0,004 \text{ a } 0,006$; los colores de interferencia son gris de primer orden bajo, algunas veces de un verde gris púrpura o azul oscuro normal, y otras anormal.

Extinción. Paralela.

Orientación. En agregados columnares, largo-rápido.

Figura de interferencia. Normalmente es uniaxial negativa, aunque puede ser biaxial de ángulo axial pequeño.

Características especiales. La idocrasa anormal se parece a la zoisita y la clinozoisita; con frecuencia es difícil distinguirla de ellas.

Alteración. Observada en muy pocas ocasiones.

Yacimiento. El principal yacimiento de la idocrasa está en las zonas metamórficas de contacto. Los minerales afines son el granate, la diópsida, la wollastonita, epidota y calcita. También se encuentra asociada con la serpentina en forma de una especie de pseudojade (californita).

CIRCON



Tetragonal

$$n_w = 1,925 \text{ a } 1,931$$

$$n_e = 1,985 \text{ a } 1,993$$

Opt. (+)

Color. De incoloro a colores pálidos en las secciones delgadas.

Forma. Normalmente se encuentra en cristales diminutos de hábitos prismático corto. Con frecuencia está en forma de inclusiones y puede ser rodeado de halos pleocroicos.

Exfoliación. No hay.

Relieve. Muy alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Muy fuerte, $n_e - n_w = 0,060 \text{ a } 0,062$; los máximos colores de interferencia por lo general son tonos pálidos de cuarto orden, pero los cristales pequeños pueden tener colores de interferencia más bajos.

Extinción. Paralela.

Orientación. Los cristales son largo-rápido.

Figura de interferencia. Es uniaxial, pero es difícil obtener debido al pequeño tamaño de los cristales.

Características especiales. El circón se distingue del apatito por tener una birrefringencia más fuerte y un relieve más alto. Se puede separar de las rocas machacadas con bromoformo o cualquier otro líquido pesado.

Minerales afines. El malacón es un producto de transformación metamítica del circón. Es un mineraloide amorfo.

Yacimiento. El circón es un mineral muy abundante en rocas graníticas y otras rocas ígneas en grano. Es componente dominante en algunas sienitas por lo cual, con frecuencia, éstas se llaman sienitas de circón. También se encuentra en ciertas rocas metamórficas. Es uno de los minerales detríticos más extendidos y abundantes y casi siempre resiste la destrucción debida a la erosión y deposición.

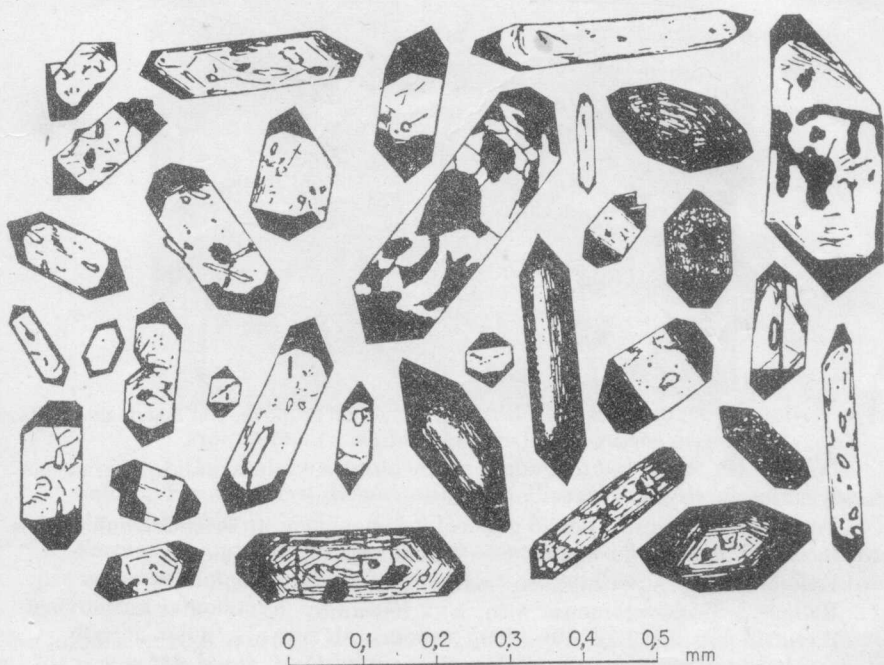


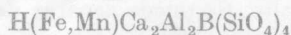
FIG. 15-17. Bocetos de cristales de circón separados de los granitos de Africa del Sur. (Cortesía del profesor Arie Poldervaart.)

Poldervaart (1955) estudió y resumió las formas de los cristales de circón observadas en las areniscas.

Parece ser que el circón (ZrSiO_4) y la torita (ThSiO_4) son series estructurales. El circón también se transforma añadiéndole U, Th, Pb y H_2O , siendo acompañado el fenómeno por una pérdida de sílice. El circón trans-

formado se compone de agregados cristalinos que llegan a ser isotrópicos y opacos. Los diminutos cristales de circón que hay en la biotita están a veces rodeados por halos pleocroicos.

AXINITA



Triclínico

$$\begin{aligned} n_a &= 1,678 \text{ a } 1,684 \\ n_\beta &= 1,685 \text{ a } 1,692 \\ n_\gamma &= 1,688 \text{ a } 1,696 \\ 2V &= 70^\circ \text{ a } 75^\circ; \text{ Opt. (—) } \\ \alpha \text{ o } X &\text{ casi } \perp \text{ a } (011) \end{aligned}$$



FIG. 15-18. ($\times 20$) Cristales de axinita que forman un grupo en una matriz de calcita.

Color. En secciones delgadas, de incoloro a violeta pálido. En secciones gruesas, presenta a veces pleocroísmo.

Forma. La axinita, por lo general, se encuentra en cristales euhédricos de secciones de ángulo agudo. Son frecuentes las inclusiones.

Exfoliación. Imperfecta en varias direcciones.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_a = 0,010$ a $0,012$, siendo un poco más elevada que el cuarzo.

Extinción. Oblicua para los contornos y las huellas de exfoliación.

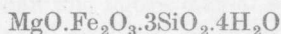
Figura de interferencia. Es biaxial negativa con un ángulo axial grande. La dispersión, $r < v$ o $r > v$.

Características especiales. La axinita no tiene características especiales y por tanto es difícil reconocerla en las secciones delgadas. Su birrefringencia es como la del cuarzo, pero sus índices de refracción son considerablemente más altos. Es biaxial, mientras que el cuarzo es uniaxial.

Yacimiento. La axinita se encuentra en rocas calcáreas de zonas metamórficas de contacto. Los asociados más comunes, además del cuarzo

y la calcita, son el granate y la hedenbergita. La axinita también se encuentra en granitos y pegmatitas graníticas. Comparativamente es un mineral raro, aunque en la roca metamórfica de contacto, conocida con el nombre de limuritas, forma más del 50 por ciento de la roca.

IDDINGSITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,674 \text{ a } 1,730$$

$$n_\beta = 1,715 \text{ a } 1,763$$

$$n_\gamma = 1,718 \text{ a } 1,768$$

$$2V = 25^\circ \text{ a } 60^\circ; \text{Opt. } (+) \text{ o } (-)$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$



FIG. 15-19. ($\times 20$) Iddingsita bajo iluminación normal.

Color. En secciones delgadas, pardo. Pleocroísmo, de escaso a distinguible. Absorción: $\gamma \text{ o } Z > \beta \text{ o } Y > \alpha \text{ o } X$.

Forma. La iddingsita, por lo que se conoce hasta ahora, aparece siempre como pseudomorfo parcial o completo del olivino. Parece que tiene una estructura lamelar.

Exfoliación. En tres direcciones, $\{100\}$, $\{001\}$, $\{010\}$, que forman ángulos rectos. De éstas, la $\{100\}$ tiene la exfoliación más perfecta.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,038 \text{ a } 0,044$; el máximo color de interferencia debería ser de tercer orden, pero el color del mineral modifica o enmascara el color de interferencia.

Extinción. Paralela a las huellas de exfoliación.

Figura de interferencia. Es biaxial, positiva o negativa, con un ángulo axial moderado. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v \text{ o } r < v$, fuerte.

Características especiales. La iddingsita se caracteriza por su color pardo rojizo, su estructura lamelar y la forma de yacimiento.

Alteración. A veces la iddingsita se encuentra más o menos transformada en limonita o indefinidos óxidos de hierro hidratados.

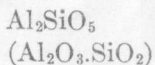
Yacimiento. Se encuentra en basaltos y porfiros de basalto como un producto de transformación del olivino. Según Ross y Shannon, es un mineral deutérico o hidrotermal y no se ha formado por la acción de los agentes atmosféricos.

Familia de la Sillimanita

Es útil estudiar en un grupo ciertos silicatos de aluminio anhídricos y compuestos similares que contienen flúor o boro. Son, esencialmente, minerales anhidros que, a altas temperaturas, se convierten en mullita, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. La sillimanita, andalucita y cianita son formas polimorfas de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ con una alúmina: proporción del sílice de 1 : 1. La sillimanita es uno de los minerales más abundantes del grupo, aunque también haya mucha cianita, andalucita y topacio.

ANDALUCITA

(inc. Quiastolita)



Rómbica

$$\begin{aligned} n_\alpha &= 1,629 \text{ a } 1,640 \\ n_\beta &= 1,633 \text{ a } 1,644 \\ n_\gamma &= 1,639 \text{ a } 1,647 \\ 2V &= \text{ca. } 84^\circ; \text{ Opt. (—)} \\ a &= \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X \end{aligned}$$

Color. Normalmente incoloro, más raramente rojizo. La variedad coloreada es pleocroica del rosa-rojo (α o X) al verde pálido (β o Y) y (γ o Z).

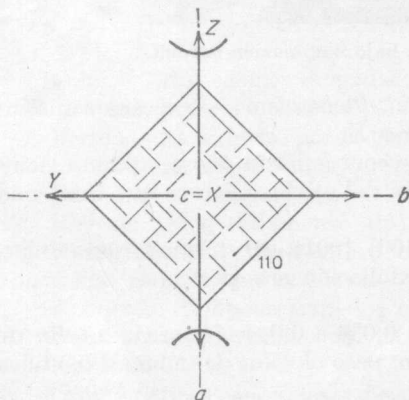


FIG. 15-20. Diagrama de orientación de la andalucita. Sección paralela a (001).

Forma. La andalucita se encuentra por lo general en cristales euhédricos o agregados columnares bastos. Las secciones transversales son casi cuadradas ($110 : 1\bar{1}0 = 89^\circ 12'$). A veces hay inclusiones oscuras de sustancia carbonácea, colocada simétricamente en forma de cruz. Esta variedad se conoce con el nombre de *quiasolita*. (Figura 8-24.)

Exfoliación. Característica, paralela a $\{110\}$. En las secciones transversales las huellas de exfoliación están en dos direcciones formando ángulos aproximadamente rectos.

Relieve. Moderadamente alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,007 \text{ a } 0,011$, cercana a la

del cuarzo. Los colores de interferencia oscilan hasta llegar al amarillo de primer orden.

Extinción. En la mayoría de las secciones es paralela. Las secciones transversales tienen extinción simétrica.

Orientación. Los cristales de agregados columnares son largo-rápido.

Figura de interferencia. Las secciones transversales de los cristales dan una figura biaxial negativa con un ángulo axial muy grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, débil.

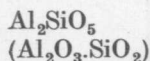
Características especiales. La andalucita se distingue de la sillimanita por su carácter de largo-rápido, una birrefringencia más débil y un ángulo axial grande. La variedad pleocroica coloreada se parece a la hiperstena, pero esta última es largo-lento en vez de largo-rápido.

Minerales afines. La viridina es una andalucita magnesiana de índices de refracción más altos y birrefringencia más fuerte que las estudiadas aquí.

Alteración. Con frecuencia se ve que la andalucita se ha transformado en sillimanita. La quiaztolita se transforma más o menos en sericita a lo largo de las líneas incluidas en la sustancia carbonácea.

Yacimiento. La andalucita se encuentra en pegmatitas graníticas y en venas a altas temperaturas. En su forma de quiaztolita es un mineral metamórfico de contacto característico de esquistos, filitas y pizarras. Es bastante abundante.

SILLIMANITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,657 \text{ a } 1,661$$

$$n_\beta = 1,658 \text{ a } 1,670$$

$$n_\gamma = 1,677 \text{ a } 1,684$$

$$2V = 20^\circ \text{ a } 30^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

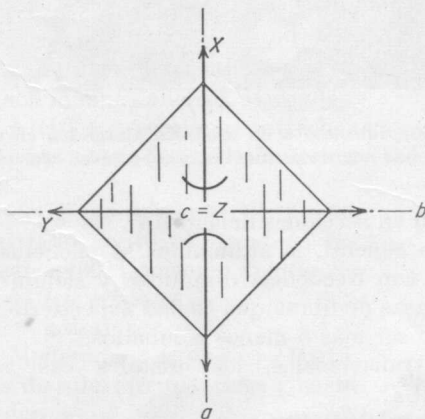
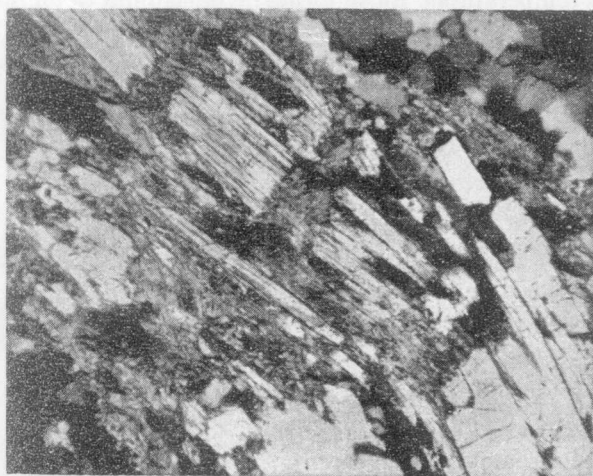


FIG. 15-21. Diagrama de orientación de sillimanita. Sección paralela a (001).



(a)



(b)

FIG. 15-22 *a, b.* ($\times 60$) Sillimanita en cristales alargados en esquistos. (a) Iluminación normal con manchas negras de biotita, y (b) nicoles cruzados.

Color. Incoloro en secciones delgadas.

Forma. Por lo general, la sillimanita se encuentra en cristales prismáticos pequeños, con frecuencia diminutos y siempre delgados; también se encuentra en masas de fibras que tienen aspecto de fieltro. (Figura 8-6.) Los cristales suelen ser más o menos combados.

En secciones transversales, los cristales casi son cuadrados con $(110 \wedge 1\bar{1}0) = 88^\circ 15'$.

Exfoliación. Paralela a $\{010\}$, aunque no siempre se nota en las secciones. Son corrientes las fracturas transversales.

Relieve. Moderadamente alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,020$ a $0,023$; así los colores de interferencia llegan hasta el azul de segundo orden. Las secciones transversales presentan colores muy bajos de primer orden, ya que $n_\beta - n_\alpha = 0,001$ a $0,009$.

Extinción. En secciones longitudinales es paralela, y en secciones transversales, simétrica.

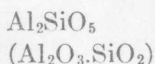
Orientación. Los cristales o fibras son largo-lento.

Figura de interferencia. Debido al pequeño tamaño de los cristales, muy raras veces se obtienen buenas figuras. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, fuerte.

Características especiales. La sillimanita se distingue de la andalucita por su carácter de largo-lento, su birrefringencia, más fuerte, y su ángulo axial, más pequeño. Se parece más a la mullita, aunque esta última tenga una dispersión de birrefringencia más alta. A veces se parece al apatito, pero éste es largo-rápido y de birrefringencia más débil.

Yacimiento. La sillimanita se encuentra en gneis, esquistos, pizarras, corneana y otras rocas metamórficas. Los asociados más corrientes son el corindón, andalucita, cianita, dumortierita y cordierita.

CIANITA



Triclínico

$$\angle \alpha = 90^\circ 5\frac{1}{2}'$$

$$\angle \beta = 101^\circ 2'$$

$$\angle \gamma = 105^\circ 44\frac{1}{2}'$$

$$n_\alpha = 1,712$$

$$n_\beta = 1,720$$

$$n_\gamma = 1,728$$

$$2V = \text{ca. } 82^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$\text{Pl. ax. casi } \perp \{100\}; c \wedge \gamma \text{ ó } Z - 30^\circ \pm$$

Color. De incoloro a azul pálido. En secciones gruesas puede ser pleocroico.

Forma. Las secciones características de la cianita (Figura 8-17) son láminas anchas, alargadas, tabulares, paralelas a $\{100\}$ y secciones estrechas paralelas a $\{010\}$. Con frecuencia los cristales están combados.

Exfoliación. Perfecta, paralela a $\{100\}$, menos perfecta la que es paralela a $\{010\}$, también las particiones transversales $\{001\}$ forman ángulo de 85° con la longitud de los cristales.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,016$; por tanto, los colores de interferencia llegan hasta el rojo de primer orden.

Extinción. El ángulo sobre $\{100\}$ es aproxima-

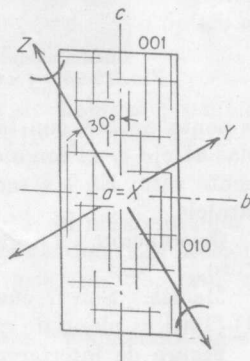


FIG. 15-23. Diagrama de orientación de la cianita. Sección paralela a $\{100\}$.

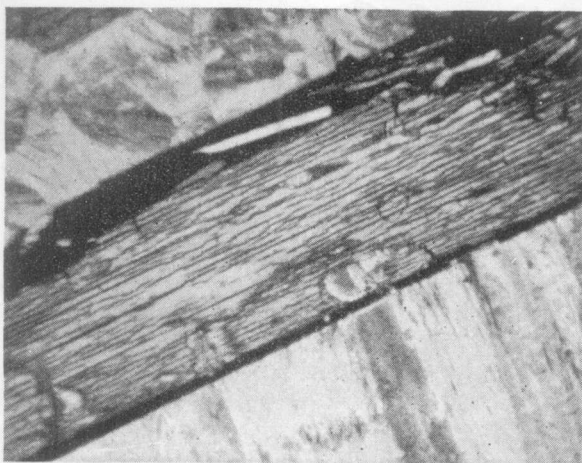


FIG. 15-24. ($\times 20$) Porción de cristal a bandas de cianita.

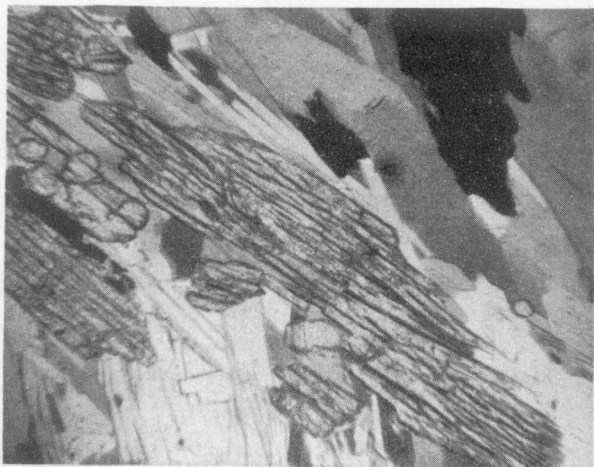


FIG. 15-25. ($\times 60$) Cianita en una matriz de cuarzo y muscovita.

damente de 30° con la longitud de los cristales. En otras secciones paralelas al eje c , el ángulo de extinción es pequeño, algunas veces prácticamente cero. En las secciones transversales la extinción es paralela o casi paralela.

Orientación. La dirección de extinción más cercana al eje c es el rayo lento.

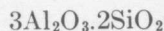
Maclas. Son frecuentes las maclas; hay dos leyes de maclas corrientes: (1) $\{100\}$ = plano de macla, (2) $\{001\}$ = plano de macla.

Figura de interferencia. Las secciones cortadas paralelas a $\{100\}$ o a las escamas de exfoliación proporcionan una figura biaxial negativa de ángulo axial grande. El plano axial forma un ángulo de 30° con la huella del eje c . La dispersión, $r > v$ es débil.

Características especiales. Es característico de la cianita el ángulo de extinción de 30° junto con la figura biaxial de interferencia obtenida en las secciones anchas.

Yacimiento. La cianita se encuentra en esquistos y gneis asociada con cuarzo, muscovita, granate, estauroлита y rutilo. Nunca se encuentra en rocas ígneas. También se puede encontrar como mineral detrítico.

MULLITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,642$$

$$n_\beta = 1,644$$

$$n_\gamma = 1,654$$

$$2V = 20^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

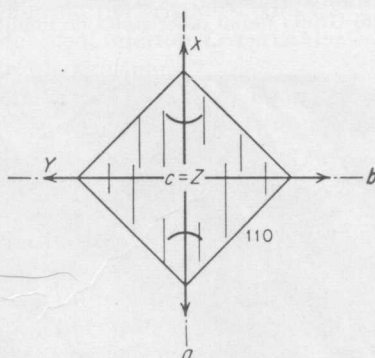


FIG. 15-26. Diagrama de orientación de la mullita. Sección paralela a (001).

Las constantes ópticas, dadas aquí, corresponden al mineral artificial; en el mineral natural, los índices, la birrefringencia y el ángulo óptico son todos un poco más altos.

Color. Incoloro en secciones delgadas.

Forma. La mullita se encuentra en cristales de habitus prismático largo con una sección transversal casi cuadrada. $110 \wedge 1\bar{1}0 = 89^\circ 13'$.

Exfoliación. $\{010\}$, característica.

Relieve. Bastante alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,012$; el máximo color de interferencia es aproximadamente amarillo de primer orden. Las secciones transversales tienen colores de interferencia gris oscuro, ya que $n_\beta - n_\alpha = 0,002$.

Extinción. En secciones longitudinales es paralela y simétrica en secciones transversales.

Orientación. Los cristales son largo-lento.

Figura de interferencia. La figura es positiva biaxial de ángulo axial moderado. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$.

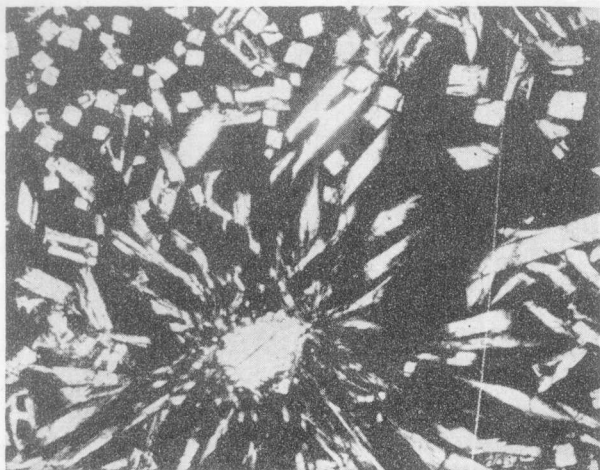


FIG. 15-27. ($\times 25$) Grupo radial de cristales de mullita (artificial).

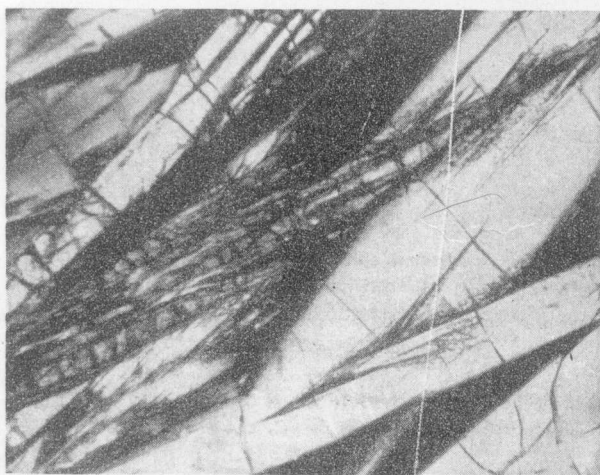


FIG. 15-28. ($\times 20$) Cristales en hojas de mullita (artificial, nicoles cruzados).

Características especiales. La mullita es tan parecida a la sillimanita en todas sus propiedades que, hasta hace poco, más de dos décadas, no se la distinguía. Los índices de refracción de la sillimanita son algo más altos que los de la mullita.

Yacimiento. La mullita se encuentra en sedimentos arcillosos fundidos, encontrados como inclusiones de intrusiones ígneas. La mullita es un mineral muy raro, encontrado en la isla de Mull en la costa oeste de Escocia.

Mullita artificial. La mullita artificial es la sustancia que se desprende al calentar la sillimanita, andalucita o cianita. Se emplea en la fabricación de porcelanas de alta calidad, tales como las usadas en las bujías

de encendido de los automóviles. También se encuentra mullita en la porcelana corriente en forma de diminutos cristales prismáticos.

DUMORTIERITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,659 \text{ a } 1,678$$

$$n_\beta = 1,684 \text{ a } 1,691$$

$$n_\gamma = 1,686 \text{ a } 1,692$$

$$2V = 20^\circ \text{ a } 40^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X$$

Color. De incoloro a azul, lavanda, rosa o rojizo. Pleocroico desde el incoloro hasta el azul o desde el incoloro hasta el rojizo, teniendo su máxima absorción cuando la longitud del cristal es paralela al plano de vibración del nicol inferior. Los cristales pequeños no presentan pleocroísmo.

Forma. La dumortierita aparece en cristales prismáticos a aciculares, que con frecuencia forman un fieltro de fibras. Las secciones transversales son pseudohexagonales debido a las maclas.

Exfoliación. Imperfecta y paralela a la longitud. También hay fracturas transversales.

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante débil a moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,011 \text{ a } 0,020$; por tanto, los máximos colores de interferencia varían del naranja de primer orden hasta el azul de segundo.

Extinción. En la mayoría de las secciones es paralela.

Orientación. Los cristales son largo-rápido.

Maclas. A veces las secciones transversales son maclas triples de penetración con un plano de macla correspondiente a $\{110\}$.

Figura de interferencia. Es biaxial negativa con un ángulo axial moderado, aunque debido al pequeño tamaño de los cristales es muy difícil de conseguir. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r < v$ o $r > v$.

Características especiales. La dumortierita se parece a algunas variedades de la turmalina; la absorción más grande se manifiesta cuando los cristales son paralelos al plano de vibración del nicol inferior en vez de ser normales a esa dirección. La dumortierita no pleocroica se parece a la sillimanita, pero esta última es largo-lento.

Alteración. La dumortierita se transforma a veces en sericita.

Yacimiento. Se encuentra en pegmatitas de granito, esquistos, gneis y otras rocas metamórficas. Los asociados corrientes son el cuarzo, muscovita, turmalina, andalucita, sillimanita, topacio y rutilo.

