

Tema 3. La materia mineral y la materia cristalina. **Propiedades y métodos de estudio**

Primer Curso ESO Bloque II. Materiales terrestres: La corteza terrestre.
Tercer Curso. ESO Bloque I. Rocas y Minerales.
1º Bach.. Boque 3. Cristalización y ambientes petrogenéticos
2º Bach.. Optativa Geología. Bloque: Materia y energía de la Tierra

SUMARIO

3.1. Introducción

3.2. Estabilidad de un mineral

- 3.2.1. Radios iónicos y radios atómicos (Reglas de Pauling)**
- 3.2.2. Número de coordinación y poliedros de coordinación**
- 3.2.3. Tipos de coordinación**
- 3.2.4. Tipos de redes químico-estructurales**
- 3.2.5. Isomorfismo y Polimorfismo**

3.3. La materia cristalina

3.4. La estructura cristalina

- 3.4.1. Teoría reticular.**
- 3.4.2. Las redes de Bravais**

3.5. Las manifestaciones externas de la estructura íntima. Singonías cristalinas.

- 3.5.1. Principales formas cristalinas.**
- 3.5.2. Las singonías cristalinas. (Resumen)**
- 3.5.3. Los agregados cristalinos y las maclas**

3.6. Isotropía y Anisotropía mineral. Propiedades de los minerales derivadas de su estructura cristalina.

- 3.6.1. Propiedades vectoriales mecánicas**
- 3.6.2. Propiedades ópticas**
- 3.6.3. Propiedades escalares**
- 3.6.4. Otras propiedades**

3.7. Los métodos de investigación con rayos X y sus fundamentos

3.1. Introducción

La Geoquímica es la parte de la Geología encargada del estudio de la composición del planeta Tierra. Este estudio tropieza con notorias dificultades ya sean de métodos, procedimientos o medición.

Las evidencias directas nos permiten conocer la composición de la Hidrosfera (diferente en los distintos mares); las de la Atmósfera (variación de su composición con la altura). El conocimiento de las demás capas de la Tierra ofrece mayores dificultades. Proyectos como el Mohole nos han aportado evidencias directas puntuales de los primeros 20-30 Km. de la corteza oceánica.

En su concepto inicial la palabra mineral significó "lo que se saca de la tierra", condición que pervive en la definición actual pero que no es suficiente para caracterizarla, pues también se extraen de la tierra las rocas, los fósiles y la mayor parte de los objetos arqueológicos.

En la actualidad se mantiene en revisión el concepto científico de mineral considerando aceptable, aunque no definitiva, la siguiente definición, con pertinentes aclaraciones:

Los minerales son seres inertes, sólidos, inorgánicos y homogéneos que entran a formar parte de la corteza terrestre de una manera natural.

Inerte: carente de cualidades vitales pero no de actividad físico-química.

Sólido en las condiciones de Presión y Tª de la corteza. mercurio y hielo son casos discutibles.

Inorgánico: sin estructura de ser vivo o si la ha perdido si alguna vez la tuvo. El ordenamiento interno de las partículas no es exclusivo de la materia mineral, pues también lo presentan muchas sustancias orgánicas (urea, naftaleno, etc.), pero sí es característico de ella. A los sólidos naturales en estado amorfo (carbón, ámbar, ópalo, etc.) se les suele llamar mineraloides.

Homogéneo: desde el punto de vista estructural, químico y físico. Caso especial el estado amorfo.

La condición rígida de "**formar parte de la corteza terrestre**" es un convencionalismo que tiende a sujetar en un marco positivo la ciencia de los minerales, ya que es hipotético lo que hay debajo de la corteza o en los astros.

El requisito de haber sido formados de una manera **natural** elimina a las sustancias minerales fabricadas por artificios humanos.

Los principales procesos de formación de los minerales son los siguientes:

- Sublimación. Cristales de azufre a partir de fumarolas volcánicas y la formación de copos de nieve.
- Precipitación. Los cristales de sal común.
- Solidificación a partir de un fundido como en el caso de las lavas volcánicas o la formación de cristales de hielo.
- A partir de otro cristal por transformación en estado sólido, como por ejemplo, la transformación de minerales asociadas a procesos magmáticos y metamórficos.

3.2. Estabilidad de un mineral

Al ser los minerales compuestos químicos, hallamos en ellos los tipos de enlaces que la química ha encontrado. La manera como se unen estos átomos depende del número de electrones que poseen, de sus orbitales y de sus energías.

Estos enlaces pueden ser fuertes, como en el caso del diamante, o débiles, como en el Azufre. En general se clasifican como enlaces primarios y secundarios. Los primarios son los enlaces iónicos, covalentes y metálicos, mientras que los secundarios son moleculares (Van der Waals). En un mineral coexisten, normalmente más de un tipo de enlace. Cuando sólo tiene un tipo de enlace se le denomina Homodésmico (diamante, cobre), en caso contrario Heterodésmico (grafito)

Cuando un mineral cristaliza la estructura que adopta tiende a cumplir los siguientes principios:

1. **Principio fundamental de Cristaloquímica:** El nº total de iones de todas clases debe ser tal que el cristal en su conjunto sea eléctricamente neutro (n° de cargas $+$ = n° cargas $-$).
2. Los tomos tienden a colocarse del modo más denso posible, de forma que el menor espacio posible (**principio espacial**).
3. Consecuencia del principio anterior es que la estructura adquirida por la red tiende a ser la de mayor simetría posible (**principio de simetría**).

3.2.1. Radios iónicos y radios atómicos (Reglas de Pauling)

La mayoría de los minerales presentan enlace iónico, y sus aniones y cationes se organizan tridimensionalmente, existiendo diversos tipos de coordinación, según su radio iónico. Se le llama radio iónico al valor del radio de la esfera circunscrita a la envoltura externa del ión. El radio de los cationes es menor que el radio atómico y el de los aniones es mayor.

Reglas de Pauling:

1. Un grupo de aniones (poliedros de coordinación) se forma sobre cada catión. El número de coordinación está determinado por la relación crítica (Radio catiónico/Radio aniónico).
2. La fuerza total de los enlaces de valencia de todos los cationes del poliedro es igual a la carga total del anión en una estructura estable.
3. Los poliedros de una estructura tienden a no compartir ni aristas, o sea pares de aniones, ni caras, con otro poliedro ya que disminuiría la distancia de los cationes entre sí.
4. Si hay participación disminuye la estabilidad de la estructura (cationes de valencia alta y número de coordinación bajo pocas veces comparten entre sí elementos del poliedro, de hacerlo, los cationes se repelen entre sí).
5. En una estructura el número de clases de átomos diferentes tiende a ser pequeño (ley de la parquedad).

3.2.2. Número de coordinación y poliedros de coordinación

Al número de iones que rodea al de signo contrario se le llama **número de coordinación**, y la forma geométrica resultante se conoce como **poliedro de coordinación**. Para los cationes y aniones del mismo tamaño el nº de coordinación es 12.

