

GEOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIDAD TEMÁTICA

2006

Ribot Lizarbe

DI. LA GAI MENSUARA

MINERALOGÍA

***Definición:** es la ciencia de los minerales, los cuales ya sea como elementos o compuestos, constituyen la parte sólida de la Tierra y el Universo. Los meteoritos proveen la información sobre los sólidos del Universo y el centro de la Tierra. Estudia científicamente a los minerales. Es una disciplina importante dentro de la Geología, ya que los minerales son los constituyentes de las rocas que forman la corteza terrestre.

Es la ciencia que trata de la forma, propiedades, composición, origen, relaciones mutuas y yacimientos de los minerales.

***MINERAL:** se puede definir como un sólido, homogéneo, natural, con una composición química definida y un ordenamiento atómico regular, o sea que forman parte de las sustancias cristalinas.

Deben tener un origen natural por lo que se excluyen las sustancias sintéticas obtenidas en laboratorio. Deben ser de origen inorgánico, con excepción de algunas sales provenientes de ácidos orgánicos: humboldita (oxalato de hierro), melita (melato de aluminio hidratado), ámbar (resina fosilizada de ciertas coníferas). La composición química definida dentro de ciertos límites. La composición homogénea se traduce en la uniformidad de las propiedades físicas y químicas, dentro de ciertos límites.

La estructura íntima cristalina hace referencia a la disposición geométrica regular de los átomos con una repetición periódica en todas direcciones. Algunos llaman mineraloides a sustancias como el ópalo al no presentar estructura cristalina.

Pero, encontramos que determinados compuestos, que son considerados minerales no responden completamente a esta definición. Por ej: ópalo y vidrio volcánico (compuestos de sílice) no forman estructuras cristalinas, son compuestos llamados **amorfos**; la calcedonia es **criptocristalina**. El agua, que se considera el compuesto mineral más importante para el hombre, en CNTP (Condiciones Normales de Presión y Temperatura) se la encuentra al estado líquido. Estos son los casos más comunes. También tenemos compuestos que contienen, Ca - Na, Fe - Mg en proporción variable, desde un extremo puro al otro, o sea que no tienen una composición química definida. Estos compuestos forman "series", que otorgan cambios en las propiedades físicas y/o químicas, según las proporciones de uno u otro.

Todo esto hizo que se revea la definición, y se considere, según Nickel, E. y la Comisión de Nuevos Minerales y Nombres Minerales (1995), como definición de mineral a **todo aquel elemento o compuesto químico, normalmente cristalino, que haya sido formado como resultado de procesos geológicos.**

Los compuestos cristalinos, creados por el hombre, a partir de los elementos o por transformación de otros compuestos, para copiar a la naturaleza no son considerados minerales. Ej: los diamantes industriales, formados a partir de carbón a muy altas presiones, y las piedras preciosas, que se forman a partir de "gérmenes", incluidos en una solución de la misma composición que la piedra que se desea formar y se denominan reconstituidas.

Las sustancias biogénicas y compuestos químicos producidos por procesos biológicos, sin componentes geológicos (cristales de oxalato en plantas, conchas marinas de moluscos) no son reconocidos como minerales. Pero si hay procesos geológicos que intervienen en la génesis de un compuesto, estos sí son aceptados como minerales.

Dada la importancia de los minerales, el origen de la Mineralogía se remonta a la Prehistoria. Uno de los primeros libros sobre "Piedras" fue escrito por el filósofo griego Theophrastus (372-287 aC) pero es con el Renacimiento Europeo que se nota un mayor interés científico y tecnológico apareciendo una obra clásica sobre minerales, escrita por un experto en minas alemán, Agricola, titulado "De Re Metallica" (1556) que después se tradujo al inglés. En 1669, Nicolaus Steno, demuestra que los ángulos interfaciales de los cristales de cuarzo eran constantes, independientemente del desarrollo y formas de sus caras. Esto constituye la ley de los ángulos diedros y el inicio del estudio cristalográfico de los minerales.

En 1784, el abate francés J. Hauy, emite su hipótesis de que los cristales estarían formados por agregación de unidades estructurales idénticas, que denominó "moléculas integrantes".

En 1815, Cordier, inicia el estudio de minerales triturados y sumergidos en agua bajo el microscopio. Estas investigaciones en el campo de la óptica sufren un impulso en 1828 cuando Nicol inventa el polarizador, permitiendo la investigación sistemática de los minerales en base a sus propiedades ópticas, método ampliamente usado en la actualidad.

Entre 1830 y 1912, los trabajos consisten fundamentalmente en las determinaciones ópticas de los minerales. Es en 1912, en que se produce un gran evento con la demostración de Von Laue, quien descubre que los cristales difractan los Rx y que la interpretación de los diagramas de difracción, pueden dar la ubicación exacta de los átomos en el cristal. Los mineralogistas limitados hasta esa época a estudiar los minerales en base a la química, las propiedades ópticas, físicas y la forma externa de los cristales, pueden ahora investigar la estructura interna; a partir de este año cientos de estructuras han sido determinadas, los avances en los equipos han hecho posible mayores y más profundas investigaciones. Los Rx permiten determinar la estructura precisa de los cristales.

El uso de los minerales por el hombre día a día reviste mayor importancia y la expansión científica e industrial requiere cada día mayores volúmenes de minerales para los procesos tecnológicos. Es así como los primeros minerales utilizados como ser las arcillas para cerámica, óxidos de hierro y manganeso para pinturas, plata, oro y cobre para utensilios y adornos, etc., con el transcurso del tiempo se le agrega un gama de minerales útiles sobre todo para la obtención de metales; los minerales son la base de numerosas industrias. Existe una rama de la mineralogía dedicada exclusivamente al estudio económico de los minerales.

