

8. Descripción del Mundo Mineral por Tipos y Clases cristal químicas.

En este capítulo veamos en primer lugar, la caracterización general de los tipos y clases principales cristal químicas de los minerales. En segundo lugar, en forma breve y sólo en la calidad de unos ejemplos se describen algunas especies minerales que son típicas para las unidades taxonómicas anteriormente mencionadas. En esta descripción se destaca la composición química, estructura cristalina, morfología, propiedades, origen y yacimientos, importancia práctica. La descripción completa de todas las especies minerales conocidas actualmente se encuentra en los manuales de mineralogía que se publican periódicamente en la bibliografía mineralógica contemporánea.

8.1. Tipo I. Elementos nativos (Homoátomos y compuestos similares)

A este tipo pertenecen 124 especies minerales, de las cuales 38 especies son los elementos nativos, 56 especies pertenecen a los compuestos intermetálicos y los demás son carburos, nitruros y fosfuros. La mayoría de los minerales de este tipo se encuentra raras veces - el peso total de ellos de la corteza terrestre es muy pequeño (no paso 0.02% de toda la masa de la corteza terrestre). Los elementos nativos son las especies minerales integrados por los átomos de elementos químicos iguales o de estructura y propiedades próximas: metales, semimetales, no metales. El tipo de enlace químico en los elementos nativos determina sus particularidades cristal químicas. Por ejemplo, para la mayoría de los metales nativos con el tipo metálico de enlace son características las estructuras de coordinación con empaquetamiento más compacto cúbico o hexagonal de los átomos. Todos los metales nativos poseen alta conductividad térmica y eléctrica, difieren por el fuerte brillo metálico, la alta densidad que depende de la masa atómica de los elementos determinados. Los no metales nativos con enlace mixto covalente-molecular

Van der Waals (azufre, grafito) se caracterizan por las estructuras del tipo anular y laminar. En la forma de los elementos nativos se forman las concentraciones industriales ciertas metales (oro, plata, platino) y no metales (azufre, grafito, diamante).

Clase: Metales Nativos.

Oro-Au. El oro es uno de los metales que el hombre conoce desde los tiempos más remotos.

Composición química. Se encuentra muy raramente en estado químicamente puro. En la mayoría de los casos contiene las impurezas isomorfas de Ag, Cu, Fe.

Cristaliza en el sistema cúbico. Su estructura cristalina es la del cubo de caras centradas (Fig.8.1).

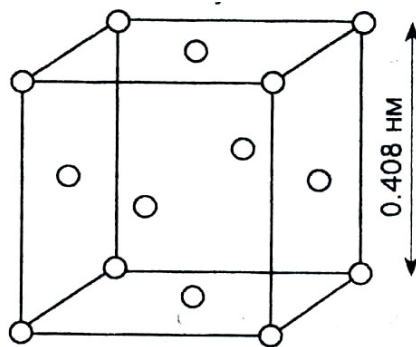


Figura 8.1. Celda elemental de oro.

Se encuentra raras veces en los cristales del hábito octaédrico, rombododecaédrico, cúbico. Los más comunes son los granos de formas irregulares y escamas incrustadas en el cuarzo. A veces forma dendritas aplanadas o arriñonadas, alambres filamentosos y pepitas de forma irregular.

Color amarillo de latón. La raya es brillante, amarilla dorada. Brillo metálico. Dureza 2-3. Exfoliación imperfecta. Muy maleable y dúctil. La fractura es irregular, ganchosa. La densidad es muy alta (19.3). Origen hidrotermal y en placeres. Yacimientos principales: Estados Unidos de América, Rusia, África del Sur, Australia. Es el principal metal que se emplea como divisa. Se utiliza ampliamente en la joyería, la

radioelectrónica, construcción de aparatos, en medicina. El contenido industrial mínimo en las menas varía de 1 a 10 gramos por tonelada. La extracción mundial de oro es alrededor de 1000 toneladas por año.

8.2. Tipo II. Sulfuros y compuestos similares

El mayor número de minerales está representado por los compuestos sulfurosos (Sulfuros y Sulfosales). A este tipo pertenecen más de 600 especies minerales, de las cuales 480 especies son sulfurosas. Las demás especies son los compuestos de los metales de transición y los Semimetales con antimonio (antimoniuros), el arsénico (arseniuros), el bismuto (bismutidos), el selenio (Seleniuros), el telurio (Telururos). Los elementos constituyentes de especies, además, de azufre y otros aniones, son generalmente Fe, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Co, Ni. Los compuestos de este tipo se caracterizan por gran diversidad de las estructuras cristalinas y por los tipos complejos de los enlaces químicos (covalentes, donador-aceptor, iono-metálicos).

Entre los minerales de este tipo, no más de 20 de ellos son difundidos y van formando unas acumulaciones considerables. Los Sulfuros y sus análogos son las **menas** más importantes de metales no ferrosos (Cu, Pb, Zn, Co, Ni), nobles (Au, Ag) y varios raros (Cd, In, Ga, Ge, Se, Te). Entre ellos veamos las características principales de un sulfuro de plomo.

Galena PbS (un 86.6% de Pb). Con frecuencia contiene Ag, Sb, Bi isomorfos. La estructura cristalina (Fig.8.2) es de tipo NaCl (empaquetamiento cúbico de aniones de S en el cual todos los vacíos octaédricos están ocupados por iones de Pb).

Sistema cúbico, predominan cristales de hábito cubo-octaédrico. Suele formar los agregados granulares enteros.

Color gris de plomo. Raya negra grisácea. Brillo metálico. Exfoliación perfecta por el

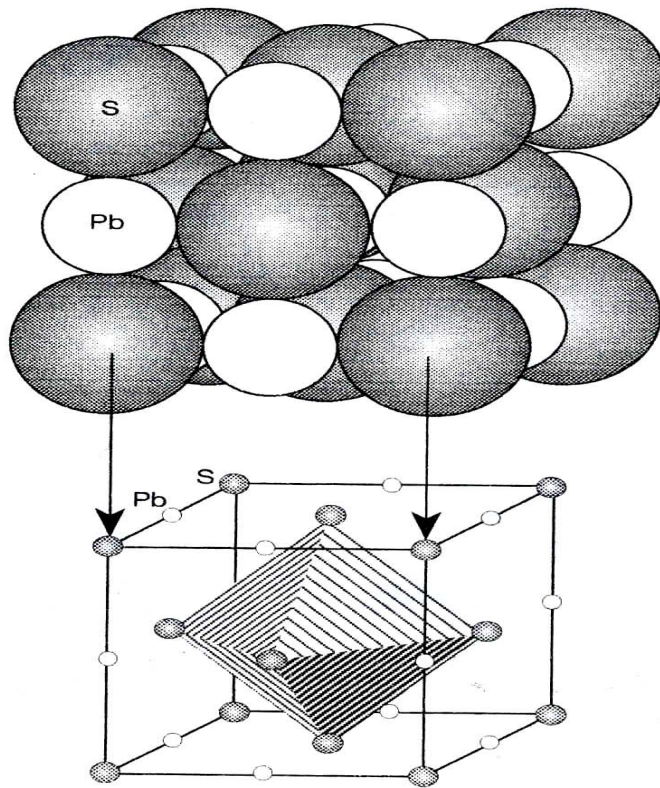


Figura 8.2. Estructura cristalina de la Galena PbS.