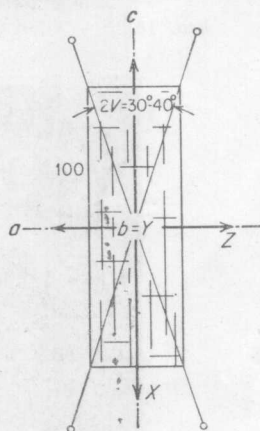


FIG. 15-29. Diagrama de orientación de la dumortierita. Sección paralela a $\{010\}$.



FIG. 15-30. ($\times 50$) Cristales de dumortierita en una matriz de sericita.

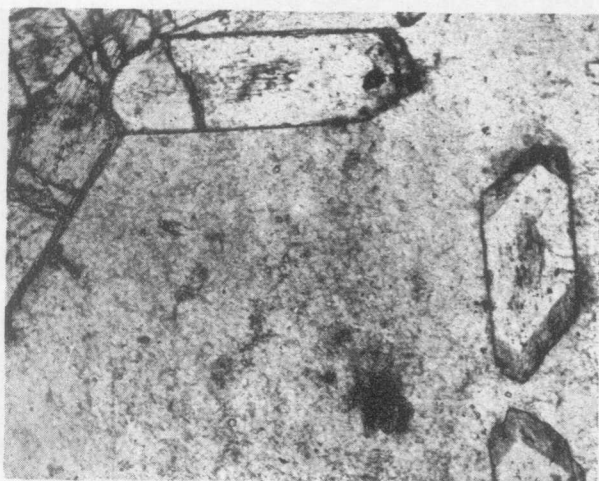


FIG. 15-31. ($\times 25$) Cristales euhédricos de dumortierita.

TOPACIO



Rómbico

$$n_\alpha = 1,607 \text{ a } 1,629$$

$$n_\beta = 1,610 \text{ a } 1,631$$

$$n_\gamma = 1,617 \text{ a } 1,638$$

$$2V = 48^\circ \text{ a } 65^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

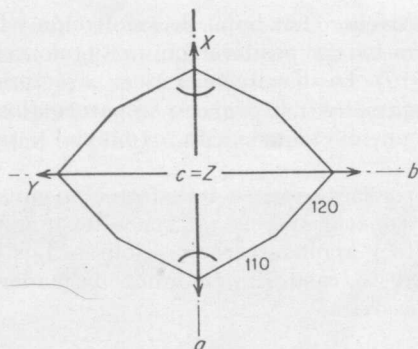


FIG. 15-32. Diagrama de orientación del topacio. Sección paralela a (001).

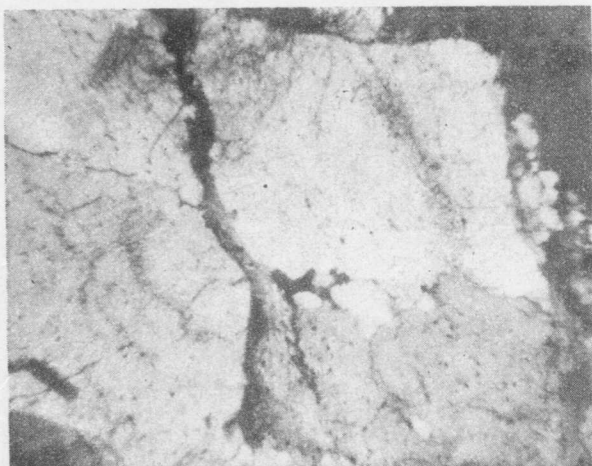


FIG. 15-33. ($\times 20$) Cristales euhédricos del topacio (nicoles cruzados).

Color. En secciones delgadas incoloro.

Forma. El topacio se encuentra en cristales euhédricos de habitus prismático corto, en granos anhédricos y en agregados columnares. Son corrientes los cristales negativos con inclusiones fluidas y burbujas de gas.

Exfoliación. Perfecta en una dirección, paralela a {001}.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,009$ a $0,010$, aproximadamente la misma que la del cuarzo. Los colores de interferencia son grises, blancos o amarillo paja de primer orden. Las hojas de exfoliación presentan una birrefringencia muy débil, ya que $n_\beta - n_\gamma = 0,003$.

Extinción. Paralela en secciones longitudinales y simétrica en secciones basales.

Orientación. Las huellas de exfoliación son paralelas al rayo más rápido.

Figura de interferencia. Las hojas de exfoliación y las secciones basales dan lugar a una figura biaxial positiva con un ángulo axial bastante grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, característica.

Características especiales. El topacio se parece al cuarzo, pero se diferencia en que tiene un relieve más alto, es biaxial y tiene una exfoliación perfecta.

Alteración. Es corriente que se transforme en muscovita o sericita.

Yacimiento. El topacio aparece en venas de temperatura elevada, en pegmatitas de granito y algunas veces en riolitas. Los minerales asociados son la turmalina, fluorita, casiterita («láminas de madera» en los yacimientos de riolita) y muscovita.

ESTRUCTURAS SiO_4 MÚLTIPLES (SOROSILICATOS)

LAWSONITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,665$$

$$n_\beta = 1,674$$

$$n_\gamma = 1,684$$

$$2V = 84^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

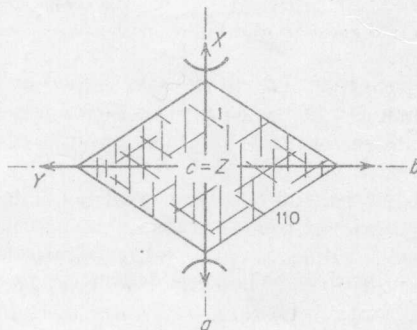


FIG. 15-34. Diagrama de orientación de la lawsonita. Sección paralela a (001).

Color. En secciones delgadas, incoloro. En secciones muy gruesas, puede ser pleocroico.

Forma. La lawsonita se encuentra en cristales euhédricos de habitus variable. Normalmente, las secciones son rómbicas ($110 \wedge 1\bar{1}0 = 67^\circ$) o rectangulares.

Exfoliación. Buena, paralela a $\{010\}$ y $\{001\}$, mediana paralela a $\{110\}$.

Relieve. Bastante alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,019$; de esta forma los colores de interferencia llegan hasta el azul de segundo orden.

Extinción. Paralela o simétrica.

Orientación. La diagonal más larga de las secciones rómbicas es paralela al rayo más lento.

Maclas. Es corriente encontrar la macla polisintética con un plano de macla correspondiente a $\{110\}$. Las láminas son generalmente delgadas, en una o dos direcciones, y, a veces, curvas.

Figura de interferencia. Es biaxial positiva con un ángulo axial muy grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$, fuerte.



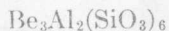
15-35. ($\times 20$) Metacrystal o porfiroblasto de lawsonita en la clorita.

Características especiales. La clinozoisita se parece un poco a la lawsonita, pero la distinguen de ella los colores de interferencia que son bastante anormales. La prehnita se confunde también con la lawsonita, pero su birrefringencia es más elevada.

Yacimiento. Los yacimientos característicos de la lawsonita son las rocas metamórficas tales como los esquistos de glaucófana. También se encuentra en gabros y dioritas, ya que es el resultado de un metamorfismo incipiente. La localidad tipo es la península de Tiburón, en la Bahía de San Francisco, California, aunque también se ha encontrado en Italia, Córcega, y Nueva Caledonia. Los asociados corrientes son la muscovita, glaucófana, granate y esfena.

ESTRUCTURA SEXTUPLE EN ANILLOS (CICLOSILICATOS)

BERILO



Hexagonal
(Subsistema hexagonal)

$$n_e = 1,564 \text{ a } 1,590$$

$$n_w = 1,568 \text{ a } 1,598$$

Opt. (—)

Color. En secciones delgadas, incoloro. En secciones gruesas orientadas, las variedades coloreadas, tales como la esmeralda, son algo pleocroicas

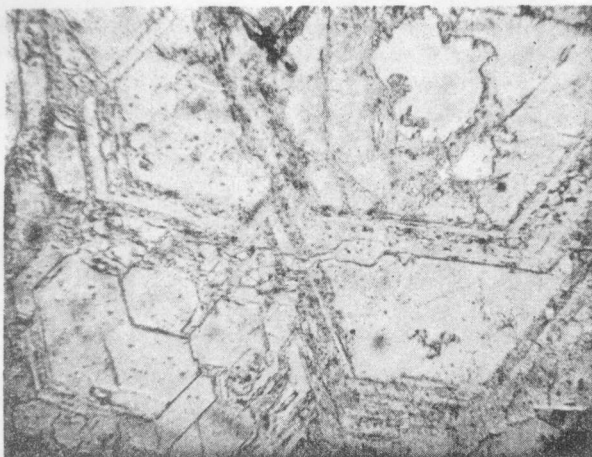


FIG. 15-36. ($\times 20$) Cristales de berilo con contornos hexagonales acentuados por inclusiones.

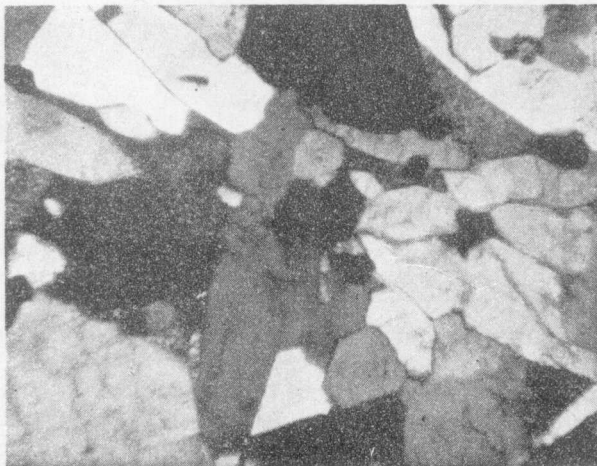


FIG. 15-37. ($\times 20$) Agregado granular de berilo y topacio (nicoses cruzados).

Forma. El berilo aparece normalmente en cristales bastante grandes de habitus prismático, ocasionalmente en prismas delgados y pequeños; otras veces se encuentra en forma masiva. En las secciones orientadas es frecuente encontrar inclusiones líquidas con burbujas de gas en cristales negativos de seis lados.

Exfoliación. Imperfecta paralela a (0001), que no se ven por lo general en secciones delgadas.

Relieve. Moderado, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Débil, $n_w - n_e = 0,004$ a $0,008$; los colores de interferencia son grises, blancos o amarillos paja de primer orden.

Extinción. Las secciones longitudinales tienen extinción paralela. Las secciones basales son oscuras en cualquier posición que se las mire.

Orientación. Las secciones del cristal son a largo-rápido.

Figura de interferencia. Las secciones basales dan una figura uniaxial negativa sin ningún anillo. Las transversales a veces presentan una ligera abertura en ciertas áreas.

Características especiales. El berilo se parece al apatito, pero éste último tiene los índices de refracción más elevados. Se distingue del cuarzo por su carácter de largo-rápido y su signo óptico.

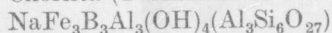
Alteración. A veces se transforma en caolín.

Yacimiento. El principal yacimiento del berilo se encuentra en las pegmatitas de granito. También en esquistos de mica y en venas de calizas asociadas con albita.

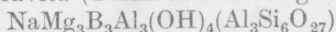
Grupo de la Turmalina

En el grupo de la turmalina se distinguen tres minerales:

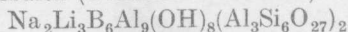
Chorlita (Turmalina de hierro)



Dravita (Turmalina de magnesio)



Elbaíta (Turmalina alcalina)



Hexagonal

(Sistema romboédrico)

Chorlita

$$n_\epsilon = 1,628 \text{ a } 1,658$$

$$n_\omega = 1,652 \text{ a } 1,698$$

Opt. (—)

Dravita

$$n_\epsilon = 1,613 \text{ a } 1,628$$

$$n_\omega = 1,632 \text{ a } 1,655$$

Opt. (—)

Elbaíta

$$n_\epsilon = 1,615 \text{ a } 1,629$$

$$n_\omega = 1,635 \text{ a } 1,655$$

Opt. (—)

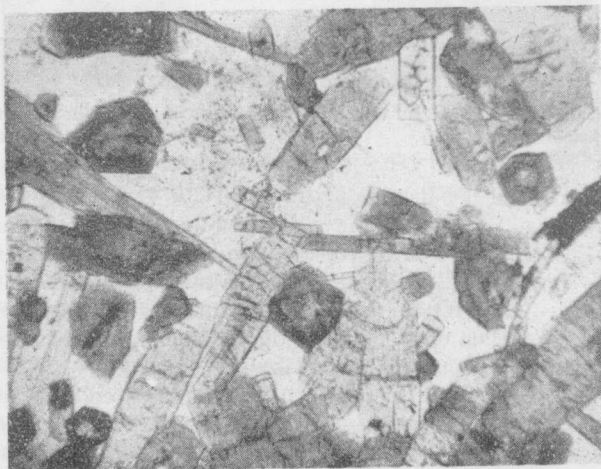


FIG. 15-38. ($\times 50$) Secciones cortadas longitudinal y transversalmente de cristales de turmalina en una matriz de cuarzo.

Color. La chorlita es gris neutro, azul pizarra, color de ante, oliva, etcétera. Normalmente hay pleocroísmo $\omega > \epsilon$. En las secciones transversales es corriente encontrar estructura zonal. La dravita es de incolora a amarillo

pálido en secciones delgadas, con algo de pleocroísmo con absorción: $\omega > \epsilon$. La acroíta (elbaíta) es incolora, pero las secciones gruesas tienen pleocroísmo: ϵ , incolora; ω , rosa, verde pálido o azul pálido.

Forma. La chorlita se encuentra en cristales prismáticos y puede formar agregados columnares o fibrosos. Los agregados esferolíticos de acroíta se conocen con el nombre de *soles de turmalina*, característicos de la luxuliana, un granito turmalinizado procedente de Cornwall (Figura 8-14). Las secciones transversales de los cristales de turmalina a veces son triangulares, de lados convexos curvos o hexagonales. Los cristales de dravita son, por lo general, grandes.

Exfoliación. No hay, aunque es corriente encontrar fracturas irregulares.



FIG. 15-39. ($\times 20$) Sección de un cristal de turmalina simple en una matriz de cuarzo y feldespato (nicos cruzados).

Relieve. Alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. De moderada a fuerte (chorlita) o moderada (dravita y acroíta). Las secciones transversales no presentan birrefringencia. La chorlita $n_{\omega} - n_{\epsilon} = 0,022$ a $0,040$, normalmente, alrededor de $0,025$. La dravita $n_{\omega} - n_{\epsilon} = 0,019$ a $0,025$. Acroíta $n_{\omega} - n_{\epsilon} = 0,015$ a $0,023$.

Extinción. Paralela en la mayoría de las secciones. Las secciones transversales permanecen oscuras al girarlas.

Orientación. Los cristales son largo-rápido. Los colores de interferencia de la chorlita a veces están enmascarados por el color natural.

Figura de interferencia. Las secciones basales proporcionan una figura uniaxial con uno o dos anillos.

Características especiales. La chorlita es de todos los minerales de la turmalina, la que presenta una absorción más fuerte normal al plano del polarizador. La dravita por lo general es de incolora a amarillo pálido. La acroíta puede ser incolora, rosa, verde pálido o azul pálido.

La chorlita se parece a la biotita y hornblenda. Las dos tienen una exfo-

liación perfecta, que no existe en la turmalina. Son dignos de mencionar el habitus alargado, la extinción paralela, la absorción fuerte y las secciones transversales triangulares o hexagonales.

Yacimiento. La chorlita alcanza su máximo desarrollo en las pegmatitas graníticas. También se encuentra en granitos turmalizados, en gneisen y en venas a temperaturas elevadas, donde a veces va asociada con la casiterita. Es también característica de ciertos esquistos y gneis y muchas veces se encuentra en la corneana. Es un mineral detrítico muy abundante, lo mismo en prismas fragmentarios que en granos bien redondeados.

La dravita también se encuentra en calizas metamórficas. Así mismo se encuentra en algunos esquistos.

La acroíta se encuentra en pegmatitas graníticas. Los asociados normales son la lepidolita, albita y cuarzo.

CORDIERITA



(Jolita)

Rómbico
(Seudo hexagonal)

$$n_\alpha = 1,532 \text{ a } 1,552$$

$$n_\beta = 1,536 \text{ a } 1,562$$

$$n_\gamma = 1,539 \text{ a } 1,570$$

$$2V = 40^\circ \text{ a } 80^\circ; \text{Opt. } (-) \text{ o } (+)$$

$$a = \beta \text{ o } Y, b = \gamma \text{ o } Z, c = \alpha \text{ o } X$$

Color. En secciones delgadas, incoloro. Las secciones muy gruesas son pleocroicas. α o X , amarillo; β o Y , violeta o azul oscuro; γ o Z , azul pálido o violeta. Absorción: β o $Y > \gamma$ o $Z > \alpha$ o X .

Forma. La forma característica de la cordierita es de cristales seudo hexagonales de habitus prismático corto. Estos cristales son maclas de penetración. La cordierita se encuentra también en agregados anhédricos y anhedros.

Inclusiones. Corrientes; con frecuencia están rodeadas de halos pleocroicos.

Exfoliación. Imperfecta cuando es paralela a (010), aunque puede no presentarse en secciones. La partición paralela a $\{001\}$ se debe a alteración.

Relieve. Bajo, n un poco más pequeño o un poco más grande que el bálamo.

Birrefringencia. Bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,007 \text{ a } 0,011$, casi la misma que la del cuarzo; por tanto, los máximos colores de interferencia son, aproximadamente, amarillo paja de primer orden.

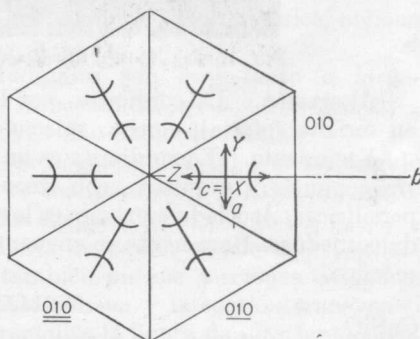


FIG. 15-40. Diagrama de orientación de la cordierita. Sección de un cristal-macla paralelo a $\{001\}$. El plano de macla es $\{100\}$.

Extinción. Paralela a los contornos cristalinicos.

Maclas. Los cristales pseudohexagonales son maclas de penetración con un plano de macla correspondiente a $\{110\}$. También hay a veces maclas laminares.

Figura de interferencia. Es biaxial negativa con un ángulo axial variable. La cordierita ópticamente positiva es fácil encontrarla en diversas localidades. El plano axial es $\{100\}$. La dispersión, $r < v$, débil.

Características especiales. La cordierita es uno de los pocos minerales que se confunden con facilidad con el cuarzo. Es biaxial con un ángulo axial de moderado a grande y, con frecuencia, presenta maclas (de penetración o polisintéticas).

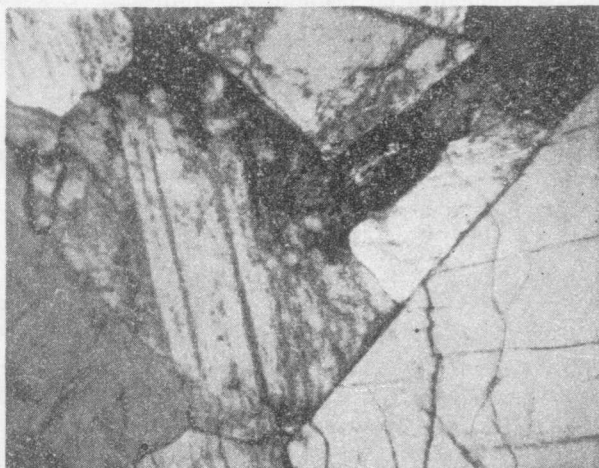


FIG. 15-41. ($\times 20$) Cordierita con maclas (nicoses cruzados).

Alteración. La cordierita, por lo general, se transforma más o menos en sericita (pinita), clorita, talco o silicatos indefinidos.

Yacimiento. La cordierita es un típico mineral metamórfico. Se encuentra en gneis y esquistos, con frecuencia en el contacto con rocas ígneas persilíceas. Asociado corriente es la sillimanita. Es un mineral característico de corneanas. Raramente se encuentra en rocas ígneas como mineral endomórfico.

WOLLASTONITA



Triclínico

$$\begin{aligned}\angle \alpha &= 90^\circ 0' \\ \angle \beta &= 95^\circ 16' \\ \angle \gamma &= 103^\circ 22'\end{aligned}$$

$$n_\alpha = 1,620$$

$$n_\beta = 1,632$$

$$n_\gamma = 1,634$$

$$2V = \text{ca. } 39^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b \text{ casi } \parallel a \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = +32^\circ$$

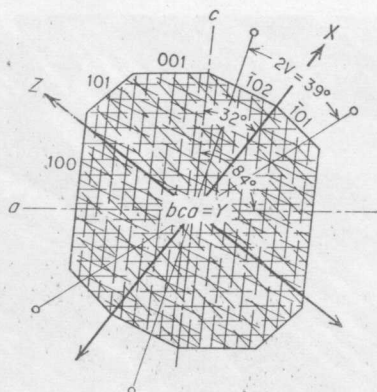


FIG. 15-42. Diagrama de orientación de la wollastonita. Sección paralela a (010).

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. La wollastonita aparece en agregados columnares o fibrosos. Las secciones transversales son casi rectangulares.

Exfoliación. En varias direcciones en la zona $[010]$; perfecta cuando es paralela a (100), menos perfecta (001) y $(\bar{1}02)$ e imperfecta (101) y $(\bar{1}01)$.

Relieve. Moderadamente alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. (Bastante débil, $n_y - n_a = 0,014$; el máximo color de interferencia es casi naranja de primer orden. Las secciones longitudinales presentan colores de interferencia gris o blancos.

Extinción. Paralela o casi paralela en secciones longitudinales, oblicua en secciones transversales.

Orientación. Las secciones longitudinales son largo-lento o largo-rápido, ya que la elongación está en la dirección del eje b y $b = \beta$ o Y .

Maclas. Se conocen maclas con $\{100\}$ como plano de macla.

Figura de interferencia. La figura es negativa biaxial con un ángulo axial moderado. Ya que el plano axial es casi paralelo a $\{010\}$, la figura es normal a la longitud de los cristales. La dispersión, $r > v$, débil.

Características especiales. La tremolita se parece mucho a la wollastonita, no sólo en las muestras sino también en sus secciones delgadas. Sin embargo, la tremolita tiene extinción oblicua y la sección transversal típica del anfíbol y exfoliación. En la tremolita la figura de interferencia va a lo largo de la longitud del cristal; en la wollastonita es casi normal a dicha dirección.

Minerales afines. El CaSi_3 es trimorfo. Además de la wollastonita triclinica, hay la *parawollastonita* (Peacock), que es monoclinica y una modificación producida a una temperatura alta, que se conoce con el nombre de *seudowollastonita* (Rankin y Wright). La *seudowollastonita* uniaxial se ha dicho que es un mineral natural de Persia (McLintock).

La pectolita $[(\text{HNaCa}_2(\text{SiO}_3)_3)]$ se parece mucho a la wollastonita en algunas de sus propiedades.

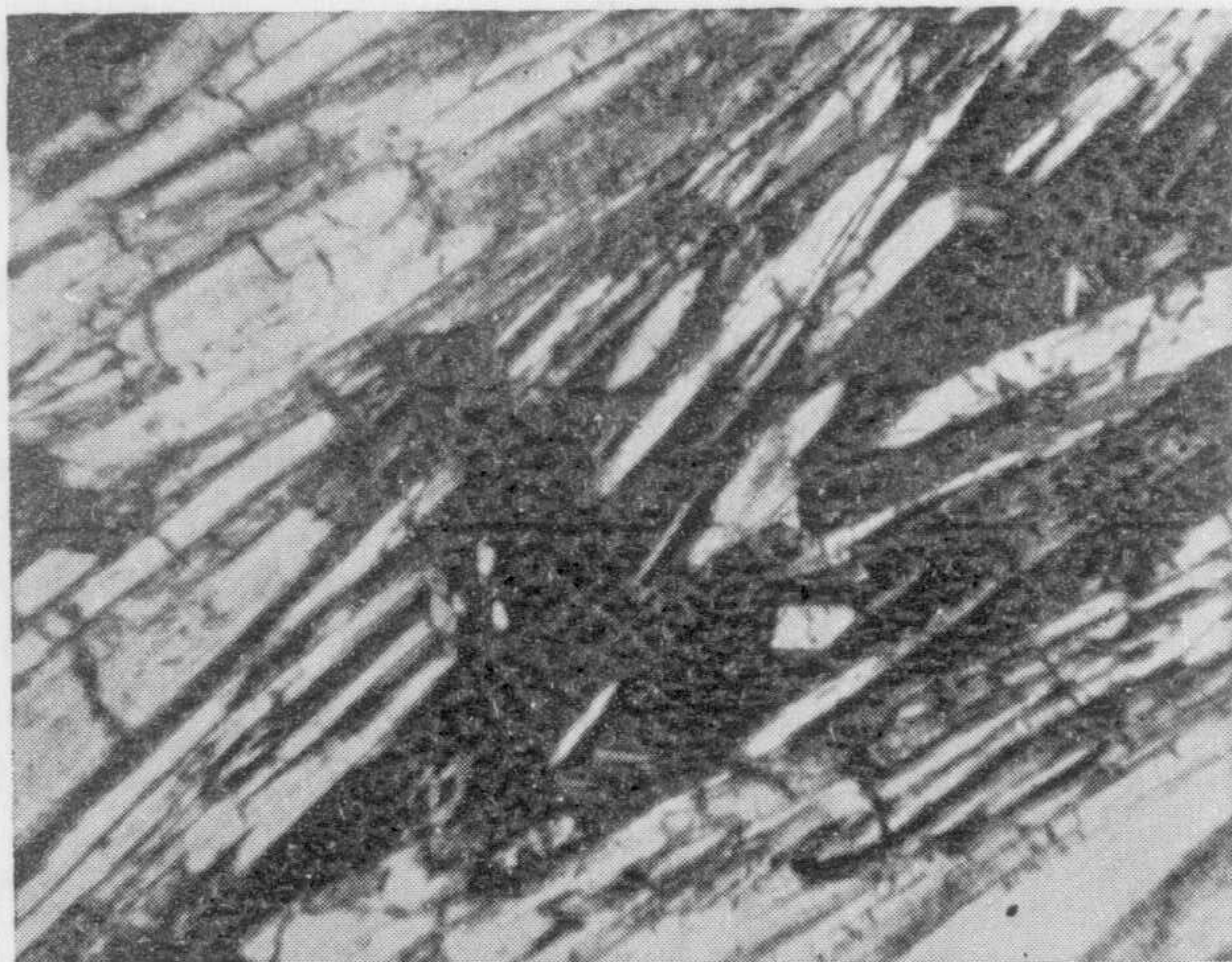


FIG. 15-43 ($\times 20$) Wollastonita con cristales alargados en un agregado radial (nicos cruzados).