***CRISTALOGRAFÍA:** es la rama de la mineralogía que se ocupa del estudio de los cristales.

CRISTAL es un sólido limitado por caras planas naturales, que son la expresión externa de la disposición atómica regular interior. Los cristales en general se forman a partir de soluciones, las cuales lentamente van precipitando bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Estas sustancias contienen uno o más componentes químicos o fases, que se depositan regularmente constituyendo el retículo cristalino. El tamaño de los cristales es variado ya que existen desde submicroscópicos hasta alcanzar metros de tamaño como es el caso del berilo (en Rusia, una mina de berilo se explotó en un solo cristal).

En la definición de cristal existe un requerimiento fundamental que es la disposición de los átomos-iones, para formar ese cristal. Hauy fue el primero que sugirió que los cristales tenían esta disposición regular de sus elementos, lo cual fue comprobado recién con la aparición del método de Difracción de Rayos X, ya que permite medir las dimensiones absolutas de las celdas de los minerales.

La expresión más simple de la disposición regular es la disposición en una fila de un átomo al lado de otro con un período "c" de identidad característico; estas filas de átomos, infinitas, se repiten sucesivamente en las tres dimensiones constituyendo la estructura atómica de los minerales; en esta disposición se pueden ubicar átomos AB alternadamente como ABC o ABCD o ABACD, etc.

Los cristales pueden ser:

***EUEDRALES:** cuando presentan todas sus caras bien desarrolladas

***SUBEDRALES:** presentan parte de sus caras desarrolladas

***ANEDRALES:** no presentan caras

Para clasificar estos cristales se utilizan tres tipos de elementos :

1.- **Elementos geométricos:** caras, aristas y vértices

2.- **Elementos de simetría:** repetición regular de los elementos de un cristal. Son elementos direccionales que cumplen condiciones de simetría determinadas por el ordenamiento interno de los átomos. Éstos son: ejes, planos y centros de simetría.

Estas disposiciones atómicas están vinculadas con elementos de simetría simples y compuestos.

Dentro de los elementos de simetría simple tenemos los planos (m) que tienen la propiedad de reproducir un motivo determinado exactamente similar del lado opuesto, es decir, una imagen especular.

Los ejes, que se representan con números pueden ser de orden 2 – 3 – 4 – 6 y reproducen por giro de 360° sobre los mismos, motivos idénticos, ya sea cada 180°, 120°, 90° o 60° y el centro de simetría es equivalente a un eje de retroinversión.

Bravais, 1850, demostró la existencia de 14 redes o paralelepípedos fundamentales.

Existen sistemas cristalinos que se subdividen en clases, de menor a mayor complejidad, conformando 32 clases de simetría que se agrupan en 7 sistemas cristalinos definidos por sus elementos de simetría y a su vez constituyen 3 grupos según su cruz axial.

Isométrico

*Cúbico o Isométrico con 5 clases

Dimétrico

*Tetragonal con 7 clases

*Trigonal o Romboédrico con 5 clases

*Hexagonal con 7 clases

Trimétrico

*Rómbico con 3 clases

*Triclínico, con 2 clases

Estos sistemas con sus clases están caracterizados por los elementos de simetría obligatoria de cada uno de ellos.

La orientación de los cristales se hace en relación a los ejes de la cruz axial. Los ejes se denominan a, b y c; los ángulos α , β y γ .

*En el sistema cúbico, la cruz axial tiene: $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

*En el sistema tetragonal, la cruz axial tiene: $a=b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

*En el trigonal y hexagonal hay un eje más, el d y por ende un ángulo más, δ . Aquí la cruz es: $a=b=d\neq c$; $\alpha=\beta=\delta=90^\circ$ con respecto a γ , pero ellos entre sí tienen 120° .

*En el rómbico los 3 ejes son de diferente magnitud, y los ángulos se mantienen a 90° .

*En el monoclinico, los 3 ejes son diferentes, el ángulo β es mayor de 90° y los otros 2 miden 90° .

*En el sistema triclínico los 3 ejes y los 3 ángulos tiene valores desiguales.

Para el estudio de los cristales se utiliza la proyección estereográfica, que consiste en representar en una red todos los elementos morfológicos y de simetría de un cristal. Sobre esta red se pueden realizar mediciones exactas y cálculos cristalográficos. Estas proyecciones permiten determinar con facilidad índices de las caras, zonas, ángulos interfaciales, etc.

La notación de las caras de un cristal se realiza por medio de índices (números sencillos) entre los cuales el más divulgado es el de Miller (índices de Miller). Por ej: el índice (110) nos dice que la cara del cristal corta a los ejes a y b, y es paralela al eje c.

De la misma forma existen también, sistemas de notación para las zonas; el índice de Zona (001) quiere decir que el eje de zona es paralelo a c.

Externamente se puede realizar la medición de los ángulos interfaciales de los cristales con goniómetros de contacto, o goniómetros más complicados de reflexión.

Es común que los cristales se encuentren formando asociaciones entre las cuales son de destacar las **maclas**. Una **MACLA** consiste en una parte del cristal que se relaciona con otra de la misma composición, ya sea por un plano o un eje de macla. Es común en los feldespatos; así por ej, las plagioclasas tienen lo que se denomina macla polisintética o macla de albita, y la ortosa macla de Carlsbad.

Se produce por la cristalización conjunta de 2 o más cristales según una ley de simetría definida, por lo tanto, es la agrupación regular de 2 o más cristales según ciertas leyes en determinada posición.

3.- **Elementos cristalográficos:** sirven para ubicar un cuerpo en el espacio y para esto se utilizan una terna de ejes cristalográficos que denominamos cruz axial.

***ASPECTO DE LOS CRISTALES:** de acuerdo a la forma en que se agrupan los cristales, van a presentar distinto aspecto exterior, de acuerdo a que predomine 1, 2 o 3 direcciones.