cubo (100). Frágil. Dureza 2.5. Densidad 7.5. Origen hidrotermal de temperaturas medias y bajas. Es característica la asociación con escalerita ZnS y sulfuros de plata y cobre en las menas polimetálicas. Yacimientos principales: Altai (Rusia), Canadá, México, Estados Unidos de América, Chile, Australia. La galena es importante **mena** de plomo de la cual se extrae también la plata, el bismuto y otros metales.

8.3. Compuestos oxigenados

Este tipo se divide por dos subtipos: **Óxidos e Hidróxidos y Sales oxigenadas.**

Al primer subtipo pertenecen más de 500 especies minerales, de las cuales dos

terceras partes son los Óxidos - compuestos de los metales y los metaloides con el oxígeno. Los Hidróxidos contienen el grupo OH, los aniones complementarios y el agua. En los Óxidos predomina el tipo iónico de enlace químico con pequeño aporte de los enlaces covalente o metálico. En los Hidróxidos es importante la influencia de los enlaces de hidrógeno; para los Óxidos son típicas las estructuras de coordinación, de cadena y de armazón.

Así, por ejemplo, los Óxidos complejos poseen la estructura de coordinación con el empaquetamiento más compacto de oxígeno, en el cual los cationes ocupan una parte de las posiciones tetraédricas y octaédricas.

Las estructuras de cinta y laminar son características para los Hidróxidos. En su base está el empaquetamiento hexagonal más compacto de los grupos de OH, en los cuales los cationes se sitúan en coordinación octaédrica. Las particularidades físicas y morfológicas de los Óxidos e Hidróxidos totalmente corresponden a sus particularidades cristal químicas y el tipo de enlace químico que en ellos predomina.

Sería conveniente mencionar que actualmente existen algunas diferencias entre los científicos de la escuela rusa y los mineralogistas americanos al respecto de los minerales del grupo de Cuarzo (compuestos de Si con oxígeno): los primeros consideran que estos minerales pertenecen a los óxidos y mientras que otros los consideran entre los silicatos. Los fundadores de la escuela mineralógica rusa (V.Vernadsky, A. Fersman, A. Betejtin, A. Povarennykh y muchos otros mineralogistas) siempre consideraban que a los óxidos pertenecen los minerales que representan los compuestos de metales y metaloides con oxígeno. Por otro lado, a los silicatos pertenecen los minerales que representan las uniones de Si, Al y de los radicales aniónicos con cationes, entre los cuales figuran como constituyentes de especies Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, así como Li, Be, B, Ti, Zr, TR, Cs, Sr, Y, Zn, Cu,

etc. Los radicales aniónicos son constituidos, además de Si y Al, también por Ti, Zr, Be, B, Fe. En el caso particular de los óxidos de sílice (cuarzo, cristobalita, tridimita) ciertos autores de la escuela americana los incluyen en la clase de los silicatos ya que sus estructuras cristalinas guardan alguna relación con los silicatos. Sin embargo, en vista de que los óxidos de sílice son por su naturaleza química los óxidos típicos debemos (en consonancia con el principio admitido por los mineralogistas rusos) considerarlos en la clase de los óxidos y no en la clase de los silicatos.

8.3.1. Los Óxidos e Hidróxidos pertenecen a los minerales ampliamente difundidos. Constituyen alrededor 17% de la masa de corteza terrestre. Las especies minerales de este subtipo son las **menas** importantes de Fe, Cr, Mn, Ti, Al, Nb, Ta, U, Th, también son abrasivos (corindón), piezoeléctricos (cuarzo), piedras preciosas (rubí, zafiro, amatista).

Veamos las particularidades específicas de algunos minerales de hierro que pertenecen a los óxidos e hidróxidos: magnetita, hematita y goethita. La magnetita y la hematina son dos principales minerales – fuentes de hierro.

Magnetita FeFe_2O_4 (72.4% Fe). En la composición se establecen muchos elementos-impurezas: Ti, Mg, Mn, Al, V, Cr, Ni, Co. Por eso se distinguen algunas variedades: titanomagnetita (unos % de Ti), magnomagnetita ($\text{Mg} < \text{Fe}$), magnesioferita ($\text{Mg} > \text{Fe}$), jacobsita (MnFe_2O_4). Estructura cristalina es análoga a la de la espinela, en la cual los vacíos tetraédricos están ocupados por la mitad de los cationes de Fe^{3+} , y los octaédricos, por otra mitad de los cationes de Fe^{3+} y todos los cationes de Fe^{2+} (estructura inversa). Los cristales se encuentran en la forma de octaedros, más raramente rombododecaedros. Los cristales y granos de este mineral forman generalmente masas enteras, granulares y mixtas. Color negro. La raya es negra. Exfoliación imperfecta. Dureza 5.5-6. Brillo semimetálico. Densidad 5-5.2. Fuerte

ferrimagnético. Origen: Magmático, metasomático, hidrotermal, metamórfico. Al oxidarse la magnetita se convierte primeramente en la martita (seudomorfosis de la hematita en sustitución de la magnetita), luego en diferentes hidróxidos de Fe. El contenido de Fe depende del origen: se aumenta de los magmáticos (63.7 %) a los metamórficos (71.9 %).

Hematita α -Fe₂O₃ (70 % Fe). Sistema trigonal. La estructura cristalina es del tipo de la Corindón (Fig. 3.13 - el empaquetamiento hexagonal de los aniones de O²⁻ en el cual los cationes de Fe³⁺ ocupan 2/3 de los vacíos octaédricos). Se encuentra en los cristales romboédricos, laminares, tabulares. Se conocen originales aglomeraciones de cristales laminares ligeramente encorvados - rosas de hierro; las formas de grandes riñones con estructura fibrosa radial se denomina "cabeza roja de vidrio". Color rojo, rojo oscuro hasta negro. La raya es roja guinda (índice característico). Brillo semimetálico. No posee propiedades magnéticas. Dureza 5.5-6. Exfoliación imperfecta.

Origen: Metasomático, hidrotermal, sedimentario, metamórfico. Es inestable en la zona de oxidación y se convierte en diferentes hidróxidos de Fe. Seudomorfosis de la magnetita en sustitución de la hematita se forma en las condiciones de reducción (muchketovita). Se encuentra la modificación cúbica γ -Fe₂O₃ (maghemita) que posee propiedades magnéticas.