Un poliedro de coordinación es estable cuando:

- a) Los cationes y los aniones se hallan tangentes.
- b) La distancia entre los centros de los aniones no es menor que su diámetro.
- c) Cada catión tiende a rodearse por el mayor número de aniones posible: por ello, cuando la diferencia entre el tamaño del catión y del anión decrece, el número de coordinación aumenta.

3.2.3. Tipos de coordinación

Del principio espacial (ver apartado 3.2.) se deduce que, dentro de una red cristalina, cada ión se rodea de tantos iones de signo contrario como permita su tamaño. Imaginando a los iones como esferas tangentes se puede comprobar que:

- Una esfera grande puede tener muchas esferas vecinas, pequeñas tangentes a ella.
- Si las vecinas son de tamaño aproximado al de la considerada su nº es menor.
- Si la esfera central es pequeña puede tener pocas vecinas grandes tangentes a ellas.

El nº de coordinación para las redes cristalinas mantenidas por enlaces iónico o covalentes puede ser 2 (coordinación lineal), 3 (triangular), 4 (tetraédrica), 6 (octaédrica), 8 (cúbica) y 12 (dodecaédrica), este último caso es más frecuente en el enlace metálico.

<i>R+/R-</i>	<i>Tipo de coordinación</i>
0'155	3 aniones en los vértices de un triángulo
0'225	4 aniones en los vértices de un tetraedro
0'414	6 aniones en los vértices de un octaedro
0'732	8 aniones en los vértices de un cubo
1	12 aniones en medio de la arista de un cubo

Cuando los poliedros se unen entre sí, según las tres direcciones del espacio, se obtiene otro tipo de estructura, que se denomina armazón tridimensional. La unión se realiza mediante enlaces covalentes. Ejemplo: los diferentes tipos de silicatos.

Además podemos encontrarnos con otros tipos de coordinación menos frecuentes:

- a) **Coordinación covalente:** Los átomos comparten electrones. Se trata de poliedros muy unidos, las esferas no son tangentes y el número máximo de coordinación es de cuatro (Tetraedro), lo que les proporciona singulares propiedades (ej. gran dureza). A veces se adaptan dos o más configuraciones de diferentes propiedades (grafito y diamante).
- b) **Coordinación residual** (enlaces residuales): Se suele presentar en presencia de otros tipos de enlaces además del residual (Ej. covalente). Los átomos se disponen asimétricamente por lo que hay concentraciones de cargas positivas en un punto y negativas en otro (dipolos). Estos dipolos se unen entre sí por débiles fuerzas electrostáticas lo que determina singulares propiedades físicas (Bajo punto de fusión, blandos, aislantes térmicos y eléctricos, etc.)

El **grado de empaquetamiento** viene determinado por la siguiente fórmula: $V = V_a + V_h$; V = Vol. celdilla; V_a = Vol. átomo; V_h = Vol. huecos

El máximo grado de empaquetamiento se da para un grado de coordinación de 12 ($V_h = 26\%$ de V). En el sistema cúbico y hexagonal $V_h = 30-35\%$ de V . Cuando $V_h \geq 50\%$ de V se trata de un empaquetamiento flojo. Los valores de P.I.U. (Periodos de Identidad unidad de una red) están directamente relacionados con el grado de empaquetamiento.

3.2.4. Tipos de redes químico-estructurales

Vienen determinadas por las clases de átomos que posee la red:

- a) Con una sola clase de átomos como son las del cobre (cúbica) o la del grafito (hexagonal).
- b) Con dos clases de átomos: Tipo Halita (Cúbica; Índice de coord. 6); Tipo Fluorita (Cúbica Coordinación: 8 Ca por 4 F); Tipo Corindón: Aluminio rodeado por 6 Oxígenos (Coordinación octaédrica), se trata de una estructura defectiva ya que deja huecos.
- c) Con tres clases de átomos:
 - I) Carbonatos: Calcita (romboédrica) CO_3Ca
 - II) Aragonito (Empaquetamiento hexagonal para el Ca y octaédrico para el anión CO_3^- . También CO_3Ca)
 - III) Silicatos. Tetraedros

3.2.5. Isomorfismo y Polimorfismo

a) Soluciones sólidas o Isomorfismo:

Normalmente la cristalización de un mineral en condiciones naturales se lleva a cabo a partir de soluciones complejas (agua del mar, magmas, etc.) en las que existen distintos iones. En estas condiciones se pueden producir sustituciones entre iones diferentes sin que se altere la estructura cristalina del mineral que se está formando, resultando así minerales que presentan variaciones en su composición. Por ejemplo, durante la formación de la forsterita (SiO_4Mg_2), el ión Mg^{++} puede ser sustituido por el ión Fe^{++} (ver tema 4 series de Bowen y 7 nesosilicatos), sin que se altere su estructura cristalina. Se forma así un mineral (**olivino**) que contiene iones de Mg^{++} y de Fe^{++} [$\text{SiO}_4(\text{MgFe})$], existiendo variedades ricas en Mg (forsterita) o en Fe (fayalita).

Esta mezcla íntima de dos sustancias sólidas citadas recibe el nombre de solución sólida o isomorfismo y son bastante frecuentes. Para que se den estas soluciones sólidas por sustitución iónico se requiere:

- a) que los radios de los iones que se sustituyen entre sí sean similares, y
- b) que las dos sustancias o variedades puras tengan el mismo tipo de estructura cristalina.

Durante mucho tiempo se creyó que cada sustancia cristalina quedaba caracterizada por una composición química y una estructura cristalina únicas para ella. Pero el estudio de minerales diversos demostró que existen casos de sustancias químicamente diferentes que poseen la misma estructura e incluso la misma forma externa. Se dice que esas sustancias son isomorfas y el término isomorfismo expresa este hecho. Se llama ISOTIPIA cuando existe una analogía química entre las dos sustancias isomorfas (Ej. ClNa y SPb) y HOMEOTIPIA cuando hay un cambio total en la fórmula (Ej. C y SZn).

Podemos distinguir diferentes tipos de Isomorfismo:

I) ISOMORFISMO ISOVALENTE:

Se produce por sustitución dentro de una estructura de un tipo de ión por otro distinto, pero de radio iónico similar (misma valencia o diferencia de radio $< 15\%$). Entre los cationes bivalentes que se pueden sustituir : Mg, Fe, Ni, Zn, Mn. Trivalentes (Fe, Cr, Al). Entre aniones monovalentes (Cl, Br) y bivalentes (S y Se). Ejemplos de minerales isomorfos isovalentes: Giobertita (CO_3Mg) y Siderita (CO_3Fe); Covellina (SCu) y Klockmanita (SeCu), Dolomita [$(\text{CO}_3)_2\text{Mg Ca}$] y Calcita (CO_3Ca). Se llama elemento vicariante al que entra en la estructura.

II) ISOMORFISMO HETEROVALENTE:

La sustitución se establece entre iones de diferente valencia. Las cargas se compensan con las de otros iones que entran en la estructura. Por ejemplo, la albita y la anortita (serie continua de Bowen) el sodio se sustituye por Calcio, de radio iónico muy parecido. Para que se verifique la neutralidad eléctrica simultáneamente se sustituye Si (4^+) por Al (3^+). Anortita y Albita son los extremos de una serie isomorfa, pues existen minerales de la misma estructura y todas las posibles composiciones químicas intermedias.

