



Manual de Minerales

SILICATOS

Minerales petrogénicos más importantes

Del gran conjunto de minerales conocidos en la Naturaleza sólo un grupo reducido de unos cincuenta, los denominados petrogénicos o petrográficos, desempeñan un papel esencial en la formación de rocas. En el presente capítulo se incluyen, únicamente, los minerales comprendidos en este pequeño grupo, anotándose de cada uno de ellos la composición química, la estructura interna, alguna de sus características mensurables, el origen y, por fin, si su presencia en las rocas tiene carácter esencial o accidental.

Se utiliza un sistema de clasificación esencialmente químico aceptado por la mayor parte de los autores y que tiene la ventaja de su fácil desarrollo. Los diversos grupos de minerales se numeran en orden decreciente de su importancia petrogénica, separando para el estudio, a los silicatos, grupo de gran importancia petrogénica, del resto de los minerales asilicatados.

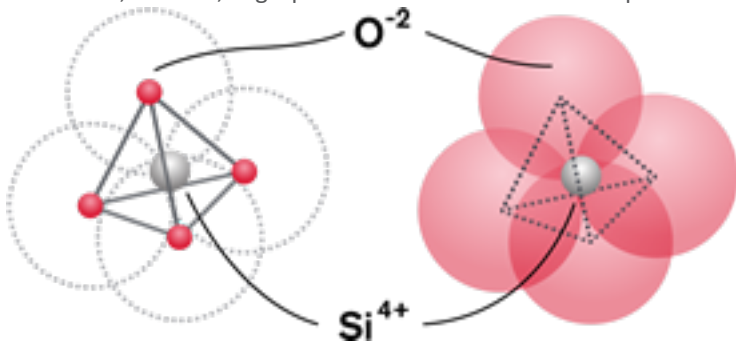
Éstos se dividen en cuatro categorías:

- Silicatos
- Carbonatos
- Sulfuros, sulfatos, cloruros y fosfatos y
- Óxidos e hidróxidos

En este manual, trataremos con la categoría de los Silicatos.

Estructura

Los silicatos son los componentes más importantes de las rocas y, por consiguiente, de la corteza terrestre, integrando el 95 por ciento de ésta. Es, además, el grupo de minerales más rico en especies.



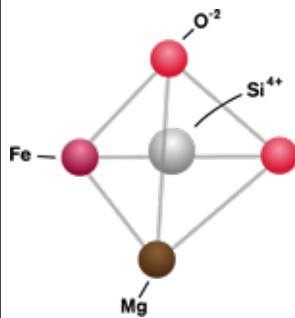
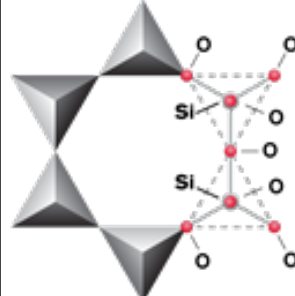

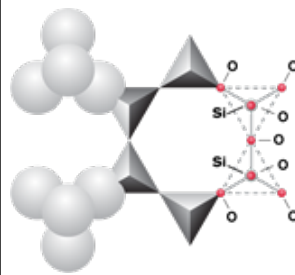
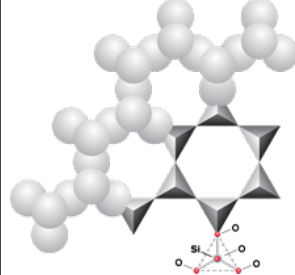
Son silicatos todos los minerales en los cuales el silicio y el oxígeno se coordinan en estructura tetraédrica, formando los denominados tetraedros (SiO_4).

En general, los silicatos se caracterizan por no tener aspecto metálico y por su elevada dureza. Su división se establece en varios conjuntos atendiendo a su estructura que está determinada, en cada caso, por la forma de agrupación de los tetraedros (SiO_4). En cualquier tipo de silicatos, el silicio puede ser sustituido parcialmente por el aluminio (y en algunos casos, el boro), obteniéndose así los aluminosilicatos, minerales que se describen junto a los silicatos.

Por lo tanto, el grupo funcional de todos los silicatos puede expresarse así:



Clasificación

Grupo	Descripción	Grupo Funcional	Geometría	
Neosilicatos	Tetraedros (SiO ₄) aislados o independientes unidos por puentes de cationes metálicos.	(SiO ₄) ⁻⁴ (Si _{4-k} Al _k O ₁₆) ^{-(16+k)}		
Ciclosilicatos	Tetraedros (SiO ₄) en anillos triples, cuádruples o séxtuples.	(Si ₆ O ₁₈) ⁻¹² (Si _{6-k} Al _k O ₁₈) ^{-(12+k)}		
Inosilicatos	Piroxenos	Tetraedros (SiO ₄) en cadenas sencillas.	(SiO ₃) ⁻² (Si _{4-k} Al _k O ₁₂) ^{-(8+k)}	
	Anfiboles	Tetraedros (SiO ₄) en cadenas dobles.	(Si ₄ O ₁₁) ⁻⁶ (Si _{4-k} Al _k O ₁₁) ^{-(6+k)}	
Filosilicatos	Tetraedros (SiO ₄) dispuestos en redes planas.	(Si ₂ O ₅) ⁻ (Si _{4-k} Al _k O ₁₀) ^{-(4+k)}		
Tectosilicatos	Tetraedros (SiO ₄) dispuestos en redes tridimensionales.	(SiO ₂) (Si _{4-k} Al _k O ₈) ^{-k}		

Neosilicatos

Introducción

Los nesosilicatos, caracterizados por su estructura de tetraedros aislados se dividen, a su vez, en:

1. **Nesosilicatos verdaderos**
2. **Subnesosilicatos**, donde existen, además, iones oxígenos no ligados al silicio O, si se prefiere, poliedros aniónicos distintos de la coordinación tetraédrica.
3. **Nesosilicatos-Sorosilicatos**, donde existen, además de tetraedros aislados, pares de tetraedros unidos por el vértice (Si_2O_7).

Los minerales petrogénicos más importantes de cada uno de estos grupos se ven a continuación.

Nesosilicatos verdaderos

Olivino

También denominado Peridoto, es un silicato ferromagnesiano de fórmula $\text{SiO}_4(\text{Fe},\text{Mg})_2$. La proporción relativa de hierro y magnesio es variable formándose así una serie isomorfa continua de minerales que, genéricamente, se llaman Olivino, pero que cuando hay ausencia de hierro se conoce por Forsterita y cuando no hay magnesio se denomina Fayalita.

- **Sistema de cristalización:** rómbico.
- **Dureza:** de 6,5 a 7. Es un mineral frágil.
- **Densidad:** de 3,2 a 4,2 g/cm^3 cm según su riqueza en hierro.
- **Color:** de verde oliva a verde amarillento (a veces parduzco por oxidación del hierro). En general se presenta en fragmentos pequeños, equidimensionales, de brillo vítreo, transparentes o traslúcidos.
- **Exfoliación:** imperfecta y poco visible, presentando fractura concoidea.
- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** es un mineral esencial en una serie de rocas ígneas: Peridotita, Gabro olivínico, Dolerita olivínica y Basalto olivínico.

Granate

Los granates son minerales de composición química muy variable, definiéndose como silicatos dobles de fórmula genérica $(\text{SiO}_4)_3\text{D}_3\text{T}_2$ donde D es un catión divalente (calcio, hierro, magnesio, manganeso) y T uno trivalente (aluminio, hierro, cromo, titanio).

- **Sistema de cristalización:** regular.
- **Dureza:** de 6,5 a 7,5.
- **Densidad:** de 3,4 a 4,3 g/cm^3 .
- **Color:** variable; generalmente rojo, pardo, amarillo o verde, de transparente a opaco. Brillo vítreo y resinoso.
- **Exfoliación:** muy imperfecta, con fractura concoidea.
- **Origen:** fundamentalmente, de metamorfismo, aunque también puede tener origen magmático.
- **Presencia:** es un mineral accidental, muy común en rocas metamórficas y, menos, en rocas ígneas, presentándose en cristales equidimensionales, frecuentemente rombododecaedros. Las variedades más corrientes son Grosularia (Ca y Al), Almandina (Fe y Al) y Piropero (Mg y Al).