Yacimiento. La wollastonita se encuentra en zonas de contacto metamórficas, en algunos esquistos y gneis y en inclusiones calizas de rocas volcánicas (parawollastonita).

BIBLIOGRAFIA

Grupo del olivino

- Bowen, N. L., y J. F. Schairer: The System, MgO-FeO-SiO_2 , *Am. J. Sci.*, vol. 29, págs. 197, 1935.
 Deer, W. A., y L. R. Wager: Olivines from the Skaergaard Intrusion. Kangerdlugssuak, East Greenland, *Am. Mineralogist*, vol. 24, págs. 18-25, 1939.

Circón

- Fron del, C.: Hydroxyl Substitution in Thorite and Zircon, *Am. Mineralogist*, vol. 38, págs. 1007-1018, 1953.
 Poldervaart, A.: Zircons in rocks, *Am. J. Sci.*, vol. 253, págs. 433-461, 1955.

CAPITULO 16

Silicatos: Estructuras en hojas y Mineraloides

GRUPO DE LA MICA

Muscovita
Lepidolita
Flogopita
Biotita

GRUPO DE LA CLORITA

Proclorita
Clinocloro
Penninita
Chamosita

GRUPO DE LA CLINTONITA

Estilpnomelana
Cloritoide

TALCO

PIROFILITA

GRUPO DE LA ARCILLA

Caolinita
Dickita
Halloysita
Montmorillonita
Hidromuscovita
Palygorsquita
Sepiolita

GRUPO DE LA SERPENTINA

Antigorita
Crisotilo

PREHNITA

GLAUCONITA

MINERALOIDES

Vidrio volcánico
Palagonita

ESTRUCTURAS EN HOJAS (FILOSILICATOS)

Los minerales que tienen una estructura en hojas abarcan desde aquellos productos, tales como la muscovita, de hojas exfoliables grandes hasta los finos cristales escamosos de los minerales de arcillas que solo son visibles con la ayuda del microscopio electrónico. Diversos minerales que al microscopio electrónico presentan una estructura tabular, pero que sin embargo no tienen cristales individuales cuya medida sea apta para la medida con rayos X, pueden no pertenecer al grupo de los filosilicatos. Por otra parte, algunos minerales tales como la palygorsquita y la sepiolita están asociados con los minerales de arcilla y por esta razón se incluyen en este grupo.

Al final del Cap. 16, se estudian dos ejemplos de mineraloides, el vidrio volcánico y la palagonita. Los dos tienen una composición indefinida y una cierta indeterminación en sus propiedades.

Grupo de la mica

Las micas constituyen un grupo bien definido de silicatos de aluminio con álcalis, magnesio y hierro ferroso. Están caracterizadas por tener una exfoliación perfecta en una dirección $\{001\}$ y por su fuerte birrefringencia. Los ángulos de extinción de las secciones cortadas normal a la exfoliación son pequeñas o están reducidas prácticamente a cero. Se dividen en dos clases: una (1) cuando el plano axial óptico es normal y otra (2) cuando es paralelo a $\{010\}$ (ver Figuras 16-1 y 16-2). La muscovita y la lepidolita pertenecen a la primera clase, y la flogopita y biotita, a la segunda. Todas las micas son ópticamente negativas.

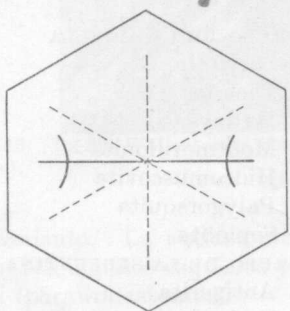


FIG. 16-1.

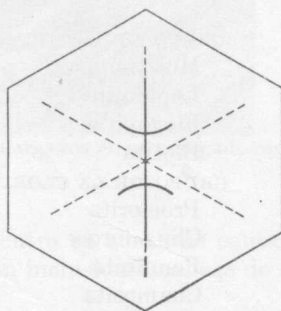


FIG. 16-2.

FIG. 16-1. Mica de la primera clase. Las líneas de puntos representan la «figura de percusión».

FIG. 16-2. Mica de la segunda clase.

Las micas son pseudohexagonales monoclinicas. Los estudios estructurales demuestran que la colocación en forma de lámina de los átomos de la mica permite intervalos de rotación de 60° en el plano basal. Esto da lugar a que las láminas tetraédricas adyacentes ($\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$) se apilen en series fijas colocadas alternativamente. Smith y Yoder (1956) lo resumieron como sigue:

POLIMORFOS DE MICA

Nomenclatura estructural *	Rotación en el plano basal	Grupo espacial
1M	0°	$C_{2/m}$
2R	180°	$C_{2m}2_1$
3T	120° o 240°	$P3_112$ o $P3_212$
	imágenes en el espejo	
2M ₁	120° o 240°	$C_{2/c}$
	Alternantes	
6H	60° o 300°	$P6_322$ o $P6_622$
	imágenes en el espejo	
2M ₂	60° o 300°	$C_{2/c}$

* M, R, T y H representan, respectivamente, monoclinico, rómbico, trigonal y hexagonal.

Los polimorfos *2R* y *6H* no se han encontrado en la naturaleza, y otros se han identificado como componentes de agregados de arcilla o zonas de alteración arcillosa.

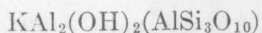
Gracias a la síntesis de minerales y a los estudios realizados con rayos X se ha demostrado (Yoder y Eugster, 1955) que la muscovita se forma solo cuando la temperatura oscila entre 625° a 715°C y de 5.000 a 30.000 libras de presión por pulgada cuadrada (de 350 a 2.100 kg/cm²). Por consiguiente, el mineral no existe en las rocas que se hayan formado a temperaturas más elevadas.

La lepidomelana es el nombre dado a la biotita rica en hierro. La fuchsitita y la mariposita son variedades verdes con cromo. La sericitita es una muscovita secundaria encontrado en diminutos fragmentos y agregados y formado por una alteración hidrotermal.

GRUPO DE LA MICA

Mineral	Composición química	n_α	n_β	n_γ	2V
Muscovita.....	KAl	$\left\{ \begin{array}{l} 1,556 \\ 1,570 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,587 \\ 1,607 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,593 \\ 1,611 \end{array} \right\}$	30°-40°
Hidromuscovita	KAl	$\left\{ \begin{array}{l} 1,535 \\ 1,570 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,565 \\ 1,605 \end{array} \right\}$	pequeño
Lepidolita.....	KLiAl	1,560	1,598	1,605	40°
Flogopita	KMgAl	$\left\{ \begin{array}{l} 1,551 \\ 1,562 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,598 \\ 1,606 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,598 \\ 1,606 \end{array} \right\}$	0°-10°
Biotita.....	KMg,FeAl	$\left\{ \begin{array}{l} 1,541 \\ 1,579 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,574 \\ 1,638 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,574 \\ 1,638 \end{array} \right\}$	0°-25°

MUSCOVITA



(Inc. Sericitita)

Monoclínico

 $\angle\beta = 89^\circ 54'$

$$n_\alpha = 1,556 \text{ a } 1,570$$

$$n_\beta = 1,587 \text{ a } 1,607$$

$$n_\gamma = 1,593 \text{ a } 1,611$$

$$2V = 30^\circ \text{ a } 40^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \gamma \text{ o } Z, a \wedge \beta \text{ o } Y, = +1^\circ \text{ a } +3^\circ$$

Color. De incoloro a verde pálido en secciones delgadas. Algunas variedades son pleocroicas.

Forma. La muscovita aparece por lo general en cristales tabulares delegados o en agregados o fragmentos escamosos. La variedad cristalina diminuta se llama *sericitita*.

Exfoliación. En una dirección {001} muy perfecta.

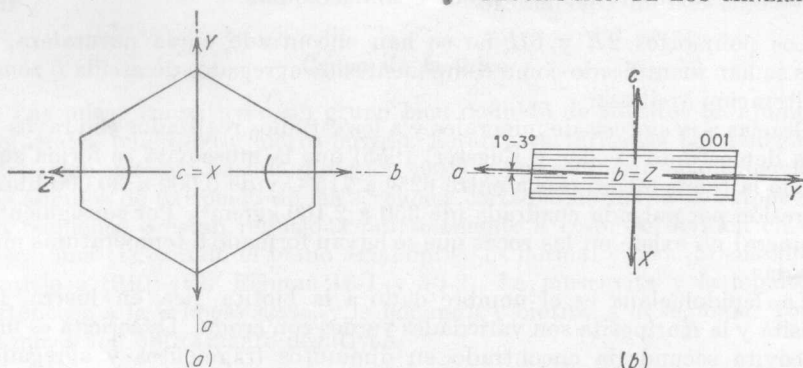


FIG. 16-3. *a*, *b*. Diagrama de orientación de la muscovita. Secciones (*a*) paralelas a (001) y las (*b*) son paralelas a (010).

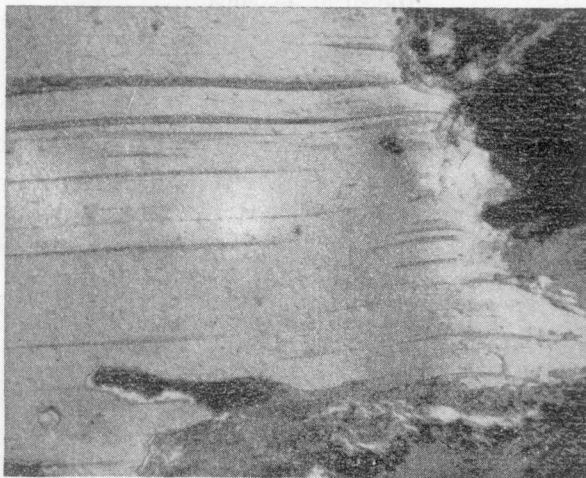


FIG. 16-4. ($\times 30$). Parte de un cristal de muscovita. El cristal está ligeramente distorsionado como lo demuestra la exfoliación curva (nicoles cruzados).

Relieve. No marcado, $n >$ bálsamo. Al girarla cambia el relieve, débil cuando las trazas de exfoliación son paralelas al plano de vibración del nicol inferior y bajo cuando forman ángulo recto con este nicol.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_a = 0,037$ a $0,041$; por tanto, los colores de interferencia más altos son superiores de segundo orden. Las secciones paralelas a la exfoliación dan colores de primer orden, ya que $n_\gamma - n_\beta = 0,004$ a $0,006$.

Extinción. Siempre, y puede tomarse esto como regla, la extinción es prácticamente paralela a las trazas de exfoliación, pero a menudo se pueden encontrar ángulos hasta de 2° ó 3° .

Orientación. La dirección de las trazas de exfoliación es siempre el rayo más lento.

Maclas. Se encuentra con frecuencia las maclas que siguen la ley de la mica [plano de macla = $\{110\}$ y cara de composición = (001)]. Se puede



FIG. 16-5. ($\times 30$). Cristales de muscovita presentando una alineación en un esquistó de cuarzo-mica (nicos cruzados).



FIG. 16-6. ($\times 10$). Sericita en un agregado fino que rodea al cuarzo (nicos cruzados).

determinar por ligeras diferencias en los colores de interferencia así como por los ángulos de extinción.

Figura de interferencia. Las secciones paralelas a $\{001\}$ o las escamas de exfoliación, dan una figura negativa biaxial de ángulo axial moderado. La dispersión, $r > v$, débil. El plano axial es normal a $\{010\}$.

Características especiales. El talco es tan similar a la muscovita y a la pirofilita en sus propiedades ópticas que es muy difícil distinguirlo de ellas. El ángulo axial del talco es más pequeño. Para distinguirlo es necesario hacer una prueba microquímica con magnesio (emplear fusión de Na_2CO_3).

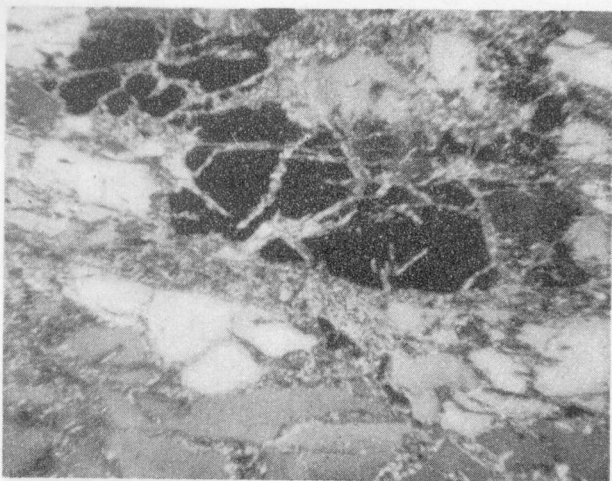


Fig. 16-7. ($\times 10$). Malla de venitas de sericita cortando cuarzo (nicos cruzados).

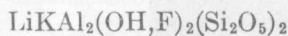
Minerales afines. La hidromuscovita es muy parecida a la variedad de la muscovita conocida con el nombre de sericita.

Yacimiento. La muscovita es muy frecuente encontrarla en rocas metamórficas como las filitas, esquistos y gneis. También se encuentra en granitos y llega a su máximo desarrollo en las pegmatitas graníticas. Es corriente encontrarla como mineral detrítico, especialmente en las arcosas.

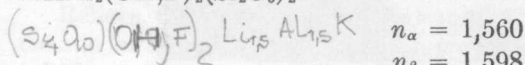
Sericita. La sericita aparece en diminutos fragmentos y es un mineral secundario formado por alteración hidrotermal de silicatos, especialmente de los feldespatos. Según A. F. Rogers, es, con toda seguridad, un mineral hidrotermal de la última fase. También se encuentra como componente de esquistos, filitas y pizarras.

Hidromuscovita. Pasar a la página 407 para ver la descripción de este mineral.

LEPIDOLITA



Monoclínico



$$n_\alpha = 1,560$$

$$n_\beta = 1,598$$

$$n_\gamma = 1,605$$

$$2V = 40^\circ \pm; \text{Opt. } (-)$$

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. La lepidolita, normalmente, se encuentra en cristales pseudo-hexagonales tabulares gordos o prismáticos cortos.

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{001\}$.

Relieve. Débil, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,045$; por tanto, los colores de interferencia oscilan hasta llegar a la mitad del tercer orden. Las secciones paralelas a la exfoliación (incluyendo las escamas de exfoliación) tienen una débil doble refracción $n_\gamma - n_\beta = 0,007$.

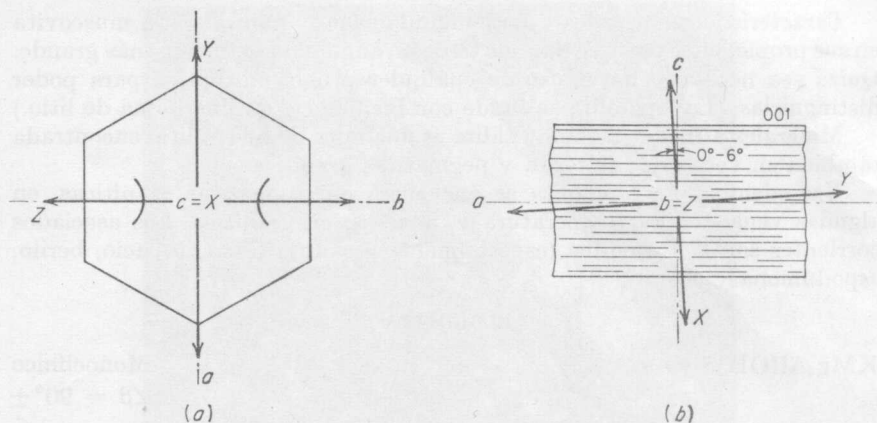


FIG. 16-8. *a, b*. Diagramas de orientación de la lepidolita. Las secciones (*a*) son paralelas a (001) y las (*b*) paralelas a (010).



FIG. 16-9. ($\times 20$). Lepidolita cortada en sentido paralelo a la exfoliación en una matriz de plagioclasa (nicos cruzados).

Extinción. El ángulo de extinción, medido en relación con las trazas de exfoliación, varía de cero hasta un máximo de 6° ó 7° .

Orientación. La dirección de las trazas de exfoliación es siempre el rayo más lento.

Maclas. Es corriente encontrar maclas que corresponden a la ley de mica [plano de macla = $\{110\}$], siendo la cara de composición $\{001\}$. Algunas veces hay maclas de penetración.

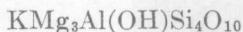
Figura de interferencia. La figura es biaxial negativa con un ángulo axial moderado, normalmente alrededor de 40° . La dispersión, $r > v$, débil.

Características especiales. La lepidolita es muy parecida a la muscovita en sus propiedades ópticas, aunque tiene un ángulo de extinción más grande. Quizá sea necesario hacer uso de cualquier prueba no óptica para poder distinguirlas. (La lepidolita se funde con facilidad y da una llama de litio.)

Minerales afines. La zinnwaldita es una mica de hierro-litio encontrada también en venas de casiterita y pegmatitas graníticas.

Yacimiento. La lepidolita se encuentra en pegmatitas graníticas, en algunas venas a alta temperatura y, a veces, en granitos. Los asociados corrientes son la turmalina (especialmente elbaíta), albita, topacio, berilo, espodumena y cuarzo.

FLOGOPITA



Monoclínico

$$\angle\beta = 90^\circ \pm$$

$$\begin{aligned} n_\alpha &= 1,551 \text{ a } 1,562 \\ n_\beta &= 1,598 \text{ a } 1,606 \\ n_\gamma &= 1,598 \text{ a } 1,606 \\ 2V &= 0^\circ \text{ a } 10^\circ; \text{Opt. } (-) \\ b &= \beta \text{ o } Y \end{aligned}$$

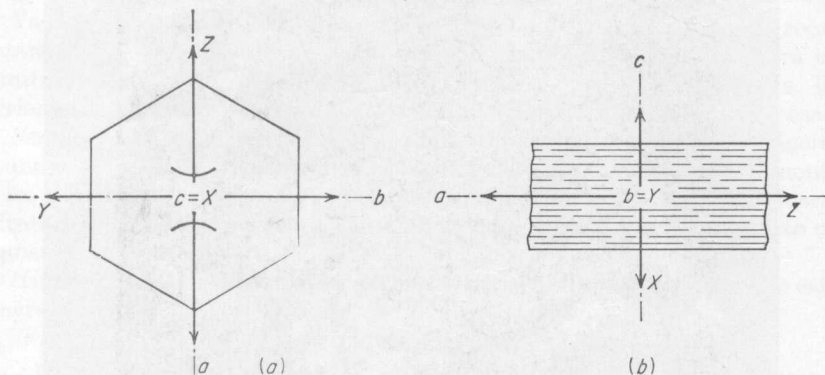


FIG. 16-10. a, b. Diagramas de orientación de la flogopita.

Color. En secciones delgadas, de pardo pálido a incoloro. Ligeramente pleocroico.

Forma. La flogopita se encuentra en cristales tabulares gordos o prismáticos cortos de seis lados.

Exfoliación. En una dirección $\{001\}$ como las de las otras micas.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,044$ a $0,047$; el máximo color de interferencia está aproximadamente en la mitad del tercer orden. Las secciones paralelas a $\{001\}$, incluyendo las escamas de exfoliación, tienen una birrefringencia muy débil, ya que $n_\gamma - n_\beta$ es muy pequeño ($0,000x$).

Extinción. Normalmente es paralela a la exfoliación, pero algunas veces el ángulo de extinción es de 5° .

Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelas al rayo más lento.

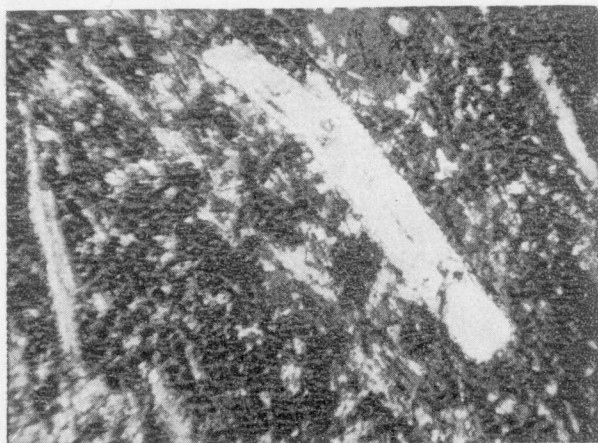


FIG. 16-11. ($\times 30$). Secciones alargadas de flogopita cortadas a través de cristales tabulares (nicos cruzados).



FIG. 16-12. ($\times 10$) Cristales de flogopita dispersos en caliza (nicos cruzados).

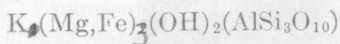
Maclas. Aunque aparecen con frecuencia, no son características. Se pueden reconocer gracias a las diferencias en los colores de interferencia de las partes adyacentes a un cristal, así como también por los ángulos de extinción.

Figura de interferencia. Las secciones basales, incluyendo las escamas de exfoliación, dan una figura de interferencia negativa que puede ser biaxial de ángulo muy pequeño o prácticamente uniaxial. La dispersión, $r > n$, débil.

Características especiales. La flogopita se distingue de la biotita por tener un color más brillante y una absorción más débil. La flogopita incolora se parece mucho a la muscovita, aunque se distingue de ella por su ángulo axial más pequeño.

Yacimiento. El yacimiento característico de la flogopita es de calizas metamórficas. Los asociados corrientes son la condrodita, espinela y forsterita. También se encuentra en algunas rocas ígneas, tales como las peridotitas, derivadas de la serpentina y en rocas que llevan leucita.

BIOTITA



Monoclónico
 $\angle\beta = 90^\circ$

$$n_\alpha = 1,541 \text{ a } 1,579$$

$$n_\beta = 1,574 \text{ a } 1,638$$

$$n_\gamma = 1,574 \text{ a } 1,638$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 25^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \alpha \text{ o } X = 3^\circ \pm$$

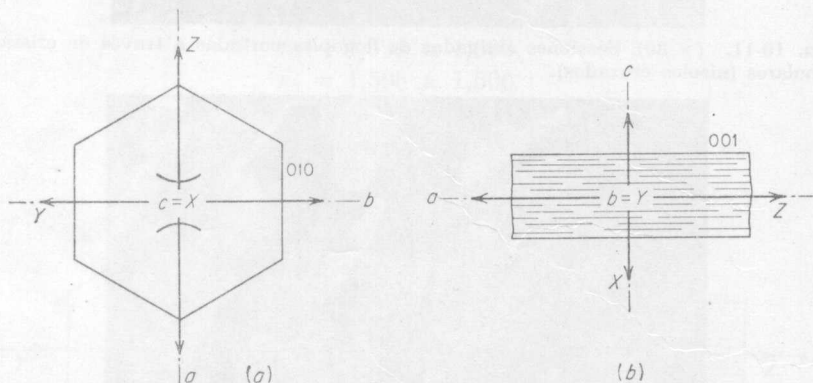


FIG. 16-13, a, b. Diagramas de orientación de la biotita. Las secciones (a) son paralelas a {001} y las (b) a {010}.

Color. Pardo, pardo amarillento, pardo rojizo, verde oliva o verde en secciones delgadas. Pleocroico. La absorción es más fuerte cuando las trazas de exfoliación son paralelas al plano de exfoliación del nicol inferior.

Forma. Es corriente encontrarla en cristales euhédricos de seis lados que, por lo general, tienen habitus tabular; también se encuentra en agregados laminares. Las plaquitas a veces son curvas.

Inclusiones. En la biotita se suelen encontrar inclusiones de minerales como el circón rodeados de halos pleocroicos.

Exfoliación. Perfecta en una dirección {001}. Las secciones cortadas paralelas a {001} no presentan exfoliación. En las rocas esquistosas predominan estas secciones.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,033$ a $0,059$; los colores de interferencia llegan hasta el rojo de segundo orden, aunque a veces el color del mineral enmascara el color de interferencia. La birrefringencia de las secciones paralelas a {001} es prácticamente nula, ya que $n_\gamma - n_\beta = 0,000x$.

Extinción. Normalmente, paralela a las trazas de exfoliación, aunque



FIG. 16-14. ($\times 30$). Biotita en posición de iluminación (cristal gris con exfoliación); también en posición de absorción (negra) asociada con circón (relieve alto).



FIG. 16-15. ($\times 30$). Biotita con halos alrededor de diminutos núcleos radiactivos.

el ángulo de extinción puede ser en algunas secciones hasta de 3° . Las plaquitas curvas tienen una extinción ondulante. En la biotita se nota cerca de la posición de extinción un característico aspecto retorcido.

Orientación. La dirección de las trazas de exfoliación es siempre el rayo más lento.

Macla. A veces hay maclas que siguen la ley de mica [plano de macla = $\{110\}$].

Figura de interferencia. Las secciones paralelas a $\{001\}$, incluyendo las escamas de exfoliación, dan una figura biaxial negativa de ángulo axial muy pequeño. El plano axial es normalmente paralelo a $\{010\}$, aunque es

normal a $\{010\}$ en una sola variedad (anomita). La dispersión, $r > v$ o $r < v$, débil.

Características especiales. La biotita se distingue de la flogopita por su color más oscuro y su absorción más fuerte. Se distingue de la hornblenda parda corriente por tener el ángulo de extinción más pequeño y por su exfoliación diferente. La lamprobolita tiene la exfoliación típica del anfíbol. La turmalina tiene una fuerte absorción cuando el alargamiento de los cristales es normal al plano de vibración del nicol inferior.

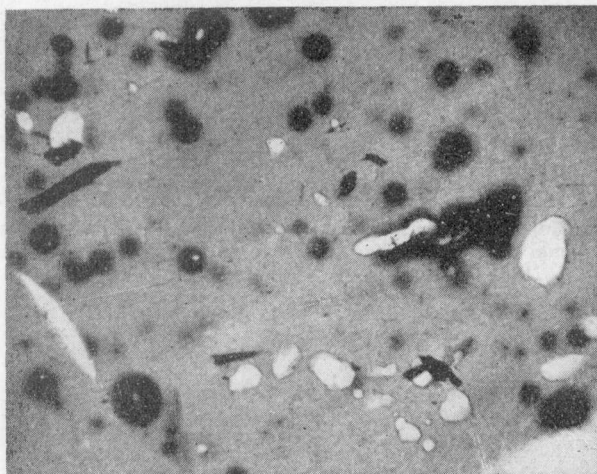


FIG. 16-16. ($\times 30$). Halos en la biotita producidos por un bombardeo de partículas alfa procedentes de pequeños cristales de circón que contienen impurezas radiactivas.