1.- **Columnares, fibrosos o aciculares:** desarrollo en una sola dirección. Talco

2.- **Tabulares, escamosos, laminares:** desarrollo en 2 direcciones, indicado por espesores decrecientes. Mica

3.- **Granulosos:** igual desarrollo en todas direcciones. Wolframita

Si alguno de estos aspectos de los cristales es el más característico o predominante se dice que es el hábito de dicho mineral.

***AGREGADOS CRISTALINOS:** salvo raras ocasiones, los cristales no se presentan aislados en la naturaleza, sino que forman asociaciones que podemos agrupar en:

1.- **Agregados poliminerale:** integrado por varios minerales de diferente composición. Ej: granito (mica, feldespato y cuarzo)..

2.- **Agregados monominerale:** compuesto por granos cristalinos de un solo mineral y dentro de éstos podemos encontrar:

a.- **Asociaciones irregulare:** no tienen leyes para agruparse y la mayoría de las veces no presentan relaciones geométricas o cristalográficas entre sí. Forman drusas (individuos asentados sobre una superficie plana o convexa), geodas (similar a la anterior, pero asentada sobre una superficie cóncava).

b.- **Asociaciones regular:** como las maclas que es la asociación regular de cristales de una misma especie, cuyos individuos se relacionan entre sí de un modo cristalográficamente determinado mediante las "leyes de macla". Por ejemplo se puede suponer 2 cristales, uno de los cuales giró con respecto al otro 180° por el eje c o se refleja en un plano externo. Se pueden reconocer por la formación de ángulos entrantes que no existen en cristales únicos. Determinados tipos de maclas pueden ser característicos de un grupo de minerales como lo son las maclas polisintéticas de las plagioclasas.

c.- **Agregados paralelos:** los cristales se asocian en perfecto paralelismo, quedando por consecuencia sus elementos de simetría paralelos, pudiéndose considerar como un solo cristal. Pueden presentar caras estriadas, motivado por la alternancia de las caras de los individuos que la componen.

Pueden extenderse en la dirección de algunos de los ejes de simetría tomando aspecto arborescente (agregados dendríticos).

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

Las propiedades físicas de los minerales tienen estrecha relación con la estructura cristalina y la composición química de los mismos. El uso industrial de los minerales depende fundamentalmente de sus propiedades físicas; por ej, la elevada dureza del diamante hace que éste sea altamente abrasivo; las propiedades piezoeléctricas del cuarzo hacen que este mineral se utilice en electrónica, etc.. Finalmente podemos decir que las propiedades físicas permiten la identificación de los minerales y es la primera determinación que se hace sobre ellos. A veces, por sí sola, alguna de ellas permite identificar al mineral. Veremos a continuación las propiedades físicas más importantes.

Una primera división se puede hacer en función de aquellas propiedades que dependen de la dirección, propiedades vectoriales: eléctricas, térmicas, ópticas, magnéticas y aquellas que no dependen de la dirección, propiedades escalares: peso específico, calor de fusión.

También se consideran aquellas propiedades que responden a:

1.- Propiedades que dependen de la **luz**: color, brillo, transparencia, fosforescencia, fluorescencia.

2.- Propiedades **sensoriales**: sabor, olor, tacto.

3.- Propiedades que dependen de la **estructura**: dureza, clivaje, fractura, tenacidad.

4.- **Peso específico**

5.- Propiedades que dependen del calor: magnetismo, electricidad y radiactividad.

***COLOR:** el color de un mineral es una de las propiedades más llamativas e importantes y se pueden distinguir los minerales idiocromáticos que son los que tienen un color constante y característico propio del mineral y los alocromáticos cuyo color es variable. El color es una de las propiedades físicas más características y útiles para el diagnóstico de un mineral, está relacionado con la composición química y el contenido de elementos tales como el Fe, Ti, V, Cr, Cu entre otros, denominados cromóforos, que son los que dan distintos colores a los minerales. Está asociado a la absorción diferencial de las longitudes de onda componentes de la luz blanca por parte del mineral, o sea, es la reflexión de las longitudes de onda no absorbidas por éste.

Por ejemplo, un mineral es negro cuando absorbe todas las longitudes de onda, blanco cuando refleja todas y verde cuando refleja sólo la longitud correspondiente al verde.

Los minerales que tienen más de un color, ejemplos: blenda, el zinc es reemplazado por hierro y pasan de amarillentas a castañas hasta negras. El cuarzo por impurezas pasa de transparente a lechoso por inclusión de gases a rosado por presencia de hierro.

***RAYA.** Lo mismo sucede con el color del polvo fino que es la raya del mineral. El mineral puede presentar coloraciones variadas, pero el color del polvo siempre es el mismo. Por ejemplo las variedades del cuarzo pueden ser blancas, violetas, rosadas, pero el polvo siempre es blanco. Es un índice diagnóstico más constante.

Una forma rápida de obtener el color del polvo del mineral es rayarlo contra una superficie plana, blanca, áspera y dura donde quedará impresa la huella (raya) con el color característico del mineral.

***BRILLO:** la luz que incide en un mineral se refleja y la impresión de esta reflexión es lo que se denomina brillo del mineral. El brillo está vinculado con el índice de refracción del mineral y es un valor diagnóstico; así se conoce el brillo vítreo (la mayoría de los minerales transparentes, cuarzo, granate, fluorita), adamantino (diamante, rutilo), metálico (minerales con índice de refracción superior a 3, hematita, cuprita), nacarado (minerales transparentes y con muy buen clivaje, yeso, micas), sedoso (minerales con fibrosidad fina y paralela, baritina fibrosa) etc. Para una mejor observación del brillo se lo debe hacer, en lo posible sobre superficies planas, recientes y lo menos alteradas posibles.