Circón

Silicato de zirconio, de fórmula SiO_4Zr .

- **Sistema de cristalización:** tetragonal.
- **Dureza:** 7,5.
- **Densidad:** 4,6 g/cm³.
- **Color:** incoloro en estado puro, pero presenta tintes amarillos o parduzcos por impurezas de hierro. Brillo vítreo diamantino. La variedad roja es el verdadero Jacinto.
- **Exfoliación:** imperfecta y fractura concoidea.
- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** es mineral accidental en muchas rocas ígneas, aunque también aparece en metamórficas y en sedimentarias debido a su inalterabilidad. Se suele presentar en cristales equidimensionales, con aspecto de granate, formando, a veces, prismas tetragonales apuntados por dos pirámides.
- Es muy normal que exista en el circón una sustitución isomórfica parcial por Torio o Uranio, lo cual le convierte en mineral radioactivo.

Subnesosilicatos

Silicatos de aluminio

Existen tres minerales petrogénicos, todos ellos con origen fundamental de metamorfismo, accidentales en este tipo de rocas y con la misma fórmula estequiométrica ($\text{SiO}_4\text{Al}_2\text{O}$): Andalucita, Sillimanita y Distena.

Los tres poseen cadenas de octaedros de aluminio, (AlO_6), unidas entre sí por tetraedros aislados de silicio (SiO_4), pero se diferencian entre sí en que en la distena estas cadenas se unen, también, por octaedros (AlO_6), en la Andalucita por grupos AlO_5 y en la Sillimanita por tetraedros de aluminio, AlO_4 , con lo que este mineral es, en realidad, un aluminosilicato de aluminio.

Es decir, la escritura estructural de estos tres minerales puede significarse así:

Andalucita

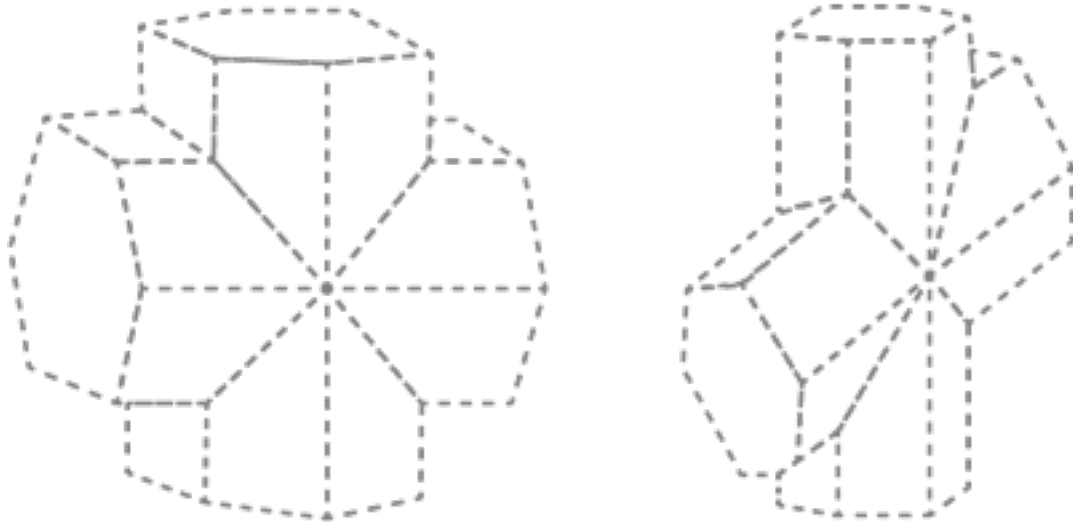
- **Sistema de cristalización:** rómbico, presentándose siempre en cristales muy sencillos, prismas de sección cuadrada.
- **Dureza:** 7,5.
- **Densidad:** 3,1 a 3,2 g/cm³.
- **Color:** gris rojizo. Frecuentemente los cristales se recubren de muscovita formada por alteración de la andalucita. Raya blanca.
- **Fractura:** variable.
- **Exfoliación:** imperfecta.
- **La andalucita tiene una variedad:** la Quiastolita, que se presenta en prismas redondeados impregnados de sustancias carbonosas que ofrecen en sección transversal un núcleo oscuro con figura de cruz.

Distena o Cianita

- **Sistema de cristalización:** triclínico, presentándose en prismas alargados, rayados transversalmente y ligeramente ondulados en su superficie.
- **Dureza:** en dirección vertical, de 4 a 4,5, y en dirección transversal de 6 a 7 siendo esta anisotropía lo que le da el nombre de

distena.

- **Densidad:** de 3,6 a 3,7 g/cm³.
- **Color:** generalmente azul de diferentes tonos en manchas irregulares. También blanco, rosa y otros colores.
- **Exfoliación:** perfecta, con brillo nacarado en los planos de exfoliación.



Sillimanita o Fibrolita

- **Sistema de cristalización:** rómbico, presentándose en agregados finamente fibrosos algo aplanados y redondeados, no formando nunca cristales aislados.
- **Dureza:** 6 a 7.
- **Densidad:** 3,2 g/cm³.
- **Color:** gris amarillento, verde grisáceo y parduzco. Brillo: sedoso o nacarado.
- **Exfoliación:** perfecta.

Estauroлита

La estructura de la estauroлита puede concebirse intercalando entre los planos de una estructura de distena, láminas de Fe(OH)₂. Su fórmula, pues, es ((SiO₄)Al₂O)₂Fe(OH)₂.

Se presenta corrientemente en cristales prismáticos, formando frecuentemente maclas de penetración en ángulo recto o en ángulo de 60º aproximadamente.

- **Sistema de cristalización:** monoclinico.
- **Dureza:** 7 a 7,5
- **Densidad:** 3,7 g/cm³.
- **Color:** pardo rojizo o pardo negruzco, con brillo vítreo a mate y raya blanca.
- **Exfoliación:** media, dando normalmente fractura concoide.
- **Origen fundamental:** de metamorfismo.
- **Presencia:** es mineral accidental en rocas metamórficas.

Esfena

La Esfena o Titanita posee tetraedros independientes (SiO_4) y octaedros de titanio (TiO_6) unidos entre ellos por iones calcio. Su fórmula es $(\text{SiO}_4)\text{TiCaO}$.

- **Sistema de cristalización:** monoclinico.
- **Dureza:** 5 a 5,5.
- **Densidad:** 3,5 g/cm³.
- **Color:** verde amarillento a pardo rojizo, con brillo resinoso intenso a adamantino.
- **Exfoliación:** media, con fractura concoide, siendo muy frágil.
- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** es un mineral accidental en rocas ígneas y, a veces, en metamórficas, presentándose en cristales tabulares.

Nesosilicatos-Sorosilicatos

Epidota

La epidota o pistacita tiene tetraedros aislados (SiO_4) y dobles tetraedros (Si_2O_7) que se unen con octaedros de aluminio, hierro y calcio rodeados por iones de oxígeno y oxhidrilo. Su fórmula es $(\text{SiO}_4)_3(\text{Al,Fe})_3\text{Ca}_2(\text{OH})$.

- **Sistema de cristalización:** monoclinico.
- **Dureza:** 6 a 7.
- **Densidad:** 3,3 a 5,5 g/cm³.
- **Color:** cristales de color verde, con brillo vítreo, que dan raya gris.
- **Exfoliación:** perfecta, con fractura concoide, desigual y astillosa.
- **Origen fundamental:** de metamorfismo.
- **Presencia:** es un mineral accidental en rocas metamórficas, que se presenta en cristales prismáticos o grupos radiados de cristales.

Ciclosilicatos

Principales minerales

Berilo

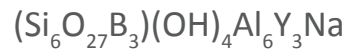
El berilo tiene como fórmula $(\text{Si}_6\text{O}_{18})\text{Al}_2\text{Be}_3$ y su estructura responde a la de anillos de seis tetraedros Si-O unidos entre sí por tetraedros en el centro de los cuales hay iones de berilio o aluminio.