Goethita α - FeO (OH) contiene hasta 62.9 % de Fe. Otra modificación γ - FeO (OH) que se llama la lepidocrocita se diferencia por la estructura cristalina y se encuentra más raro. La estructura cristalina se caracteriza por el empaquetamiento hexagonal de los aniones de oxígeno y el hidróxilo, en el cual los cationes de Fe³⁺ ocupa la mitad de los vacíos octaédricos distorsionados de tal manera que las cintas constituidas por las cadenas octaédricas dobles Fe (O,OH)⁶⁻ forman un motivo estratificado (Fig. 8.3). Sistema rómbico. Cristales raros presentan

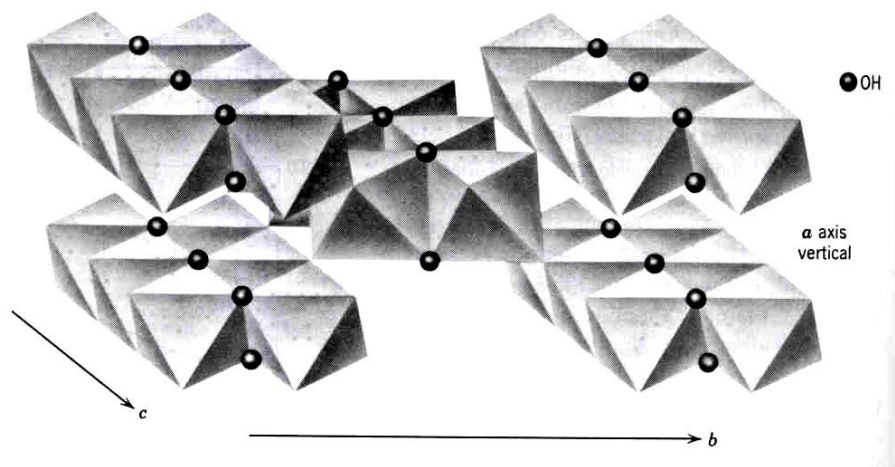


Figura 8.3. Estructura de la Goethita FeO (OH).

aspecto acicular. Suele observarse en forma de riñones o estalactitas con estructura de fibras delgadas radiales o paralelas en la fractura; en menas compactas, porosas, terrosas. Color es de pardo oscuro a negro. La raya es amarilla parda. El brillo es de adamantino a semimetálico. Dureza 4.5-5.5. Exfoliación es perfecta (en los cristales). La Goethita es un componente principal de la Limonita (mezcla de diferentes hidróxidos de Fe) que se encuentra en masas terrosas y ocrosas, en forma de concreciones y oolitas con varias impurezas mecánicas. La limonita surge debido a la oxidación de los minerales ferrosos, en las zonas y cortezas de oxidación.

8.3.2. Al Subtipo - Sales oxigenadas - pertenece la mayoría de las especies minerales (en este momento 2608 especies), que son las sales de diferentes ácidos (carbónico, sulfúrico, fosfórico, arsénico etc.). Los silicatos, que son las sales de los ácidos hipotéticos silíceos, también se consideran en este subtipo. Precisamente los silicatos son los minerales más difundidas en la corteza terrestre: el número total de silicatos alcanza actualmente 1100 especies. La concentración de los silicatos en la corteza terrestre alcanza más del 75% de todos los minerales de la litosfera.

Clase: Silicatos

En la base de la estructura cristalina de los silicatos están los radicales aniónicos

(SiO₄)-tetraedros- con el enlace químico mixto (iónico-covalente). Estos tetraedros estructurales pueden ser aislados o unirse con la formación de los complejos de diferente configuración y tamaño. Los radicales aniónicos se unen con la ayuda de los cationes, entre los cuales se figuran 60-70 elementos. Su combinación con los tetraédros de (SiO₄) da en el resultado gran diversidad de las estructuras. En función de como combinan entre si los radicales atómicos se distinguen las estructuras siguientes de los silicatos: a) de estructura insular (tetraedros aislados); b) de anillos aislados (anillos tetraédricos); c) con estructura de cadena (cadenas simples y dobles de tetraedros); d) de estructura laminar (capas de los tetraedros); e) de estructura de armazón (combinación tridimensional de los tetraedros).

Sobre esta base estructural en la clase dicho se distinguen las subclases determinadas. Los silicatos son los minerales importantísimos de rocas que componen la masa principal de rocas (feldespatos, micas, piróxenos, anfíboles, olivino, etc.). Los silicatos constituyen importantes minerales económicos no metálicos (materia prima cerámica y refractaria, materiales de construcción, termo-y electroaislantes). Los silicatos también son las **menas** de algunos elementos raros: Li, Cs, Be, Zr, TR, a veces de Fe (cloritas de Fe, que contienen hasta 38-42% de Fe: chamosita y turingita). Además, a los silicatos pertenecen varias piedras preciosas y semipreciosas (esmeralda, aguamarina, topacio, nefrita, rodonita, etc).

Veamos las propiedades principales de un silicato muy difundido en la corteza terrestre.

La Forsterita Mg₂ (SiO₄) y la Fayalita Fe₂ (SiO₄) son los miembros extremos de la serie isomorfa de Olivino (Mg, Fe)₂ (SiO₄) que abunda mucho en la naturaleza como mineral principal de las rocas intrusivas ultrabásicas. La estructura cristalina se caracteriza por los tetraedros aislados de SiO₄ entre los cuales se observan los cationes de Mg y Fe en coordinación octaédrica (Fig. 8.4). Sistema rómbico. Son difundidas en

forma de masas granulares y cristales aislados.