***TRANSPARENCIA O DIAFANIDAD:** es la propiedad de dejar pasar la luz.

TRANSPARENTES: permite ver el contorno de un objeto a través de él. Cristal de roca, topacio.

TRANSLÚCIDOS: transmiten la luz pero no vemos el contorno. Esmeralda, cinabrio.

OPACOS: no permiten el paso de la luz. Pirita, grafito.

Para los minerales que permiten el paso de la luz se utiliza el microscopio petrográfico. Para los que son opacos se usa el microscopio calcográfico.

***LUMINISCENCIA:** la luminiscencia es usualmente producida por radiación sobre un mineral, generalmente se utiliza luz ultravioleta. Distinguimos la **fluorescencia** que es la emisión de luz durante el tiempo de irradiación solamente y la **fosforescencia** cuando la emisión de luz continúa después de producida la irradiación.

Es muy útil en la prospección de minerales con características fluorescentes tales como la schellita y algunos minerales de uranio.

***PROPIEDADES SENSORIALES:** a través del tacto, olor, sabor.

Ej: azufre por el olor, el talco es untuoso al tacto.

***DUREZA:** es una de las propiedades físicas más importantes, especialmente en lo que concierne a las propiedades diagnósticas de los minerales. Es el grado de resistencia que puede ofrecer un mineral cualquiera a los efectos mecánicos externos, en particular el rayado.

Ya en 1822, el mineralogista austriaco Mohs propuso una escala relativa de dureza para los minerales y que es la siguiente:

- 1-Talco
- 2-Yeso
- 3-Calcita
- 4-Fluorita
- 5-Apatito
- 6-Ortosa
- 7-Cuarzo
- 8-Topacio
- 9-Corindón
- 10-Diamante

Cada uno de estos minerales es rayado por el que sigue en la escala.

Otro método relativo de medir la dureza de los minerales es con la uña del dedo, cuya dureza se estima en 2.5 y con cortaplumas cuya dureza se estima en 5.5, un vidrio tiene una dureza de 5.6

La dureza de los minerales como las otras propiedades físicas se encuentra íntimamente ligada a la exposición atómica de los minerales, por lo tanto, la dureza depende de la dirección en se raye el mineral; por ej: la dureza de la cianita sobre un plano (100) es de 4.5 (dirección del eje c), y de 6.5 en la dirección del eje b.

En forma absoluta se puede determinar mediante ciertos aparatos, por ej. el **esclerómetro**. El grado de dureza se determina con facilidad o dificultad.

Por razones de practicidad se los puede agrupar en:

- a.- muy blandos: se rayan con la uña: talco y yeso.
- b.- blandos: se rayan fácilmente con una punta de acero: calcita y Fluorita.
- c.- semiduros: se rayan dificultosamente con una punta de acero: apatita y ortosa, se los puede rayar con una punta de vidrio.
- d.- duros y muy duros: no se rayan ni con acero ni con vidrio, cuarzo, topacio, corindón y diamante.

***CLIVAJE Y FRACTURA:** el clivaje está relacionado con la estructura cristalina del mineral. En función de esta propiedad, el mineral se separa por planos lisos, paralelos a caras existentes o posibles caras del cristal, coincidentes con planos de elevada (planos de clivaje) densidad atómica y enlaces débiles en ciertas direcciones, por lo tanto es una propiedad vectorial. Desde muy perfecto como las micas, hasta imperfecto como es el caso de la apatita y el berilo. No todos los minerales poseen clivaje y el tamaño de los planos dependerá del tamaño de los cristales.

La fractura ocurre cuando el mineral se rompe sin relación con la estructura atómica. Hay minerales que siempre presentan fractura y otros siempre clivaje.

Existen distintos tipos de fracturas, tales como concoide, ganchuda, astillosa, irregular, etc.

Un mineral puede tener fractura y clivaje. También puede darse clivaje en una dirección y fractura en otra.

Son elementos distintivos de cada uno de los minerales.

***TENACIDAD:** resistencia que ofrece el mineral a ser roto (ruptura), molido (trituration), doblado (curvatura) o seccionado.

Existen los siguientes casos: elasticidad, flexibilidad, fragilidad, maleabilidad y selectibilidad.

En la identificación de las especies minerales es una propiedad de segundo orden, aunque pueden ser características de algunas de ellas.

***DENSIDAD:** la densidad (δ) de un mineral es la masa por la unidad de volumen y se expresa en g/cm^3 .

El **PESO ESPECÍFICO** (ρ) es la relación entre la densidad del mineral y la densidad del agua. También se puede expresar como la relación entre el peso del mineral por unidad de volumen.

Depende de la clase de átomos y de su empaquetamiento (ordenamiento atómico). El peso específico puede ser: alto, medio o bajo.

Los valores de densidad son variables, dependiendo fundamentalmente de la estructura y composición del mineral. Por ej: la tridimita tiene una densidad de 2.26, la aragonita 2.93, la wuiterita 4.31, la serucita 6.58.

En base al principio de la densidad se pueden realizar separaciones o concentraciones de minerales en livianos y pesados, utilizando por ej el bromoformo, líquido con una densidad de 2.9.

También se pueden realizar mezclas de líquidos de acuerdo a la densidad que se desea utilizar.

***MAGNETISMO:** es la propiedad que tienen los minerales de ser atraídos por un imán.

Son minerales magnéticos, principalmente los que contienen hierro, tales como la magnetita, la pirrotina y otros. Los minerales en su gran mayoría tienen lo que se denomina una susceptibilidad magnética la cual es aprovechada para realizar la separación de los mismos para su enriquecimiento; inclusive se utiliza mucho en la prospección geofísica a través de magnetómetros. Se distinguen minerales diamagnéticos que son ligeramente repelidos por un imán, y paramagnéticos que son ligeramente atraídos por un imán.