- **Sistema de cristalización:** hexagonal.
- **Dureza:** 7,5 a 8.
- **Densidad:** 2,6 a 2,8 g/cm³.
- **Color:** el berilo es incoloro aunque alguna de sus variedades coloreadas como la esmeralda (verde intenso) y el aguamarina (azul) constituyen piedras preciosas.
- **Exfoliación:** ninguna, fractura concoidea.
- **Origen fundamental:** aunque el origen fundamental es magmático y como tal es un mineral accidental en muchas rocas ígneas, el berilo y, concretamente, sus variedades preciosas, aparecen por metasomatismo en esquistos metamórficos y por metasomatosis en algunas rocas sedimentarias.

Turmalina

La turmalina, tiene una estructura similar a la del berilo pero bastante más complicada ya que el tamaño tan reducido del catión boro obliga a éste a una coordinación no tetraédrica sino triangular.

El grupo de la turmalina engloba a minerales con gran variación en su composición química, que forman una serie isomorfa con todos los términos de la transición. Se pueden referir a la fórmula aproximada:



en la que Y puede ser, normalmente, magnesio, hierro o manganeso.

- Sistema de cristalización: hexagonal.
- Dureza: 7.
- Densidad: 3 a 3,5 g/cm³.
- Color: transparente, en diversos grados, a opaco, con brillo vítreo. Las turmalinas férricas son negras y forman el mineral chorro; las pobres en hierro o sin él son de color pardo, azul, verde, rojo o incoloras. No deja raya.
- Exfoliación: no tiene, presenta fractura concoidea.
- Origen fundamental: magmático.
- Presencia: es un mineral accidental en rocas ígneas, generalmente plutónicas, presentándose en forma de prismas alargados, esbeltos, de sección trigonal o hexagonal.

Inosilicatos

Piroxenos

La estructura general de los piroxenos está formada por cadenas simples de tetraedros Si-O. Cada uno de los oxígenos no puente está unido a otros cationes metálicos. Si éstos son de tamaño mediano (Mg_2^+ , Fe_2^+) en coordinación 6 (octaédrica) y sí son de tamaño grande (Ca_2^+ , Na^+) en coordinación 8 (cúbica).

La fórmula general de los piroxenos es $\text{XY}(\text{SiO}_3)_2$. Si tanto X como Y son cationes de tamaño mediano, tenemos los Ortopiroxenos que cristalizan en el sistema rómbico. Si los cationes X son de tamaño mediano y los Y grandes, tenemos los Clinopiroxenos que cristalizan en el sistema monoclinico. Por lo general, esta cristalización es una forma de cristales cortos, prismáticos. Las excelentes exfoliaciones se intersecan en ángulos casi rectos.

Los piroxenos más comunes son la Augita y la Hiperstena.

Augita

La augita tiene como fórmula genérica $(\text{SiO}_3)_2\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})$. La proporción relativa de hierro y magnesio es variable formando así una serie isomorfa que va desde el Diópsido totalmente carente de hierro, hasta la Hedenbergita carente de magnesio. También algo de silicio puede ser sustituido por el aluminio en coordinación tetraédrica.

- **Sistema de cristalización:** monoclinico.
- **Dureza:** 5,5 a 6.

- **Densidad:** 3,2 a 3,5 g/cm³.
- **Color:** variable según la proporción de hierro y magnesio, normalmente verdoso a negruzco. Raya gris verdosa. Brillo vítreo o mate.
- **Exfoliación:** de facilidad variable.
- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** es un mineral esencial en muchas rocas ígneas, sobre todo en las pobres en sílice, presentándose en general en cristales cortos, prismáticos, de ocho caras, corrientemente maclados y también en masas compactas y granos diseminados.

Hiperstena

La hiperstena tiene como fórmula genérica (SiO₃)(Mg,Fe). Análogamente a como ocurre en la augita, la proporción relativa de hierro y magnesio es variable, definiéndose una serie isomorfa que va desde la Enstatita, sin hierro, hasta la Ferrosilita, sin magnesio.

- **Sistema de cristalización:** rómbico.
- **Dureza:** 5 a 6.
- **Densidad:** 3,4 a 3,8 g/cm³.
- **Color:** negro a verde negruzco, a veces con reflejos cobrizos. Raya gris.
- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** es un mineral esencial en la piroxenita y accidental en otras rocas básicas, sobre todo en medios pobres en calcio.

Anfíboles

Los anfíboles, al igual que los piroxenos, pueden ser: Ortoanfíboles, cristalizando en el sistema rómbico, y Clinoanfíboles, con el sistema monoclinico de cristalización, porque, también como aquéllos, pueden poseer sólo cationes medianos en coordinación 6 o, además, cationes mayores en coordinación 8. Pero, en adición, la presencia de un gran hueco hexagonal en el centro del anillo de la doble cadena va a originar dos nuevas posiciones estructurales: un lugar aniónico monovalente a nivel de los vértices no puentes de los tetraedros, ocupado usualmente por OH-, y un lugar catiónico en coordinación décuple a duodécuple sólo capaz de ser ocupado por un ión monovalente de gran tamaño, que puede faltar. Es decir, la fórmula general de los anfíboles es:



donde Z es siempre Si en los silicatos, y Si y Al en los aluminosilicatos; Y, los cationes medianos en coordinación 6; X, los cationes que son medianos y de coordinación 6 en los Ortoanfíboles, y grandes en coordinación 8 en los Clinoanfíboles; W, el catión monovalente de gran tamaño cuando existe.

Los anfíboles forman cristales prismáticos, hexagonales y largos. Los planos de exfoliación se cortan en ángulos de 124°. Estas dos propiedades los distinguen bien de los piroxenos.

Los anfíboles más comunes son la actinota y la hornblenda.

Actinota

La actinota o actinolita es un anfíbol muy sencillo de fórmula Ca₂(Mg, Fe)₅(Si₄O₁₁)₂(OH)₂ con proporciones variables de hierro y de magnesio, que se conoce como tremolita cuando hay ausencia total de hierro.

- **Sistema de cristalización:** monoclinico.
- **Dureza:** 5,5 a 6.
- **Densidad:** 2,9 a 3,1 g/cm³.
- **Color:** casi blanco cuando hay poco hierro a verde brillante cuando abunda este elemento. Raya blanca.
- **Exfoliación:** perfecta.

- **Origen fundamental:** de metamorfismo.
- **Presencia:** es un mineral accidental, pero muy común, en rocas metamórficas presentándose en cristales prismáticos largos, aciculares, constituyendo en esta forma la actinota propiamente dicha.
- **Varietades:** Cuando se presenta en forma de fibras flexibles recibe el nombre de Amianto y si lo hace en forma de fibras rígidas constituye una variedad conocida con el nombre de Asbesto. En masas afieltradas informes y algo flexibles se denomina Cartón de montaña.

Hornblenda

La hornblenda tiene una fórmula genérica algo más complicada: $\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe})_4(\text{Al,Fe})(\text{Si}_3\text{AlO}_{11})_2(\text{OH})_2$

Se trata, pues, de un aluminosilicato en el que la sustitución tetraédrica permite la presencia de un trivalente dentro de Y y de un catión de sodio en el gran hueco hexagonal.

- **Sistema de cristalización:** monoclinico.
- **Dureza:** 5 a 6.
- **Densidad:** 2,9 a 3,3 g/cm³.
- **Color:** negro verdoso a negro, dando raya verde o pardo grisácea. Generalmente brillo vítreo intenso.
- **Exfoliación:** perfecta.
- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** es un mineral esencial en muchas rocas ígneas, presentándose en agregados finamente fibrosos o escamosos o en cristales laminares.