Otros ejemplos son los de la sustitución del SiO_4 (4^-) por AlO_4 (5^-) o la del PO_4 (3^-) por SO_4 (2^-). Se habla de mezclas isomorfas o disoluciones sólidas verdaderas cuando las dimensiones relativas y características físico-químicas son poco diferentes; se suelen dar a Presiones y Temperatura elevadas (Ej. Serie discontinua de Bowen).

La mezcla isomorfa deriva a desmezcla cuando varían las condiciones iniciales de Presión y Temperatura, como en el caso del $\text{Cl}(\text{Na,K}) \Rightarrow$ Halita y Silvina (CLK). Algunas sustancias que dan soluciones sólidas a temperaturas elevadas, cuando estas descienden dan lugar a o dos o más tipos de cristales (ESMITAMIENTO), como sucede con las Sanidinas (Silicatos aluminico potásicos) y la Albita (Silicato aluminico sódico) solubles, conjuntamente, en diferentes proporciones a 1000°C , y separándose a partir de los 600°C .

b) Polimorfismo:

Es el hecho que una sustancia química puede cristalizar en redes diferentes y cristales distintos. Los casos son frecuentes: el diamante, cúbico, es un polimorfo de grafito hexagonal. La calcita, trigonal, es polimorfa del aragonito, rómbico, y ambos son CO_3Ca .

Son Dimorfos la calcita y el aragonito.

Trimorfos: La Andalucita ($\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$) y la Silimanita (Al_2SiO_5) son rómbicas, y la Distena ($\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$), monoclinicas y típicas de los ambientes metamórficos.

Se pueden considerar Polimorfos a toda la serie de los Silicatos que son indicativos de las condiciones de P y T^a de formación de las rocas.

Los cristales polimorfos se forman en condiciones ambientales distintas. En cada ambiente, definido sobre todo por un intervalo de Presión y Temperatura, se produce un determinado tipo de red, que resulta estable. Al pasar al otro ambiente, el cristal modifica su red en otra estable en las nuevas condiciones. Se ha producido un cambio polimórfico, cosa que no ocurre en todos los minerales (Ej. Por variaciones de T^a la Blenda (cúbico) \Rightarrow Wurtzita (hexagonal) a 1020° Diamante \Rightarrow Grafito a 3000°. En general los aumentos de Presión provocan aumentos en el número de coordinación.

Otro factor que puede dar lugar a cambios de este tipo son las variaciones del pH (Ej. Pirita (cúbico) \Rightarrow Marcasita (rómbico) a pH ácido. También las impurezas pueden ser la causa (la transformación del Carbonato cálcico en Aragonito (Travertinos) debido a impurezas de estroncio.

Estas transformaciones pueden ser Bruscas o Heteromorfos o graduales u Homomorfos. La transformación, con frecuencia, es Irreversible o Monotropa (la del diamante en grafito), en otros casos puede ser reversible; en cualquier caso siempre suponen cambios en las propiedades físicas y químicas de los minerales.

A veces podemos hablar de **Pseudomorfismo** cuando se transforma la estructura interna y permanece la forma. La Paramorfosis de la Argentita (regular) en Acanita (monoclinica).

La Pseudomorfosis (doble falsa forma) consiste en la transformación de un mineral de forma determinada en otro de parecida composición conservando la forma del primer estado. (Pirita \Rightarrow Limonita; Galena \Rightarrow Cerusita; Malaquita \Rightarrow Azurita; Ortosa \Rightarrow Caolín).

3.3. La materia cristalina

Ordinariamente los minerales se presentan con formas irregulares, pero en ocasiones se pueden encontrar limitados por caras planas, como poliedros geométricos más o menos perfectos denominándose cristales: cubos u octaedros de pirita, octaedros de Fluorita, romboedros de calcita, dodecaedros de los granates, etc.

La misma estructura interna puede dar lugar a diferentes tipos de poliedros posibles. No obstante, hay que señalar que, la forma de un mineral puede estar condicionada por las condiciones de cristalización u otras posteriores: pérdida de forma poliédrica, por erosión, contacto entre distintos minerales durante la fase de cristalización que los hace crecer aprovechando los huecos o resquicios que encuentran, etc.

La tendencia a ordenarse periódicamente, los átomos, moléculas o iones, es lo natural en la materia mineral. La ordenación periódica tridimensional es la característica fundamental de la materia mineral cristalina y la base para la interpretación del resto de las propiedades que un mineral puede presentar.

Según hemos visto, en la situación cristalina, existen dos posibilidades:

- Que las especiales circunstancias de la formación del mineral no le hayan permitido manifestarse en formas poliédricas externas. Entonces se denomina situación **criptocristalina**, es decir, sólo perceptible, la ordenación, por métodos ópticos. Ej. Sílex.
- Que se muestre en formas poliédricas externas. En este caso se llama situación **fanero-cristalina o cristalizada**.

Los **Cristales** son los poliedros más o menos perfectos, recibiendo la denominación de **fenocristales** los que pueden observarse a simple vista, y microcristales a los que solo son visibles con el microscopio. Podemos, pues, definir un **Cristal como una porción de materia cristalina, que además se limita externamente por caras planas, que definen un poliedro**.

Según **Euler** (Teorema) en los cristales se cumple que $N^\circ \text{ Caras} + N^\circ \text{ Vértices} = N^\circ \text{ Aristas} + 2$

La **materia mineral amorfa** o Mineraloide se da cuando los elementos químicos que constituyen un mineral no están periódicamente ordenados. Se trata de una situación inestable y transitoria ya que la

materia mineral, siempre que se den las circunstancias favorables o adecuadas de T^a , Presión, espacio, tiempo y reposo, tiende a ordenarse buscando ahorro de energía. Como ejemplo de los pocos minerales amorfos podemos citar los de mercurio, ópalo, limonita, sepiolita, glauconita, colofana, etc.

Normalmente, los cristales naturales presentan las caras con desigual desarrollo y la única característica geométrica que se mantiene siempre constante (para cristales de la misma sustancia) es el valor de los ángulos diedros (**Ley de Stenon**: En los cristales de una misma sustancia mineral, a igualdad de presión y temperatura, son variables el número, clase y magnitud de las caras. Sin embargo, los ángulos que estas forman entre sí son siempre constantes. Goniómetro)

El estudio detallado de los cristales corresponde a una parte de la Geología denominada Cristalografía.

3.4. La estructura cristalina

El estudio de la estructura cristalina es fruto de la contribución de muchos científicos a través de la historia. Inicialmente la intuición de alguno de ellos, el estudio de algunas de las propiedades físicas (**Hüigens**, en el siglo XVII, estudiando la birrefringencia) y sobre todo los Rayos X fueron determinantes para el conocimiento de la estructura íntima de la materia mineral.