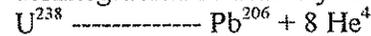
***PROPIEDADES ELÉCTRICAS:** de acuerdo con las propiedades eléctricas los minerales pueden ser divididos en 2 grupos: los conductores y los no conductores. Los primeros en general son de tipo metálico.

En el grupo de los minerales no conductores es posible inducir cargas eléctricas por cambios en la temperatura (piroelectricidad) o ejerciendo presión sobre los minerales (piezoelectricidad). Esta última se puede observar en cristales de turmalina, en azufre y en óxido de plomo.

Entre los minerales piezoeléctricos se encuentran cristales de cuarzo, los cuales cortados en determinadas direcciones cristalográficas son utilizados en electrónica.

***RADIOACTIVIDAD:** la radioactividad de los minerales está vinculada a la presencia de uranio y torio principalmente en su composición. Como es sabido, los átomos de uranio y torio se desintegran espontáneamente, acompañada por la emisión de 3 tipos de radiación: radiación α que consiste en núcleos de He cargados positivamente, radiación β que consiste en electrones cargados negativamente y la radiación γ que tiene la naturaleza de los rayos X.

La radiación es detectable con contadores Geiger o Cintilómetros. El producto final de la desintegración de uranio y torio es el plomo según la ecuación siguiente:



Este proceso hace posible la datación (obtención de edades) de las rocas.

***POLIMORFISMO E ISOMORFISMO:**

Existen en la naturaleza distintas sustancias que tienen la misma estructura cristalina y composiciones químicas semejantes, pero que varían dentro de ciertos límites. Conceptos de suma importancia en la cristalografía de los minerales.

Compuestos por átomos e iones con radio y polaridad análogas, en la estructura e implícitamente en su estructura cristalina, lo que les permite intercambiarse, dando cristales mixtos en todas las proporciones o en proporciones limitadas, estas son las sustancias llamadas **ISOMORFAS**. Ej es la ALBITA (Na) y la ANORTITA (Ca) – que son los extremos de la serie de las **PLAGIOCLASAS**. Cristalizan en el sistema triclinico. O sea, tienen la misma estructura cristalina pero presentan variaciones en la composición química, dando compuestos puros en los extremos como límites.

POLIMORFISMO es la capacidad que tienen ciertas sustancias de experimentar cambios – modificaciones – en su estructura cristalina. Son sustancias que poseen igual composición

química y estructuras cristalinas diferentes por lo que se consideran especies minerales distintas.

Ej:

CO₃Ca ----- CALCITA, trigonal
----- ARAGONITA, rómbica

C ----- GRAFITO, hexagonal
----- DIAMANTE, cúbico

Para realizar análisis microscópicos de mayor precisión tenemos: microscopio petrográfico y calcográfico, la balanza de Jolly, el picnómetro (para determinar pesos específicos).

Para determinaciones a través de propiedades químicas tenemos los ensayos por vía seca o pirométricos, no siendo necesarias diluciones. Y ensayos por vía húmeda que requieren ácidos, álcalis y reactivos específicos.

***Por vía seca,** tenemos: soplete, mechero Bunsen con boquilla, una lamparilla de alcohol o una vela. Una placa de acero sirve de yunque. Un martillo pequeño, un mortero pequeño, preferentemente de ágata. Bloques de carbón. Placas de yeso. Pinzas. Alambre de platino. Imán de herradura o de barra. Filtros de colores tipo Merwin. Tubos de vidrio. Lima (triángulo). Papel de tomasol. Papel de cúrcuma. Tetraborato sódico (bórax). Fosfato sodaamónico (sal microcósmica). Carbonato sódico. Fundente de von Kobell (yoduro potásico y azufre). Solución de nitrato de cobalto. Trazos pequeños de papel de estaño.

***Vía húmeda:** ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico. Hidróxido de sodio, hidróxido de amonio. Solución de cloruro bórico. Solución de nitrato de plata. Solución de molibdato amónico. Solución de oxalato amónico. Tubos de ensayo. Cápsulas de evaporación. Embudos. Papel de filtro.

***Análisis espectroquímico:** emisión de energía radiante específica que identifica al elemento emisor de dicha energía. Se realiza mediante un espectrógrafo, que consta de 3 partes principales: una fuente que suministra la energía para excitar al átomo; una que dispersa la energía radiante en sus partes componentes de distintas longitudes de onda – una rendija que dirige la energía hacia un prisma o red de difracción –; y por último una que registra las longitudes de onda con fines de identificación (película fotográfica o placa).

***Análisis de la gota:** método sencillo para reconocer los elementos químicos poniendo en contacto sobre un papel de filtro o una placa de porcelana una gota de solución a ensayar con una o dos de un reactivo apropiado.

MINERALOGÍA DETERMINATIVA

Se puede definir como la ciencia de identificar un mineral en base a sus propiedades físicas, químicas y ópticas.

La identificación de un mineral requiere cuidado, tiempo y experiencia. Una secuencia a los pasos a seguir sería la siguiente:

- a- determinación de la forma cristalina
- b- determinación del hábito de los agregados cristalinos.
- c- Tipo de clivaje y fractura
- d- Determinación de la dureza del mineral
- e- Tipo de brillo y color
- f- Color de la raya del mineral
- g- Determinación de la densidad del mineral
- h- Ensayos químicos

7

Cuando se han obtenido todos los resultados se puede confrontar en tablas para la identificación del mineral en base a los ensayos mencionados; además existen métodos más exactos de determinación como ser:

***ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL (ATD):** minerales que experimentan transformaciones a temperaturas que no exceden los 1200°C, se basa en los cambios que se producen en los minerales al ser sometidos a temperaturas crecientes. Es apropiado para minerales que absorben o liberan energía al ser calentados como consecuencia de transformaciones tales como deshidratación, oxidación, inversión, descomposición y cambios de fase. Los minerales de arcilla, carbonatos, óxidos hidratados y zeolitas son los más indicados para este método analítico. Cuando durante el experimento se produce liberación de calor, la reacción se denomina exotérmica. Por el contrario, cuando hay absorción de calor, la reacción se denomina endotérmica.