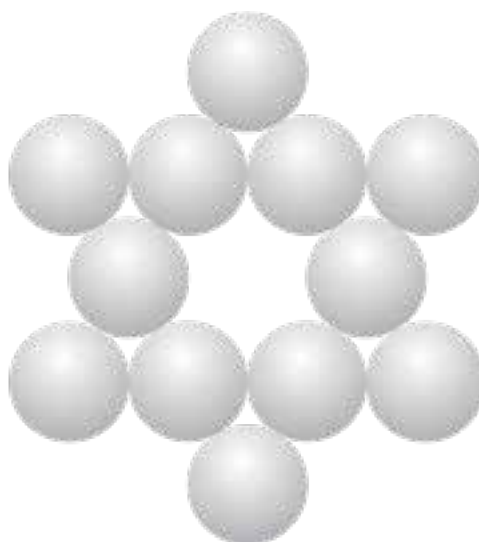
Filosilicatos

El cuarto grupo de silicatos, los filosilicatos, recordemos que se caracterizan porque los tetraedros Si-O se disponen formando redes planas.

Antes de repasar su grupo funcional y profundizar con más detalle sobre su estructura, es necesario resaltar la importancia, tanto petrogénica como edafológica que presentan muchos minerales incluidos en este grupo. Concretamente, un conjunto de ellos que, por sus características especiales, se los engloba bajo la denominación de minerales arcillosos o simplemente, arcillas.

Las arcillas se caracterizan por estar formadas por partículas muy finas, de forma aplanada y, por tanto, con una superficie específica muy elevada. Ello implica, en mayor a menor grado, los siguientes caracteres específicos:

- Plasticidad.
- Propiedades coloidales.
- Propiedades absorbentes con respecto al agua y a cationes.
- Comportamiento frente a calentamiento.

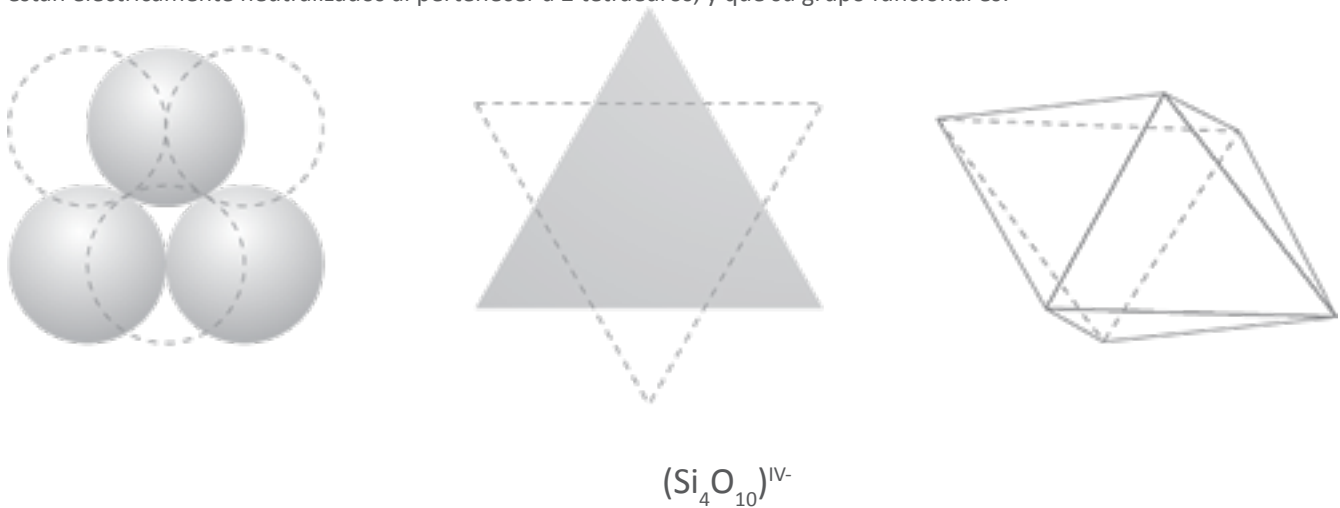


Las arcillas son minerales de alteración y se forman a partir de otras minerales silicatados mediante un proceso de alteración química que estudia la edafología. Estas arcillas formadas pueden entrar en el ciclo sedimentario y, así, formar parte como minerales esenciales o accidentales en varias rocas sedimentarias.

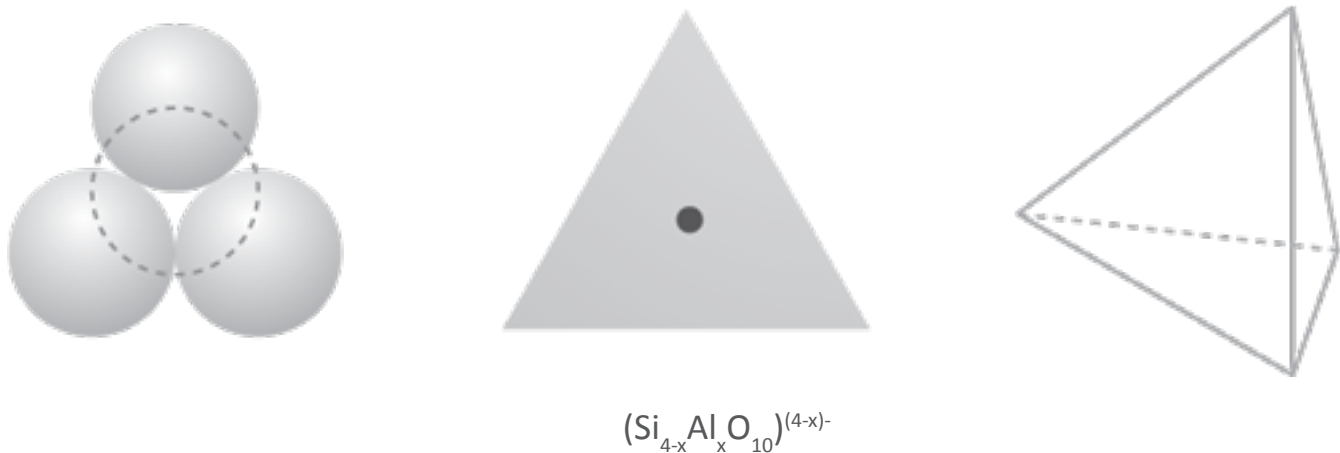
Otros filosilicatos no son minerales arcillosos, tienen origen ígneo o metamórfico y entran en la composición de estos últimos grupos de rocas.

Estructura

Sabemos ya que en los filosilicatos, los tetraedros Si-O forman redes planas, que, por ello, todos los oxígenos situados en dicha red están eléctricamente neutralizados al pertenecer a 2 tetraedros, y que su grupo funcional es:



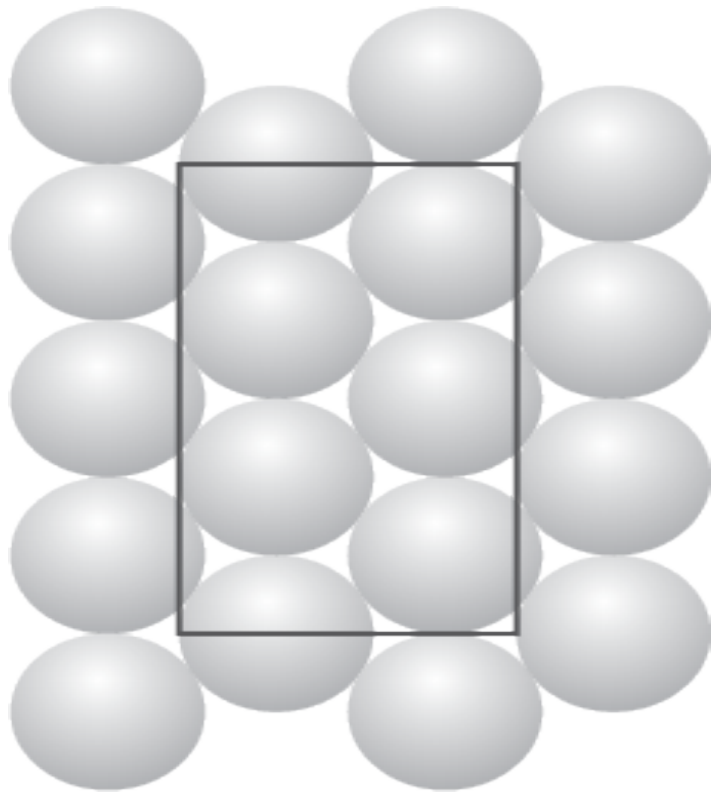
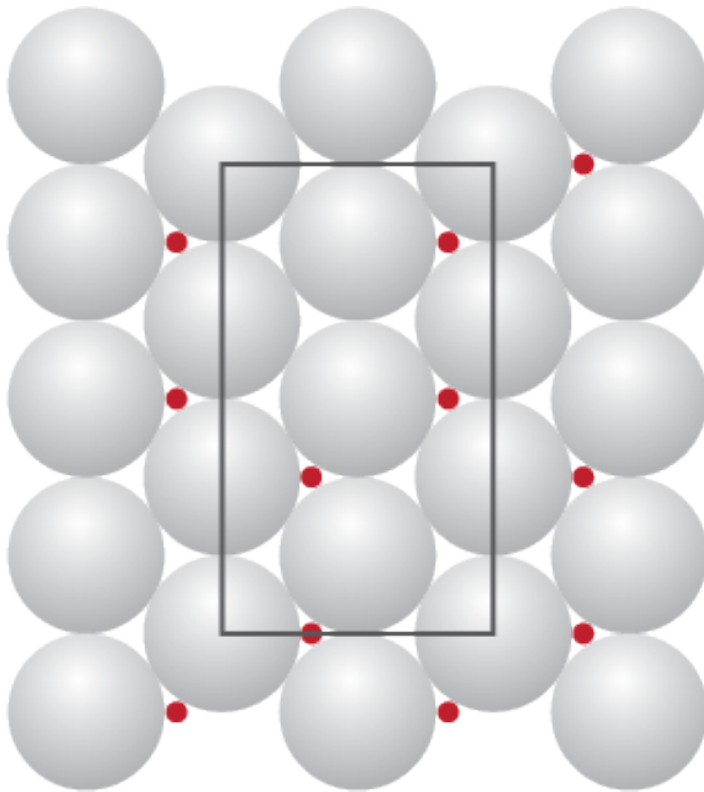
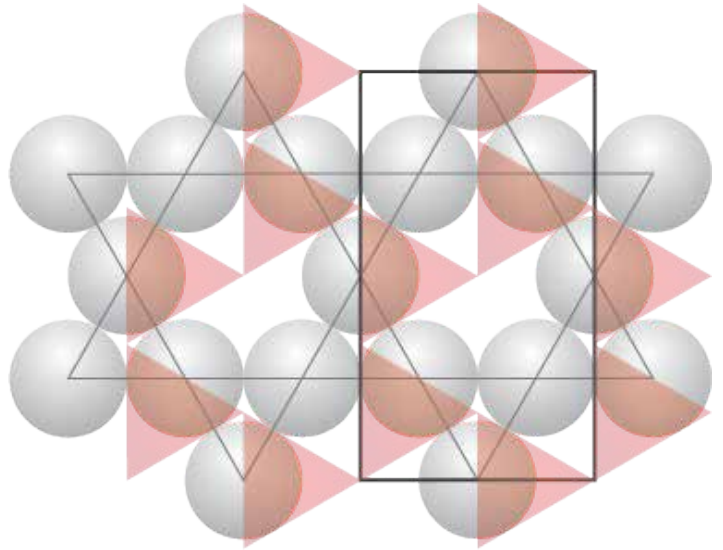
O, de forma más general,

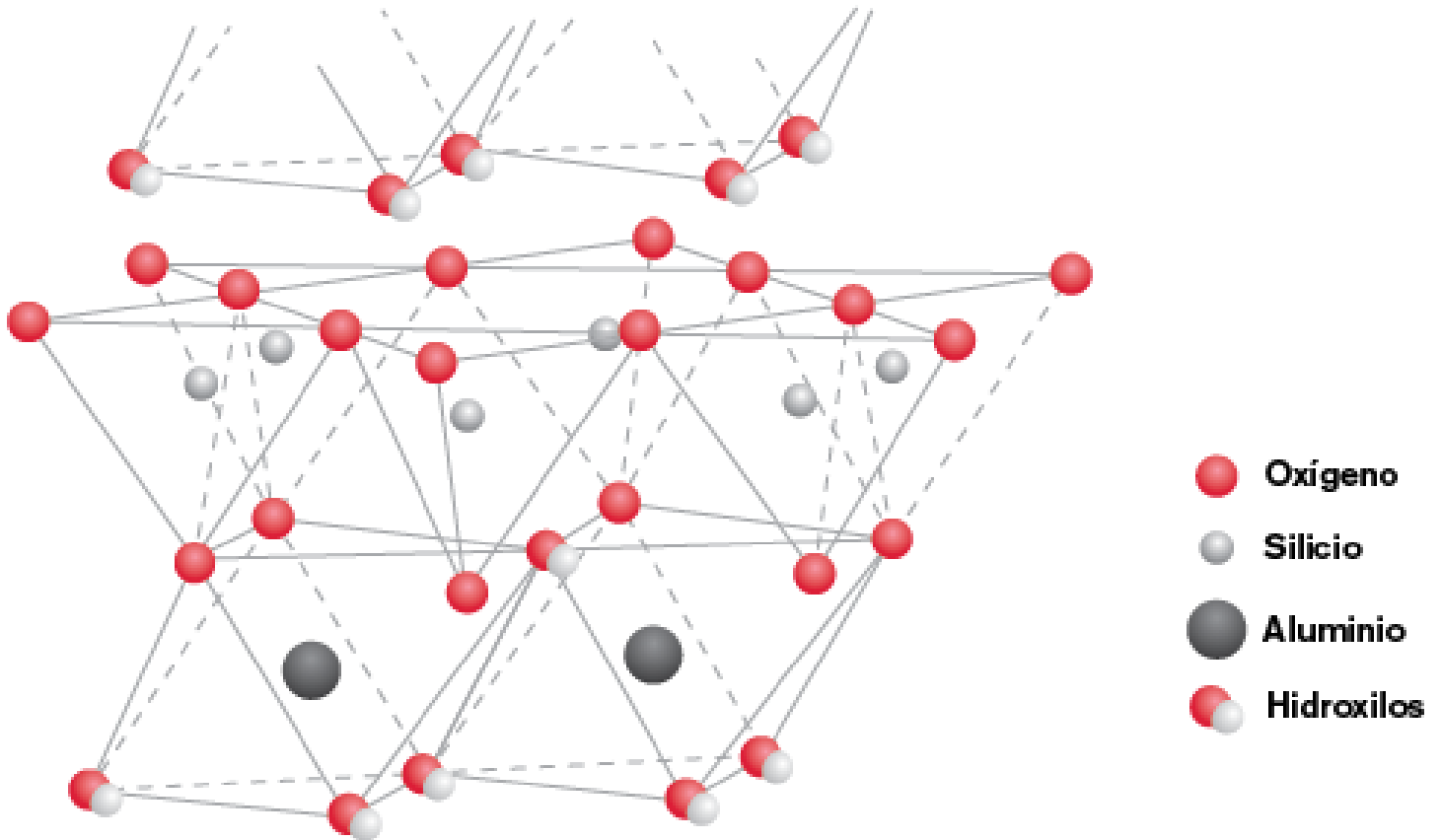


Planteemos el problema desde otro punto de vista.

Supongamos una capa de iones oxígeno o/y (OH) agrupados de la forma que indica la figura 9. Naturalmente, los centros de estos iones están sobre líneas paralelas y los centros de tres esferas contiguas definen un triángulo equilátero.

Capa	Átomos	Valencia	
+	-		
Hexagonal	6O		12
	4 SI	16	
Compacta	4O-2OH		8+2
	4Al	12	
Compacta	6 OH		6





A esta distribución la denominamos “**capa compacta**”.