Minerales afines. La lepidomelana se parece a la biotita, aunque tiene unos índices más altos y un ángulo axial más grande. La manganofilita es una biotita magnesiana encontrada en la dolomita metamórfica de Långban, Suecia.

Alteración. La biotita se transforma más o menos en clorita. También pasa a vermiculita. Según E. W. Galliher, la biotita detrítica es la fuente prácticamente de toda la glauconita.

Yacimiento. La biotita es un mineral muy corriente. Se encuentra en rocas ígneas de casi todos los tipos. También es componente importante de esquistos y gneis y se ve en zonas metamórficas de contacto. Es corriente encontrarla en sedimentos detríticos. A menudo se la ve blanquecina o alterada de cualquier otra forma.

Grupo de la clorita

El grupo micáceo mineral, llamado *clorita*, abarca un intervalo de modificaciones químicas con sus correspondientes variaciones ópticas. Esta forma de mica se encuentra la mayoría de las veces en cristales en forma de escamas con una birrefringencia anormal y un pleocroísmo verdoso. Hey (1954), en uno de sus estudios, indica 24 especies de clorita, aproximada-

mente. D. L. Lapham (1957) al estudiar la clorita crómica propuso una división fundamental generalizada del grupo de la clorita. Dicha división se expone a continuación:

GRUPO DE LA CLORITA *	
Corindonfilita	Mg 5.3 $\text{Al}_1(\text{Si}_{2.3}\text{Al}_{1.7})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Proclorita	Mg 5.1 $\text{Al}_1(\text{Si}_{2.6}\text{Al}_{1.4})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Clinocloro	Mg 5.0 $\text{Al}_1(\text{Si}_{3.0}\text{Al}_{1.0})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Penninita	Mg 4.9 $\text{Al}_1(\text{Si}_{3.2}\text{Al}_{0.8})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

- * Fe-clorita (sustitución > 4 por ciento FeO o Fe_2O_3 por Mg)
 Cr-clorita (sustitución < 2 por ciento Cr_2O_3 por Mg o Al)
 Kotschubeyita (Cr tetraédrico > 2 por ciento Cr_2O_3)
 Kammererita (Cr octaédrico > 2 por ciento Cr_2O_3)



Fig. 16-17. ($\times 30$). Clorita formada a lo largo del borde de una masa de cuarzo.

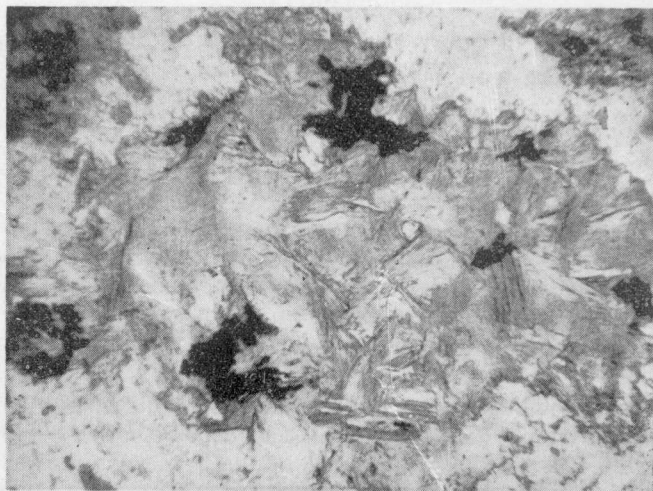


Fig. 16-18. ($\times 30$). Agregado de cristales de clorita asociado con magnetita.



FIG. 16-19. ($\times 30$). Cristales de clorita en escamas en agregado entrelazado (nicos cruzados).

Se consideran cuatro cloritas representativas del grupo, a saber, proclorita, clinocloro, penninita y la Fe-clorita, más conocida con el nombre de chamosita. Todas, probablemente, son monoclinicas y presentan una exfoliación característica paralela a (001). Aunque prevalece el verde, a veces puede dominar el lavanda, rosa o púrpura en las cloritas de contenido en cromo más elevado.

El término ortoclorita se reserva al grupo de cloritas, cuyo contenido en hierro es bajo y el de leptoclorita a las cloritas de alto contenido del mismo mineral.

PROCLORITA

(Ripidolita)

Monoclinico

$$n_{\alpha} = 1,588 \text{ a } 1,658$$

$$n_{\beta} = 1,589 \text{ a } 1,667$$

$$n_{\gamma} = 1,599 \text{ a } 1,667$$

$$2V = 0^{\circ} \text{ a } 30^{\circ}; \text{Opt. (+)}$$

Color. En secciones delgadas, verde o verdoso. Pleocroísmo débil.

Forma. La proclorita normalmente aparece en masas escamosas. También se encuentra en cristales vermiculares con secciones transversales hexagonales y en agregados cristalinos en forma de abanico.

Exfoliación. En una dirección paralela a {001}, como en las otras cloritas.

Relieve. De moderado a moderadamente alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Normalmente débil, pero varía desde muy débil a bastante débil, $n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0,001 \text{ a } 0,011$.

Extinción. De paralela a casi paralela.

Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelas al rayo más rápido.

Figura de interferencia. Por lo general la figura de interferencia es difícil de obtener. Cuando se encuentra, es positiva biaxial de ángulo axial muy pequeño, con frecuencia es prácticamente uniaxial. El plano axial es paralelo a $\{010\}$. La dispersión, $r < v$.

Características especiales. La proclorita se distingue del clinocloro y de la pennina por tener los índices de refracción más altos.

Yacimiento. La proclorita es el principal componente de algunos esquistos de clorita, con frecuencia acompañados de magnetita. También se encuentra como un producto de alteración de otros silicatos. Yacimientos característicos de la proclorita son las venas de cuarzo con adularia, albita, esfena, etc.

CLINOCOLORO



Monoclínico
 $\angle\beta = 89^\circ 40'$

$$n_\alpha = 1,571 \text{ a } 1,588$$

$$n_\beta = 1,571 \text{ a } 1,588$$

$$n_\gamma = 1,576 \text{ a } 1,597$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 50^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = 2^\circ \text{ a } 9^\circ$$

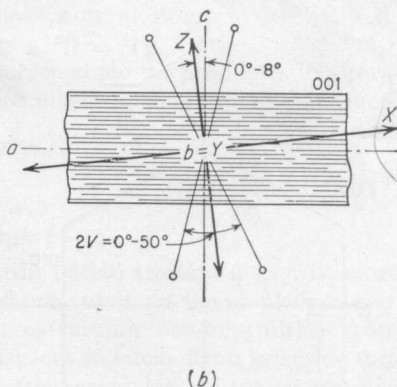
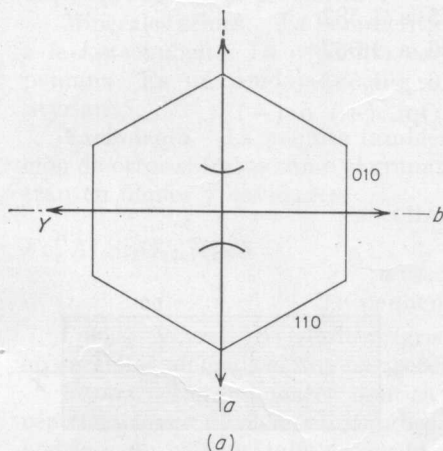


FIG. 16-20, a, b. Diagrama de orientación del clinocloro. Las secciones (a) son paralelas a $\{001\}$ y las (b) a $\{010\}$.

Color. En secciones delgadas, de incoloro a verde. Pleocroico con absorción: $a \text{ o } X \text{ y } \beta \text{ o } Y > \gamma \text{ o } Z$.

Forma. El habitus del cristal varía desde tabular delgado a tabular grueso, con contornos pseudo hexagonales. A menudo se ven cristales curvados.

Exfoliación. Perfecta en una dirección paralela a $\{001\}$.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil a bastante débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,004 \text{ a } 0,011$.

Extinción. El máximo ángulo de extinción, medido desde las trazas de exfoliación, varía de 2° a 9° . Las secciones basales son prácticamente isotrópicas.

Orientación. Los cristales que tienen exfoliación son por lo general largo-rápido.

Maclas. Son corrientes las maclas polisintéticas, según la ley de mica.

Figura de interferencia. Es biaxial positiva con un ángulo axial variable. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. El clinocloro se distingue de las otras cloritas por su extinción oblicua y de la pennina por tener una birrefringencia más grande y un carácter biaxial característico.

Minerales afines. La leuchtenbergita es una clorita de hierro libre, incolora en secciones delgadas. La kotschubeita es un clinocloro de cromo que con frecuencia va asociado con la cromita.

Yacimiento. El clinocloro aparece en esquistos de clorita y en otras rocas metamórficas. Los asociados corrientes son el talco, la antigorita, la condrodita y la flogopita. También es un producto de alteración de otros silicatos.

PENNINA



Monoclínico

$$n_\alpha = 1,575 \text{ a } 1,582$$

$$n_\beta = 1,576 \text{ a } 1,582$$

$$n_\gamma = 1,576 \text{ a } 1,583$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 20^\circ; \text{Opt. (+) o (-)}$$

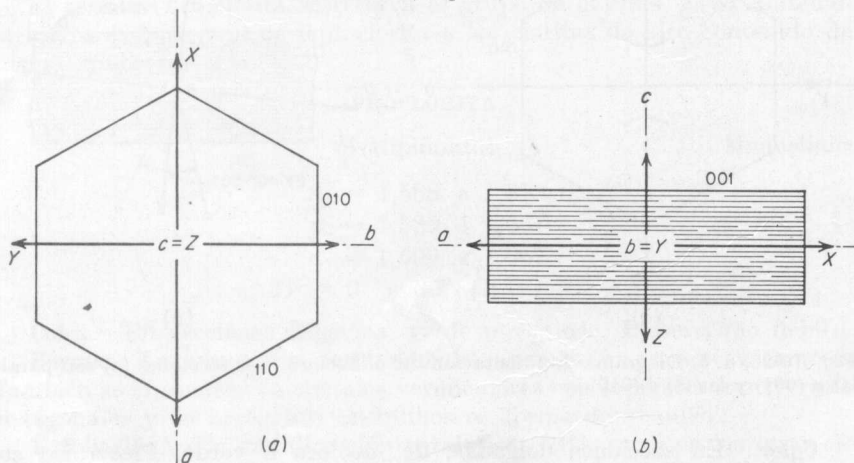


FIG. 16-21, a, b. Diagramas de orientación de la penninita. Las secciones (a) son normales al eje c y las (b) paralelas a (010).

Color. En secciones delgadas, verde o verdoso. Pleocroico desde el verde al casi incoloro; algunas veces desde verde a rojo pardusco.

Forma. La pennina, normalmente aparece en cristales de seis lados de habitus tabular grueso.

Exfoliación. Perfecta en una dirección paralela a $\{001\}$.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Muy débil, $n_y - n_a = 0,001$ a $0,004$; el color de interferencia es a veces un «azul Berlín» anormal, un color que no se ha encontrado en toda la gama de los colores de interferencia.

Extinción. Paralela o casi paralela a las trazas de exfoliación y a los contornos cristalinos.

Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelas al rayo más rápido o al más lento.

Maclas. La macla paralela a $\{001\}$, con cara de composición (001), es tan característico, que las maclas con esa disposición se conocen con el nombre de *ley de la pennina*. Ya que la extinción es prácticamente paralela, en las secciones delgadas no se puede reconocer con facilidad esta macla.

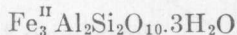
Figura de interferencia. Es biaxial con un ángulo axial tal que parece que es uniaxial. El signo óptico es positivo, aunque a veces es negativo. El plano axial, normalmente es paralelo a $\{010\}$.

Características especiales. La pennina se distingue de la mayoría de las otras cloritas por su extinción paralela, por su ángulo axial tan pequeño y sus anormales colores de interferencia. Los índices de refracción son más bajos que los de la proclorita.

Minerales afines. La kammerita es una pennina de cromo muy parecida a la kotschubeita. La seudofita es una variedad basta y compacta de la pennina. Es un pseudojade que se conoce con el nombre de «jade de Styrian».

Yacimiento. La pennita también aparece como un producto de alteración de otros silicatos como el granate. Las muestras más típicas se encuentran en filones y cavidades.

CHAMOSITA



Monoclínico (?)

$$n \text{ ca.} = 1,635$$

$2V$ pequeño; Opt. (—)

Color. Verde, gris verdoso, gris, pardo pálido tirando a casi incoloro en secciones delgadas. Algunas secciones presentan un ligero pleocroísmo.

Forma. Normalmente oolítica con estructura pseudoferulítica (concéntrica en vez de elementos fibrosos). A veces se encuentran cristales subhédricos de habitus tabular gordo. Con frecuencia los oolitos tienen una parte de cristal de chamosita como núcleo. La chamosita algunas veces es masiva con estructura de agregados.

Exfoliación. En una dirección, pero no es tan perfecta como en las micas. Los oolitos con frecuencia presentan partición concéntrica.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo. El índice de refracción es cercano a 1,635.

Birrefringencia. De nula a débil, hasta aproximadamente 0,007 a 0,008. Los colores de interferencia no son aparentemente anómalos.

Orientación. Las trazas de exfoliación y las capas concéntricas de los oolitos son largo-lentos.

Características especiales. La chamosita se distingue de las otras cloritas por su índice de refracción más alto y de la glauconita por su birrefringencia más baja. La chamosita se parece a la colofana oolítica, pero la distingue de ella la presencia de cristales de chamosita y el índice de refracción ligeramente más alto.

Minerales afines. Las cloritas, delessita y turingita se parecen a la chamosita, pero la primera aparece en verdaderas esferulitas de rocas amigdaloides y las últimas en esquistos. La greenalita, un silicato de hierro que se encuentra en gránulos amorfos de pederñal, de la región del Lago Superior, también se parece a la chamosita.

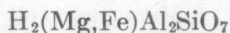
Yacimiento. La chamosita es un componente característico de los minerales de hierro sedimentarios oolíticos que son característicos del Jurásico de Inglaterra, donde se reconocen generalmente con el nombre de «*mineral de hierro*» (Ironstone), y comercialmente son minerales importantes de grado bajo. Según Hallimond, la mayoría son de origen marino, aunque algunos lo pueden ser de agua dulce. Los asociados normales de la chamosita son la siderita, calcita, colofana, piritita y diversos minerales detríticos.

Estos minerales chamosíticos se encuentran en Escocia, Lorena, sur de Suecia, Bohemia y en Newfoundland.

Grupo de la mica quebradiza

El grupo de la mica quebradiza está compuesto por aquellos minerales micáceos sin la flexibilidad de la clorita, que les falta el contenido de álcali de la biotita y por lo general contienen calcio en vez de magnesio. A este grupo pertenecen la estilpnomelana, clintonita, margarita, cloritoide y ottrelita. Los minerales más corrientes son la estilpnomelana y el cloritoide.

ESTILPNOMELANA



Monoclínico ?

$$n_\alpha = 1,612 \text{ a } 1,634$$

$$n_\beta = n_\gamma = 1,700 \text{ a } 1,745$$

$$2V = \text{ca. } 0^\circ$$

Color. De pardo y amarillo a verde. Pleocroico con Y y $Z > X$.

Forma. Con frecuencia se encuentra en masas micáceas, aunque aparece en cristales aislados.

Exfoliación. Perfecta paralela a (001).

Relieve. De moderado a alto, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. De moderada a fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,030 \text{ a } 0,119$. Las plaquitas basales son casi isotrópicas.

Extinción. Casi paralela.

Orientación. El ángulo formado entre X y c es pequeño.

Maclas. Maclas polisintéticas según la ley de mica.

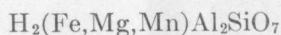
Figura de interferencia. Los cristales en forma de escamas proporcionan una figura uniaxial negativa.

Características especiales. El mineral se parece a la biotita y se puede ver en el campo. Son características de este mineral la figura de interferencia pseudo-uniaxial y el índice de refracción más alto. El pleocroísmo es de colores más vivos que el de la biotita.

Minerales afines. La estilpnomelana está relacionada con los otros miembros del grupo de la mica quebradiza.

Yacimiento. La estilpnomelana se encuentra en las venas de pegmatita del cuarzo-adularia, en las pegmatitas de nefelina-sienita y, quizá también, aparece como un mineral incluido, formado como un producto de alteración hidrotermal.

CLORITOIDE



(Ottrelita)

Monoclínico

$$n_\alpha = 1,715 \text{ a } 1,724$$

$$n_\beta = 1,719 \text{ a } 1,726$$

$$n_\gamma = 1,731 \text{ a } 1,737$$

$$2V = 36^\circ \text{ a } 63^\circ; \text{Opt. (+)}$$

$$b = \beta \text{ o } Y, c \wedge \gamma \text{ o } Z = +3^\circ \text{ a } +21^\circ$$

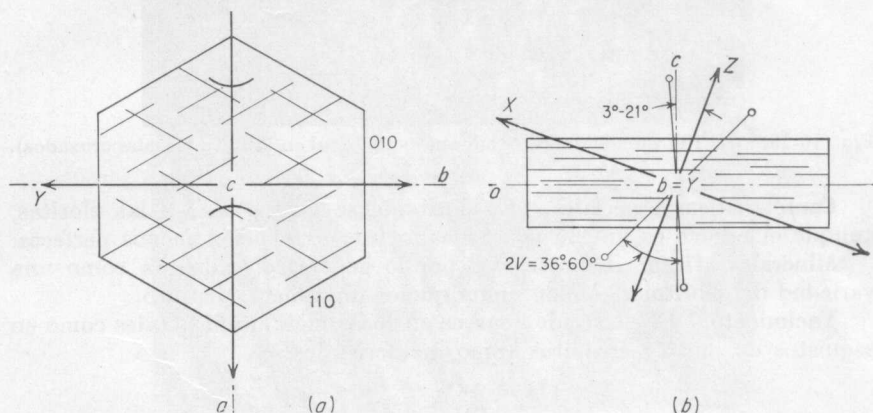


FIG. 16-22, a, b. Diagramas de orientación del cloritoide. Las secciones (a) son normales al eje c y las (b) paralelas a (010) .

Color. Desde verde, gris verdoso a incoloro. Por lo general, más o menos pleocroico.

Forma. El cloritoide, uno del grupo perteneciente a las llamadas *micas agrias* o *micas quebradizas*, aparece en cristales tabulares pseudo-hexagonales. Hay inclusiones. Con frecuencia presenta una estructura albardillada.

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{001\}$, e imperfecta cuando es paralela a $\{110\}$.

Relieve. Alto, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. De débil a moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,013 \text{ a } 0,016$. Las plaquitas basales son prácticamente isotrópicas.

Extinción. Casi paralela hasta ca. 20° .

Orientación. Los cristales son largo-rápido.

Maclas. Maclas polisintéticas según la ley de la mica.

Figura de interferencia. Es positiva biaxial con un ángulo axial desde grande moderado a bastante grande. El plano axial es $\{010\}$. La dispersión, $r > v$ o $r < v$.

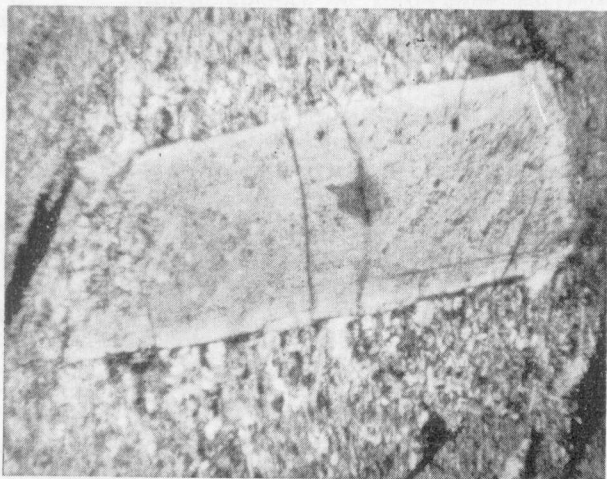


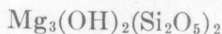
FIG. 16-23. ($\times 10$). Cloritoide formando un meta cristal en la filita (nicoses cruzados).

Características especiales. El cloritoide se parece algo a las cloritas, aunque el relieve es mucho más elevado y la exfoliación menos perfecta.

Minerales afines. La ottrelita, por lo general considerada como una variedad del cloritoide. Mèlon opina que es un mineral distinto.

Yacimiento. El cloritoide aparece en rocas metamórficas tales como en esquistos de mica y en filitas como meta cristales.

TALCO



Monoclínico

$\angle\beta = (?)$

$$n_\alpha = 1,538 \text{ a } 1,545$$

$$n_\beta = 1,575 \text{ a } 1,590$$

$$n_\gamma = 1,575 \text{ a } 1,590$$

$$2V = 6^\circ \text{ a } 30^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$a = \beta \text{ o } Y, b = \gamma \text{ o } Z, c = \alpha \text{ o } X$$

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. El talco aparece en agregados fibrosos o laminados desde bastos a finos que, con frecuencia, tienen una distribución más o menos paralela. Los fragmentos y plaquitas a veces son curvos. Se desconocen cristales euhédricos de talco.

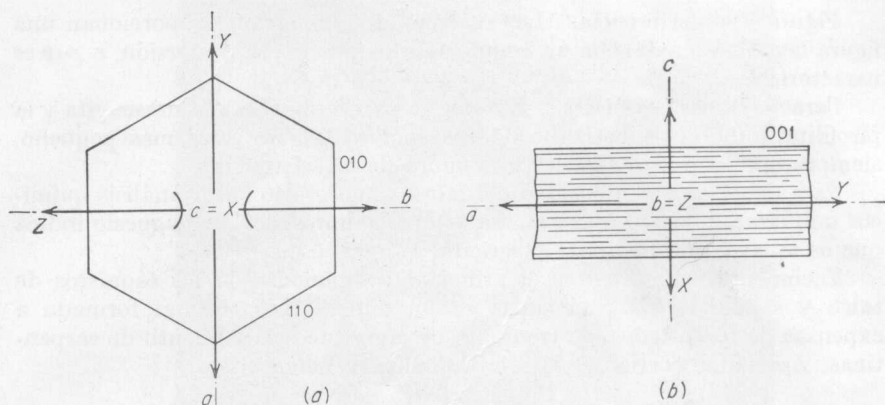


FIG. 16-24, a, b. Diagramas de orientación del talco. Las secciones paralelas a (a) son (001) y a (b) (010).

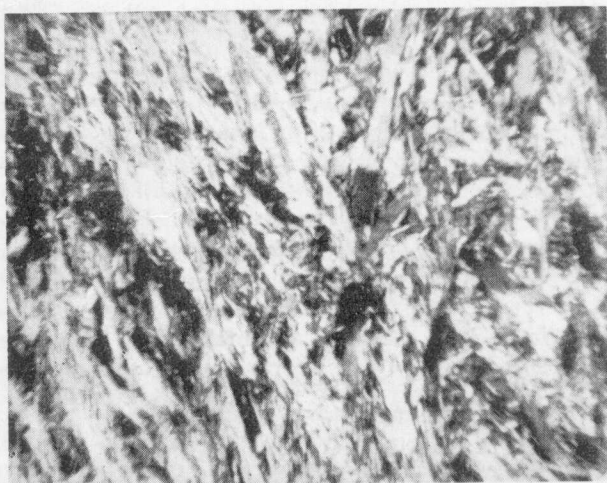


FIG. 16-25. ($\times 10$). Sección cortada a través de una masa foliada de cristales de talco (nicos cruzados).

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{001\}$.

Relieve. Moderado, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Muy fuerte, $n_\gamma - n_a = 0,030$ a $0,050$; los colores máximos de interferencia son superiores al tercer orden. Las secciones paralelas a la exfoliación dan lugar a colores grises de primer orden muy bajos, ya que $n_\gamma - n_\beta$ es casi nulo ($0,000x$).

Extinción. En la mayoría de las secciones la extinción es paralela a las trazas de exfoliación; en unas pocas secciones la extinción es 2° ó 3° ; por tanto, el talco es probablemente monoclinico.

Orientación. Las trazas de exfoliación y los fragmentos son largo-lento, como en la muscovita.

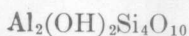
Figura de interferencia. Las escamas de exfoliación proporcionan una figura negativa biaxial con un ángulo axial pequeño. La dispersión, $r > v$ es característica.

Características especiales. El talco se parece mucho a la muscovita y la pirofilita, aunque se distingue de ellas por su ángulo axial más pequeño, siempre que se pueda obtener una figura de interferencia.

Para demostrar la identidad del talco, es necesario hacer análisis químicos o microquímicos. La asociación con otros minerales de magnesio indica que es talco y no muscovita o sericita.

Yacimiento. El talco es el principal componente de los esquistos de talco y saponita. Con frecuencia es un mineral hidrotermal formado a expensas de la antigorita y tremolita en zonas de cizallamiento de serpentininas. Asociados corrientes son la dolomita y magnesita.

PIROFILITA



Monoclínico (?)

$$n_\alpha = 1,552$$

$$n_\beta = 1,588$$

$$n_\gamma = 1,600$$

$$2V = 53^\circ \text{ a } 60^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$a = \gamma \text{ o } Z, b = \beta \text{ o } Y, c = \alpha \text{ o } X$$

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. La pirofilita aparece en cristales subhédricos que son tabulares paralelos a $\{010\}$ y muy alargados. Normalmente los cristales son curvos y deformados. Es corriente encontrar estructuras radiales. También aparece en agregados finos.

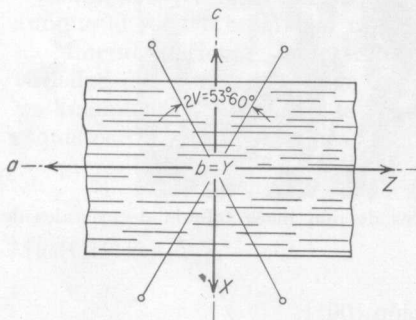


FIG. 16-26. Diagrama de orientación de la pirofilita. Sección paralela a (010).

Exfoliación. Perfecta en una dirección $\{001\}$.

Relieve. Desde bastante bajo a moderado, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,048$; el máximo color de interferencia es superior de primer orden. Las secciones paralelas a la exfoliación dan colores grises o de primer orden, ya que $n_\gamma - n_\beta = 0,012$.

Extinción. Paralela o casi paralela a las trazas de exfoliación y paralela a las secciones alargadas.