A **Haüy** (1743 - 1822) se le puede considerar como el padre de la moderna Cristalografía Científica según su hipótesis la forma externa de los cristales no era más que el resultado de la acumulación de Unidades Elementales.

Roëngen tratando de conocer el comportamiento de los rayos X y **Von Laüe** tratando de demostrar su naturaleza ondulatoria, hicieron incidir una haz de rayos X sobre un cristal de Berilo; la difracción de los rayos denotó que la estructura interna de estos cristales respondía a una simetría hexagonal de sus partículas (**Laüagrama**), confirmándose así la hipótesis de Haüy (la forma externa de los cristales es fruto de la ordenación interna de sus partículas y además que esas partículas eran moléculas, átomos o iones).

Hoy sabemos que el espacio cristalino es discontinuo, con separaciones definidas, y que las partículas materiales ocupan posiciones geométricas fijas.

3.4.1. Teoría reticular.

La forma geométrica de las caras de un cristal expresa como la materia cristalina se agrega o agrupa al crecer, pudiéndose afirmar que la disposición externa de estas caras está en relación con la estructura interna regular. Los cristales parecen ser edificios que se obtienen por repetición de una unidad estructural, aunque no se trate de los paralelepípedos sólidos que imaginaba Haüy.

La Teoría reticular establece que en una nube de puntos (partículas materiales) ordenados en el espacio se pueden concebir:

Fila reticular o línea de puntos: Alineación de partículas (nudos) con separación constante (periodos de identidad). La forman todas las partículas que se encuentran en la arista de un poliedro.

Red plana o Planos reticulares: Superficie constituida por todos los nudos que se encuentran en el mismo plano. Viene definida por dos traslaciones y el ángulo que forman entre sí. Hay cinco tipos:

$a = b$ $g = 90^\circ$ Cuadrado
 a^1 b g^1 90° Romboidal


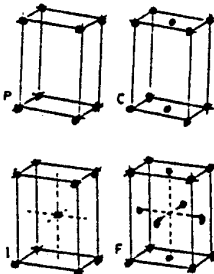
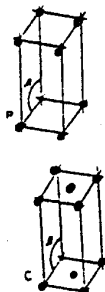
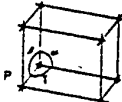
$a = b$ $g = 60^\circ$ Hexagonal
 $a = b$ g^1 90° Rómbica

a^1 b $g=90^\circ$ Rectangular

Red espacial: Formadas por superposición o apilamiento de las redes planas dando lugar a una tercera dimensión, que llamamos el vector c y también a unos ángulos β y α (formados por el vector c con los a y b respectivamente). Las redes son, por tanto, medios discontinuos, periódicos (separados por periodos de identidad), Homogéneos (todos los nudos son equivalentes) y Simétricos (distintas operaciones de simetría permiten hacer coincidir los nudos).

Para estudiar una red espacial se la refiere a tres ejes no coplanares que reúnan las siguientes condiciones: a) Ser coincidentes con las filas de puntos de la red; b) Los ejes coinciden con las filas de mayor densidad de nudos; y c) los ejes nos son siempre entre sí perpendiculares. Se trata de los **ejes cristalográficos**.

Cúbica	Tetragonal	Hexagonal
$a = b = c$ / $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$ / $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$ / $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$

Romboédrico o Trigonal	Rómbico	Monoclínico
$a = b = c / \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c / \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c / \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
		
	Triclínico	
	$a \neq b \neq c / \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	
		

3.4.2. Las redes de Bravais

Bravais definió 14 tipos de Redes espaciales y demostró matemáticamente en el siglo pasado que toda red que no pertenezca a uno de los 14 tipos indicados, no mantiene constante el espaciado de nudos de alguna fila, y por tanto no es una red cristalina. No existen más posibilidades de formar redes espaciales diferentes mediante el apilamiento de redes planas.

Estas redes de Bravais se pueden clasificar en **Primitivas**: Los nudos se localizan en los vértices del poliedro que sirve de base para su definición. Se designan con la letra **P**. **Centradas en las bases**: Nudos en los vértices y en el centro de las bases, se las simboliza como **C**. **Centradas en las caras**: Nudos en los vértices y en el centro de todas las caras, se las designa con la letra **F**. **Centradas en el interior**: Nudos en los vértices y en el centro geométrico del poliedro. Se simboliza como **I**.

REDES CÚBICAS = P, F, I

REDES TETRAGONALES = P, I

RED HEXAGONAL = C

RED TRIGONAL = P

REDES RÓMBICAS = P, C, F, I

REDES MONOCLÍNICAS = P, C

RED TRICLÍNICA = P

3.5. Las manifestaciones externas de la estructura íntima. Singonías cristalinas.

Dada la considerable extensión de este tema, omitimos la descripción del concepto de simetría y de los distintos elementos de simetría por considerar sencillo acceder a su información.

3.5.1. Principales formas cristalinas.

Los índices de Miller son los símbolos cristalográficos más utilizados para referirse a los planos cristalinos (caras). Si un plano sólo corta a un eje se representa (001), (010) ó (001), según corte al eje a, b o c; si corta a dos ejes los índices de Miller serán (110), (101), ó (011); los planos que sean cortados por los tres ejes se representan (111). Cuando el plano corta al eje en sentido negativo se representa con el signo “-” encima del número.

Son el conjunto de caras que se puede obtener de una primitiva, por aplicación de algún elemento de simetría.

Si el poliedro puede construirse a partir de una sola cara, todas sus caras serán iguales, y la forma se llamará cerrada (cubo).

Si el poliedro no se puede reconstruir a partir de una sola cara se llamará forma abierta. Pirámide, prisma.

Formas abiertas

Pedión. Forma que consta de una sola cara

Pinacoide. Dos caras paralelas

Domo. Dos caras no paralelas simétricas respecto a un plano.

Esfenoide. Dos caras no paralelas simétricas respecto a un eje binario

Prisma. Tres, 4, 6, 8 ó 12 caras simétricas y paralelas a un eje

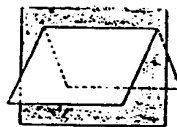
Pirámide. Tres, 4, 6, 8 ó 12 caras que se cortan en un punto



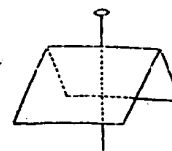
Pedión



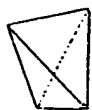
Pinacoide



Domo



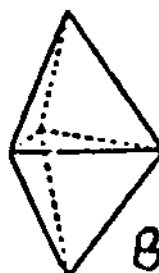
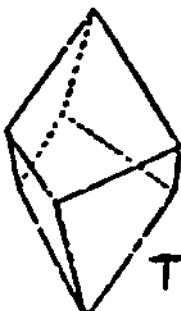
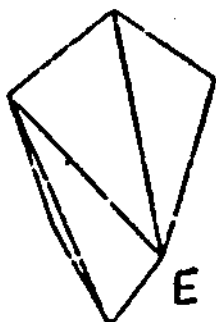
Esfenoide



Biesfenoide

Prisma trigonal

Pirámide trigonal



Escalenoedro. Ocho ó 12 caras agrupadas y simétricas

Bipirámide. Seis, 8, 12, 16 ó 24 caras

Trapezoedro. Seis, 8, 12 ó 24 caras, con 3, 4, 6 ó 12 caras superiores, giradas respecto a otras tantas inferiores.