Si, partiendo de una capa compacta, retiramos una esfera sí y otra no de filas alternas, se obtiene ahora una distribución de la forma que indica la siguiente figura.

Cada cavidad está limitada por seis esferas y por ello a esta capa la vamos a denominar, “capa hexagonal” o “no compacta”.

El apilamiento de dos capas compactas, como se indica en la siguiente figura, define agrupaciones de 6 esferas cuyos vértices forman un octaedro. Es la coordinación octaédrica o de 6 aniones que hemos visto anteriormente.

El apilamiento de una capa hexagonal y de una capa compacta, define una serie de agrupaciones de 4 esferas cuyos vértices forman un tetraedro. Es la coordinación tetraédrica o de 4 aniones.

En todos los filossilicatos, el silicio y el aluminio pueden ocupar los puestos de coordinación tetraédrica (léase entre una capa hexagonal y una capa compacta), y el aluminio, magnesio y hierro son los que normalmente ocupan los puestos de coordinación octaédrica. (Léase entre dos capas compactas).

En definitiva, los filossilicatos están formados por apilamientos de capas hexagonales y de capas compactas, presentando los principales grupos de minerales un número constante de estas capas cuyo conjunto se denomina “hoja”. El espesor de dicha hoja es, por consiguiente, una de las características del mineral.

Pirofillita	Muscovita
	K
6O	6O
4Si	3Si - 1Al
4O - 2OH	4O - 2OH
4Al	4Al
4Si	3Si - 1Al
6O	6O
	K
$Si_4O_{10}Al_2(OH)_2$	$Si_3AlO_{10}Al_2(OH)_{2K}$

Las capas hexagonales están formadas por átomos de oxígeno; las capas compactas por O y (OH) o por (OH) exclusivamente. La estabilidad de la hoja queda asegurada por las cargas positivas de los iones alojados en las cavidades citadas.

También es preciso pensar que la substitución de un catión por otro podrá originar un desequilibrio de cargas y, así, veremos que algunos minerales tienen sus hojas intrínsecamente negativas.

Caolinita	Serpentina
6O	6O
4Si	4Si
4O - 2OH	4O - 2OH
4Al	6Mg
6OH	6OH
$Si_4O_{10}Al_4(OH)_8$	$Si_4O_{10}Mg_6(OH)_8$

De acuerdo con estas ideas, la malla de un filosilicato (el menor volumen que presenta todas las características del cristal eléctricamente neutro), será, por ejemplo y para un mineral típico, la caolinita, de acuerdo con las figuras y esquemas siguientes:

Esto forma una malla equilibrada como es la de otro mineral parecido, la serpentina, exactamente igual al anterior pero en el que cada

Clorita	6O	3Si-1Al	4O-2OH	4Al	4O-2OH	3Si-1Al	6O	6OH	4Mg-4Al	6OH
---------	----	---------	--------	-----	--------	---------	----	-----	---------	-----

elemento de las capas compactas en vez de pertenecer a 2 octaedros pertenece a 3, es decir: en la malla, entre las dos capas compactas existen 6 átomos de magnesio.

División

La división de los filosilicatos se basa en tres criterios:

iones que ocupan la coordinación octaédrica.

dioctaédricos: con iones trivalentes, generalmente aluminio

trioctaédricos: con iones divalentes, por ejemplo magnesio

la existencia, o no, de sustituciones en las coordinaciones tetraédricas o/y octaédricas y, en el caso de existencia de las mismas, la forma de compensación de este déficit de carga.

el espesor de las hojas y las fuerzas de ligazón entre las mismas.

Con respecto a espesor, se distinguen tres tipos distintos:

Tipo de 7Å (Te-Oc)

Hoja formada por tres capas, una hexagonal de O y dos compactas, una de O y (OH) y otra de (OH). Recordemos los dos ejemplos citados.

Tipo de 10Å (Te-Oc-Te)

Hoja formada por cuatro capas, 2 compactas de O y (OH) encerradas, a modo de bocadillo, entre dos capas hexagonales de O.

Tipo de 14Å (Te-De-Te-Oc-Oc)

Hoja doble, una presenta la estructura anterior y otra (llamada hoja brucítica) está formada por dos capas compactas de (OH). Por último y con respecto a la ligazón entre las hojas, apuntaremos las siguientes normas generales:

Cuando las hojas están ordenadamente apiladas (sistema monoclinico de cristalización), y no ha habido substitución o, si ésta ha tenido lugar, se encuentra compensada totalmente por cationes no hidratados incorporados a la red cristalina, la ligazón entre hojas llega a ser bastante fuerte. Si son minerales cuyo origen es magmático o metamórfico, la consistencia de las mismas es apreciable o alta: filosilicatos no arcillosos. Si son minerales cuyo origen es de alteración, tienen una consistencia terrosa o pulverulenta y se comportan como arcillas poco o nada expansibles cuyas propiedades coloidales y capacidad de absorber agua y cationes hidratados está limitada a la superficie de la partícula (perimicelar) y basada exclusivamente en el aparente déficit superficial de cargas. Si se trata de hojas Te-Oc-Te estas propiedades son algo más notables ya que la ligazón entre hojas se debe, exclusivamente, a fuerzas de cohesión.

Cuando ha existido substitución no compensada en su totalidad, y más aún si las hojas no están ordenadamente apiladas, los minerales resultantes tienen una ligazón entre hojas casi nula y tenemos las arcillas expansibles. Las no substituidas presentarán alguna ligazón mayor y no será muy elevada la posibilidad de adsorber cationes hidratados. Las substituidas no compensadas y desordenadas representan los ejemplos más notables de arcillas expansibles con gran adsorción perimicelar e intramicelar de agua y con capacidad para atraer a su superficie elevada cantidad de cationes hidratados.

Minerales más importantes

Familia de la caolinita

Características generales:

- Tipo 7Å (Te-Oc)
- Apilamiento ordenado de hojas

Caolinita

- $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_4(\text{OH})_2$.
- Dioctaédrico, sin ninguna substitución tetraédrica.
- Mineral arcilloso de color blanco o blanco grisáceo, terroso, untuoso con apegamiento a los labios. Su origen es de alteración y procede, generalmente, de la halloysita por reordenación interna. Es una de los componentes esenciales en varias rocas sedimentarias.

Serpentina

- $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Mg}_6(\text{OH})_2$.
- Trioctaédrico, sin ninguna substitución tetraédrica.
- Mineral no arcilloso, verde vetado, a veces de estructura fibrosa, susceptible de pulimento y suave al tacto. Su origen fundamental es de metamorfismo, procedente del olivino, y es esencial en la roca serpentina metamórfica. Las variedades fibrosas se conocen también con el nombre de amianto o asbesto como ocurre con las de actinota.

Familia de las micas y de las arcillas micáceas

Características generales:

- Tipo 10Å (Te-Oc-Te)
- Apilamiento ordenado de hojas.

Pirofillita

- $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_2(\text{OH})_2$.
- Diactaédrico, sin ninguna substitución tetraédrica.
- Mineral arcilloso de escasa importancia petrogénica y, únicamente, citado como representante típico de la familia. Su origen es de alteración y procede, generalmente, de algunas esmectitas por reordenación interna.

Talco

- $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Mg}_3(\text{OH})_2$.
- Triactaédrico, sin ninguna sustitución tetraédrica.
- Mineral arcilloso que se presenta en agregados compactos escamosos, de tacto suave y untuoso y coloraciones blanquecinas, amarillentas o verdosas. Algunas veces aparece en forma de cristales verdosos alargados. Su origen es de alteración de otros minerales presentes en rocas antiguas metamórficas.

Muscovita

- $\text{Si}_3\text{AlO}_{10}\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{K}$.
- Dioctaédrico, con sustitución tetraédrica (un Si de cada 4, por Al) compensada por cationes de potasio alojados en las cavidades hexagonales.
- Mineral no arcilloso, de exfoliación muy perfecta en láminas flexibles y elásticas, incoloras o de colores claros y de brillo nacarado. Puede ser de origen magmático y de origen metamórfico. Es componente esencial de las micacitas y, muy frecuente, como accidental, en esquistos, pegmatitas, gneises, granitos e, incluso, en rocas sedimentarias.