Maclas. Hay maclas como las que se encuentran en las micas, aunque no están bien definidas.

Figura de interferencia. Las secciones paralelas a $\{001\}$ o a las escamas de exfoliación dan una figura negativa uniaxial con un ángulo axial bastante grande. El ángulo axial es paralelo a $\{010\}$ ó a la longitud de los cristales.

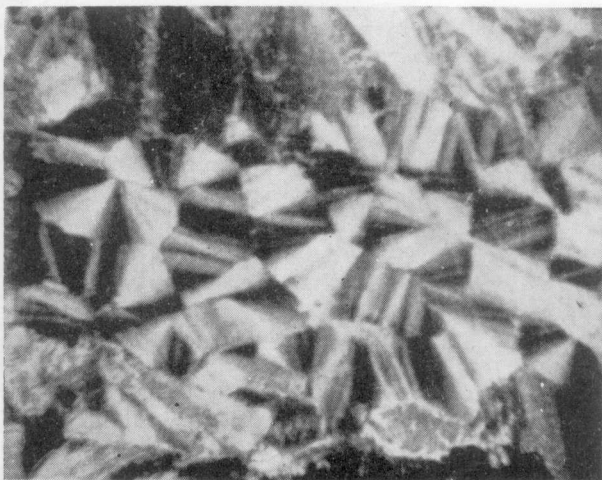


FIG. 16-27. ($\times 10$). Agregado radial de cristales de pirofilita. ($\times$ nicoles.)

Características especiales. La pirofilita tiene un peculiar habitus tabular alargado. La muscovita y el talco se parecen mucho a la pirofilita, pero el talco tiene un ángulo axial mucho más pequeño. Por medios ópticos es muy difícil distinguir la pirofilita microcristalina de la sericita o talco; puede ser necesario realizar ensayos químicos o microquímicos.

Yacimiento. La pirofilita aparece en rocas metamórficas y con frecuencia se debe a un producto de alteración hidrotermal. Los asociados corrientes son la andalucita, sillimanita, cianita, lazulita y alunita.

Minerales de arcilla

Estos minerales son muy abundantes en rocas sedimentarias, pueden ser hallados en venas y también aparecen como productos de alteración de rocas ígneas y metamórficas. Los minerales más corrientes de arcilla pertenecen al grupo de caolín, montmorillonita, palygorsquita e hidromicas. Todos son de estructura cristalina muy fina o metacoloïdales y aparecen en agregados en forma de escamas o agregados densos de diferentes tipos.

El grupo de caolín abarca la caolinita, anauxita, diquita, nacrita, haloisita, hidrohaloisita y alofana. De éstas, tienen la misma composición la caolinita, dickita y nacrita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), pero se diferencian ópticamente y en su estructura interna, como ha quedado demostrado por la difracción de rayos X. La anauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se diferencia ligeramente de la caolinita por su estructura y su carácter óptico. La haloisita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la haloisita hidratada ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) se diferencian algo óptica y estructuralmente. La alofana es un gel solidificado ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) con un índice de refracción más bajo que los índices de los otros minerales del grupo.

La caolinita, más corriente el caolín, aparece en grandes cantidades como mineral residual y como mineral transportado en las arcillas blancas

del sur de los Estados Unidos. Por lo general, se forma por la descomposición *in situ* de rocas que contienen feldespato. La dickita, aunque menos corriente, está mejor cristalizada y aparece en plaquitas pseudo hexagonales. Se forma por soluciones hidrotermales en venas o diques y a veces aparece asociada con sulfuros en depósitos. La haloisita se encuentra como masas en forma de porcelana o como un fino polvo blanco en pizarras y areniscas; también se encuentra remplazando a la caliza. Se la puede encontrar sola, pero lo más frecuente es encontrarla asociada con la caolinita, alunita y diversas formas de óxidos de aluminio hidratados.

La montmorillonita es un mineral de arcilla muy abundante. Aparece como un producto de alteración de cenizas y tobas volcánicas. La bentonita, muy abundante al oeste de los Estados Unidos, está compuesta por gran cantidad de montmorillonita. Esta última se encuentra en pequeñas cantidades como un producto de alteración de los diques de pegmatita. El grupo de la montmorillonita se compone de montmorillonita $[(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, nontronita $[(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, y saponita $(2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$.

Ssaftschenkow, en 1862, fue el primero en mencionar a la palygorsquita, mineral de arcilla procedente del distrito minero de las Montañas de los Urales, en Rusia. Más tarde, Fersman definió los minerales de palygorsquita. Los minerales de este grupo se componen de pilolita, lasallita y attapulgita. Esta última, mineral corriente en Florida y sur de Georgia, y también de Mormiron, Francia, es un componente esencial de la mayoría de las tierras de batán. La sepiolita tiene una estructura tabular en las micrografías electrónicas; y al deshidratarla se parece a la attapulgita (Martín-Vivaldi y Cano-Ruiz, 1955).

La hidromica (o illita) representa un grupo pobremente definido, intermedio entre la muscovita y la montmorillonita. Por lo general aparece en pizarra u otras capas arcillosas donde puede estar asociado con la caolinita o montmorillonita y mezclado con finos fragmentos detríticos de otros minerales. La fórmula general $(\text{OH})_4\text{K}_\gamma(\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_4\text{Mg}_6)(\text{Si}_{8-\gamma}\text{Al}_\gamma)\text{O}_{20}$ ($\gamma = 1$ a 1.5) propuesta por Grim¹ indica el carácter químico tan complejo de la hidromica.

Las propiedades ópticas características de los minerales de arcilla se pueden bosquejar adecuadamente con la ayuda del microscopio: (1) El grupo del caolín se caracteriza por su débil birrefringencia y por sus índices de refracción que se aproximan a los del cuarzo. (2) El grupo de la montmorillonita tiene una birrefringencia bastante alta, pero sus índices de refracción, en la mayoría de los casos, son inferiores al bálsamo del Canadá. (3) La palygorsquita se parece a la montmorillonita en secciones delgadas, pero tiene un índice de refracción más alto y presenta una extinción de masa más abundante. (4) El grupo de la hidromica se caracteriza por tener una birrefringencia comparativamente alta con índices de refracción por encima del bálsamo de Canadá.

¹ A este grupo se le conoce con el nombre de *Illita*, aunque quizás merece prioridad el nombre de *Hidromuscovita* propuesto por A. Johnstone [*Quar. J. Geol. Soc. London*, 45: 363 (1889)].

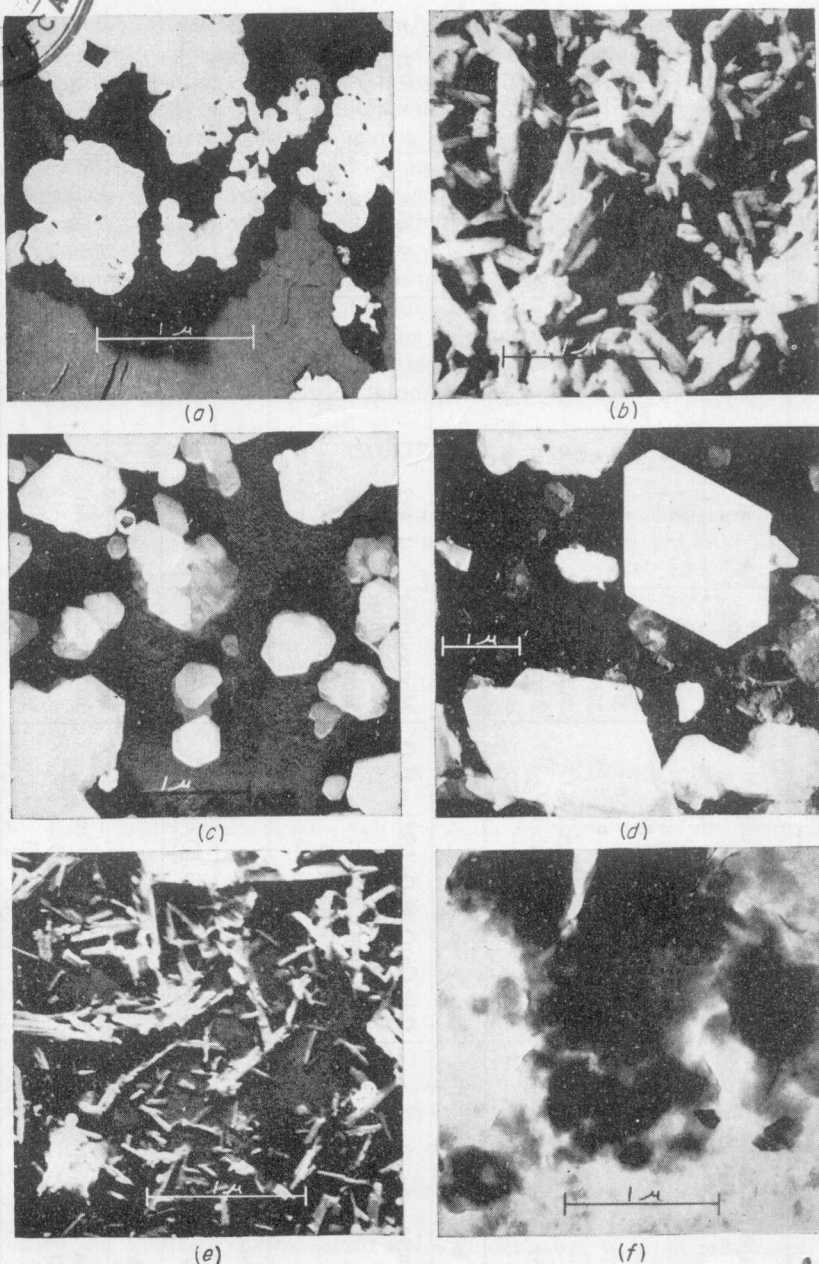


FIG. 16-28. ($\times 16,000$). Micrografías electrónicas de minerales de arcilla que tienen formas que no se pueden apreciar con el microscopio polarizante. (*American Petroleum Institute: Reference Clay Minerals.*) (a) Alofana con formas esféricas; (b) formas tubulares de la haloisita; (c) plaquitas pseudo-hexagonales de la caolinita; (d) ($\times 8,000$) cristales de dickita; (e) formas de varillas de la attapulgit; (f) formas en varilla y tubulares de la sepiolita.

MINERALES DE ARCILLA

Grupo del caolín	Composición química	Sistema cristalino	n_α	n_β	n_γ	$n_\gamma - n_\alpha$
Caolinita.....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Triclinico	1,561	1,565	1,566	0,005
(Anauxita).....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \pm \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Triclinico		(ver caolinita)		
Dickita.....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,560	1,562	1,566	0,006
Nacrita.....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,557	1,562	1,563	0,006
Haloisita.....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \pm \text{SiO}_2 \cdot 2 \pm \text{H}_2\text{O}$	Agregados		$n = 1,549-1,561$		0,001
Hidrohalaosita (Endellita).....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \pm \text{SiO}_2 \cdot 4 \pm \text{H}_2\text{O}$	Agregados		$n = 1,526-1,542$		
Alofana.....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Amorfo		$n = 1,47-1,49$		
Grupo de la montmorillonita						
Montmorillonita.....	$(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,492		1,513	0,021
(Beidelita).....	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,517		1,549	0,032
Nontronita.....	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,580		1,615	0,035
Saponita.....	$2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,479-1,490	1,510-1,525	1,511-1,527	0,032-0,037
Hectorita.....						
Grupo de la hidromica						
Hidromuscovita (Illita).....	$\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3(\text{O}, \text{OH})_{10}]$	Monoclinico	1,535-1,57		1,565-1,605	0,030-0,035
Grupo de la palygorsquita						
Palygorsquita.....	$2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ to					
(Attapulgita)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,510		1,533	0,023
Sepiolita.....	$2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Monoclinico	1,490-1,506		1,505-1,526	0,015-0,020

La arcilla que tiene potasio, probablemente hidromica, se encuentra como producto de alteración de viejas cenizas volcánicas, particularmente en el Ordoviciense del este de los Estados Unidos; a veces también se encuentra como arcilla de salbanda de depósitos de minerales.

Para determinar la birrefringencia de los minerales de arcilla es conveniente utilizar una fuerte iluminación artificial. En la tabla anterior se da un resumen de las propiedades ópticas de los minerales de arcilla más importantes, basado en las determinaciones hechas por C. S. Ross o R. E. Grim.

Los minerales de arcilla más importantes presentan características especiales en secciones delgadas. Sin embargo, por lo general estos minerales son difíciles de identificar a no ser que se empleen métodos ópticos coordinados, de rayos X, térmicos y químicos. También es importante emplear la micrografía óptica de algunos minerales de arcilla.

CAOLINITA



Triclínico

$$n_\alpha = 1,561$$

$$n_\beta = 1,565$$

$$n_\gamma = 1,566$$

2V variable; Opt. (-)

$$b = \gamma \text{ o } Z, c \wedge \alpha \text{ o } X = 1^\circ \text{ a } 3\frac{1}{2}^\circ$$

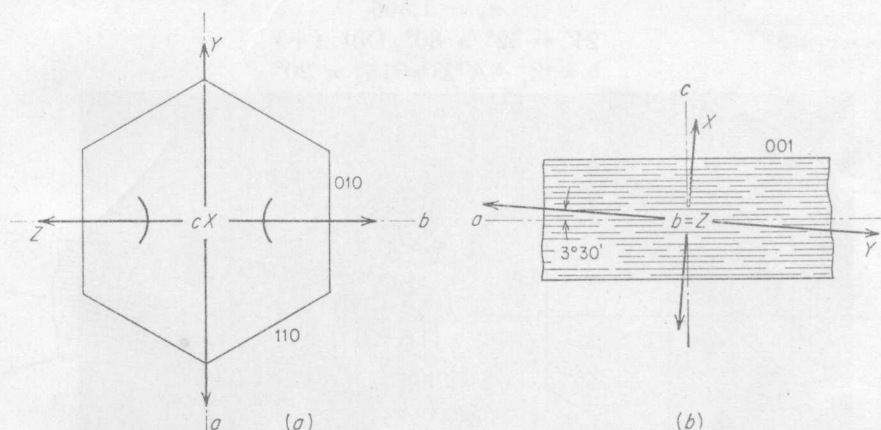


FIG. 16-29. Diagrama de orientación de la caolinita. Las secciones (a) son normales al eje c y las (b) paralelas a $\{010\}$.

Color. De incoloro a amarillo pálido.

Forma. La caolinita aparece en masas de cristales finas en forma de mosaico, en venillas remplazando a los feldespatos y otros minerales, y también independientemente en forma de escamas. Algunas veces las plaquitas pequeñas presentan un contorno en forma de acordeón.

Esfoliación. Perfecta en una dirección paralela a $\{001\}$.

Relieve. Bajo, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,005$. En secciones normales, la caolinita da colores de interferencia grises y blancos.

Extinción. El ángulo de extinción sobre (010) en relación con la base es de 1° a $3\frac{1}{2}^\circ$.

Orientación. Las trazas de exfoliación y los cristales son largo-lento.

Maclas. Parece ser que los diminutos cristales de caolinita no tienen maclas.

Figura de interferencia. Por lo general, la caolinita tiene un grano demasiado fino para dar figura de interferencia. El plano axial es normal a {010} y casi paralelo a {100}.

Características generales. Se distingue por su bajo relieve y su débil birrefringencia. Se distingue mucho de la dickita por su ángulo de extinción más pequeño.

Yacimiento. Se encuentra como un producto debido a la alteración producida por los agentes atmosféricos en las rocas ígneas y metamórficas, al descomponerse principalmente los feldespatos. Es un mineral dominante en las capas sedimentarias. A veces puede ser un producto de alteración hidrotermal asociado con depósitos minerales.



DICKITA

Monoclínico

$$n_\alpha = 1,560$$

$$n_\beta = 1,562$$

$$n_\gamma = 1,566$$

$$2V = 52^\circ \text{ a } 80^\circ; \text{Opt. } (+)$$

$$b = Z, c \wedge X = 15^\circ \text{ a } 20^\circ$$

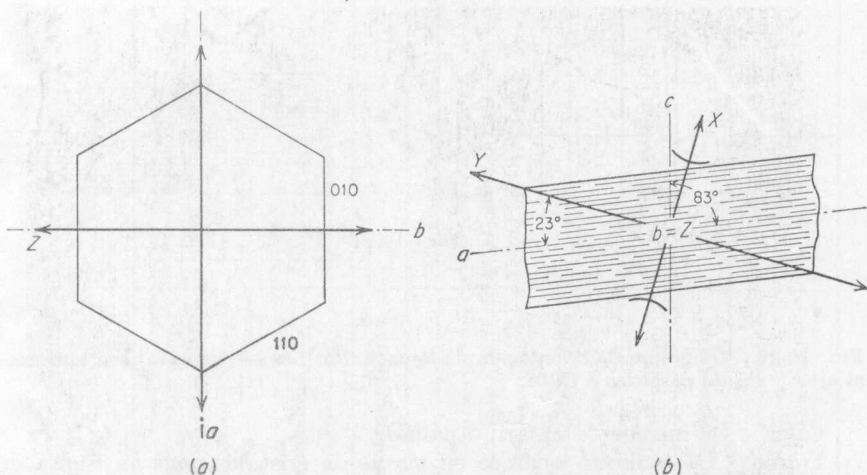


FIG. 16-30. Diagramas de orientación de la dickita. Las secciones (a) son normales al eje c y las (b) paralelas a (010).

Color. De incoloro a amarillo pálido.

Forma. Aparece en pequeños cristales pseudo hexagonales en forma de escamas.

Exfoliación. Perfecta en una dirección paralela a $\{001\}$.

Relieve. Bajo, $n >$ bálsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,006$; los máximos colores de interferencia están en la mitad del segundo orden.

Extinción. El ángulo de extinción sobre $\{010\}$ en relación con la base varía de 15° a 20° .

Orientación. Las trazas de exfoliación y los cristales son largo-lento.

Maclas. No hay maclas.

Figura de interferencia. Las secciones delgadas normales proporcionan figuras de interferencia pobres o nulas. El plano axial es normal a $\{010\}$. La dispersión, $r < v$.

Características especiales. La dickita se distingue de la caolinita por su birrefringencia ligeramente más alta, cristales más grandes y un ángulo de extinción también más grande.

Yacimiento. El mineral se encuentra, por lo general, asociado con minerales metálicos en depósitos. Por lo general se produce por la acción hidrotermal y se puede encontrar remplazando al cuarzo en la cuarcita.

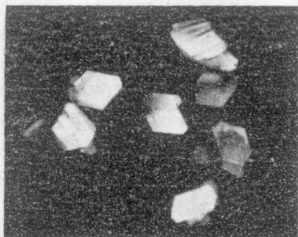


FIG. 16-31. ($\times 30$). Cristales de dickita esparcidos en una platina (nicoses cruzados).

HALOISITA



Agregados
(Sistema cristalino
desconocido)

$$n = 1,549 \text{ a } 1,561$$

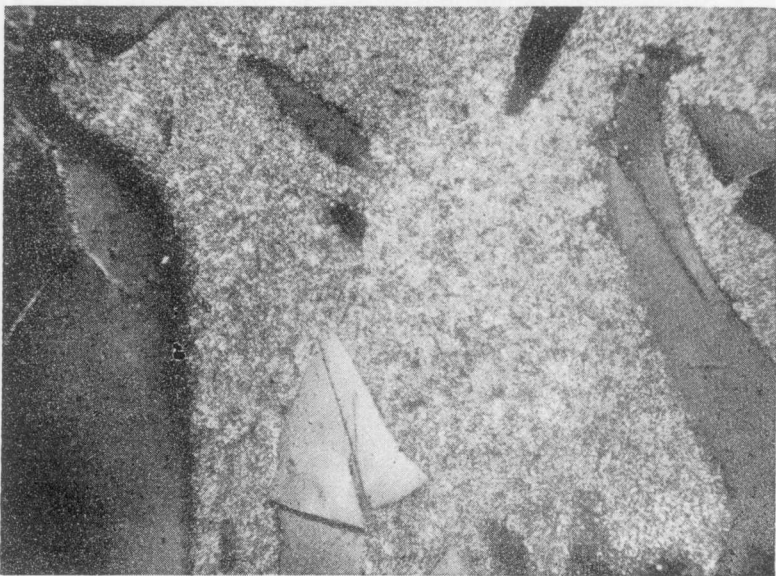


FIG. 16-32. ($\times 15$). Masas irregulares de haloisita (gris) asociada con alunita (textura de sal y pimienta) (nicoses cruzados).

Color. Incoloro.

Forma. La haloisita aparece en masas coloformes o de grano extremadamente fino y por lo general presenta grietas.

Relieve. Bajo, n ligeramente $>$ bálamo.

Birrefringencia. Muy débil, casi isotrópica.

Características especiales. La haloisita se distingue por su birrefringencia extremadamente débil, su índice de refracción casi igual al bálamo y grietas fracturadas. Corrientemente está asociado con otros minerales de arcilla.

Yacimiento. El mineral aparece en áreas alteradas de calizas asociadas con diaspora, alunita o gibbsita; en capas asociadas con caolinita y quizá en partes de algunas pizarras extremadamente castigadas por los agentes atmosféricos.

Hidrohaloisita. Los estudios realizados con rayos X demuestran que hay dos tipos de haloisita: una forma más hidratada, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, conocida con el nombre de endellita o hidrohaloisita; un tipo menos hidratado $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que es la haloisita. La forma hidratada se encuentra en minas que trabajan con aguas subterráneas. Al tomar contacto con la atmósfera seca se convierte en una forma menos hidratada.

MONTMORILLONITA

$(\text{Mg}, \text{Ca}) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Monoclínico

$$n_\alpha = 1,492$$

$$n_\beta = n_\gamma = 1,513$$

$$2V = 10^\circ \text{ a } 25^\circ; \text{Opt. } (-)$$

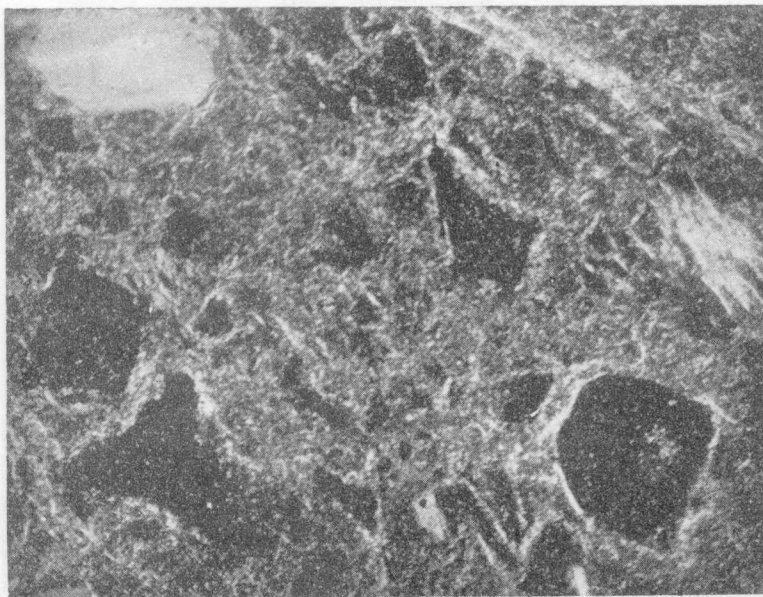


FIG. 16-33. ($\times 15$). Montmorillonita, fragmentos de vidrio más o menos transformados y fragmentos de feldespato en la bentonita (nículos cruzados).

Color. Rosa pálido, verdoso o incoloro.

Forma. Masiva, agregados microcristalinos como la arcilla, en forma de trozos de vasijas rotas. Casi siempre aparece en cristales en escama extremadamente finos. E. T. Wherry describió los cristales de este tipo como uni-dimensionales, ya que por lo general son muy delgados.

Relieve. Bastante bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,021$. Aunque la birrefringencia es moderada, los cristales son, por lo general, tan delgados que los colores de interferencia, vistos en las secciones delgadas, apenas superan el segundo orden.

Figura de interferencia. Los cristales individuales son generalmente tan pequeños y delgados que no se pueden conseguir figuras de interferencia.

Características especiales. Lo más característico de la montmorillonita es que tienen agregados microcristalinos en forma de trozos de vasijas rotas.

Yacimiento. La montmorillonita es el principal componente de la bentonita, que proviene de cenizas volcánicas. Es componente corriente de pizarras que pueden estar asociadas con hidromuscovita. A veces aparece como material de alteración de los diques de pegmatita. La montmorillonita es uno de los primeros minerales formados en las rocas del muro de los depósitos minerales.

HIDROMUSCOVITA

(Hidromica)

(Illita)



Monoclínico (?)

$$n_\alpha = 1,535 \text{ a } 1,570$$

$$n_\gamma = 1,565 \text{ a } 1,605$$

$2V$ pequeño; Opt. (—)
 α o $X = \perp$ plano de a y c



FIG. 16-34. Prismas de caolinita con plaquitas de hidromuscovita (Según S. G. Galpin, 1912).

Color. De incoloro a pardo amarillento.

Forma. Se encuentra en escamas irregulares moteadas que pueden alternar con escamas de montmorillonita o caolinita.

Relieve. Bajo, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,030$ a $0,035$, aunque los cristales, pequeños y delgados, no proporcionan colores superiores al segundo orden.

Características especiales. Se encuentra en escamas pequeñas moteadas, que se parecen a la caolinita y montmorillonita, pero se distingue de esta

última por sus índices de refracción más elevados y de la caolinita por su birrefringencia también más elevada. De la muscovita se diferencia por tener un ángulo axial más pequeño. Diversos polimorfos de la mica y algunas mezclas de hidromuscovita y montmorillonita, que hay intercaladas entre las capas de la mica, todas ellas necesitan la aplicación de los rayos X para su completa identificación.

Yacimiento. La hidromuscovita es un componente muy abundante de pizarras o suelos. Se forma durante la alteración de minerales feldespáticos, biotita, muscovita y otros componentes.

PALYGORSQUITA



Monoclínico (?)

a



$$n_\alpha = 1,510$$

$$n_\gamma = 1,533$$

Color. De incoloro o amarillo pálido o verde.

Forma. Se encuentra en agregados compactos finos.

Relieve. Bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,023$.

Extinción. Los agregados moteados, con frecuencia, tienden a presentar una extinción de masas más o menos uniforme en secciones delgadas.

Características especiales. En secciones delgadas se parece a la montmorillonita. Las micrografías con el microscopio electrónico muestran una notable estructura en forma de varilla.