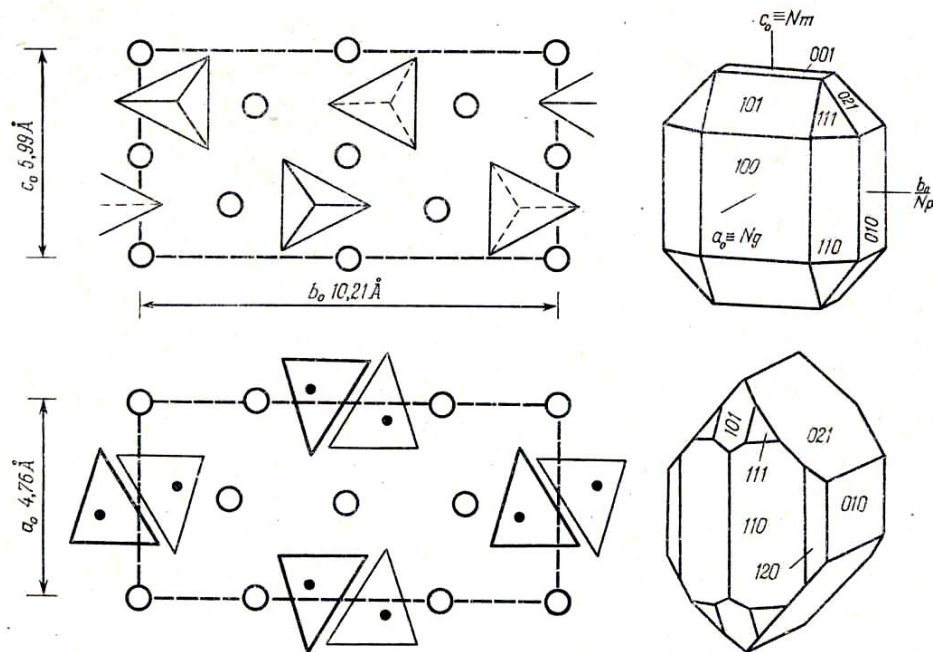


Figura 8.4. Estructura cristalina y los cristales del Olivino – $(\text{Mg, Fe})_2(\text{SiO}_4)$.

Color verde amarillo, verde olivo, pero en función de la composición puede variar de amarillo claro hasta verde oscuro y negro. Brillo vítreo. Dureza 6.5-7. La exfoliación media según (010). Densidad 3.2-3.5. Origen: Magmático, se forma durante la cristalización del magma ultrabásico. Las rocas olivínicas (dunitas, peridotitos, garbo, basaltos, kimberlitas) son muy difundidas en la corteza terrestre. Estas rocas pobres en hierro pueden tener valor práctico como material refractario. La crisolita (variedad transparente del olivino con el color verde) se usa como piedra preciosa.

Clase: Carbonatos

A esta clase pertenecen 201 especies minerales, que son las sales de ácido carbónico. Los Carbonatos, sobre todo la calcita y la dolomita, son los minerales ampliamente difundidos en la corteza terrestre.

Las estructuras cristalinas se caracterizan por la presencia de los radicales triangulares (CO_3), que se unen con la ayuda de diferentes cationes (a menudo Ca, Mg, Fe, etc.). Los Carbonatos son los minerales principales de algunas rocas sedimentarias (calizas, dolomitas) y metamórficas (mármoles), que forman acumulaciones industriales y se utilizan en calidad de materiales de construcción o para obtener el cemento. Algunos de ellos son las materias primas en la industria química (sosa), en la industria metalúrgica como material refractario (magnesita), en calidad de fundente al hacer hierro (caliza). Los Carbonatos son también la mena de hierro (siderita), integran las **menas** polimetálicas (cerusita, esmitsonita), sirven de materia prima óptica valiosa (espato de Islandia) y se consumen en calidad de piedra decorativa y semipreciosa (ónice de mármol, malaquita, azurita).

El carbonato más difundido en la corteza terrestre es la Calcita CaCO_3 . En su composición química son comunes las impurezas de Mg, Fe, Mn, Zn. La estructura cristalina se desprende de la estructura de NaCl deformada (comprimida) a lo largo del eje C (Fig. 8.5). Las posiciones de Na^+ en ésta son ocupadas por los iones de Ca^{2+} , y las de Cl^- , por aniones de $(\text{CO}_3)^{2-}$, los cuales se ubican paralelamente unos a otros en el plano (0001). Los iones de Ca^{2+} se encuentran en la coordinación octaédrica de los iones de oxígeno que pertenecen a los vértices del anión triangular de (CO_3) . Sistema trigonal. Los cristales son diversos, principalmente romboedros y escalenoedros, a veces maclados. Los agregados son granulares, drusas, estalactitas, estalagmitas,

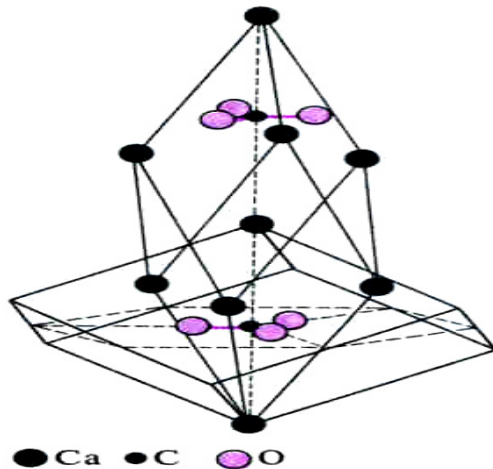


Figura 8.5. Estructura cristalina de la Calcita CaCO₃.

etc. Color blanco, se observan también matices claros de diferentes colores. Dureza 3. Exfoliación perfecta según el romboedro (1011). Densidad 2.7. Origen: hidrotermal, sedimentario, metamórfico. Sus yacimientos son muy difundidos en la corteza terrestre. La calcita es un mineral principal de las calizas que se utilizan ampliamente en la construcción, industria química (cal, cemento, vidrio) y metalúrgica (fundente). La variedad transparente (espató de Islandia) gracias a su alto índice de doble refracción se utiliza en los instrumentos ópticos.

Clase: Sulfatos

Los minerales de esta clase son las sales del ácido sulfúrico, el número de los cuales constituye 293 especies minerales. Como un elemento principal de estructura de los sulfatos sirve el tetraedro aislado (SO₄), que se une con la parte catiónica (Ca, Al, Fe, K, Na, Ba, Sr, Pb, Cu). El origen de la mayoría de los sulfatos está enlazado con la formación de minerales en las condiciones exógenas (a excepción de baritina).

Muchos sulfatos sirven de materia prima para la industria química a fin de obtener los metales (Ba, Sr, Al, Mg, etc.). Algunos de ellos se utilizan en la construcción (yeso), en calidad de agente adulterante (baritina).