Por ej., la caolinita (una arcilla) presenta un pico endotérmico de deshidratación a los 600°C y un pico exotérmico en 1000°C que corresponde a la cristalización de corindón. Este tipo de ensayo tiene valor diagnóstico y tecnológico, ya que indica las temperaturas en que se producen los cambios en la estructura mineral. Otro método es el térmico ponderal, que básicamente registra la pérdida de peso con el incremento de la temperatura.

***DIFRACCIÓN DE RAYOS X:** los cuerpos cristalinos están constituidos por unidades dispuestos según modelos tridimensionales definidos y como el espaciamiento entre aquellos es del mismo orden de magnitud que las longitudes de onda de los RX, éstos serán difractados por las capas de dichas unidades. Cuando un átomo se encuentra en un campo de Rx, sus electrones vibran con la misma frecuencia que los rayos, absorben energía y la vuelven a emitir, proceso que se denomina difracción. El diagrama de difracción de una sustancia es característico de la misma, debido a la cual puede ser utilizado para la identificación de cuerpos cristalinos.

Se basa en la ecuación de Bragg, que dice que

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

donde n es un número entero de longitudes de onda; d es el espaciado de las familias de planos atómicos y θ el ángulo de difracción. En la ecuación se conoce λ (longitud de los rayos X para anticátodo de Cu: 1.54 Å, por ej) y θ se mide en las películas o diagramas que se obtienen. Esta ecuación nos permite calcular d , que es el espaciado interatómico de las familias de planos del mineral.

Los equipos de difracción de Rayos X y sus accesorios permiten realizar análisis sobre muestras molidas o en polvo, o sobre monocristales. Los valores de d y las intensidades nos permiten identificar el mineral en forma exacta, confrontando los valores con tablas que realiza el comité de estándares para Rayos X. En la actualidad existen 2300 especies minerales registradas.

El estudio detallado y completo con difracción de Rayos X permite determinar la estructura de los minerales.

Se aplica además, al estudio mineralógico métodos y equipos modernos como ser el microscopio electrónico, la microsonda, espectroscopia de infrarrojo, activación con neutrones, espectroscopia mosbauer, etc.

SISTEMÁTICA DE MINERALES

La unidad básica en la sistemática de los minerales es la especie. Una especie mineral es *una sustancia natural, homogénea, de origen inorgánico, con una composición química definida, que posee propiedades físicas características y normalmente cristalina.*

A través del tiempo, las clasificaciones mineralógicas se habían hecho en base a distintos conceptos como las propiedades físicas de los minerales, su forma externa o sus yacimientos.

Modernamente, a partir del estudio de sus propiedades químicas y principalmente de las estructuras cristalinas se ha dado a la cristalografía la base de la clasificación de las especies minerales.

El criterio para la clasificación de los minerales, según STRUNZ, es la estructura cristalina y la composición química; se los divide en las siguientes clases:

- 1.- Elementos nativos y sus aleaciones
- 2.- Sulfuros, seleniuros, telurios, arseniuros
- 3.- Halogenuros
- 4.- Óxidos e hidróxidos
- 5.- Nitratos, carbonatos y boratos
- 6.- Sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos
- 7.- Fosfatos, arseniados y vanadatos
- 8.- Silicatos
- 9.- Sustancias orgánicas: oxalatos, melatos, ámbar

1-Elementos nativos (oro, plata, cobre, azufre, carbón). En la corteza algunos minerales se encuentran conformados sólo por elementos de la tabla periódica, sin combinarse con otros. Pueden ser tanto metales como semimetales y no metales (metaloideos). Son unos 30 elementos, conformando menos del 0,1% de la corteza terrestre, eliminando el O y N. Se debe a su dificultad para combinarse con otros elementos o la acción favorable de un ambiente reductor.

Los metales son, en general, más bien blandos, maleables, buenos conductores del calor y electricidad, brillo metálico y alto peso específico. No son muy duros. La mayoría cristaliza en el sistema cúbico. Oro, plata, platino, cobre.

Los semimetales tienen baja dureza y buen clivaje, lo que los diferencia de los anteriores. Antimonio, arsénico, bismuto.

Los no metales no tienen propiedades generales comunes. Grafito, diamante, azufre.

2- Sulfuros y sulfosales. Comprende la mayoría de las menas minerales. Se incluyen telurios, seleniuros, arseniuros y antimoniuros. Son compuestos simples de azufre con metales o no metales, o compuestos dobles para el caso de las sulfosales, no oxigenados.

Aunque constituyen aproximadamente el 0,15% de la corteza terrestre, la importancia por el factor económico debido a la presencia de metales (zinc, plomo, plata, cobre). Se observan en yacimientos de origen hidrotermal.

Ejemplos: argentita Ag_2S , galena PbS , esfalerita ZnS , pirita FeS_2

Tiene alto peso específico, brillo metálico característico (raro adamantino como la blenda) y clivaje bueno. En general son opacos, con raya coloreada, conductividad eléctrica y térmica elevada. Dureza menor a 5, salvo la pirita.

3- Halogenuros. Son combinaciones de halógenos (Cl, Br, I, F) con metales y no metales livianos con enlaces iónicos.

Las combinaciones con cloro y flúor son las más abundantes. Los cloruros son los más abundantes y numerosos, aparecen principalmente como producto de la evaporación de antiguos mares o lagos salados, mientras que los fluoruros aparecen formados por condiciones endógenas (filones y pegmatitas)

En general tienen peso específico bajo a medio, brillo vítreo, incoloros o con colores claros alocromáticos y algunos de difícil disolución en agua.