Se conoce, también, con el nombre de mica blanca y de mica potásica aunque este segundo apelativo es muy poco afortunado.

Illita

De estructura idéntica a la muscovita pero en la que la sustitución tetraédrica no ha sido totalmente compensada y su déficit intrínseco de carga es cubierto por iones hidratados adsorbidos, por ejemplo, H_3O^+ .

Es, pues, la versión arcillosa de la mica blanca y procede, muchas veces, de ésta en una primera fase de alteración química.

Biotita

- $\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{OH})_2\text{K}$.
- Trioctaédrico. La sustitución en la capa tetraédrica es de aluminio mientras que, además, en la capa octaédrica parte del magnesio ha sido substituido por hierro ferroso.
- Esta mica negra es un mineral ferromagnesiano, no arcilloso, de origen magmático y de aspecto parecido a la muscovita sólo que de color pardo, verde o negro. Componente esencial de muchas rocas ígneas y metamórficas.

Vermiculita

De estructura similar a la biotita pero, generalmente, con sustituciones más complejas y no totalmente compensadas. Tenemos aquí, pues, la versión arcillosa de la mica negra y procede de ella como primer producto de alteración.

Familia de las cloritas

Características generales:

- Tipo 14Å (Te-Oc-Te-Oc-Oc)
- Apilamiento ordenado de hojas.

Constituyen un grupo muy semejante a la familia anterior pero donde la sustitución tetraédrica está compensada por la capa brucítica. Son relativamente frecuentes en rocas metamórficas como esquistos y pizarras. Las formas arcillosas son menos importantes pero, en cualquier caso, muy semejantes y relacionadas con las illitas.

Familia de la sepiolita

Los minerales de esta familia se caracterizan porque las capas tipo Te-Oc-Te no son indefinidas sino que forman bandas dispuestas alternativamente por encima y por debajo de una capa hexagonal de O. La estructura presenta, en corte, el aspecto de un ladrillo hueco. A este grupo de minerales se le suele denominar “en capas discontinuas”.

La Sepiolita es el mineral característico que está formado por una serie de bandas de “talco” de la forma anteriormente explicada. Es un silicato de magnesio hidratado, de apariencia amorfa, aunque su red es rómbica, que se presenta en masas nodulares o finamente terrosas, ligeras, porosas, con apegamiento a los labios y de tonos blancos, grises o amarillentos. Se conoce, también, con el nombre de espuma de mar.

Es un mineral de alteración, presente en algunos terrenos sedimentarios modernos cuya autigénesis está frecuentemente ligada a la del sílex y el ópalo.

Familia de las arcillas desordenadas

Características generales:

- Hojas desordenadas.
- Minerales alófanos.

Halloysitas

Este nombre genérico corresponde a todos los filosilicatos de tipo Te-Oc cuyas hojas no están ordenadamente apiladas. La importancia de estos minerales es esencialmente edáfica y se forman en el suelo por alteración hidrolítica de muchos silicatos cuando las condiciones del medio favorecen la aparición de estas arcillas con relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ aún próxima a 2. La diagénesis de las halloysitas conduce a minerales ordenados de la familia de la caolinita.

Esmectitas

Análogamente se incluyen en este concepto todos los filosilicatos de tipo Te-Oc-Te desordenados. Su formación es, también, esencialmente edáfica y aparecen o por transformación de illitas y de vermiculitas o por alteración hidrolítica de muchos silicatos cuando las condiciones del medio favorecen la aparición de estas arcillas con relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ muy superior a 2 (incluso 4). La diagénesis de las esmectitas conduce a minerales ordenados de la familia de las micas y arcillas micáceas. Una de las esmectitas más típicas es la montmorillonita, con silicio en coordinación tetraédrica, aluminio y magnesio en coordinación octaédrica en substitución no compensada cuya consecuencia total es que esta arcilla sea altamente hinchable con una muy elevada capacidad de adsorción de cationes hidratados.

Final

El problema de identificación de los minerales arcillosos es, normalmente, muy complicado, sobre todo en los suelos. Podría pensarse que la determinación de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, sería una técnica válida, al menos para la distinción entre minerales Te-Oc y Te-Oc-Te. (En la caolinita esta relación es igual a 2, en la pirofillita vale 4, en otras arcillas es más variable según las substituciones que hayan tenido lugar).

Pero el resultado de estos análisis puede estar falseado si la muestra contiene impurezas de otros minerales, por lo que los análisis para la determinación de arcillas de mayor garantía son los análisis térmicos diferenciales, que determinan las temperaturas para las que las diferentes arcillas pierden el agua absorbida y el agua de constitución, o los análisis por difracción de rayos X.

Tectosilicatos

Introducción

La estructura que caracteriza a los tectosilicatos es un armazón tridimensional de tetraedros. Todos los vértices de los tetraedros son oxígenos puente o sea, que la carga negativa del armazón no existe si es sólo el silicio quien ocupa la coordinación tetraédrica, o es igual al número de iones trivalentes que ocupan esta coordinación. El equilibrio electrostático se mantiene por la presencia de igual número de cationes alcalinos o de la mitad de cationes alcalino-térreos ubicados en los huecos intersticiales al armazón, en coordinación, generalmente, de 8 a 10. Si no existe sustitución alguna se tienen los minerales de sílice. Si existe una gran sustitución de silicio por aluminio se presenta el grupo de los feldespatoídes y, si esa sustitución es escasa, el grupo de los feldespatos.

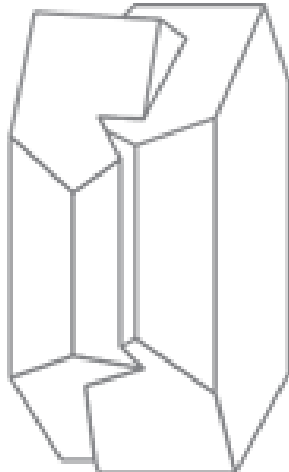
Minerales de Sílice

Cuarzo

El cuarzo es el principal mineral de fórmula SiO_2 , anhídrido-silícico o bióxido de silicio, y cristaliza en el sistema hexagonal presentando variedades cristalizadas y variedades criptocristalinas.

Las variedades cristalizadas se presentan, muchas veces, en forma de prismas hexagonales apuntados por pirámides y sus características son:

- **Dureza:** 7.
- **Densidad:** 2,65 gr/cm³.
- **Color:** de acuerdo con el color se distinguen diferentes variedades dentro del cuarzo cristalizado, así, el cristal de roca es transparente e incolora; el cuarzo lechoso de colores claros, blanco a rosado, bastante frecuente; el cuarzo ahumado que presenta impurezas carbonosas y es de color negruzco; la amatista con óxidos de hierro muy dispersos, de color violeta, que es escasa; el falso topacio con alguna impureza arcillosa, de color amarillo y también escaso; el jacinto de compostela de color rojo, opaca, con óxidos de hierro y que se suele presentar en terrenos sedimentarios asociado al yeso rojo y al aragonito; la venturina, iriscente, amarilla o amarilla rojiza con hojitas de mica u oligisto; el Ojo de gato, verdoso-parduzco, opalescente, con fibras de amianto, etc.
- **Exfoliación:** raras veces definida, con fractura concoidea.

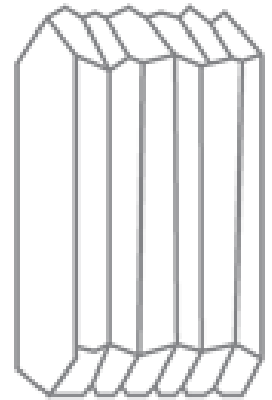


- **Origen fundamental:** magmático.
- **Presencia:** el cuarzo, en sus variedades más corrientes, es un mineral abundantísimo y esencial en muchas rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Las variedades criptocristalinas son, fundamentalmente, la Calcedonia, que se presenta en forma de concreciones esferoidales de superficie arriñonada y a la que pertenecen el Ágata, el Ónice y la Carneola, y el Silex o Pedernal, siempre opaco y de fractura concoidea muy marcada.