Yacimiento. Muy abundante en depósitos llenos de tierra, en la localidad de Georgia y Florida, donde se ha empleado el nombre de *attapulgita*. En un principio se encontró en las montañas de los Urales, en Rusia. También se encuentra en Francia, Escocia y Australia. Se forma por la acción hidrotermal en el «cuero de montaña».

SEPIOLITA



Monoclínico

$$n_\alpha = 1,490 \text{ a } 1,506$$

$$n_\gamma = 1,505 \text{ a } 1,526$$

$$2V = 40^\circ \text{ a } 60^\circ; \text{Opt. } (-)$$

Color. De incoloro a gris.

Forma. Frecuentemente fibrosa y en agregados.

Relieve. Bajo, $n < \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. Bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,015 \text{ a } 0,020$.

Extinción. Aproximadamente paralela con una elongación positiva (largo-lento).

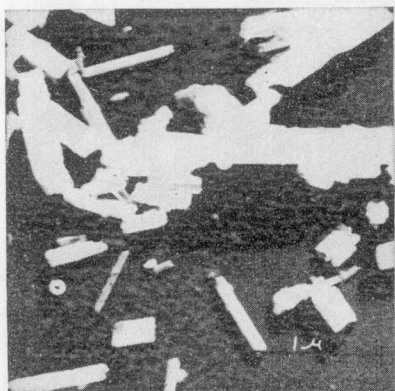
Características especiales. Aparece en agregados fibrosos con grupos de fibras curvos y moteados.

Yacimiento. Se encuentra en masas metamórficas de contacto, en forma de venas asociadas con masas intrusivas, en la localidad de Yavapi County, Arizona. Algunos la consideran, a veces, como componente de la arcilla.

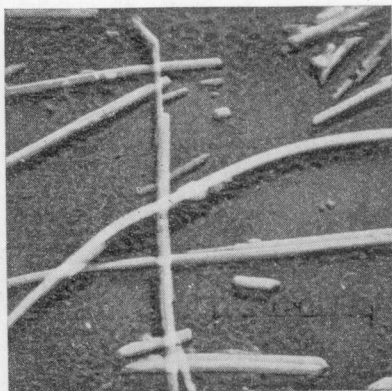
Grupo de la Serpentina

La serpentina es una roca tipo muy corriente en la cual abundan los minerales de silicatos magnésicos hidratados pertenecientes al grupo de la serpentina. Hay una costumbre que considera a la serpentina como una roca, igual que se considera como tal a la cuarcita, piroxenita y anfibolita.

El grupo de la serpentina se compone de dos minerales, a saber, la antigorita y el crisotilo, los cuales aparecen independientemente o bien como mezclas naturales en diferentes proporciones. (Nagy y Faust, 1956). A los dos se les aplica la misma forma general $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$; sin embargo, el



(a)



(b)

FIG. 16-35. ($\times 16,000$). Micrografías electrónicas de la serpentina. (a) Antigorita en escamas y crisotilo fibroso y (b), crisotilo tubular y antigorita en escamas. (American Petroleum Institute: Reference Clay Minerals.)

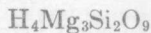
Fe, Ni o Mn sustituyen al Mg y forman el *ferro*, *níquel* o *manganeso crisotilo*; de forma similar se forma la *ferro*, *níquel* o *manganeso antigorita*.

Lodochnikow (1933) lanzó el nombre de serpofita como una combinación de *serp* y *ofita*, aplicándolo a un mineraloide compacto casi isotrópico del grupo de la serpentina. En parte corresponde a la serpentina, empleada por Selfridge como un nombre de mineral. La lizardita de Whittaker y Zussman, si aplicamos las conclusiones de Nagy y Faust, también es quizá este mismo material submicroscópico.

Los miembros del grupo de la serpentina aparecen en su mayor parte en unidades cristalinas, tan pequeñas, que no es posible observar formas individuales sin el microscopio electrónico. El crisotilo está más definido y aparece en formas tubulares largas y flexibles o en forma de varillas. La antigorita presenta un habitus liso, escamoso o en forma de listón.

Los modelos de los minerales de serpentina, observados con la ayuda del microscopio, son agregados debidos a cristales cuya dimensión oscila dentro de una fracción de una micra.

ANTIGORITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,555 \text{ a } 1,564$$

$$n_\beta = 1,562 \text{ a } 1,573$$

$$n_\gamma = 1,562 \text{ a } 1,573$$

$$2V = 20^\circ \text{ a } 90^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$a = \beta \text{ o } Y, b = \alpha \text{ o } X, c = \gamma \text{ o } Z$$

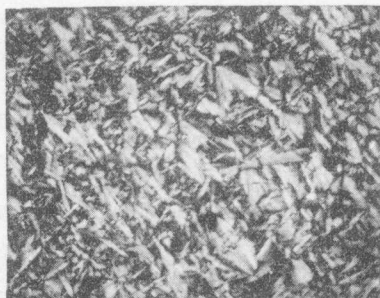


FIG. 16-36. Diagrama de orientación de la antigorita. Sección paralela a (010)
FIG. 16-37. ($\times 15$). Antigorita en serpentina.

Color. De incoloro a verde pálido en secciones delgadas.

Forma. La antigorita aparece en cristales anhédricos o agregados de estructura fibroso-lamelar. A veces se encuentra como pseudomorfo del piroxeno (bastita), olivino, etc.

Relieve. Bastante bajo, $n >$ balsamo.

Birrefringencia. Débil, $n_\gamma - n_\alpha = 0,007 \text{ a } 0,009$; el máximo color de interferencia es amarillo de primer orden. Este amarillo es ligeramente anormal, ya que tiene un ligero tinte verdoso.

Extinción. Paralela.

Orientación. Los cristales son largo-lento.

Figura de interferencia. Es biaxial negativa de ángulo axial variable. El plano axial es {100}. La dispersión débil, $r > v$.

Características especiales. El crisotilo se distingue de su dimorfo antigorita por tener una fina estructura fibrosa. Normalmente la antigorita presenta estructura de agregado y prácticamente siempre es un producto de alteración de algún otro mineral de silicato. La serpopita tiene una birrefringencia más baja que la antigorita y presenta escasa o ninguna forma o estructura.

Yacimiento. La antigorita es el principal componente de la serpentina, que es una roca metamórfica. Se forma a partir del olivino, enstatita,



FIG. 16-38. ($\times 30$). Olivino cortado y rodeado de serpentina (nicoles cruzados).



FIG. 16-39. ($\times 30$). Textura en la serpentina acentuada por colores de interferencia (nicoles cruzados).

augita, etc., debido a un proceso hidrotermal. Los asociados corrientes son el crisotilo, talco, magnetita, cromita y picotita.

CRISOTILO



Rómbico

$$n_\alpha = 1,493 \text{ a } 1,546$$

$$n_\beta = 1,504 \text{ a } 1,550$$

$$n_\gamma = 1,517 \text{ a } 1,557$$

$$2V = 0^\circ \text{ a } 50^\circ; \text{Opt. (+)}$$

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. El crisotilo aparece en venitas de fibras transversales (Figura 8-13).

Relieve. Bajo, n ligeramente más grande que el bálamo.

Birrefringencia. Moderada, $n_\gamma - n_\alpha = 0,011$ a $0,014$, el máximo color de interferencia es amarillo brillante de primer orden.

Extinción. Paralela.

Orientación. Las fibras son largo-lento.

Características especiales. Las otras formas de asbestos (tremolita, antofilita y crocidolita) todas tienen índices de refracción más altos que el crisotilo. La tremolita tiene además una extinción oblicua.

Yacimiento. El crisotilo aparece en venitas de serpentina.

PREHNITA



Rómbico

$$n_\alpha = 1,615 \text{ a } 1,635$$

$$n_\beta = 1,624 \text{ a } 1,642$$

$$n_\gamma = 1,645 \text{ a } 1,665$$

$$2V \text{ variable; Opt. (+)}$$

$$a = \alpha \text{ o } X, b = \beta \text{ o } Y, c = \gamma \text{ o } Z$$

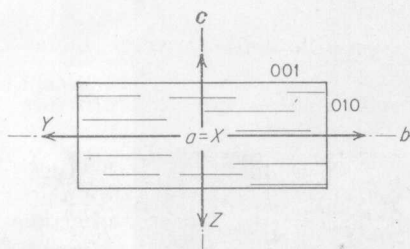


FIG. 16-40. Diagrama de orientación de la prehnita. Sección paralela a (100).

FIG. 16-41. ($\times 12$). Prehnita con estructura flabeliforme.

Color. En secciones delgadas, incoloro.

Forma. La prehnita aparece en agregados que con frecuencia tienen forma de hoja y se parece a las esferulitas. Es característica de este mineral la forma en *corbata de pajarita* (Figura 16-14). Los cristales principalmente son paralelos tabulares a $\{001\}$.

Exfoliación. Buena en una dirección $\{001\}$.

Relieve. Moderadamente alto, $n >$ bálamo.

Birrefringencia. De moderada a bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,020$ a $0,033$; los máximos colores de interferencia varían desde bajo al superior de segundo orden. En algunas variedades se encuentran colores de interferencia anormales.

Extinción. Paralela a la exfoliación. Con frecuencia la extinción es ondulante debido a la estructura.

Orientación. Las trazas de exfoliación son paralelos al rayo rápido.

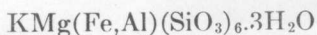
Maclas. En algunas secciones se encuentran maclas polisintéticas finas en dos direcciones que forman ángulos rectos.

Figura de interferencia. La prehnita da una figura biaxial positiva, pero el ángulo axial es variable aun en la misma probeta. El plano axial es {010}. La dispersión $r > v$, débil.

Características especiales. En algún yacimiento la lawsonita se confunde con la prehnita, aunque la birrefringencia de la primera es considerablemente inferior y los índices de refracción algo más altos.

Yacimiento. La prehnita es un mineral secundario que se encuentra en cavidades y grietas de diferentes rocas ígneas. Es un mineral dominante en rocas amigdaloides de los depósitos de cobre del Lago Superior. A veces se encuentra en venas. Los minerales asociados son el cuarzo, calcita, datolita y ceolitas.

GLAUCONITA



Monoclínico (?)

$$n_\alpha = 1,590 \text{ a } 1,612$$

$$n_\beta = 1,609 \text{ a } 1,643$$

$$n_\gamma = 1,610 \text{ a } 1,644$$

$$2V = 16^\circ \text{ a } 30^\circ; \text{Opt. } (-)$$

$$\alpha \text{ o } X \text{ ca. } \perp \{001\}$$

Color. En secciones delgadas, verde, amarillo-verde o verde oliva. Pleocroico de amarillo a verde.

Forma. La glauconita aparece en granos o bolas que en parte son agregados de diminutos cristales y en parte cristales individuales. No se han visto cristales euhédricos. Los granos a veces son piezas de foraminíferos.

Exfoliación. Perfecta en una dirección {001}.

Relieve. Moderado, $n > \text{bálsamo}$.

Birrefringencia. De moderada a bastante fuerte, $n_\gamma - n_\alpha = 0,020 \text{ a } 0,032$; los colores de interferencia más altos son de segundo orden, aunque están enmascarados por el color del mineral. Muchas muestras presentan una polarización de los agregados.

Extinción. La extinción es prácticamente paralela, tomándola con referencia a las trazas de exfoliación, aunque algunas veces se han medido ángulos de 2° ó 3° .

Orientación. Las trazas de exfoliación son largo-lento como en las micas.

Figura de interferencia. Las escamas de exfoliación proporcionan una figura negativa biaxial con un ángulo axial pequeño, pero es difícil de obte-



FIG. 16-42. ($\times 50$). Glauconita (negra) en la arcosa.

ner dicha figura, debido al pequeño tamaño de los cristales. La dispersión, $r > v$.

Características especiales. La glauconita se parece mucho a algunas leptocloritas como la chamosita, pero esta última tiene un índice de refracción más alto y una birrefringencia más débil. La chamosita tiene una estructura oolítica que falta en la glauconita.

Alteración. A veces la glauconita se transforma en limonita.

Yacimiento. Aparece en arenas, areniscas y calizas. Es especialmente abundante en areniscas que están flojamente consolidadas y que se conocen con el nombre de *arena verde*, dominantes en el cretáceo de Nueva Jersey. Normalmente va asociado con colofana.

Origen. La glauconita es un producto de sedimentación intersticial. Puede ser también el resultado de la alteración de la biotita detrítica. También es posible que proceda de añadir hierro a un mineral de arcilla en un ambiente marino.

MINERALOIDES

Se llama *mineraloides* a unos componentes de rocas, como los minerales cuya composición química no está bien definida ni tampoco sus propiedades físicas, de tal forma que no se pueden incluir en la lista de minerales. El mineraloide más corriente y abundante, que se encuentra en la naturaleza, es el vidrio o vidrio volcánico, con frecuencia de importancia geológica. la obsidiana, perlita, piedra de resina, piedra pómez son nombres petrográficos, aunque el vidrio se puede considerar como mineraloide.

La palagonita, producto de alteración de vidrio basáltico fragmentado, en un principio estuvo considerada como mineral, aunque probablemente es un mineraloide.

Los hidrocarburos también son mineraloides.

Algunos minerales, estudiándolos con rayos X, dan líneas de difracción, pero al mismo tiempo son ópticamente isotrópicos; estos minerales son la cliaquita, colofana y ópalo.

VIDRIO VOLCANICO

$\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}, \text{MgO},$
 $\text{CaO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O}, \text{etc.}$

Amorfo
 (Mineraloide)

$$n = 1,48 \text{ a } 1,61$$

Color. En secciones delgadas de incoloro a gris o rojizo.

Forma. Por lo general masivo, a veces vesicular, perlítico, etc. Con frecuencia contiene esferulita de ortoclasa, microlitas, cristalitas, microfeno-cristales y fenocristales.

Exfoliación. No existe, pero presenta partición perlítica.

Relieve. De bajo a moderado, n por lo general es inferior al bálsamo, aunque a veces es más grande. El índice de refracción aumenta a medida que la sílice disminuye.

Birrefringencia. Por lo general nula, pero algunas variedades presentan una débil birrefringencia que se debe a la deformación.

*a**b*

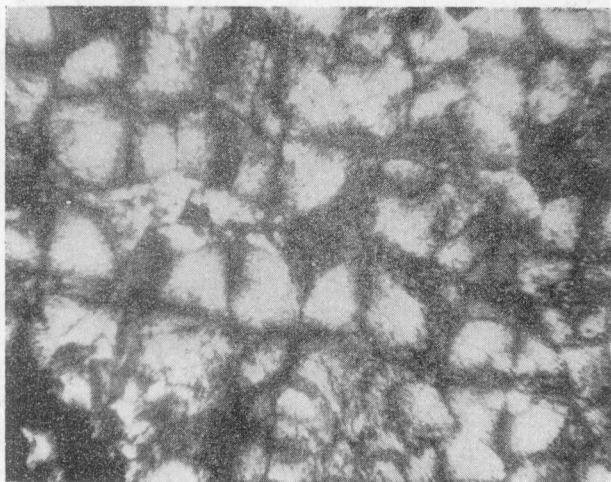
FIG. 16-43. Vidrio volcánico y formas asociadas como se ve en las secciones delgadas ($\times 10$). (a) bandas producidas por fluencia; (b) cristaliitos aciculares en el vidrio; (c) esferulitas de feldespato (nicoses cruzados); (d) cruces de extinción en esferulitas (nicoses cruzados); (e) textura perlítica y cristaliitos; (f) textura perlítica.

Características especiales. El ópalo se confunde con el vidrio, pero el índice refractivo del ópalo es más bajo.

Alteración. Con frecuencia el vidrio volcánico está más o menos desvitrificado (ver Figura 16-43). Los productos de alteración, por lo general, son bastante indefinidos, pues los feldespatos, tridimita, cristobalita o



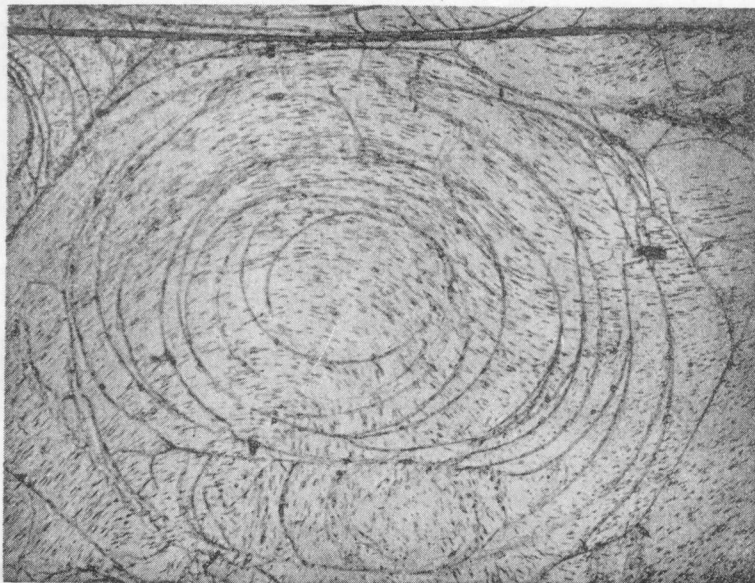
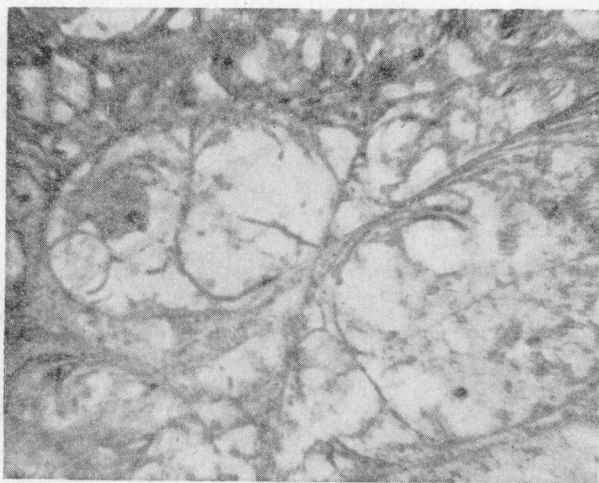
c



d

montmorillonita son el resultado de una desvitrificación. La palagonita es siempre el resultado de la alteración de fragmentos de vidrio.

Yacimiento. El vidrio también se encuentra como roca ígnea independiente, tal como la obsidiana, pumita, perlita o piedra de vidrio. La mayoría del vidrio volcánico tiene una composición correspondiente a la riolita. El vidrio también se encuentra como una salbanda estrecha en diques de

*e**f*

basalto. Esta variedad se llama *taquilita*. El vidrio es un componente dominante del vitrofiro y se encuentra en la masa fundamental de muchas rocas volcánicas.

La lechatelierita (ver página 241) es un vidrio de sílice ya estudiado anteriormente.

PALAGONITA

$\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}, \text{MgO},$
 $\text{CaO}, \text{H}_2\text{O}$
 (Vidrio alterado)

Amorfo
 (Mineraloide)

$$n = 1,47 \text{ a } 1,63$$

Color. Normalmente, de amarillo a pardo amarillento, aunque también puede ser pardo o verdoso en secciones delgadas.

Forma. La palagonita se encuentra como aro alrededor de fragmentos de vidrio o en forma masiva. Con frecuencia presenta una estructura oolítica debida al relleno de microvesículas.

Relieve. Debajo a medio, n menor o más grande que el bálamo.

Birrefringencia. De nula a muy débil. La palagonita es un hidrogel; probablemente la débil birrefringencia que se aprecia se debe a la deformación.

Características especiales. La palagonita se parece al ópalo, colofana y vidrio volcánico. El índice de refracción es demasiado alto para el ópalo, y casi siempre demasiado bajo para la colofana. Se le puede distinguir del vidrio por su alto contenido de agua.

Alteración. Según A. C. Waters, la palagonita procedente de los fragmentos basálticos de brecha de Roseburg, Ore se ha transformado en clorita.

Yacimiento. La palagonita se encuentra en tobas y rocas de palagonita. Se forma por hidratación del vidrio basáltico en fragmentos. Los fragmentos de vidrio se transforman parcial o totalmente en palagonita. Además del vidrio va asociada con la calcita, ceolitas, clorita, piroxeno y plagioclasa (los tres últimos son minerales de residuo procedentes del vidrio de origen).

BIBLIOGRAFIA

Grupo de la mica

- Foster, M. D.: Correlation of dioctahedral potassium micas on the basis of their charge relations, *U.S. Geol. Survey Bull.* 1036-D, págs. 57-67, 1956.
 Heinrich, E. W., y A. A. Levinson: Studies in the Mica Group; Polymorphism among the High-Silica Sericites, *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 983-995, 1955.
 Levinson, A. A.: Studies in the Mica Group; Polymorphism among Illites and Hydrous Micas, *Am. Mineralogist*, vol. 40, págs. 41-49, 1955.
 Smith, J. V., y H. S. Yoder: Experimental and Theoretical Studies of the Mica Polymorphs, *Mineral. Mag.*, vol. 31, págs. 209-235, 1956.
 Yoder, H. S.: Synthetic and Natural Muscovites, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 8, págs. 225-280, 1955.

Grupo de la clorita

- Brindley, G. W., K. Robinson: The Chlorite Minerals. X-ray Identification and Structures of Clay Minerals, *Mineralog. Soc.*, Londres, págs. 173-198, 1951.
 Hey, Max H.: A New Review of the Chlorites, *Mineral. Mag.*, vol. 30, págs. 277-292, 1954.
 Lapham, Davis M.: Structural and Chemical Variation in Chromium Chlorite, *Am. Mineralogist*, vol. 43, págs. 921-956, 1958.

- : A Third Study of Chlorite. *Am. Mineralogist*, vol. 21, págs. 642-651, 1936.
———: Additional Notes on Chlorite, *Am. Mineralogist*, vol. 13, págs. 161-170, 1928.

Grupo de minerales de arcilla

- Brindley, G. W.: X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals, Clay Minerals Group, *Mineralog. Soc.*, Londres, 1951.
Committee on Clay Minerals: Clays and clay minerals, Conferencias 2, 3, y 4, *Nat. Research Council*, Washington, D. C., 1954, 1955, 1956.
Correns, C. W., y H. Piller: Mikroskopie der feinkörnigen Silikatminerale, Part 1: Mikroskopie der Gesteine; «Handbuch der Mikroskopie in der Technik», vol. 4, Umschau Verlag, Frankfurt, 1955.
Grim, R. E.: «Clay Mineralogy», McGraw-Hill Book Company, Inc., Nueva York, 1953
Keller, W. D.: «The Principles of Chemical Weathering», Lucas Brothers Publishers, Columbia, Mo., 1955.
Kerr, P. F. et al.: Reference Clay Minerals, *Am. Petrol. Inst. Res. Proj.* 49, Nueva York, 1950.

Grupo de la serpentina

- Gruner, J. W.: Notes on the Structure of Serpentine, *Am. Mineralogist*, vol. 22, pág. 103, 1937.
Kalousek, G. L., y L. E. Muttart: Studies on the Chrysotile and Antigorite Components of Serpentine, *Am. Mineralogist*, vol. 42, págs. 1-22, 1957.
Lodochnikov, W. N.: Serpentine and Serpentinites and the Petrological Problems Connected with them, *Problems Soviet Geol.*, vol. 2, págs. 145-150, 1933.
Nagy, B., y G. T. Faust: Serpentine: Natural Mixtures of Chrysotile and Antigorite, *Am. Mineralogist*, vol. 41, págs. 817-838, 1956.
Selfridge, G. C.: An X-ray and Optical Investigation of the Serpentine Minerals, *Am. Mineralogist*, vol. 21, págs. 463-503, 1936.
Whittaker, E. J. W., y J. Zussman: The Characterization of Serpentine Minerals by X-ray Diffraction, *Mineral. Mag.*, vol. 31, págs. 107-126, 1956.
Zussman, J., y G. W. Brindley: Electron Diffraction Studies of the Serpentine Minerals, *Am. Mineral.*, vol. 42, págs. 133-153, 1957.