Veamos las características principales del Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. En la estructura cristalina del yeso (Fig. 8.6) dos hojas de grupos aniónicos (SO_4) unidos con los cationes de Ca constituyen

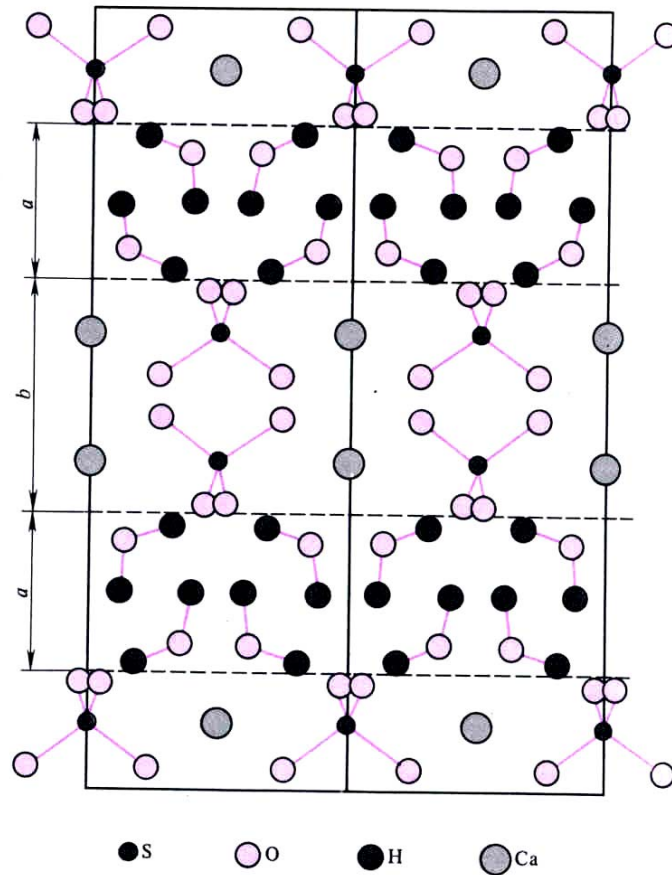


Figura 8.6. Estructura cristalina del Yeso – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

capas dobles orientadas a lo largo del plano (010). Las moléculas de H_2O se encuentran entre estas capas dobles. Así se explica la exfoliación muy perfecta del yeso según el pinacoide (010). Cada catión de Ca tiene una coordinación octaédrica de oxígeno de los grupos (SO_4) y está rodeado por dos moléculas de H_2O . Sistema monoclinico. Los cristales presentan un aspecto tabular con el desarrollo de los prismas rómbicos y pinacoides. Son frecuentes las maclas. Color blanco, a menudo transparente, así como gris y rosado debido a las impurezas. Dureza 2. Exfoliación muy perfecta según el

segundo pinacoide (010). Densidad 2.3. Origen: sedimentario. Son numerosos yacimientos del yeso en la corteza terrestre y diferentes países. El yeso se utiliza en forma cruda y cocida. El yeso calcinado se emplea para los trabajos de moldeo, en la arquitectura para el enlucido, en la medicina, la industria de cemento y papelería. El yeso crudo se utiliza en la producción del cemento Pórtland, para esculpir estatuas y en la agricultura.

Clase: Fosfatos, arseniatos, vanadatos

En esta clase amplia (más de 700 especies minerales) están reunidos los minerales que representan principalmente sales de ácidos fosfórico (401), arsenico (246) y, en menor grado vanádico (80). En los fosfatos y sus análogos, los radicales atómicos están representados principalmente por complejos tetraédricos de oxígeno (PO_4), (AsO_4), (VO_4). Los cationes predominantes de las especies de esta clase son Ca, Fe, Al, Cu. Además, para varias especies minerales están establecidos los aniones y grupos adicionales: UO_2 , OH, Cl, F, O.

Los fosfatos son característicos para diferentes rocas magmáticas, pegmatitas, greisens y filones hidrotermales. Las grandes acumulaciones de fosfatos están enlazadas con el proceso de sedimentación (fosforitas). Las **menas** de apatita en las rocas alcalinas magmáticas y las fosforitas son las fuentes principales de fósforo, que se usan en calidad de la materia prima para obtener diferentes fertilizantes fosfóricos.

La Apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ es un fosfato muy difundido en la corteza terrestre que se caracteriza por siguientes particularidades cristaloquímicas. En su composición a menudo se encuentran las impurezas isomorfas de Sr, TR, Y, Mn, F, Cl, OH. En la estructura de la Apatita (Fig. 8.7) el motivo de la cadena a lo largo del eje C se determina por el hecho de que Ca^{2+} forma columnas únicas y triples enlazadas entre sí por grupos tetraédricos $(\text{PO}_4)^{3-}$. En las columnas triples, los cationes de Ca I se

encuentran en la coordinación trigonal-prismática distorsionada con el NC=7 (6O+1F), y en las únicas Ca II, con el NC=9. Sistema hexagonal. Los cristales suelen encontrarse de aspecto columnar con combinaciones del prisma hexagonal,

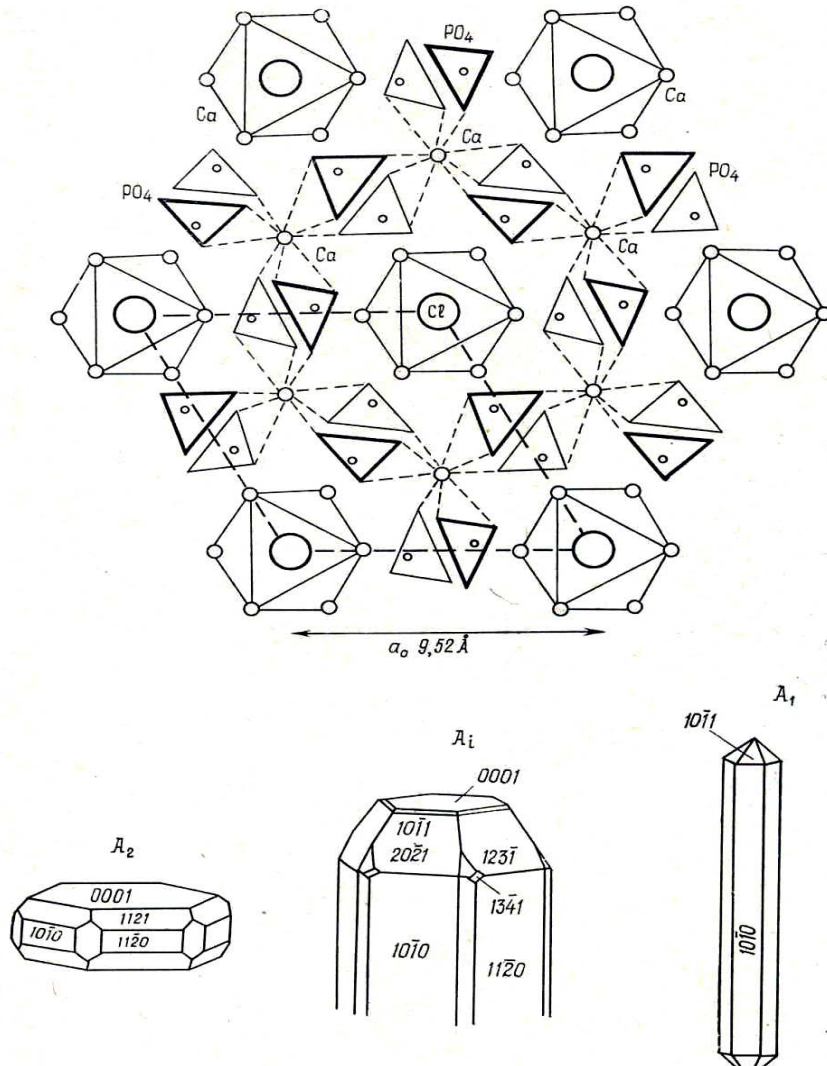


Figura 8.7. Estructura cristalina y cristales de la Apatita - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$.

pinacoide y bipiramides hexagonales. Es común bajo la forma de masas granulares, compactas, microcristalinas. Color blanco, amarillo, verde, azul, azul, violeta, rosado, pardo. Brillo vítreo, graso en la superficie de la fractura. Dureza 5. Exfoliación imperfecta según (0001). Densidad 3.2. Origen: Magmático, sedimentario. Los

yacimientos más grandes se encuentran en Rusia, Estados Unidos de América, Argelia, Túnez y Maruecos. La principal aplicación de la Apatita es la fuente de fósforo y principal materia prima para obtener diferentes fertilizantes fosfóricos.