Mineral	Anortita	Albita	Densidad (gr/cm ³)
Albita	<10	>90	2,61
Oligoclasa	10-33	67-90	2,65
Andesita	33-50	50-67	2,69
Labradorita	50-67	33-50	2,70
Bitownita	67-90	10-33	2,75
Anortita	>90	<10	2,77

- **Dureza:** 7 en el sílex y de 6 a 6,5 en la calcedonia.
- **Densidad:** 2,6 gr/cm³ ,3 en el sílex y 2,59 en la calcedonia.
- **Color:** muy variable; gris claro, amarillo, rojizo o negro en el sílex; los mismos más azul, celeste, rosa, verde, rojizo y marrón en la calcedonia.
- **Exfoliación:** no tiene; fractura concoidea.
- **Origen fundamental:** de alteración.
- **Presencia:** siendo minerales accidentales, ambas variedades son frecuentes en terrenos sedimentarios modernos.



Ópalo

El ópalo es un andamiaje discontinuo de tetraedros SiO₄, con interposición de agua. Su fórmula es, pues, SiO₂·nH₂O y puede considerarse como amorfo.

- **Dureza:** de 5 a 6,5.
- **Densidad:** de 1,9 a 2,3 gr/cm³.
- **Color:** brillo vítreo, transparente o traslúcido. Según la coloración se distinguen variedades: ópalo noble, de color claro, rosado, azulado, gris o verdoso; ópalo de fuego, de color rojo; ópalo común, de color amarillento y frecuentemente opaco perteneciendo a esta variedad el ópalo leñoso que es el resultado de la fosilización de la madera, conservándose la estructura leñosa, y geiserita que son concreciones arriñonadas de ópalo que se forman en fuentes termales y tienen cierta semejanza con la calcedonia.
- **Exfoliación:** ninguna, fractura concoidea.
- **Origen fundamental:** de alteración.

Feldespatos

Los feldespatos son los silicatos más abundantes en la corteza terrestre. Caracteriza a este grupo el ser aluminosilicatos de metales alcalinos y alcalinotérreos con escasa sustitución del silicio por el aluminio, ser esenciales en muchas rocas ígneas y en algunas sedimentarias y metamórficas, tener colores claros porque, al no poseer huecos de coordinación octaédrica, no puede asentarse el hierro, y poseer un origen fundamental magmático. En los feldespatos pueden distinguirse dos tipos estructurales:

1. Monoclínicos u ortoclasas, con cationes muy grandes, (K⁺, y Ba²⁺).
2. Triclínicos o plagioclasas, con cationes algo menores, (Na⁺ y Ca²⁺).

Ortosa

La ortoclasa más común es la ortosa, aluminosilicato potásico de fórmula (Si₃AlO₈)K.

Sistema de cristalización: monoclínico.

Dureza: 6.

Densidad: 2,6 gr/cm³.

Color: blanco, crema, rosado y gris. Raya blanca.

Exfoliación: perfecta, con ángulo de 90°.

Origen fundamental: magmático.

Presencia: es un mineral esencial en muchas rocas ígneas: granitos, sienitas, pegmatitas, etc. Se presenta en cristales de forma columnar o prismática, siendo frecuente la macla de Karlsbad.

Las plagiclasas son conocidas, genéricamente, como feldespatos calco-sódicos y forman una serie isomorfa que varía desde la Albita: $(\text{Si}_3\text{O}_8\text{Al})\text{Na}$, a la Anortita: $(\text{Si}_2\text{O}_8\text{Al}_2)\text{Ca}$, aunque en la práctica no existen realmente extremos puros sino que cada uno incluye hasta un 10 por ciento del otro, según la serie que se refleja en el siguiente cuadro donde, también se indica la densidad correspondiente.

- Sistema de cristalización: triclinico
- Dureza: de 6 a 6,5.
- Densidad: de 2,61 a 2,77 gr/cm³
- Color: blanco, rosado y gris.
- Exfoliación: perfecta, con ángulo de 86°.
- Origen fundamental: magmático.
- Presencia: son minerales esenciales en muchas rocas ígneas presentándose en forma de cristales prismáticos o laminares, formando frecuentemente maclas polisintéticas, lo que les da una estriación peculiar en la superficie de rotura, siendo siempre apreciables estas maclas en microscopio petrográfico.

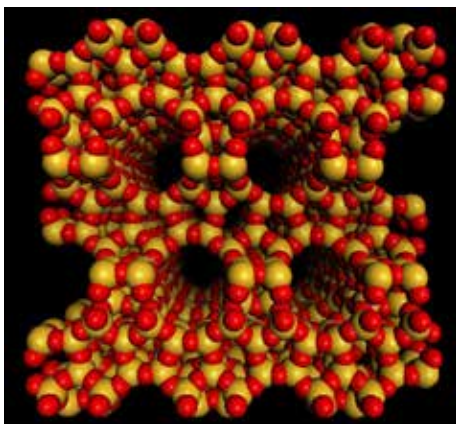
Puede observarse que en la anortita la sustitución de silicio por aluminio es mayor que en la albita. Esto quiere decir que, a igualdad de otras circunstancias, las plagioclasas cálcicas abundan más en los medios más pobres en sílice que las sódicas y que las ortoclasas.

Feldespatoides

Cuando tenemos un medio relativamente pobre en sílice y rico en alcalinos pueden formarse los minerales de este grupo que son fundamentalmente, dos: Nefelina: $(\text{SiAlO}_4)_4\text{Na}_3\text{K}$, y Leucita: $(\text{Si}_2\text{AlO}_6)\text{K}$. La nefelina cristaliza en el sistema hexagonal y la leucita en el sistema tetragonal; ambas tienen de 5,5 a 6 de dureza, una densidad de 2,5 a 2,6 gr/cm³, coloración blanco grisácea, exfoliación imperfecta presentando fractura concoidea, y alta fragilidad. Su origen fundamental es magmático. Generalmente se presentan diseminadas en las rocas volcánicas, algunas veces la leucita aparece en cristales bien desarrollados en forma de icositetraedros y son componentes fundamentales de la fonolita y de la tefrita.

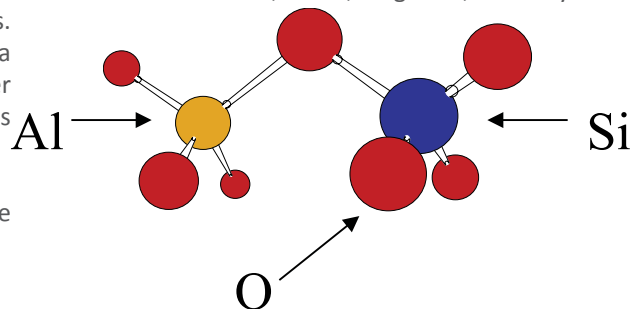
Zeolitas

Su estructura es semejante a la del resto de tectosilicatos, solo que en este caso la mayoría de los tetraedros de SiO_4 está sustituido por



Al^{+3} formando una estructura tridimensional de tetraedros de SiO_4 y AlO_4 con grandes huecos. Estos huecos permiten que cationes o agua se alojen en estos espacios. Las moléculas de agua están débilmente ligadas por enlaces de H a los átomos aniónicos de la estructura, de manera que este agua por calentamiento se desprende fácilmente, sin destrucción de la estructura de las zeolitas, y sin modificaciones físicas de sus propiedades.

Las Zeolitas con minerales de aluminosilicatos de Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y otros alcalinos y alcalinos térreos. Poseen una estructura cristalina, que puede retener cationes y aniones en las aguas servidas.



Existen diferentes tipos de zeolitas, clasificadas según su composición mineralógica.

- Clinoptilolita
- Chabatiza
- Heulandita
- Mordenita
- Filipsita
- Silicalita
- Heoinita



N° 7849



211-CL 1168792/12