Índice

- Abrasivos, 5
 - alundo, 7
 - carborundo, 6
 - esmeril, 6
- Abreviaturas, 111
- Absorción, 119
- Accesorios, 25
 - cuña de cuarzo, 25, 27
 - lámina de mica, 25, 27
 - lámina de yeso, 25, 27
- Aceite de cedro, 21
- Acmita, 309
- Actinolita, 318, 319
- Adularia, 259, 260
- Agregado radial, 122
- Agregados, aciculares, 154
 - cementados, 154
 - cristales incipientes, 154
 - esferulíticos, 154
 - fibrosos, 114, 154
 - foliados, 154
 - granulares, 154
 - intercalaciones gráficas, 154
 - listonados, 154
- Agujas centradoras, 27
- Ahrens, C. D., 67, 80
- Ajuste fino, 25
- Ajuste de microscopio, platina de centra-
do, 31
 - fina (vertical), 25, 26
 - polarizador (biotita o turmalina), 35
 - rectículos (natrolita), 33
- Akermanita, 283
- Albita 70, 2
 - cristalización de, 247
- Almandita, 347
- Alofana, 399, 402
- Alnoita, 238, 345
- Alundo, 7
- Alunita, 220, 221, 405
- Allanita, 335-337
- Alleghanyta, 193, 347
- Allen, E. T., 294
- Allen, R. M., 35
- Amici, G. B., 35
- Amoniojarosita, 222
- Amplificaciones, vacío, 22
 - iniciales, 21
- Amplitud de ondas, 38
- Analcima, 285, 286
 - euhédrica, 128
- Analizador, 23
- Anatasa, 191
- Anauxita, 399, 402
- Andalucita, 358, 359
 - exfoliación, 132
 - inclusiones en, 124, 127
 - carbonácea, 127
- Andesina, 272, 273
- Andradita, 347
- Anfiboles sódica, 309
- Anfibolita, 323, 330
- Angulo axial, 91
 - axial, 2E, 98
 - axial, 2V, 98
 - (*ver también* Angulos axiales)
 - crítico, 47
 - de desviación mínima, 51, 53
 - de ejes ópticos, 2V, 94
 - de extinción, 77-79
 - de incidencia, 44
 - de maclas periclinas de inclinación, 256
 - de reflexión, total, 47
 - de refracción, 44
 - de sección rómbica, 254
- Angulo crítico, 47
- Angulos axiales, en aire, 2E, 99
 - de biaxial positivo, 172
 - comparación de, 99
 - en cristal, 2V, 99
 - ecuación de Mallard, 99
 - 2V, 91
 - variación, de negativo biaxial, 171
- Angulos cristalinos, π y ρ , 110
- Anhédrica, 127
- Anhidrita, 183, 215-217
 - exfoliación, 132
 - fragmento, 142
- Anisotropismo, 48
 - causado por presión, 79
 - en lámina de mineral, 67
- Ankerita, 207
- Anomita, 387
- Anortita, 275, 276
- Anortoclasa, 264, 265
- Antigorita, 410, 411

- Antigorita de manganeso, 409
 Antipertita, 244, 246
 Antofilita, 313
 hidratada, 314
 Apatito, 224, 225
 euhédrico, 127
 Apatito estróncico, 224
 Apertura numérica, 211
 Aragonito, 183, 210-212
 Arcos de Wright, 107, 108
 Ardenita, 345
 Arena verde, 414
 Arenisca, 232
 Argentojarosita, 222
 Armstrong, E., 294
 Asbestiforme, 318
 Asbestos, crisotilo, 412
 grunerita, 316
 tremolita, 314, 318
 Asociación ígnea, 247
 Attapulgitita, 400, 402, 408
 Auganita, 304, 324
 Augita, 303, 304
 fragmentos, 142
 Axinita, 356, 357
 Azul berlín, 393

 Baddeleyita, 191
 Bálsamo del Canadá, 6
 Bandas de color en figuras, 91
 Barita, 212-214
 orientación, 134
 Barita plumosa, 214
 Barrett, C. S., 118
 Barth, T. F. W., 306
 Basalto, 304, 306, 324, 342
 Baskin, Y., 394
 Bassanita, 324
 Bassett, William, VII
 Bauxita, 198
 pisolítica, 121
 Berec, M., 35, 74, 80, 118
 Berilo, 369-371
 Beck, C., 35
 Becke, F., 56, 59
 Beidelita, 402
 Bell, James, F., 4, 9
 Belling, J., 35
 Bennett, Alva H., 29, 35
 Bentonita, 407
 Berman, H., 136, 137, 177, 312
 Berthier, Pierre, 198
 Bertrand, E., 35
 Bertrand, L., 35
 Binormales, 97
 Biotita, 387-388
 ajuste con, 34
 halos, 125
 Bird, Paul H., 6

 Birradiales, 97
 Birrefringencia, 62
 con orientación, 68
 tablas, 163, 164
 Bisectriz aguda, 91
 figuras, 84, 91, 95
 Bisectriz, aguda, 91
 obtusa, 91
 Blenda (esfalerita), 180
 Boehmita, 198, 199
 Bórax, 183
 Borgstrom, L. H., 143-145
 Bosazza, V. L., 294, 376
 Bouasse, H., 80
 Bowen, N. L., 294, 376
 Bowenita, 310
 Bradley, C., 294
 Bragg, W. L., 177
 Brewster, D., 60
 Brewsterita, 285
 Brillo, adamantino, 46
 vitreo, 46
 Brindley, G. W., 418
 Brockita, 110
 Broncita, 298
 Brown, C. S., 294
 Brucita, 197, 198
 Buchwald, E., 105
 Buddington, A. E., 282
 Burri, C., 35, 105
 Bustamita, 312
 Bytownita, 274, 275

 Cainita, 183
 Calcedonia, 234-236
 mosaico, 123
 radial, 122
 Calcita, 183, 204
 fragmentos, 142
 microfósiles en, 123
 radial, 123
 Calcita, maclas, 126
 Calcita oolítica, 205
 Calcopirita, 182
 Californita, 310, 354
 Calkins, F. C., 294
 Cámara, 30
 Cámara fotomicrográfica, 32
 Campo imagen, 14, 18
 fuente, 14
 Campo objeto, 14, 18
 Cancrinita, 280
 Cano-Ruiz, J., 400
 Caolinita, 399, 402-404
 Carbonatos, 203-212
 grupos de aragonito, 210-212
 grupo de la calcita, 203-213
 Carbonatos romboédricos, 203
 Carborundo, 6

- Cargille, R. P., 143
 Carnalita, 183
 Casiterita, 191, 192
 maclas, 126
 Celestina, 214-215
 Cemento de baquelita, 54
 Cemento Lakeside "66", 6, 8
 Cementos, Bálsamo del Canadá, 6
 lakeside "66", 6, 8
 lucita, 4
 Centrado de la platina, 33
 Ceolitas, 284-294
 Chabasita, 288
 Chamosita, 393-394
 Chamot, E. M., 35
 Charnockita, 300
 Chayes, F., 267, 269, 294
 Chorlo, 371
 Chudoba, K., 177-294
 Cianita, 361
 cristales hojosos, 125
 fragmentos, 142
 Ciclosilicatos, 176, 369-376
 Circón, 354, 355
 Círculos graduados, 107
 Claves para tablas, 147
 Cliaquitas, 121, 200, 201
 Clinocloro, 389, 391, 392
 Clinohumita, 345, 347
 Clinopiroxenos, 300-312
 índices de refracción, 301
 Clinozoisita, 329, 331
 anómala, 330
 deutérica, 330
 Clintonita, 394
 Cloritoide, 405-406
 Cloromelanita, 310
 Coes, L. J., 294
 Coesita, 242
 Coinoenstatita, 306
 Coker, E. G., 42
 Coladas, inmersión, 143
 Colemanita, 183
 Colofana, 227-229
 sustitución por, 122
 Color, 175
 aplicación de, 73
 y ejes de vibración, 119
 gráfico en color (frente a la pág. 162)
 de minerales, 119
 Compensador, Berek, 27
 mica, 27
 Compensador de Berek, 25, 27, 74, 75
 Condensador, 23
 círculo, 15
 lentes, 24
 lentes frontales, 85
 Condrodita, 345, 347
 Conjunto de subpletina, 23
 Cono de luz, 21
 Construcción de Huygens, 43
 Contraste claro, 29
 Contraste oscuro, 29
 Cookeita, 312
 Cordierita, 373, 374
 Corindón, 187, 189
 cristales en esqueleto, 127
 maclas, 126
 Corindonfilita, 389
 Corneana, 316
 Cráter de meteoros, 241
 Crecimientos vermiculares, 124
 Cresta de onda, 38
 Crew, H., 42
 Criptopertita, 246
 Crisolita (olivino), 340
 Crisotilo, 125, 411, 412
 fibroso, 125
 Crisotilo de manganeso, 409
 Cristal cubreobjetos, 26
 Cristales, 126
 anhédricos, 127
 euhédricos, 127, 154
 hexagonales, 128
 isométricos, 127
 monoclinicos, 129
 rómicos, 128
 tetragonales, 128
 triclinicos, 129
 Cristales aciculares, 124, 154
 Cristales columnares, 154
 Cristales esqueléticos, 154
 Cristales hojosos, 124
 Cristales listonados, 154
 Cristales uniaxiales, negativos, 87
 positivos, 87
 Cristales uniformes, 153
 Cristalitas, 415
 Cristalización incipiente, 120, 121
 Cristobalita, 231, 240, 241
 artificial, 241
 Crocidolita, 324
 Cromita, 194, 195
 Crookes, W., 79
 Crossita, 313, 326, 327
 Cuarzo, alfa, 231, 232
 beta, 231, 234
 cuarzo sintético, 232, 294
 Cuarzo, cuña de, 24, 26
 Cuero de montaña, 408
 Cuidado del microscopio, 27
 Cummingtonita, 315, 316
 Curva armónica, 40
 Curvas isocromáticas, 91
 Cymatolita, 312
 Dahllita, 225-227
 Datolita, 413
 Day, A. L., 294

- Deer, W. A., 376
 Delessita, 394
 Dengo, G., 337
 Descripciones de minerales, 175
 Desplazamiento de la onda, 37
 Destilados de petróleo, 144
 Diabasa, 306
 Diafragma, anular, 28
 doble método, 59
 iris, 24, 55
 subplatina, 14
 Diálaga, 302
 Diamante de Cullinan, interferencia de, 79
 Diaspora, 195, 196
 Diatomita, 238
 Diátomos, 123
 Dickita, 399, 402, 404, 405
 Dicroico, 119
 Diferencia de fase, 69, 29
 Diópsida, 300, 303
 Diópsida crómica, 302
 Dispersión, 104, 105
 cruzada, 104, 105
 diamante, 46
 figuras biaxiales, 103, 104
 fluorita, 46
 horizontal, 104, 105
 inclinada, 104, 105
 Doble refracción, 63, 64
 variación según el espesor, 74
 Dolerita, 306
 Dolomita, 183, 207, 208
 exfoliación, 132
 maclas, 132
 Donnay, J. D. H., 58, 294
 Dravita, 371
 Drew, E. R., 42
 Drude, P., 80
 Drugman, J. L. E., 334
 Dumortierita, 365, 366
 forma cristalina, 129
 Dunita, 314, 343
 Dunn, F. L., 54

 Ecuación de Mallard, 99
 Edenita, 319
 Edser, E., 41
 Egirina, 308, 309
 Egirina augita, 307
 Ehringhaus, A., 35
 Einstein, A., 37
 Eitel, W., 294
 Ejemplos de exfoliación andalucita, 132
 anhidrita, 132
 fluorita, 132
 hornblenda, 131
 muscovita, 132
 piroxeno, 132
 topacio, 131

 Ejes de elasticidad, 92
 Ejes, de elipsoide, 96
 óptico, 91, 97
 Ejes ópticos, biaxiales, 97
 emergencia, 91
 plano, 91
 primarios (binormales), 97
 secundarios (birradiales), 97
 Ejes ópticos secundarios, 97
 Elbaita, 371
 Eleolita (nefelina), 278
 Elementos, 179
 Elipsoide, índice, 94-96
 Ellestadita, 224
 Elongación, negativa, 79
 positiva, 79
 Emmons, R. C., 106, 108, 118, 294
 Endellita, 402, 406
 Enstatita, 298, 299
 Enstatita-augita, 305
 Epsilon (ϵ), 64
 Epidota, 331-333
 Escoclecita, 293, 294
 Esfena, 352, 353
 maclas de cristales, 124, 125
 Esferoide aplastado, 64
 alargado, 64
 Esferulitas, 416
 Esmeril, 6
 Espato de Islandia, 63
 Espectro, electromagnético, 42
 espectro visible, 41, 42
 Espejo, 24
 Espessartina, 347
 Espiguilla, 304
 albardillada sin fin, 303
 en cuadrícula, 262
 esferulítica, 154
 en estaca, 283,
 fragmentada 155
 de grietas astilladas, 155
 de grietas perlíticas, 155
 litofisas, 155
 de microfósiles, 121, 122
 de mosaico, 122
 oolítica, 155
 orgánica, 155
 pisolítica, 155
 radial, 122, 123
 de Shiller, 124, 125, 298
 Espilitas, 271
 Espinela, 192, 193
 Espodumena, 311, 312
 Esquisto, 327, 330, 352
 estauroлита, 352
 glaucofana, 327, 330
 hornblenda, 330
 Esquirlas de mineral, 5
 Estauroлита, 350-352
 euhédrica, 130

- Estibina, 287, 288
 Estipnomelana, 394, 395
 Estructura de agregados, 122
 Estructura albardillada, 303
 cloritoide, 395
 Estructura de espiga, 283
 Estructura de espiguilla, 304
 Estructura en mosaico, 122
 Estructura pisolítica, 200
 Estructura de Schiller, 124, 125, 298
 Estructuras en anillos, 369-376
 Estructuras, en bandas, 155
 celular, 121
 coloforme, 155
 flabeliforme, 412
 de flujo con fenocristales, 155
 de hueso, 122
 en parrilla, 262
 Estructuras en cadena, 176, 296-337
 Estructuras en hojas, 177, 377-414
 Estructuras múltiples de SiO_2 , 368, 369
 Estructuras reticuladas, 230, 295
 Eucryptita, 312
 Euhédrico, 126, 127
 Eugster, H. P., 379
 Evans, J. W., 104
 Evaporitas, 182, 183
 Exfoliación, una dirección, 130
 dos direcciones, 131
 relación con la forma, 142
 tablas, 156, 157
 tres direcciones, 131
 cuatro direcciones, 133
 seis direcciones, 133
 Exley, C. S., 4, 9
 Extinción, inclinada, 78
 oblicua, 78
 paralela, 77
 simétrica, 78, 79

 Familia de la sillimanita, 358-368
 Farwell, H. W., 42
 Fase de onda, 38, 41
 Faust, G. T., 42
 Fayalita, 343, 344
 Feldespatoides, 276-283
 Feldespatos, 240-276
 cristalización, 248
 exfoliación, 249
 minerales, 242
 sistema ternario, 243
 temperaturas, 243
 Feldespatos calco-sódicos (plagioclasa), 265
 Feldespatos alcalinos, 356-265
 ángulos ópticos, 257
 Feniliodoarsina, 144
 Fermorita, 224
 Fersman, A., 400
 Figura biaxial, 90
 negativa, 94
 positiva, 94
 Figura de eje óptico, 92, 101
 biaxial, 101, 102
 con cuña de cuarzo, 102
 Figura de interferencia, biaxial, 85
 curvas isocromáticas, 91
 formación de, 84
 isógiras, 91
 uniaxial, 84, 85
 Figura de percusión, 378
 Figura uniaxial, 84, 85
 excéntrica, 86
 rayo extraordinario en la, 87
 Figuras biaxiales excéntricas, 93
 Filita, 352
 Filosilicatos, 177, 377-414
 Fion, L. N. G., 42
 Fletcher, L., 105
 Flogopita, 384-386
 Fluorita, 184, 185
 dispersión, 46
 exfoliación, 133
 fragmentos, 141
 índices, 46
 objetivo, 19
 Fonolita, 308, 309
 Foraminíferos, 123, 206, 413
 Forma automórfica, 126
 Forma eliotromórfica, 126
 Forma idiomórfica, 126
 Forma xenomórfica, 127
 Fórmula de absorción, 120
 Forsterita, 339, 340
 Fosforita, 226, 228
 Fosforita oolítica, 228
 Foster, M. D., 418
 Foster, W. R., 267, 268, 294
 Fragmentos, 131
 aciculares, 143
 formas, 141
 inmersión, 138
 montaje, 137-138
 montajes temporales, 138
 octaédrico, 142
 prismáticos, 162
 tamaño, 139
 Fragmentos molidos, 137-145
 Fragmentos de montaje, 137
 Francolita, 226
 Frecuencia de onda, 38, 40
 Frente de onda, 37
 Freund, H., 177
 Frondel, C., 376
 Fundiciones de azufre, 143
 Fundiciones de selenio, 143
 Fuchisita, 379
 Fulgurita, 241
 Fotomicrografías, 31
 Fosfatos, 203, 283, 229

- Gabro, 303, 304
 Gabro de olivino, 342
 Gage, S. H., 35
 Gahlenita, 283
 Gahnita, 192
 Galaxita, 192, 193
 Galpin, S. G., 407
 Galliher, E. W., 388
 Gastaldita, 326, 327
 Gates, R. M., 294
 Gay, P., 294
 Gedrita, 313
 Geyserrita, 238
 Gibbsita, 121, 199, 200
 y clachita, 121
 maclas, 127
 Gieseckita, 280
 Gilbert, C. M., 138, 177
 Glass, J. J., 145
 Glaucófana, 326, 327
 Glaucónita, 413, 414
 Gmelinita, 289
 Goethita, 201
 Goldschmidt, V. M., 246, 247
 Government oil, 143
 Grafito, 180
 Graham, G. W., 59
 Granate, anómalo, 128
 subhédrico, 126
 Granito sódico, 309
 Granito, turmalizado, 372
 Granulita, 304
 Greenalita, 394
 Greisen, 373
 Grietas astilladas, 120, 155
 Grietas de contracción, 201
 Grietas astilladas, 120, 155
 Griffith, H. D., 35
 Grim, R. E., 400, 403
 Grossularita, 347
 Groth, P., 80-105
 Grout, F. F., 136
 Grubenmann, U., 310
 Gruner, J. W., 295
 Grunerita, 316-318
 Grupo del anfíbol, 322-327
 especies monoclínicas, 315
 exfoliación, 312
 relaciones químicas, 313, 315
 Grupos de anillos, 176
 Grupo del aragonito, 210-212
 Grupo de la calcita, 203-210
 Grupo del caolín, 399, 402
 Grupo de la clorita, 388-394
 Grupo de la escapolita, 283-284
 Grupo de la epidota, 327, 337
 forma cristalina, 129
 Grupo de la espinela, 192-195
 Grupo del granate, 347-349
 Grupo de la hidromica, 400, 402
 Grupo de la humita, 345-347
 Grupo de la mica, 378-388
 Grupo de la mica quebradiza, 394-396
 Grupo de la montmorillonita, 402
 Grupo del olivino, 338-345
 Grupo del piroxeno, 296, 227
 ángulos de extinción, 297
 relaciones químicas entre los miembros
 297
 sódico, 298
 Grupo de la plagioclasa, 265-276
 Grupo de la serpentina, 409
 Grupo de la turmalina, 372
 Grupos de silicatos, 176, 335-376
 Grupos tetraédricos independientes, 176
 Grupos minerales, 176
 Grupos tetraédricos múltiples, 176
 Habitus, 120
 Haff, J. C., 118
 Hale, D. R., 232, 294
 Halita, 183, 184
 Haloisita, 399, 402, 405, 407
 Halos, 124, 125
 en biotita, 387, 388
 Halowax oil, 142, 143
 Haluros, 182
 Hallimond, A. F., 35, 306, 394
 Hamilton, P. K., V111
 Hardy, A., 136
 Harmotoma, 285
 Hartshorne, N. H., 35, 80
 Hatch, F. H., 177
 Haiyina, 281, 282
 Haz, 38
 Hectórita, 402
 Hedenbergita, 402
 extinción, 78
 Heinrich, E. W., 136, 418
 Hematita, 189
 Henderson, E. P., 183, 202
 Herapath, W. B., 61, 62
 Herapathita, 60, 61
 Hercinita, 192, 193
 Hertz, H., 301, 337
 Heulandita, 286, 287
 Hey, Max H., 388, 418
 Heyl, P. R., 42
 Hialita, 237
 Hialosiderita, 342
 Hiddenita, 311
 Hidrargilita (gibbsita), 199
 Hidrocarbón, 416
 Hidrohalloysita, 399, 402, 406
 (ver también Endellita)
 Hidromagnesita, 198
 Hidromica, 407
 Hidromuscovita, 361, 407, 408
 (ver también Illita)

- Hidronefelita, 282
- Hidróxidos, 195-202, 282
- Hiperstena, 299
 - estructura de Schiller, 125
 - gabro, 300
- Holmes, Ralph, J., VIII
- Hornblenda basáltica, 323
 - (Ver también Lamprobolita)
- Hornblenda, 321-323
 - anhédrica, 126
 - euhédrica, 127
 - extinción, 78
 - fragmentos, 142
 - orientación, 134
- Hortonolita, 343
- Hotchkiss, W. O., 56, 57, 59
- Huene, R. Von., 4
- Hunt, W. F., 136
- Hurlbut, C. S., Jr, 232
- Huygens, Christian, 36, 4

- Iddings, L. P., 177, 294
- Iddingsita, 357, 358
- Identificación clave, 147
 - contorno, 149
 - tablas, 147-172
- Idocrasa, 353, 354
 - anómala, 354
- Illita, 407
- Ilmenita, 189, 190
- Iluminación, 19
 - sodio, 54, 55
- Iluminación central, 55
- Iluminación oblicua, 58
- Iluminadores, 28
- Ilvaíta, 345
- Imagen doble, 64
- Impregnación, 4
- Incidencia ángulo de, 44
 - tangencial, 49
- Inclusiones, 124, 125
- Indicatriz, biaxial, 64
 - uniaxial, 64
- Indicatriz óptica, biaxial, 64, 95, 96
 - uniaxial, 64
- Indice, determinaciones, 141
- Indice, líquidos, 140
- Indice de aire, 45
- Indice de refracción, 54
 - tablas, 158-160
- Indices absolutos, 45
- Indices del diamante, 46
- Indice refractivo, 38
 - absoluto, 45
- Indices, variación de, minerales biaxiales, 169, 170
 - minerales isotrópicos, 167
 - minerales uniaxiales, 168
- Ingerson, E., 118, 177

- Inmersión, cuidado de los líquidos, 145
 - media, 143, 144
 - método, 138, 139
 - preparación de líquidos, 144, 145
 - standardización, 145
- Inosilicatos, 176, 296-337
- Instituto Americano del Petróleo, 401, 409
- Intercalación entre capas, 408
- Intercrecimiento gráfico, 232, 233
- Interferencia, anómala, 80
 - azul Berlín, 80
 - causado por deformación, 79
 - colores, 70
 - con cuña de cuarzo, 72
 - gráfico de color, 163
 - en luz monocromática, 72
 - primer orden, 71
 - segundo orden, 71
- Interferencia anómala, 80
 - clinozoisita, 330
 - granate, 349
 - idocrasa, 354
 - peuninita, 393
 - prehnita, 412
 - zoisita, 308
- Isachsen, Y. W., 8, 9
- Isoamil isoalato, 143
- Isógiras, emergencia, punto de, 91
- Isomorfismo, 177
- Isotropismo, 47
- Jade, 310
 - nefrita, 320
- Jade de Africa del Sur, 310
- Jade de Oregón, 311
- Jade de Styrian, 311, 393
 - seudo-ofita (penninita), 393
- Jadeíta, 309, 311
- Jarosita, 221, 222
- Johannsen, A., 35, 80, 105, 136, 177
- Johnstone, A., 400
- Jolita, 373

- Kaersutita, 324
- Kaiser, E. P., 145
- Kammererita, 389, 393
- Kelley, Vincent, 349
- Kennedy, G. C., 177, 295
- Kernita, 183
- Keroseno, 142, 143
- Kerr, P. F., 294
- Keyes, M. G., 9
- Kieserita, 193
- Knebelita, 343
- Knopf, E. B., 118
- Kohler, A., 246, 295
- Kotschubeita, 389, 392, 399
- Kraus, E. H., 136
- Kunzita, 311, 312

- Laboratorio geofísico, 306
 Labradorita, 272, 273
 Ladrillos de sílice, 230-242
 minerales de, 231
 Lámina caliente, 6
 Lámina mineral, 67
 Lámina de roca, 7
 Lámina de yeso, 25, 27, 90
 aplicación uniaxial, 90
 Láminas de madera, 368
 Láminas polarizantes, 11
 Lámpara, voltaje-bajo, 30
 sodio, 55
 subplatina, 29
 Lámparas útiles, 30
 Lamprobolita, 323, 324
 Langbanita, 345
 Lapislázuli, 194
 Lapham, D. L., V111, 389
 Largo-lento, 79
 Largo-rápido, 79
 Larnita, 339
 Larsen, E. S., 51, 136, 137, 144, 145, 177
 Lasallita, 400
 Laterita, 196
 Laumontita, 285
 Laves, F., 247, 295
 Lawsonita, 368, 369
 Lazulita, 229
 Lazurita, 281
 Lechatelierita, artificial, 241
 Lentes de Amici-Bertrand, 12, 23
 Lentes de Bertrand, 82
 Lentes de frente, 24
 Lepidolita, 382-384
 Lepidomelana, 379, 388
 Leptoclorita, 390
 Leuchtenbergita, 392
 Leucita, 278-279
 maclas transversales, 272
 seudoleucita, 278
 Leucoxeno, 190, 191
 Levinson, A. A., 418
 Ley de macla de Manebach, 249
 Ley de Snell, 43, 45
 Lignito, 122
 Limburgita, 304
 Limonita, 201
 Línea de Becke, 56
 Líquidos, cuidado de, 144
 estandarización de líquidos, 144
 índice alto de líquidos, 143
 mezcla de líquidos, 144
 Litofisas, 339
 Lizardita, 409
 Lodochnikov, V. W. N., 409
 Longitud focal, 20
 Longitud de onda, 37
 Longitud del tubo, 20
 Luquer, L. M., 136
 Lussatita, 238
 Luxullianita, 124, 125, 368
 Luz, 36
 color, 40
 convergente, 82
 descomposición, 67
 frecuencia, 38
 monocromática, 38, 80
 polarizada, 60
 convergente, 82
 roja, 40
 sodio, 54, 55, 56
 teorías, 36
 vector, 38
 velocidad, 39
 violenta, 41
 MacCullagh, J., 80
 MacKenzie, W. S., 247, 256, 257, 261, 295
 Macla de la actina, 249
 Macla periclina, 254, 255
 inclinación de la, 256
 Maclas de la albita, extinción sobre, 252
 Maclas de Baveno, 249
 Maclas de Carlsbad, 249-275
 Maclas, Carlsbad-albita, 253, 254
 de feldespatos, 249
 periclina, 253
 polisintéticas, 126
 Maclas de feldespatos, Aclina, 249
 Ala, 249
 albita, 251-254
 Baveno, 249
 Carlsbad, 245-255
 Manebach, 249
 Periclina, 255, 256
 Maclas polisintéticas, 249, 251, 254, 255
 Magma, basáltico, 337
 mático, 337
 Magnesioferrita, 192
 Magnesita, 208, 209
 Magnetita, 194
 Malacón, 355
 Mallard, M. E., 238
 Manganofilita, 398
 Marialita, 283
 Mariposita, 379
 Margarita, 394
 Marshall, C. R., 35
 Martens, J. H. C., 229
 Martin-Virdali, J. L., 420
 Maschke, O., 137
 Mason, B., V111
 Mason, C. W., 35
 Materia carbonosa, 180, 358
 Materiales no consolidados, secciones del-
 gadas de, 4
 Materiales orgánicos, 121
 Maxwell, James Clerk, 36, 40