Ejemplos: halita $NaCl$, silvita KCl , fluorita CaF_2 , criolita, carnalita

4- Óxidos e hidróxidos: Son combinaciones de metales y no metales con O_2 o con OH . Es una clase importante sobre todo en las capas superficiales de la corteza donde puede penetrar el O_2 libre de la atmósfera y oxidar las sustancias. En general tienen alto peso específico, colores oscuros y brillo metálico o mate.

Los que tienen enlace iónico tienen estructura cristalina firme lo que les da gran dureza, 6 a 9, elevada estabilidad química, baja solubilidad, alto punto de fusión.

Los hidratados con estructura estratificada, baja dureza y buen clivaje.

Muchos minerales son principalmente opacos, brillo semimetálico y algunos con propiedades magnéticas. Los compuestos de Al y Mg no tienen color o son alocromáticos, en cambio los de Fe, Cr, Mn tienen colores oscuros e intensos.

Ejemplos: cuprita Cu, magnetita Fe, hematita Fe, rutilo Ti, casiterita Sn, pirolusita Mn, uraninita U, bucita, bohemita Fe, manganita Mn, gibsita Al, etc

Nota: si bien el cuarzo es un óxido, debido a su estructura se lo ve junto con los silicatos.

5- **Carbonatos, nitratos y boratos.** Son combinaciones de los aniones CO_3^{2-} , NO_3^- y BO_3^- con cationes como Mg, Ca, Fe, Zn y Pb. En general tienen durezas cercanas a 3, brillo vítreo y muy buen clivaje.

Tratados con ácido producen CO_2 , con efervescencia.

Los nitratos son sales principalmente de Na y K.

Ejemplos: calcita Ca, siderita Fe, dolomita K, serucita Pb, whiterita Zn, kernita, borax, colemanita

6- **Sulfatos, cromatos, molibdatos y tungstatos (wolframatos)** Son sales correspondientes a los aniones SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , MoO_4^{2-} y WO_4^{2-} .

Los sulfatos son los más importantes y diversos, pero los estables son pocos. Sólo cuando se combinan con cationes grandes como Ba^{2+} , Sr^{2+} o Pb^{2+} .

Ejemplos: yeso Ca, anhidrita Ca, baritina Ba, wolframita Fe y Mn.

7- **Fosfatos** (xenotima, monacita, apatita, turquesa), **arseniatos**, **vanadatos** (carnotita, tyuyamunita). Sales correspondientes que resultan de la combinación de cationes pentavalentes que tienen gran afinidad con el O_2 libre de la naturaleza y se forman aniones trivalentes. No tienen características generales.

Ejemplos: apatita fosfato de calcio, triplita fosfato de hierro y manganeso.

8- **Silicatos.** Incluyen un elevado número de minerales alcanzando a totalizar un tercio de todas las especies conocidas. En la corteza se ha estimado que alrededor del 95% son silicatos. El predominio de los silicatos y aluminosilicatos reflejan la abundancia de oxígeno, sílice, y aluminio cuyos porcentajes son :

O: 47%; Si: 28%; Al: 8%.

Estudios detallados han determinado que el retículo cristalino está constituido por un tetraedro, en el que cada átomo de silicio se ubica en el centro y los oxígenos en los vértices. Con una estructura básica $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Estos tetraedros pueden estar aislados o combinados y de acuerdo a esto reconocemos las siguientes subclases

Nesosilicatos: constituidos por tetraedros independientes de SiO_4^{4-} 1:4; el mineral típico es la olivina de hierro y magnesio, granates

Sorosilicatos: constituidos por 2 tetraedros, conformando el grupo $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$ 2:7. Mineral típico es la hemimorfita $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{HO})_2\text{H}_2\text{O}$ y los epidotos que en realidad son una combinación de neso y sorosilicatos.

Ciclosilicatos: la unión de los tetraedros conforman un anillo; puede ser de 3, 4 o 6 tetraedros, ej el berilo $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, anillo de 6 tetraedros y la turmalina con Fe y B. La relación es 1:3 multiplicado por 3, 4 o 6 según corresponda.

Inosilicatos: constituyen cadenas, que pueden ser simples o dobles, coincidentes con el eje C. Anfíboles de cadenas dobles y piroxenos de cadenas simples. Los anfíboles presentan moléculas de agua en su composición.

Ejemplos: piroxenos Espodumeno de litio y aluminio, wollastonita de calcio. Anfíboles anfíbolita de hierro y magnesio, hornblenda

Filosilicatos: los tetraedros forman láminas planas. Comparten 3 de sus 4 oxígenos dando lugar a estas estructuras planas. La relación es 2:5.

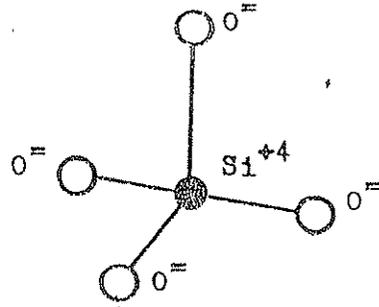
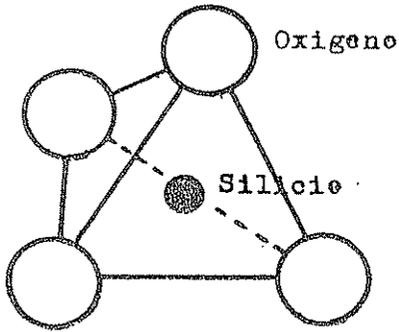
Ejemplo: las más importantes son la familia de las micas (moscovita de K y biotita de Fe y Mg) y arcillas. En general los radicales son sílicoaluminatos por la introducción de un átomo de aluminio en lugar de 1 de silicio.