Clase: Boratos. En esta clase cristaloquímica se han descrito actualmente 135 especies minerales que son las sales de los ácidos bóricos, entre las cuales, además del ortoácido HBO_3 , figuran el ácido metabórico HBO_2 y los llamados ácidos polibóricos. Por una serie de propiedades cristaloquímicas, los boratos son más afines a los silicatos que a otras sales oxigenadas. Los boratos que se distinguen por la presencia de simples aniones complejos $(\text{BO}_3)^{3-}$ y $(\text{BO}_4)^{5-}$ en las estructuras cristalinas, se diferencian muy poco de las sales oxigenadas típicas, comprendidos los nesosilicatos con sus grupos $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Sin embargo, en muchos boratos, como en los silicatos, a diferencia de los demás tipos de sales, se establecen aniones más complejos constituidos de grupos $(\text{BO}_3)^{3-}$ articulados entre sí con la formación de los vértices comunes de los triángulos, debido a lo cual se constituyen los llamados aniones alargados bajo la forma de cadenas, capas, armazones, etc. de carga negativa características en los poliboratos. La masa principal de los boratos es de origen sedimentario y se acumula en lagos sin desagüe y en lagunas marinas en condiciones de un clima caliente, así como está enlazada con las zonas de lixiviación de los domos de sal y las cortezas de meteorización de las acumulaciones de yeso. Siendo grandes acumulaciones, los boratos sirven de materia prima para obtener boro. Las sales de boro y el ácido bórico se consumen en la industria química, la siderurgia, la medicina y en otras ramas de economía.

8.4. Tipo: Halogenuros

A los Halogenuros pertenecen 150 especies minerales que son los compuestos de F (fluoruros), Cl (cloruros), y en menor proporción de Bromo e Iodo en general con los metales alcalinos (K, Na). Son más difundidos en la corteza terrestre los Cloruros y los

Fluoruros. Sus estructuras se caracterizan con el empaquetamiento de los aniones de Cl y F, con los vacíos octaédricos donde se encuentran los cationes de K, Na, Ca, Mg y otros elementos. En los Halogenuros predominan los enlaces del tipo iónico. Los Halogenuros sirven de materia prima para la industria química, metalúrgica, alimentosa, óptica. **La Fluorita CaF_2** a menudo contiene en su composición química las impurezas isomorfas de Y y TR. En la estructura cristalina, los cationes de Ca^{2+} se encuentran en coordinación cúbica (NC=8) de los aniones de F^- que tienen NC=4 (Fig. 8.8). Sistema cúbico. Los cristales tienen la morfología cúbica, octaédrica,

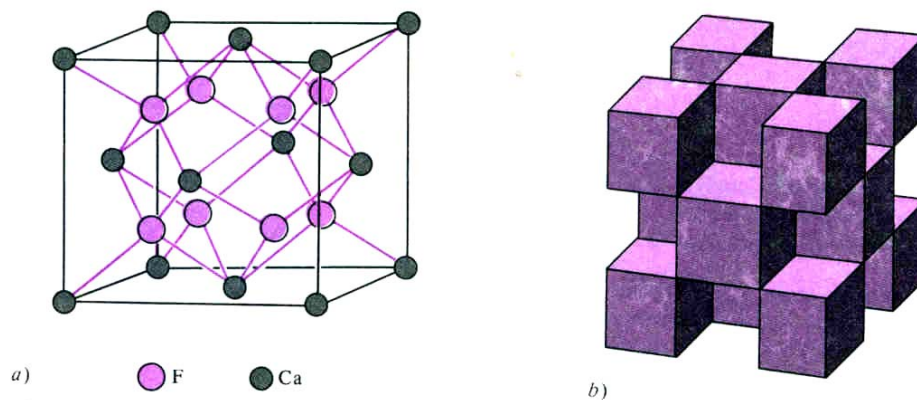


Figura 8.8. Estructura cristalina de la Fluorita CaF_2 en los modelos globular (a) y poliédrico (b).

cubooctaédrica. La Fluorita raras veces suele ser incolora y transparente. En la mayoría de los casos posee distintos colores: amarillo, verde, azul, violeta. Dureza 4. Exfoliación perfecta según el octaedro (111). Densidad 3.18. Origen: Hidrotermal, postmagmático. La masa principal de la Fluorita se utiliza en la metalurgia en calidad de fundente, así como la fuente de diferentes compuestos de flúor. La Fluorita transparente se emplea en los instrumentos ópticos.

8.5. Resumen breve sobre el uso práctico de los minerales

Las áreas del uso práctico de los minerales son muy diversas (Tablas 8.1- 8.5). En la calidad de la materia prima se usan como los monocristales, tanto los agregados

minerales (rocas, menas). Actualmente se distinguen dos tipos de la materia prima: sencilla y compleja. De la primera se extraen sólo un componente útil (Fe, Cr, Mn, Al, asbesto, grafito diamante, azufre). De la materia prima compleja se extraen al mismo tiempo unos componentes útiles (por ejemplo, de la Esfalerita se extraen In, Cd, Ga).

En la materia prima la forma de la existencia de los componentes útiles puede ser diferente. Así, los cristales de algunos minerales (cuarzo, fluorita, calcita, moscovita, piedras preciosas etc.) son útiles gracias a sus propiedades especiales. Por otra parte, los minerales son útiles como los compuestos químicos, en los cuales puede ser valioso solo un elemento químico principal para este especie mineral (Cu en la calcopirita, Fe en la magnetita, K en la silvina) o solo las impurezas isomorfas, que no son los componentes principales de la especie mineral dada (Re en la Molibdenita, Hf en el Zircon).