3.5.2. Las singonías cristalinas. (Resumen)

singonías -sistemas	Formas típicas	parámetros	elementos de simetría característicos
Cúbica	cubo, octaedro, tetraedro, etc.	$a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$4C_3$
Tetragonal	prisma y pirámides tetragonales o tetragonales, trapezoedro, etc.	$a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	C_4 o C_2 derivado
Hexagonal	pirámides y prismas hexagonales o dihexagonales, escalenoedro, etc.	$a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 120^\circ$, $\gamma = 90^\circ$	C_6 o C_3 derivado
Trigonal	Romboedro, prisma trigonal, etc.	$a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	C_3
Rómbica	prisma, pirámide, esfenoide, etc.	$a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$3C_2$ o $3C_2'$
Monoclínico	prisma, pinacoide, etc.	$a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	C_2 o C_2'
Triclínico	pinacoides o pediones	$a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	C o nada

La nomenclatura de Hermann-Mauguin para los elementos de simetría es la siguiente:

- Eje de rotación senario = 6 Eje de rotación ternario = 3 Eje de inversión de orden 6 = $\bar{6}$
- Eje de inversión de orden 4 = $\bar{4}$ Plano de simetría = m Eje cuaternario \perp a un plano = 4/m
- Eje cuaternario coplanar a un plano de simetría = 4m
- Eje cuaternario con un plano perpendicular y otro coplanar = 4/mm

Como ya vimos, mediante estudios de rayos X, hay siete tipos de celdas fundamentales en función de sus constantes reticulares. Los cristales, mejor o peor formados, que se pueden formar al crecer las redes se agrupan en siete sistemas cristalinos o singonías, según las características simétricas que

poseen dichos cristales. Así, con sólo tener en cuenta los ejes de simetría, se agrupan de acuerdo a lo expuesto en el cuadro anterior.

Cualquier cristal que posea cualquiera de estas constantes de simetría queda incluido en la singonía correspondiente. Es como si el orden interior, producido por la celda unidad al ir creciendo y formar el cristal, se reflejara y condicionará las propiedades simétricas de dicho cristal. Se afirma, por tanto, que la relación entre la estructura interna de un cristal y su aspecto externo, es una relación de simetría (un cristal con cuatro ejes ternarios pertenece al sistema cúbico y su red es cúbica).

A su vez, cada uno de éstos sistemas se subdivide en un cierto número de grupos de simetría, ya que existen varios cristales que, aunque tengan la misma constante de simetría y por consiguiente la misma red, pueden presentar unas características simétricas distintas y, por tanto, serán de distinta clase de simetría aunque pertenezcan al mismo sistema.

Las clases de simetría son todas aquellas combinaciones reales o posibles de elementos de simetría. Cada sistema incluye un determinado número de combinaciones de elementos de simetría, es decir cristales de diferente simetría, y a cada una de dichas combinaciones se le denomina clase cristalina o clase de simetría.

Dentro de cada sistema la clase de máxima simetría se le llama **HOLOÉDRICA**. Al resto de clases se las llama **MEROÉDRICAS**.

LAS CLASES MEROÉDRICAS PUEDEN SER:

Hemiédrica. Tiene un nº intermedio de elementos de simetría.

Tetartoédrica: Contiene el menor nº de elementos de simetría.

Enantiomórfica: Sólo contiene ejes de simetría.

Hemimórfica: Con planos y sin centro de simetría.

Paramórfica: con centro de simetría.

A título de ejemplo citamos las 32 clases de simetría de cada sistema, contrastarlas con el cuadro anterior:

SISTEMA TRICLÍNICO:

Clase 1. Asimétrica, triclínica pedial. Sin simetría

Clase 2. Pinacoidal triclínica. Un centro de simetría.

SISTEMA MONOCLÍNICO:

Clase 2. Monoclínica esfenoidal. Un eje binario

Clase m. Monoclínica domática. Un plano de simetría.

Clase 2/m. Monoclínica prismática. Un eje binario perpendicular al plano. También tiene centro.

SISTEMA RÓMBICO:

Clase mm. Ortorrómbica piramidal. Dos planos de simetría formando ángulos rectos y cortándose según un eje binario.

Clase 222. Esfenoidal rómbica. Tres ejes binarios perpendiculares.

Clase mmm. Bipiramidal rómbica. Tres planos de simetría cortándose en tres ejes binarios perpendiculares. Con centro.

SISTEMA TRIGONAL:

Clase 3. Trigonal piramidal. Un eje ternario sencillo.

Clase 3. Romboédrica. Un eje ternario de inversión, equivale a un eje ternario de rotación y centro.

Clase 3m. Ditrigonal piramidal. Tres planos verticales de simetría que se cortan según un eje ternario. Prisma trigonal, hexagonal, etc.

Clase 3m. Escalenoédrica ditrigonal. Tres ejes de simetría que se cortan según un eje ternario de inversión.

Clase 32. Trapezoédrica trigonal. Un eje ternario perpendicular a tres binarios.

SISTEMA TETRAGONAL:

Clase 4. Tetragonal piramidal. Sólo un eje cuaternario (pirámide)

Clase 4. Tetragonal esfenoidal. Un eje cuaternario de inversión.

Clase 4/m. Tetragonal bipiramidal. Eje cuaternario - al plano + centro

Clase 4mm. Ditetragonal piramidal. Dos parejas de planos, en ángulo recto, cortándose según un eje cuaternario.

Clase 42m. Tetragonal escalenoédrico. Dos planos de simetría en ángulos rectos, cortándose en un eje cuaternario de inversión y dos binarios.

Clase 42. Tetragonal trapezoédrica. Un eje cuaternario de giro y dos pares de binarios.

Clase 4mmm. Ditetragonal bipiramidal. Un eje cuaternario en la intersección de dos planos de simetría. Dos parejas de ejes binarios horizontales \perp a esos planos, un plano de simetría \perp al eje cuaternario.

SISTEMA HEXAGONAL:

Clase 6. Hexagonal piramidal. Sólo un eje senario.

Clase 6. Bipiramidal trigonal ($6 = 3/m$). Un eje senario de inversión equivalente a un eje senario perpendicular al plano.

Clase 6/m. Hexagonal bipiramidal. Un eje senario \perp plano, centro.

Clase 6mm. Dihexagonal piramidal. Un eje senario en la intersección de dos juegos de tres planos.

Clase 6m2. Bipiramidal ditrigonal. Eje senario de inversión, en la intersección de tres planos verticales (prisma trigonal)

Clase 62. Un eje senario \perp a seis binarios. Trapezoédrica hexagonal

Clase 6/mmm. Dihexagonal bipiramidal. Eje senario en la intersección de dos juegos de tres planos verticales, dos juegos de tres ejes binarios, plano perpendicular y centro.