Tectosilicatos: los tetraedros de sílice se ubican como si estuviese en las esquinas de una red tridimensional. Son muy complejos porque cada tetraedro comparte sus 4 oxígenos. La relación es 1:2. El cuarzo y la tridimita.

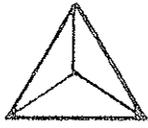
Hay 3 grupos importantes:

La familia de la sílice: con cuarzo, ópalo y calcedonia.

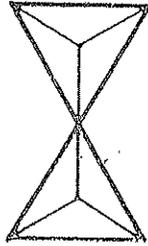
ESTRUCTURAS DE LOS SILICATOS



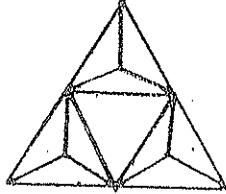
Das representaciones de la estructura íntima cristalina de los silicatos (SiO^{-4}).



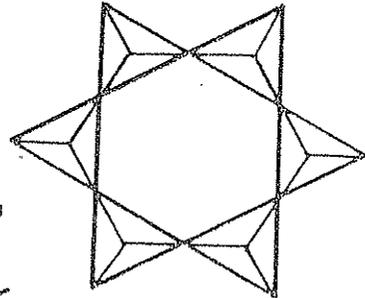
Nesosilicatos
(1:4)



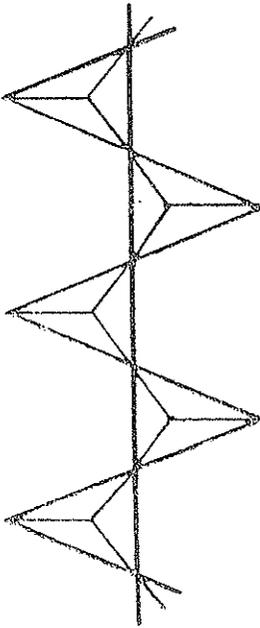
Sorosilicatos
(2:7)



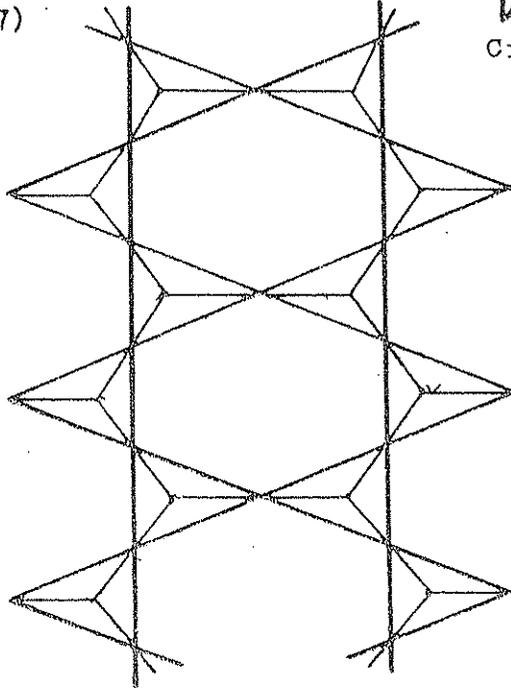
Ciclosilicatos
(1:3)



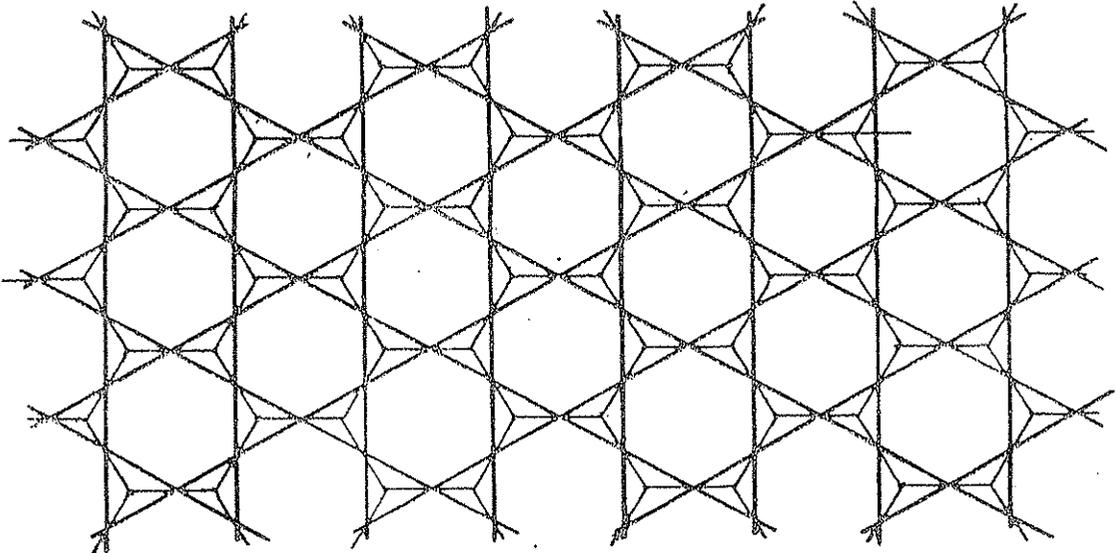
Ciclosilicatos
(1:3)



Izquierda: Inosilicatos cadena simple (1:3)



Derecha: Inosilicato cadena doble (4:11)



Abajo: Filosilicatos (2:5)

La familia de los feldespatos: dentro de éstos tenemos los potásicos o alcalinos como la ortosa u ortoclasa y los calcosódicos como las plagioclasas, las que forman una serie continua desde una extremo cálcico al sódico. Son muy abundantes en la naturaleza. En determinados climas tropicales la sílice de los feldespatos se puede lavar, eliminar o lixiviar formando las bauxitas. La familia de los feldespatoides: son aquellos que se forman en ambientes con deficiencias en sílice, leucita y nefelina.