El contenido mínimo (la ley) del componente útil en la materia prima depende de muchas causas. Ello ensila para diferentes especies de materias primas de 10-6% a 10%. Por ejemplo, los contenidos mínimos de las **menas** industriales son las siguientes (en los años noventas que fueron propuestos por loes especialistas de los Estados Unidos) : 0.0000015%(Cd), 0.0005%(Pt), 0.001%(Au), 0.002%(Co), 0.05%(Ag), 0.4%(U,Pb), 0.5%(Hg), 0.7%(Cu), 1%(Ti, Sn, W), 1.5%(Mo, Ni), 3%(Sb),4%(Pb, Zn),30%(Al, Cr, Fe), 35%(Mn). Este valor se cambia con el tiempo y depende del valor del componente útil, escalas de difusión de la materia prima, situación geólogo-económica del yacimiento y sobre todo de la capacidad del enriquecimiento. La última característica se cambia en los límites de 60 a 90% y depende de la composición mineralógica, su estructura, de la presencia o ausencia de las impurezas nocivas, de resistencia mecánica y diferentes propiedades tecnológicas del componente útil. El contenido mínimo del componente útil se disminuya con el tiempo, pues se desarrolla la

técnica de explotación y de tratamiento de la materia prima y desaparecen gradualmente los yacimientos con los recursos naturales considerables. Así, por ejemplo, el contenido mínimo de Cu para su extracción de las MENAS se disminuyó durante de dos siglos (a partir del inicio del siglo XIX hasta hoy día) de 10% a 0.7%.

A continuación veamos en la forma breve la información sobre las materias primas (minerales o menas principales) que se usan para la extracción de varios elementos químicos (Tabla 8.1), en la agricultura (Tabla 8.2), cerámica (Tabla 8.3), en preparación de pigmentos (Tabla 8.4), así como también los datos sobre algunos minerales artificiales de uso industrial (Tabla 8.5).

Minerales económicos (menas) principales para la extracción de los elementos químicos

Tabla
8.1

Elemento	Minerales o menas principales	Uso práctico del metal	Países productores Producción anual
Al	Bauxitas (mezclas de Hidroxidos de Al y Fe :hidrargilita,diasporo, boehmita)	Se emplea en 30industrias - 4000 aplicaciones (principal empleo obtención de aleaciones ligeras)	Surinam,E.U.A.,Francia Italia, Rusia,Hungria, Grecia 1 millon ton.
Ag	Plata nativa, Argentita, Sulfosales de Plata	Para fines monetarios, en joyería, aleaciones, industria química, electrónica, fotografía	México,E.U.A., Peru,Boli Honduras 40-80 millones de onza:
As	Arsenopirita, rejalgar, oropimento y sulfosales	En la fusión de vidrio, en aleaciones con Pb, en medicamentos, pinturas, productos químicos, fuegos artificiales	E.U.A., México, Suecia Francia 60000-70000 toneladas
Au	Oro nativo,sulfuros	En fines monetarios, en la joyería, industria química, electrónica	E.U.A.,Rusia Namibia,Australia 1000 toneladas
B	Borax,kernita,colemanita, ulexita, boracita, sassolina	Industria química, farmaceutica,	Argentina, E.U.A.,Italia 400000 ton.
Ba	Baritina,witherita	Carga inerte,pintura productos químicos	E.U.A.,Canada, Inglaterra,Francia 1 millon toneladas
Be	Berilo,crisoberilo, helvita,fenacita	Aleaciones con Cu,Co, Ni, Al	E,U.A.,Brasil Rusia,India, 3000-5000 ton.
Bi	Bismutinita	Preparados medicinales y cosméticos, en aleaciones especiales	E.U.A.,Perú,Canada,Méxi Bolivia 1000-1700 toneladas
Br	Bromuros	En industria quimica, Medicina, prepación de minerales	E.U.A.,Rusia, Japón 30000 toneladas
Cd	Esfalerita,wurtzita Grinokita	Aleaciones de baja fusión, productos químicos, pinturas	Rusia,México,Polonia 9-11 mil. De libras
Co	Cobaltita,lineita, esmaltita, cloantita	En aceros especiales, Aleaciones resistentes	Congo,E.U.A., 12 mil.de lib.

		a temperaturas,ultrarapidas	
Cr	Cromita	Metalurgia,materiales refractarios y químicos	Rusia,Zimbabve, Rep. Sudafricana 1-2 mil.de toneladas
Fe	Magnetita, hematita, goethita	Producción de diferentes tipos de acero, hierro de fusión, forjado, aleaciones de Fe	E.U.A.,Rusia Francia,Suecia 150-240 mil. de toneladas
Ga	Esfalerita,bauxita	Transistores,instrumentos de medición, termometria, farmaucetica, vidrios ópticos	Rusia,Jamaica E.U.A.,Australia
Ge	Esfalerita,germanita	Semiconductores, fotoelectricos,aparatos radionicos, vidrios	Zair, Republica Sudafricar
Hg	Cinabrio, metacinabrio calomel,tenantita	Aparatos electricos, farmaceutica,catalizadores,ins ectidas, recuperacion de Au y Pt por amalgama	España,E.U.A. Italia,Rus México 150000-275000 de frascos
In	Esfalerita,calcopirita, galena, casiterita	Aleaciones especiales, semiconductores	Rusia,E.U.A., Canada,Peru, Australia
K	Silvita,carnalita	Medicina,fotografia, producción de vidrio	Alemania, Canada,Rusi
Li	Esposdumena,leoidolita, amblignonita,zinvaldita	Aleaciones especiales farmaceutica, catalizador,armas nucleares cementos dentales, soldadura de Al	Zimbabve, E.U.A.,Rusi
Mg	Magnesita,dolomita, brucita	Aleaciones ligeras, medicina	Rusia, E.U.A. 120000-238000 toneladas
Mn	Pirolusita, hausmanita,psilomelana, manganita	Ferroaleaciones,industria química	Rusia, Rep. Sudafricana India, Brasil, Cuba 4-5 mil.de toneladas

Mo	Molibdenita	Aleaciones con Fe y acero	E.U.A., México, Chile, Canada, 30-65 mil.de libras
Ni	Pentlandita	Aleaciones ferrosas y no ferrosas	Canada, Nueva Caledonia, Cuba, Rusia, Suecia 100000-150000 toneladas
Pb, Zn	Galena, esfalerita, carbonatos y sulfatos de Pb y Zn	Metales no ferrosos esenciales en la industria moderna	E.U.A., Canada, Australia, México 1.6-2 mil.de toneladas de cada metal
Re	Molibdenita	Termoelementos, Catalizador	E.U.A., Alemania
Sn	Casiterita, estanita	Bronce, laton, soldadura, aleaciones	Malasia, Tailandia, Birmania, Indonesia, Bolivia, 150000-200000 ton.
Te	Telururos, teluratos teluritos	En aleaciones, endurecer el caucho	Canada, E.U.A., México
Ti	Ilmenita, rutilo, Ti-magnetita	En acros extrarapidas revestimiento para acero de soldadura, pinturas	Australia, Canada E.U.A. 500000 ton.
U	Uraninita, carnotita, Torbernita	Reactores atómicos, energía atómica, aleaciones, pinturas	Zair, Rusia, E.U.A. Canada, Brasil
V	Vanadinita, descloizita, patronita, coelita	Aleaciones, catalizador	Peru, Rep. Sudafricana, industria química E.U. 2-8 mil.de libr.
W	Wolframita, Scheelita	Aceros cortantes de elevada rapidez, abrasivo, electrotecnica	China, Birmania, Brasil. E.U.A., Bolivia 20000-60000 toneladas
Y	Dietzita, I autarita	Industria química, fines biológicos	Chile 1000 toneladas
Zr	Zircon, badeleita	Aceros especiales, herramientas cortantes, en reactores nucleares	Brasil, Rusia, Australia, Inc 9000 toneladas

MATERIAS PRIMAS EN LA AGRICULTURA

Tabla 8.2.