SISTEMA CÚBICO:

Clase 23. Tetraédrica pentagonal dodecaédrica. Tres ejes binarios y 4 ternarios.

Clase m3. Diploédrica o Disdodecaédrica. Tres binarios en la intersección de tres planos mutuamente \perp , 4 ternarios y centro.

Clase 43m. Hexaquistetraédrica. Tres binarios, 4 ternarios y seis planos.

Clase 43. Giroédrica o Icositetraédrica pentagonal. Tres cuaternarios, 4 ternarios, 6 binarios.

Clase m3m. Hexaquisoctaédrica. Tres cuaternarios, 4 ternarios, 6 binarios, tres planos principales perpendiculares mutuamente, 6 planos secundarios y centro.

3.5.3. Los agregados cristalinos y las maclas

Aunque a las rocas se las considera agregados cristalinos, nosotros vamos a referirnos a los agregados homogéneos con un sólo tipo de cristal. Las maclas se consideran un caso particular de los agregados cristalinos; se producen cuando hay varios núcleos de crecimiento próximos y, por tanto, formando grupos de cristales. Otra definición de macla es la siguiente: reuniones de dos cristales iguales con orientación simétrica, de forma que se les puede hacer coincidir con el giro de uno de ellos alrededor del eje de macla, o por reflexión sobre el plano de macla. Los agregados cristalinos los podemos clasificar del siguiente modo:

Con respecto a la roca encajante

Geoda. Los cristales tapizan el interior (concavidad) de la roca. Ej. el cuarzo.

Drusa. Los cristales cubren el exterior (convexidad) de una roca. Ej. cuarzo, Barita.

Con respecto a los demás cristales:

Formas irregulares: Cristales sin forma geométrica definida. Ejemplos: **Fibrosos.** Cristales como hilos o fibras. Ej. amianto (tremolita); **Dendríticos:** Disposición similar a la de las dendritas de las neuronas. Ej. Psilomelana, pirolusita; **En roseta.** Agregados cristalinos que recuerdan a una flor. Ej. Yeso

Formas Regulares. Cristales con forma geométrica:

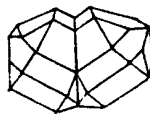
Paralelos. Aristas y caras son paralelas entre sí. Ej. Cuarzo. **Uniáxicos.** Si poseen una arista o cara en común. Ej. Barita.

Maclas o biáxicos. Se producen cuando dos o más cristales, de un mismo mineral, crecen conjuntamente de acuerdo con una ley, de forma que ciertas direcciones reticulares son paralelas. Poseen simetría externa que se llama ley de macla (plano o un eje de macla).

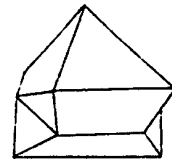
Maclas de complemento: si se trata de dos cristales: De **yuxtaposición** si los dos cristales están pegados o unidos por un plano. Ej. Yeso punta de flecha, macla pico de estaño de la casiterita, macla de la espinela, etc.;



Yeso punta de flecha

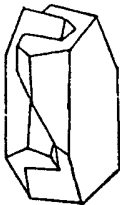


macla pico de estaño de la casiterita

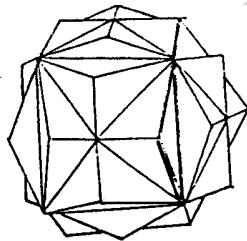


macla de la espinela

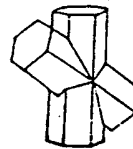
De **competración.** Si la unión entre los cristales es tan íntima, que no se pueden delimitar cada uno de ellos. Ej. Macla de la Ortosa, cruz de hierro de la pirita, cruz de la estauroлита, macla de la fluorita, etc.



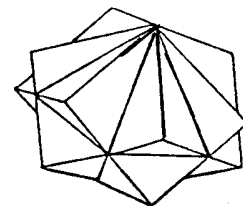
Macla de Ortosa



cruz de hierro de pirita



cruz de estauroлита



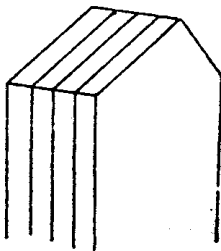
macla de fluorita

Maclas múltiples: si se trata de la unión de tres o más cristales:

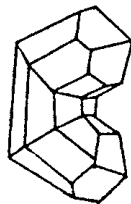
Polisintéticas. Cristales paralelos sólo visibles al microscopio petrográfico. Ej. Plagioclasas (albita).

Centradas. Los cristales se disponen girados alrededor de un punto teórico central. (rutilo).

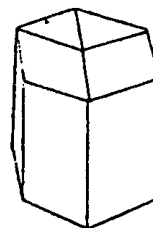
Miméticas. Si los cristales dan la impresión de formar un solo cristal de simetría superior (aragonito).



albita



rutilo



aragonito

3.6. Isotropía y Anisotropía mineral. Propiedades de los minerales derivadas de su estructura cristalina.

Como consecuencia de la estructura interna, es decir según la disposición espacial de sus nudos o partículas materiales, y de su composición química, los cristales pueden presentar distintas propiedades como respuestas a diferentes acciones a las que se los somete (mecánicas, lumínicas, caloríficas,...). Su estudio y comprobación nos permite, entre otros, elaborar técnicas de identificación de los mismos.

Decimos que un mineral es **Isótropo** (idóneo) cuando sus propiedades no varían con la dirección en la que se comprueban. La materia amorfa es isótropa para todas las propiedades físicas. La materia cristalina Cúbica también lo es para casi todas (excepto la exfoliación), el resto lo son solo para alguna de sus propiedades físicas.

En los **Anisótropos** las propiedades sí varían con la dirección. Ej. la Distena con respecto a la dureza, La galena con respecto a la exfoliación, etc.

Isotropía y Anisotropía son inherentes a la disposición interna de las partículas materiales de un mineral.

La forma y las propiedades físicas de los minerales constituyen un elemento muy útil para su reconocimiento. Algunas de las propiedades son observables a simple vista, otras requieren sencillas medidas y, finalmente, hay otras que requieren un instrumental más complejo y costoso.

Entre las propiedades que pueden presentar los minerales, las hay que varían según la dirección en la que se les considere (**VECTORIALES**), entre ellas están la dureza, exfoliación, color, brillo, etc. Estas propiedades pueden ser de dos tipos: continuas y discontinuas. Las continuas están íntimamente ligadas a la simetría del cristal (dureza, propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas, etc.); las discontinuas se presentan en determinadas direcciones (exfoliación, fractura)

Otras propiedades son independientes de la dirección que se considere (**ESCALARES**), como la densidad, el calor específico, etc. Estas propiedades escalares dependen exclusivamente de la estructura y de la naturaleza química del mineral (Ej. minerales como la calcita y el aragonito con distinta densidad e igual composición; y la galena y el diamante con distinta composición y la misma red).