- McLintock, W. E. P., 375
 Meionita, 283
 Melanita, 349
 Melatopo, 91
 Melilita, 282, 283
 estructura en estaca, 283
 Melón, 396
 Merwin, H. E., 54, 137, 146
 Mesitileno, 143
 Mesolita, 211, 292
 Metacristal, 352, 369, 394
 Metamictico, 223, 337, 355
 Metamorfismo, dinámico, 330
 Método de doble diafragma, 58
 Método de Michel-Lévy, 251, 252, 265
 Método del prisma, 51, 53
 Método de Schuster, 250, 251, 265
 Meyer, C., 8
 Meyrowitz, R., 144, 146
 Mezclas de ala, 249
 Mica, compensador, 28
 lámina de, 25, 27, 89
 polimorfos de, 378
 de primera clase, 378
 de segunda clase, 378
 Michel, K., 35
 Microamorfos, 121
 Microclina, 262
 sódica, 264
 Microfotografías, de fase, 31
 Micrografías electrónicas, 401
 Microgranito, 325
 Microlitas, 120
 Micrómetro, Filar, 19
 ocular, 19
 platino, 20
 rejilla de difracción, 19
 Micropertita, 249
 Microscopía de fase, 29
 Microscopio, 54
 accesorios, 25
 ajuste, 32
 amplificación, 22
 Bausch y Lomb, microscopio de, 11
 Binocular, 12, 139
 centrado de, 32
 cuidado de, 28
 fase, 10
 iluminación, 18
 lámparas, 28
 Leitz, 12, 14
 Optico Americano, 13
 platina, 32
 polarización, 10
 precauciones para su uso, 27
 reflexión, 12
 vista en sección, 13, 15
 Zeiss, 15, 16
 Microscopio de la American Optical Com-
 pany, 13
 Microscopio polarizante, 10
 Microscopio reflectante, 10
 Miers, H. A., 82
 Milner H. B. 178
 Mineral de hierro, 325, 394
 Minerales, tallas de, 147, 172
 ángulos axiales, 171-172
 birrefringencia, 162, 163
 clave para las tablas minerales, 147
 coloreados, 151, 152
 estructuras, 155
 exfoliación, 156, 157
 forma, 153-155
 gráficas de color, 163
 índices biaxiales, 170
 índices de refracción (tablas), 158-160
 isotrópicos, 161, 167, 121
 negativos (biaxiales), 166
 opacos, 150
 positivos (biaxiales), 165
 uniaxiales 164, 168
 Minerales amorfos, 121
 Minerales anisotrópicos (tablas), 162
 Minerales de arcilla, 399-409
 Minerales opacos, 147, 150, 179
 taba de, 150
 Mineraloides, 414-418
 Mínimo ángulo de desviación, 51
 Molécula de albita, 242
 Molécula de anortita, 242
 Molloy, M., V111
 Monacita, 222, 223
 Monobromonaftaleno, 143
 Monocloronaftaleno, 143
 Montaje de la lucita, 4
 Montaje de metil metacrilato, 4
 Monticellita, 335, 344, 345
 Montmorillonita, 400, 402, 406, 407
 Mordenita, 285
 Morey, G. W., 81
 Movimiento armónico, 40
 Movimiento de onda, 40
 Muir, I. D., 269, 295
 Mullita, 363-364
 artificial, 364
 porcelana, 364
 Muscovita, 379-382
 exfoliación, 132
 Myrmekita, 232
 Nacrita, 399, 402
 Nagy, B., 409
 Natroalunita, 221
 Natrojarosita, 222
 Natrolita, 34, 289-291
 fragmentos de, 142
 radial, 290
 Nefelina (nefelita), 278-280
 euhédrica, 129

- Nefrita, 320
 Negativa, 89, 90
 doble refracción débil, 86
 doble refracción fuerte de la, 86
 direcciones de vibración, 88
 positiva, 89, 90
 rayo ordinario en la, 86
 signo, 89
 Neosilicatos, 176
 Newton, Sir Isaac, 36, 42
 Nicholson, J. W., 80
 Nícoles, ajuste, 34
 cruzados, 33
 Nícoles cruzados, 33
 ajuste, 34
 Nomenclatura, 270
 Nontronita, 400, 402
 Norbergita, 347
 Norita, 300
 Normal, a la onda, 38, 65
 Normal óptico, 91, 92
 Noseana, 281
 Noselita, 281
- Objetivo, acromático, 19
 apertura numérica, 21
 apocromático, 22
 cono de luz, 21
 fluorita, 20
 inmersión en aceite, 20-21
 Observación ortoscópica, 12, 17
 Observaciones conoscópicas, 14, 16, 17
 Obsidiana, 414
 Ocular, 17
 de Huygens, 18
 negativo, 18
 positivo, 18
 de Ramsden, 18
 Ojo de tigre, 325
 Oligoclase, 271-272
 Olivino, 340-343
 euhédrico, 129
 Omega (ω), 64
 Omfacita, 302
 Oolitos, 393
 Opalo, 236, 238
 carácter amorfo del ópalo, 121
 estructura celular del ópalo, 121
 Opalo celular, 121
 Opalo coloforme, 236
 Orientación, 133, 175
 ejemplo de barita, 134
 ejemplo en la hornblenda, 135
 Ortit, 335
 de magnesio, 236
 Ortoanfiboles, 313
 Ortoclase, 257
 cristalización de, 248
 fragmentos de, 141
- molécula de, 242
 macla de, 249
 Ortoclorita, 390
 Ortopyroxenos, 298-300
 Osganist, D. M., 4
 Ottrelita, 394, 395
 Óxidos, 185-192
 múltiples, 192-195
- Palagonita, 418
 Palygorsquita, 400, 402, 408
 Parawollastonita, 375
 Partes del microscopio, 16
 Partición, 129
 Parrish, W., 375
 Peacock, M. A., 375
 Peinhard, M., 118, 269, 295
 Películas de "costra", 8
 Pennina, 392
 Periclase, artificial, 186
 Peridotita, 304
 Período de onda, 38
 Perlita, 414
 Perowsquita, 195
 Pertita, 244, 246, 263, 271
 Perrin, F. H., 42
 Petrotomos, 8
 Píamontita, 333-335
 Picotita, 192, 193
 Piedra de resina, 414
 Pigeonita, 305, 306
 Piller, H., 32, 35
 Pilolita, 400
 Pinita, 374
 Piperina, 143
 Pirita, 181
 Pirofilita, 398, 399
 Piropo, 347
 Piroxeno, auhédrico, 131
 Piroxenoides, 312
 Piroxenos sódicos, 298
 Pirrotita, 181
 Pistacita, 331
 Plagioclase, berrefrigencia, 268
 agrupación decimal, 294
 alta temperatura, 266, 269
 exfoliación, 267
 extinción sobre, 251
 maclas, 253, 254
 métodos, 265
 normal, 266
 2V, 269
 vidrio de, 278
 Planck, M., 37
 Plano principal de los rayos, 89
 Platina, centrado de, 32
 micrómetro, 19
 universal, 106
 Platina de cinco ejes de Emmons, 108

- Platina universal, 106
 ajuste de, 111
 círculo, 107
 conjunto de, 106, 107
 con cristales biaxiales, 114
 ejes, 112
 ejemplos de montajes, 114, 115
 ejercicios, 115, 116
 iluminación, 111
 localización de ejes, 112
 orientación de cristales, 111
 red estereográfica, 117, 118
 Pleocroísmo, 119
 Pleonasta, 192, 193
 Plumbojarosita, 222
 Prehnita, 412
 Preparaciones minerales, 3
 Prescott, Basil, 344
 Prismas, Ahrens, 11, 66, 67
 nicol, 65, 66
 de Thompson, 66
 Prisma de nicol, 65, 66
 Prismas de vidrio, huecos, 52, 53
 Proclorita, 389, 390
 Propionato de etilo, 144
 Proyección estereográfica, 109, 110
 Pockels, F., 42
 Poldervaart, A., Viii, 301, 337, 355, 376
 Polariscopio, 60
 Polarización, 60
 por absorción, 61
 por reflexión, 60
 por refracción, 62, 63
 por turmalina, 61
 Polarizador, 23
 Polaroides, 11, 61, 62
 Polihalita, 183, 219, 220
 Polimorfismo, 177
 Polimorfos, 378
 Polvos de pulir, 6
 Polzenita, 345
 Porfiroblasto, 369
 Portaobjetos, 26
 Ptilolita, 285
 Pumita, 416
 Pyralspita, 347

 Quanta, 37
 Quiastolita, 358

 Raaz, F., 35
 Radiolaria, 121
 Rankama, K., 9
 Rankin, G. A., 375
 Ramsdell L. S., 136, 294
 Rayo, 38
 extraordinario, 63, 64, 86
 velocidad de, 87

 Rayo lento, 76
 Rayo de luz, 38
 biaxial, 94
 ordinario, 63, 64
 superficie del, 92
 Rayo ordinario, 63, 86
 Rayo superficial biaxial, 94
 secciones de, 96
 Referencia de minerales de arcilla, 401
 Reflexión de la luz, polarización por, 60
 total, 48
 Reflexión total, 47, 49
 Refracción, 43
 ángulo de, 45
 doble, 48
 índice de, 48
 de la luz, 47
 Refractómetro, 49
 Abbe, 51, 53
 hemisférico, 50
 prisma de, 51, 53
 Refractómetro de Abbe, 51, 52
 Refractómetro de Zeiss, 51, 52
 Relaciones de color, 72
 Relieve, 58, 59, 175
 Resolución, 22
 en analizador, 68, 69
 Retardación, 68, 69
 ecuación de, 68
 retardación de la longitud de onda com-
 pleta, 70
 retardación de la longitud de onda me-
 dia, 70
 Retículos complejos, 176
 Rev, George, 4
 Riebeckita, 324
 Ripidolita, 390
 Robinson, K., 418
 Rodocrosita, 203, 204
 Rodonita, 312
 Rogers, A. F., Vii, 136, 137, 146, 225,
 235, 238, 239, 323, 382
 Rogerta, Fred, 4
 Rosenbusch, H., 178
 Rosenthal, P., 13
 Ross, C. S., 54, 137, 358, 403
 Roubault, M., 35
 Rowland, E. D., Viii, 8, 9
 Ruedas para pulir, 7
 Rutilo, 190
 acicular, 124

 Sal común (hálita), 184
 Sanidina, 260, 261
 Saponita, 400, 402
 Saunders, F. A., 42
 Savchenkov, T. V., 400
 Saylor, C. P., 58, 59
 Schairer, J. F., 376

- Schaller, W. T., 183, 202
 Schmidt, E., 256, 295
 Schroeder van der Kolk, J. L. C., 136, 137
 Schuster, A., 80
 Sección delgada, cubreobjetos, 8
 pulida, 9
 tamaño grande, 9
 transversal de, 7
 Sección delgada, preparación de, 3
 cuarcita, de la, 174
 determinación del espesor, 75
 Sección rómbica, 254
 Secciones circulares, 96
 Secciones delgadas, 43
 Secciones de elipsoide principales, 96, 97
 Selfridge, G. C., 409
- Seminefrita, 320
 Seno de onda, 38
 Sepiolita, 400, 402, 408, 409
 Sericita, 379, 381, 382
 Series de reacción, 247
 Serpentinita, 412
 Serpofita, 400
 Seudofita, 311, 393
 Seudojade, 310, 354, 393
 bowenita, 310
 californita, 310
 grossularia, 311
 seudofita, (clorita), 311
 Seudoleucita, 278
 Seidotridimita, 238
 Seidowollastonita, 375
 Shannon, E. V., 358
 SiO₄, independiente, 338-368
 Siderita, 209, 210
 Sienita, 308, 309, 325
 Sierra de diamante, 8
 Sierra mineral, 5
 Sierra de Rowland, 8
 Signo biaxial, 100, 101
 Signo, figura uniaxial, 89
 Signo óptico, biaxial, 100, 101
 uniaxial, 89
 Silvinita, 183
 Sillimanita, 359-361
 acicular, 123
 fragmentos, 142
 llameante, 122
 Singonia, 345
 Sistema óptico, 12
 Skarn, 307
 Smith, J. R., 243, 244, 245, 247, 295, 337
 Smith, J. V., 256, 257, 261, 266, 267, 294, 295, 378, 418
 Smithsonita, 203
 Sodalita, 281
 Soportes para pulir, 6
- Sorosilicatos, 176, 368, 369
 Sosman, R. B., 231
 Spitta, E. J., 31
 Stewart, D. B., 183, 202, 243-245, 295
 Stewart, F. H., 183
 Stuart, A., 35, 80
 Subhédrico, 127
 Sulfato de yodocinconidina, 61
 Sulfatos, 203, 212-222
 Sulfuros, 178
 Superficie del rayo uniaxial, 87
 Superficies pulidas, 3
- Tablas (minerales), 147-172
 de carácter óptico, 155-166
 clave de, tablas, 147
 de minerales birrefringentes, 161, 162
 de minerales isotrópicos, 161
 de minerales transparentes, 148, 151, 172
 Tablas de minerales biaxiales, 166
 Tablas de minerales uniaxiales, 164
 Talco, 396-398
 Técnicos, 4
 Tectosilicatos, 176, 230, 295
 Tetraita, 338, 343
 Teoría corpuscular, 38
 Teoría de la luz, corpuscular, 36
 electromagnética, 36
 Tertsch, H., 3
 Thenardita, 183
 Thiel, G. A., 295
 Thompson, S. P., 42, 80
 Thomsonita, 292, 293
 Thulita, 328
 Tickell, F. G., 178
 Tihonravov, Alexander, 4
 Titanita (esfera), 352
 Tolman, C. F., 225
 Tomkeieff, S. I., 341
 Topacio, 366-368
 Torita, 355
 Traquilita o traquita, 308, 309, 417
 Tremolita, 318, 319
 Tricroico, 119
 Tridimita, 231, 238, 239
 artificial, 239
 Triquitas, 120
 Troger, W. E., 243, 247, 295, 337
 Tsuboi, S., 267
 Tunnell, G., 81, 98
 Turingita, 394
 Turmalina, absorción, 61
 ajuste de microscopio, 34
 radial, 125
 Turner, F. J., 118, 136, 178, 320, 321
 Tuttle, O. F., 248, 257, 294, 295
 Tutton, A. E. H., 80, 105

- Ugradita, 348
- Ulexita, 183
- Ultramarina, 281
- Uncompahgrita, 283
- Uvarovita, 347

- Variación con la dirección, rayo rápido, 76
- rayo lento, 76
- Vector eléctrico, 39
- luz, 39
- magnético, 39
- Velocidad de la luz, 39, 40
- Velocidad de la onda, 65
- Vesuvianita, 353
- Vibración, dirección de, 37
- planos de, 33
- rayos lento y rápido, 76
- Vidrio, cristalitos en, 415
- esferulitas, en, 416
- fragmentos, 406
- inundación, 415
- lechatelierita, 241
- en leucita, 123
- volcánico, 414-417
- Violeta, sensitivo, 73, 74
- Viridina, 359
- Vista de sección, 13, 14
- Voelckerita, 224
- Von Huene, Rudoph, 4

- Wager, L. R., 376
- Wahlstrom, F. E., 35, 105, 118, 178
- Waters, A. C., 418
- Weatherhead, A. V., 9

- Webster, D. L., 42
- Weinschenk, E., 81, 136, 178
- Wells, A. K., 179
- Wernerita, 283
- West, C. D., 146
- Weymouth, A. A., 9
- Wherry, E. T., 407
- Whittaker, E. T., 42, 409
- Williams, H., 136, 178
- Winchella, A. N., 81, 105, 136, 178, 305, 337, 348
- Wilkeita, 224
- Wilson, D. A. P., 9
- Wollastonita, 312, 374-376
- Wright, F. E., 57, 59, 62, 81, 105, 146, 255, 375

- Xilotilo, 8

- Yacimiento metamórfico de contacto, 302, 340, 345, 349, 359
- Yeso, 183, 217-219
- Yoder, H. S., Jr., 243, 244, 245, 247, 295, 378, 379, 418
- Yoduro de metileno, 50, 142, 143

- Zernike, F., 35
- Zinnwaldita, 384
- Zoisita, 327-329
- férrica, 328
- de manganeso, 328
- no-férrica, 328
- Zussman, 409

T4

MINERALOGIA OPTICA

Paul F. Kerr, Ph. D.

PROFESOR DE MINERALOGIA, COLUMBIA UNIVERSITY

TERCERA EDICION

*Ediciones anteriores
por Austin F. Rogers
y Paul F. Kerr*

TRADUCIDO POR:

José Huidobro
Ingeniero de Minas

REVISION TECNICA:

Agustín Navarro
Dr. Ingeniero de Minas

McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.

New York Toronto London Sydney

don Centro Reg. Ayuda Técnica 1965
S. 45 \$ leg. edición
Fecha 3-8-1974
Inv. E. 62656 Inv. B. 43084



Tabla de materias

<i>Prólogo.</i>	vii
<i>Abreviaturas.</i>	xiii

PARTE PRIMERA. OPTICA MINERAL

Capítulo 1. Preparaciones minerales para estudio microscópico.	3
Tipos de preparaciones.—Materiales para las secciones delgadas.—La esquiria mineral.—Corte de la esquiria hasta una sección delgada.—Secciones delgadas especiales.	
Capítulo 2. El microscopio polarizante.	10
Características generales.—Sistema óptico.—Partes del microscopio.—Precauciones a observar en el uso del microscopio.—Cuidado del instrumento.—Iluminadores.—Microscopio de fase.—Microfotografías.—Ajuste del microscopio polarizante.	
Capítulo 3. Resumen de las propiedades de la luz.	36
Teoría sobre la luz.—Nomenclatura en la teoría ondulatoria.—Vector luminoso. Velocidad de la luz.—Movimiento ondulatorio.—Color de la luz.	
Capítulo 4. Refracción.	43
Leyes de Snell. Índice de refracción.—Dispersión.—Angulo crítico.—Reflexión total.—Índices de refracción de los minerales anisotrópicos.—Determinación de los índices de refracción con los refractómetros.—Determinación de los índices de refracción por el método del prisma.—Determinación del índice de refracción con el microscopio.—Relieve.	
Capítulo 5. Luz polarizada plana en los minerales.	60
Luz polarizada.—Polarización por reflexión.—Polarización por absorción.—Doble refracción (Birrefringencia).—Indicatriz óptica.—Prisma nicol.—Interferencia entre nicoles.—Diferencia de fase.—Colores de interferencia.—Aplicación de la tabla de colores al estudio de los minerales.—Determinación de la retardación con un compensador Berek.—Determinación del espesor de la sección.—Dirección de la vibración de los rayos lento y rápido.—Extinción.—Elongación.—Interferencias anómalas.	
Capítulo 6. Luz polarizada convergente.	82
Generalidades.—Formación de las figuras de interferencia.—Figuras de interferencia uniáxica.—Direcciones de vibración en los cristales uniáxicos.—Signo positivo y negativo de los cristales uniáxicos.—Figuras de interferencia biáxicas.—Figuras biáxicas excéntricas.—Direcciones ópticas en los cristales biáxicos.—Elipsoide índice (Indicatriz óptica).—Los ángulos axiales $2E$ y $2V$.—Variación en el ángulo axial.—Determinación del signo óptico de un mineral biáxico.—La figura eje óptico.—Dispersión en las figuras de interferencia biaxiales.	

Capítulo 7. La platina universal.	106
Objeto.—Conjunto de la platina.—Círculos graduados.—La representación estereográfica.—Regulación.—Orientación con la platina universal.—Situación del eje óptico uniaxial.—Direcciones ópticas en los cristales biaxiales.—Montajes ilustrativos.—Ejercicios explicatorios.—Red estereográfica.	
Capítulo 8. Características generales: Color, modo de agregación, exfoliación y orientación.	119
Color y pleocroismo.—Forma o agregación.—Formas naturales de los cristales en sección delgada.—La exfoliación, la partición y la fractura como una ayuda para distinguir a los minerales.—Orientación.	
Capítulo 9. Fragmentos minerales.	137
Fragmentos molidos.—Métodos de montaje.—Método de inversión.—Determinaciones del índice por inmersión.—Forma de los fragmentos minerales.—Medios de inmersión.—Normalización y cuidado de los líquidos.	
Capítulo 10. Identificación sistemática.	147
Tablas.—Minerales opacos (Tabla 10-1).—Minerales transparentes (Tablas 10-2 a 10-10).—Minerales isotrópicos (Tabla 10-6).—Minerales birrefringentes (Tabla 10-7).—Carácter óptico (Tabla 10-8, 10-9 y 10-10).—Conclusión.	

SEGUNDA PARTE. DESCRIPCION DE LOS MINERALES

Introducción a la Parte Segunda.	175
Grupos minerales	
Capítulo 11. De los elementos a los hidróxidos.	179
Elementos: Grafito. Sulfuros: Blenda.—Pirita.—Pirrotina.—Calcopirita. Haluros: Halita.—Fluorita. Oxidos: Periclasa.—Corindón.—Hematites.—Ilmenita.—Rutilo.—Casiterita. Oxidos múltiples: Espinela.—Magnetita.—Cromita.—Perovskita. Hidróxidos: Diaspora.—Brucita.—Boehmita.—Gibbsita.—Cliaquita.—Limonita.	
Capítulo 12. Carbonatos, sulfatos y fosfatos.	203
Carbonatos: Calcita.—Dolomita.—Magnesita.—Siderita.—Aragonito. Sulfatos: Barita.—Celestina.—Anhidrita.—Yeso.—Polihalita.—Alunita.—Jarosita. Fosfatos: Monacita.—Apatito.—Dahllita.—Colofana.—Lazulita.	
Capítulo 13. Silicatos: Estructuras reticuladas (Tectosilicatos).	230
Grupo de la sílice: Cuarzo.—Calcedonia.—Opalo.—Tridimita.—Cristobalita.—Lechatelierita.—Coesita. Feldespatos: Ortoclasa.—Adularia.—Sanidina.—Anortoclasa.—Albita.—Oligoclasa.—Andesina.—Labradorita.—Bytownita.—Anortita. Feldespatoides: Leucita.—Nefelina.—Cancrinita.—Sodalita.—Hauyina.—Melilita. Zeolitas: Analcima.—Heulandita.—Estilbita.—Chabasita.—Natrolita.—Mesoilita.—Thomsonita.—Escolecita.	
Capítulo 14. Silicatos: estructuras en cadena (Inosilicatos).	296
Grupo del piroxeno.—Enstatita.—Hiperstena.—Diópsida.—Augita.—Pigeonita.—Hedenbergita.—Egirina-augita.—Egirina.—Jadeíta.—Espodumena.	

Grupo del anfíbol: Antofilita.—Cummingtonita.—Grunerita.—Tremolita-actinolita.—Nefrita.—Hornblenda.—Lamprobolita.—Ricbeckita.—Glaucofana.
 Grupo de la epidota: Zoisita.—Clinozoisita.—Epidota.—Piamontita.—Allanita.

Capítulo 15. Silicatos: Estructuras SiO_4 simples, múltiples y en anillo (Neso-, Soro- y Clinosilicatos). 238

Estructuras SiO_4 simples.

Grupo del olivino: Forsterita.—Olivino.—Fayalita.—Monticellita.

Grupo de la humita: Condrodita.

Grupo del granate: Piropero.—Almandina.—Espesartina.—Grosularia.—Andradina.

Estauroлита.—Esfena.—Idocrasa.—Circonio.—Axinita.—Iddingsita.

Familia de la Sillimanita: Andalucita.—Sillimanita.—Cianita.—Mullita.—Dumortierita.—Topacio.

Estructuras SiO_4 múltiples.—Sorosilicatos.

Lawsonita.

Estructuras en anillo de seis unidades.—Ciclosilicatos.

Berilo.—Grupo de la turmalina.—Cordierita.—Wollastonita.

Capítulo 16. Silicatos: Estructuras laminares y mineraloides. 377

Grupo de la muscovita: Muscovita.—Lepidolita.—Flogopita.—Biotita.

Grupo de la Clorita: Proclorita.—Clinocloro.—Penninita.—Chamosita.

Grupo de la mica frágil: Estilpnomelana.—Cloritoide.

Talco: Pirofilita.

Grupo de los minerales arcillosos: Caolinita.—Dickita.—Halloysita.—Montmorillonita.—Hidromuscovita.—Palygorskita.—Sepiolita.

Grupo de la serpentina: Antigorita.—Crisotilo.

Prehnita.—Glaucónita.

Mineraloides.

Vidrio volcánico: Palagonita.

Índice 421

Abreviaturas

SÍMBOLOS DE USO GENERAL EMPLEADOS PARA LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN

Tipo de mineral para cuyo índice se aplica el símbolo	Símbolo empleado en el libro	Símbolos empleados por Dana, Johannsen, Larsen y Berman	Símbolos empleados por Winchell
Isotrópico.....	n	n	N
Uniaxial			
Rayo extraordinario.....	n_e	ϵ	N_e
Rayo ordinario.....	n_o	ω	N_o
Biaxial			
Valor mínimo.....	n_a	α	N_p
Valor medio.....	n_β	β	N_m
Valor superior.....	n_γ	γ	N_g

n = índice de refracción.

n_a (alfa) = en los minerales biaxiales, el índice del rayo rápido. El mínimo índice de refracción.

n_β (beta) = es el índice correspondiente al rayo que forma ángulo recto con n_a y n_γ .

n_γ (gamma) = en los minerales biaxiales el índice del rayo lento.

El mayor índice de refracción.

n_e (epsilon) = en los minerales uniaxiales el máximo (en positivo) y el mínimo (en negativo) índice de refracción del rayo extraordinario.

n_o (omega) = en los minerales uniaxiales el índice de refracción del rayo ordinario. Si $n_o < n_e$ el mineral es positivo. Si $n_o > n_e$ el mineral es negativo. n_o es constante en un mineral uniaxial dado, mientras que el índice del rayo extraordinario varía de n_o a n_e .

n_1 y n_2 = índices de refracción menores y mayores de los dos rayos en cualquier sección del cristal orientado arbitrariamente.

X = eje de mayor facilidad de vibración. La luz que vibra paralela a X adquiere la máxima velocidad (indicada también por α).

Z = el eje de mínima facilidad de vibración. La luz que vibra paralela a Z adquiere una velocidad mínima (indicada por γ).

Y = es el eje intermedio que forma ángulos rectos con el plano de X y Z (indicado también por β).

ϵ = el eje de vibración del rayo extraordinario.

ω = el eje de vibración del rayo ordinario (en un plano que forma ángulos rectos con ϵ).

r = la dispersión para el rojo.

v = la dispersión para el violeta.

$2V$ = ángulo axial dentro del mineral.

$2E$ = ángulo axial observado en el aire.

Bx_a = bisectriz aguda.

Bx_o = bisectriz obtusa.

Plano Ax = el plano correspondiente a los ejes ópticos.

μ = micra, milésima de milímetro (0,001).

$m\mu$ = milimicra, millonésima de milímetro (0,000001 mm).

$\text{\AA}$ = angstrom, décima de milimicra (0,0000001 mm).

Δ = retardo en $m\mu$ (milimicras).

t = espesor de una sección delgada. Generalmente se expresa en centésimas de milímetro (0,01 mm):

a , b y c = ejes cristalográficos.

$\Delta\alpha$, β , γ = ángulos formados entre los ejes cristalográficos.

$(n_\gamma - n_\alpha)$ = doble refracción para los minerales biaxiales.

$(n_w - n_e)$; $(n_e - n_w)$ = doble refracción para los minerales uni-axiales.

H_1 = rayo lento del compensador de Berek.

H_2 = rayo rápido del compensador de Berek.

e = rayo extraordinario.

o = rayo ordinario.

Largo-rápido (o elongación negativa) = elongación paralela a la dirección de vibración del rayo rápido.

Largo-lento (o elongación positiva) = elongación paralela a la dirección de vibración del rayo lento.

ca. = circa (aproximadamente).