ELEMENTO	MINERAL
P	Apatito, vivianita, fosforitos
K	Silvina, carnalita, poligalita, kainita
N	Nitronatrita
Mg	Kizerita, carnalita, poligalita, dolomita, kainita
Ca	Yeso, anhidrita, calcita, dolomita
S	Yeso, anhidrita, azufre, menas de sulfuros, alunita

MATERIAS PRIMAS EN LAS INDUSTRIAS DE CERÁMICA Y DE VIDRIO, PARA MATERIALES REFRACTARIOS

Tabla 8.3.

MATERIA PRIMA	MATERIALES OBTENIDOS
Andaluzita Silimanita Cianita	Cerámica resiste las grandes temperaturas y ácidos, corrosión, refractario, aislante, porcelanas eléctricas y químicas, objetos esmaltados
Apatito (fosfatos)	Fertilizantes, ácido fosfórico, revestimientos contra la herrumbre
Barita	Vidrios especiales, ferrito de Ba (ferroeléctricos)
Berilo	Electrocerámica, crisoles de temperaturas elevadas
Bauxita	Porcelana resistente al calor, a la corrosión, a la abrasión, al desconchado, recipientes de vidrio
Boratos	Metalocerámica, esmaltes, vidrios resistentes, pegamiento para temperaturas elevadas
Calcita	Vidrios, ladrillos, fundentes
Caolinita	Loza, carga de porcelana, baldosas, tubos de

	desague, ladrillos
Carnalita	Vidrios, esmaltes
Casiterita	Cerámica ferroeléctrica, pigmento blanco
Celestina	Vidrios, ferroeléctricos
Cromita	Ladrillos para hornos altos, pigmentos para esmaltes
Cuarzo	Vidrio, porcelana, ladrillos
Dolomita	Ladrillos refractarios, porcelana, vidrios
Esfalerita	Vidrios de Zn-P, ferrito de Zn
Espodumena	Sustancias cerámicas resistentes a los altos de temperatura
Feldespatos	Porcelana, vidrios, esmaltes
Grafito	Tigles, resistencia eléctrica
Halita	Vidrios, esmaltes
Hematita	Ferritos, pigmentos diferentes
Magnesita	Materiales refractarios de alto grado : ladrillos, vidrios, esmaltes, ferrito de Mg
Molibdenita	Metalocerámica, pegamiento para esmaltes
Nefelino	Vidrios verdes, material cerámico
Olivino	Materiales refractarios, ladrillos para hornos altos
Oro	Pigmento rojo
Vermiculita	Limpieza de tubos y hornos
Vismutina	Metalocerámica, esmaltes, cerámica ferroeléctrica
Wolastonita	Cerámica para electrodos de soldadura
Zircon	Porcelanas y materiales muy refractarios,

Minerales de Co	crisoles para fundir Pt y otros metales, que resisten a los productos químicos y a las temperaturas elevadas
Minerales de Cu	Pigmentos de vidrio, esmaltes, porcelana
Minerales de Li	Metaloceramica, pigmentos, ferritos de Cu
Minerales de Mn	Vidrios optico y de rayos X, fundentes
Minerales de Ti	Pigmentos de vidrios, pegamiento para esmaltes
Minerales de V	Materiales refractarios
	Pinturas verdes y amarillas

PIGMENTOS Y PINTURAS NATURALES

Tabla 8.4.

MINERAL	FORMULA	PINTURA O PIGMENTO
Azurita	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	Pintura azul
Barita	$Ba(SO_4)$	Pintura blanca
Cinabrio	HgS	Pintura roja y parda
Crisocola	$CuSiO_3 \cdot n H_2O$	Pintura verde
Esfalerita	ZnS	Pigmentos de Zn
Garnierita	$(Mg, Ni)_6(Si_4O_{10})(OH)_8$	Pintura verde
Glauconita	$K Fe^{2+} Fe^{3+} (Si_4O_{10})(OH)_2$	Pintura azul
Grafito	C	Pigmento negro
Hematita	Fe_2O_3	Pintura roja, parda
Ilmenita	$FeTiO_3$	Pigmento de TiO_2
Jarosita	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	Pintura roja, amarilla
Lazurita	$Na_3Ca(AlSiO_4)_3(SO_4, S_2)$	Pintura azul
Limonita	Hidroxidos de Fe	Pigmento oxido de Fe
Magnetita	$Fe^{2+} Fe^{3+}_2 O_4$	Pigmento negro

Malachita	$\text{Cu}_2 (\text{CO}_3) (\text{OH})_2$	Pintura verde
Rutilo	TiO_2	Pigmento de TiO_2
Vivianita	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Pintura azul

MINERALES ARTIFICIALES

Tabla 8.5.

MINERAL	MINERAL SINTETIZADO	USO
Berilo (esmeralda)	Cristales alargados y normales	Microelectronica, lazer, equipo óptico y acústico
Bromelita	Monocristales	Joyería
Calcita	Monocristales	Material óptico
Cancrinita	Cristales prismáticos	Piezoelectricos
Casiterita	Monocristales	Termogeneradores, electroóptica
Corindon	Monocristales	Lazer, joyería
Crisoberilo	Cristales	"-"
Cuarzo	Monocristales	Radiotécnica, óptica aparatos detectores
Diamante	"-"	Usos técnicos, joyeria
Esfalerita	"-"	Electrooptica
Estibnita	"-"	Fotosemiconductores Segnetoelectricos
Flogopita	Cristales	Radiotécnica, electrotécnica
Fluorita	Monocristales	Material óptico
Granate	Cristales de ferrita	Cristales magnéticos
Malachita	Imitación de los agregados naturales	Joyería, material decorativo
Sodalita	Monocristales	Piezo-y fotocromo propiedades
Turmalina y Zincita	"-"	Piezo-y piroelectricos