Con frecuencia no es fácil detectar la variación de las propiedades vectoriales según la dirección, como sucede con la birrefringencia, que la poseen muchos minerales ópticamente Anisótropos y en cambio sólo se observa en contados ejemplos (Calcita en la variedad de espato de Islandia).

A continuación vamos a estudiar algunas de las propiedades, cuya comprobación facilita la identificación de los minerales.

A título de resumen, para el caso de que falte tiempo proponemos el siguiente cuadro.

Propiedad	Tipo de enlace			
	Iónico	Covalente	Metálico	Van der Waals
Intensidad de enlace	Fuerte	Muy fuerte	Variable, Moderado	Débil
Mecánica	Frágil, dureza de moderada a alta	Frágil, dureza alta	Séctil, dúctil, maleable, dureza baja o moderada.	Cristales blandos y algo plásticos.
Eléctrica	Malos conductores en estado sólido	Aislantes en estado sólido y fusión	Buenos conductores	Aislantes
Térmica	p.f. moderado-alto coefic. dilatación ↓	punto de fusión ↑ coefic. dilatación ↓	p.f. y coeficiente de dilatación variables	punto de fusión ↓ coefic. dilatación ↑
Solubilidad	Solubles en disolventes polares	Baja solubilidad	Insoluble salvo con ácidos y álcalis	Solubles en disolventes orgánicos
Estructura	No direccional. Alta coordinación y simetría	Muy direccional. Baja coordinación y simetría	No direccional. Muy alta coordinación y simetría	No direccional. Baja simetría
Ejemplos	Muchos minerales: Halita, Calcita, Fluorita, etc.	Diamante, Blenda, moléculas de O ₂ , grafito	la mayoría de los metales: Cobre, plata, oro, etc.	Iodo, enlace débil del grafito.

3.6.1. Propiedades vectoriales mecánicas

Dependen de la **cohesión**, que es la resistencia que ofrece un mineral a la acción mecánica. Depende de la cohesión reticular. Los hay frágiles, es decir, que se separan fácilmente en fragmentos o

escamas (diamante); maleables, es decir, pueden reducirse a láminas delgadas sin romperse (oro); dúctiles, pueden reducirse a hilos delgadísimos (oro); séctiles, se pueden cortar (yeso); flexibles, o sea, pueden doblarse (talco); elásticos (mica), etc.

DUREZA

Es la resistencia que oponen los minerales a ser rayados y a la abrasión. Su interpretación no es fácil, también depende de la cohesión molecular pero en grado distinto que la tenacidad y de la valencia. De modo práctico se mide con la escala de Mohs: escala de diez minerales en la que cada uno es rayado por el siguiente y raya a los anteriores, esta escala es: **1. Talco laminar 2. Yesos cristalizado 3. Calcita 4. Fluorita 5. Apatito 6. Ortosa 7. Cuarzo 8. Topacio 9. Corindón 10. Diamante.**

En la prácticas de laboratorio con los alumnos podemos emplear otra escala mucho más empírica: Si se rayan con la uña (muy blandos 1-2), con un cortaplumas (blandos, 2-3), con una lima (semiduros y duros, 3'5-6'5) y si rayan al vidrio y dan chispas con el eslabón (muy duros).

Para medir con exactitud la dureza, se utilizan los esclerómetros (palanca con brazos paralelos, al final de los cuales hay un estilite de acero o diamante, se trata de comprobar el peso que hay que situar en los brazos para rayar al mineral); mediante su aplicación se observa que la relación que existe entre los dos extremos de la escala de Mohs es de diamante/talco = 30.000 /1.

Otros procedimientos para medir la dureza son los de :

Rosival: Se trata de frotar al mineral con una cantidad exacta de esmeril o de carborundo, hasta que sea ineficaz el abrasivo; la escala determinada así es de 1000 para el corindón, 175 para el cuarzo, 5'6 para la calcita, 0'04 para el talco, etc.

Bernhardt. Se trata de clavar el extremo de una pirámide de diamante y observar, al microscopio, la penetración comparándola con el valor de la presión ejercida. Los minerales de fácil exfoliación tienen diferentes grados de dureza, siendo mínima en las caras paralelas al plano de exfoliación y máxima en el plano perpendicular. La variación de dureza en las distintas direcciones de un plano se expresa por las llamadas curvas de dureza (curvas simétricas con relación a los planos de simetría del cristal).

La dureza de un mineral experimenta grandes altibajos con la dirección, especialmente en aquellos casos en que los enlaces tienen una determinada posición. Es típico el caso de la cianita o distena, durísima (7) en dirección transversal al alargamiento y semidura (5) perpendicular al eje.

Propiedades físicas vectoriales discontinuas

Deformación elástica. Minerales rígidos que recuperan su forma primitiva al cesar el esfuerzo actuante sobre ellos.

ELASTICIDAD

Es la resistencia que ofrece la materia al desplazamiento de sus moléculas, que tienden a recuperar su posición primitiva cuando se las separa de ellas. Se llama coeficiente de elasticidad a la relación entre el peso empleado y la deformación producida.

Deformación plástica. Determinados esfuerzos provocan deformaciones permanentes sin llegar a romperse.

Deformación clástica. Se rompen al aplicárseles un esfuerzo. Pueden producirse fracturas o exfoliaciones.

FRACTURA

Aspecto que presenta la superficie de fractura si no coincide con los planos de exfoliación. También depende mucho de la estructura íntima del mineral. Los muy compactos dan fracturas concoideas (superficies curvas con estrías concéntricas parecidas a las conchas); las fibrosas dan fractura astillosa; los de estructura hojosa presentan escamas o láminas (yeso), etc.

EXFOLIACIÓN

La presentan aquellos minerales que pueden dividirse según superficies planas bien definidas (planos de exfoliación) y que coinciden con posibles caras de las formas cristalinas correspondientes. Las moléculas situadas en los planos de exfoliación son las que presentan mayor cohesión. Los hay con exfoliación completamente perfecta (yeso, micas); muy perfecta (calcita); perfecta (fluorita), e imperfecta cuando queda algo rugosa (granate).

Las formas que se obtienen de la exfoliación se llaman sólidos de exfoliación o crucero (romboedro de la calcita, cubo en galena, octaedro en la fluorita, rombododecaedro en la blenda, etc).

El ángulo dispuesto entre los planos de exfoliación puede suponer un elemento valioso para el diagnóstico, como ocurre por ejemplo en la distinción entre piroxenos y anfíboles: los primeros presentan exfoliación según planos casi ortogonales, mientras que los otros forman ángulos obtusos.

HÁBITO

El hábito o aspecto de los cristales ayuda a reconocer a muchos de ellos. La terminología más usada es:

- Acicular. Cristales delgados como agujas.
- Hojoso. Cristales alargados y aplanados.
- Dendrítico. Cuando el cristal presenta el aspecto de una planta, con ramas divergentes.
- Reticulado. Agrupación de cristales delgados en redes.
- Radial. Cristales radiales.
- Columnar. Cristales que se asemejan a columnas.
- Globular. Cristales que forman grupos esféricos o semiesféricos.
- Macizo. Agregado minerales con forma irregular.

3.6.2. Propiedades ópticas

Color de la raya. Es el color del polvo fino del mineral, su color es prácticamente constante. Para determinarlo se frota el mineral sobre un trozo de porcelana sin vitrificar (dureza 7).

Color de la superficie fresca. El color es debido a las modificaciones que sufre la luz blanca que incide sobre los minerales a consecuencia de la absorción, reflexión y otros fenómenos luminosos. Los colores de absorción se deben a la luz que atraviesa los cuerpos. El color de cada mineral se corresponde con los colores no absorbidos, el color negro es consecuencia de una total absorción y los incoloros de ninguna.

Los colores por reflexión se consiguen por el reflejo de la luz sobre la superficie del mineral. Blanco cuando la luz blanca es totalmente reflejada, y según que color se refleje así presentará, el mineral, el color de reflexión.

Los minerales idiocromáticos son los poseen color propio (cinabrio, malaquita), los alochromáticos deben su color a impurezas o posteriores transformaciones sufridas por el mineral. Para distinguirlos se hace la prueba de la raya y se compara con el color observado al triturar el mineral; en los idiocromáticos hay coincidencia, en los alochromáticos la raya es blanca.

La pátina son colores que nada tienen que ver con los del mineral pero que son característicos; se trata del color de una delgada lámina, con frecuencia, producto de la oxidación (Ej. limonita sobre siderita).

Brillo. Depende de la reflexión de la luz en la superficie, del índice de refracción, de las reflexiones interiores, etc. Los tipos de brillo más frecuentes son: metálico, intenso y unido a la opacidad del mineral; adamantino, parecido al diamante; vítreo, en cristales transparentes y de bajo índice de refracción; craso o céreo; nacarado, en minerales con exfoliación manifiesta; sedoso, en los minerales fibrosos, etc.

Diafanidad. Propiedad de algunos minerales que dejan pasar la luz. Los hay transparentes, translúcidos y opacos.

Doble refracción.

La luz es la parte del espectro de ondas electromagnéticas que pueden percibir nuestros ojos, propagándose en el vacío a una velocidad de 300.000 Km/seg. Cuando la luz incide en una superficie se puede reflejar total o parcialmente y si, el cuerpo es transparente, ésta varía su velocidad y dirección, es decir, se refracta con un ángulo de refracción que depende del índice de refracción del cristal (ley de Snell).

El **índice de refracción** de un cristal es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el cristal. La luz, en el vacío, vibra en infinitos planos que forman el haz llamado rayo luminoso (luz normal). Cuando la luz atraviesa un mineral, dada la estructura interna de éste, puede que sólo pueda vibrar en un determinado plano y se le llama luz polarizada, al plano se le llama plano de polarización. La propiedad de polarizar la luz la poseen todos los cuerpos cristalinos con excepción de los que cristalizan en el sistema cúbico.

En los cuerpos cristalinos de todos los sistemas, excepto los del cúbico, cuando los atraviesa la luz, ésta se escinde en dos rayos polarizados (**ordinario y extraordinario**). Cada uno de ellos tiene su propio índice de refracción (**DOBLE REFRACCIÓN**), y se llama **BIRREFRINGENTES** a los cuerpos que la presentan (si son transparentes se observa una doble imagen). El valor de estos índices de refracción varía según la dirección en la que incida la luz en el cristal. Por todo lo dicho todos los cristales son ópticamente anisótropos, excepto los del cúbico que son isótropos.

Los cristales de los sistemas hexagonal, trigonal y tetragonal tienen una dirección (**eje óptico**), según la cual la luz no se polariza y no sufre doble refracción; este eje óptico coincide con el eje de simetría principal del cristal, por esta razón a estos cristales se les llama **UNIÁXICOS**. En los sistemas rómbico, monoclinico y triclínico existen dos ejes ópticos, que forman un determinado ángulo entre ellos, según el mineral de que se trate; se les denomina cristales **BIÁXICOS**.

El estudio de estas propiedades ópticas de los cristales, mediante el **microscopio petrográfico**, tiene un gran interés práctico para la caracterización de minerales y de rocas.

e = índice de refracción del rayo extraordinario. w = índice de refracción del rayo ordinario.

En los cristales uniáxicos o dimétricos $D = w - e$, nos mide la birrefringencia (potencial de birrefringencia); si $D > 0$, cristales ópticamente negativos, si $D < 0$, ópticamente positivos.

La luz, al atravesar una lámina de cristal situada en la platina (**polarizador**), queda polarizada en el plano del rayo extraordinario. Si se interpone un cristal birrefringente en el ocular (**analizador**), de forma que su plano de vibración sea paralela a la del polarizador, el rayo polarizado lo atraviesa (**nícoles paralelos**). Si se cruza el plano del analizador respecto al del polarizador, la luz no pasa (**nícoles cruzados**).

En un microscopio petrográfico, el ocular se ilumina si los nícoles están paralelos y se oscurece si están cruzados, siempre que en la platina no haya una lámina delgada de mineral isótropo.

Si situamos encima de la platina una lámina delgada de un mineral birrefringente, el rayo extraordinario polarizado (E), se descompone en dos que vibran en planos perpendiculares, el ordinario E_o y el extraordinario E_e . Ambos, al atravesar el nícol analizador engendran sus correspondientes rayos ordinarios y extraordinarios, los ordinarios son eliminados ya que el analizador es un prisma de Nicol. Por tanto, el analizador, sólo es atravesado por los extraordinarios respectivos que inciden, en él, con una diferencia de fase r (retraso) que equivale a una determinada longitud de onda (según el valor de r así aparecerá un color determinado en el ocular), son los llamados **colores de interferencia** que sirven para identificar los minerales.

Por ello, aunque los nícoles estén cruzados, hay luz en el ocular si se sitúa en la platina una lámina delgada de un mineral ópticamente anisótropo. Al girar 360° la platina se producen cuatro momentos de extinción, el ángulo con que se producen las extinciones con nícoles cruzados es un valor característico de los minerales.

A las posiciones de oscuridad se les llama normales, pues coinciden con el plano de vibración del polarizador. Las de máxima claridad se llaman diagonales.

La mayoría de microscopios petrográficos llevan, debajo del ocular, una lente (de Bertrand), para aumentar los efectos de las interferencias de los rayos que pasan del analizador y ver las figuras de interferencia.

Pleocroísmo. En los cristales transparentes y anisótropos, la absorción de la luz varía con la dirección, variando por tanto su color. Los cristales amorfos y cúbicos no se observa pleocroísmo. En los cristales uniáxicos el eje de absorción coincide con el eje óptico y con su perpendicular.

Luminiscencia. Es una propiedad que depende de la falta de homogeneidad y consiste en que determinados minerales emiten luz sin estar incandescentes. Normalmente se deben a un proceso de irradiación con rayos UV: **fluorescencia** si sucede durante la irradiación y **fosforescencia** cuando la emisión de luz continúa tras la radiación.

3.6.3. Propiedades escalares

La **DENSIDAD** de un cuerpo representa el valor de su masa por unidad de volumen (gr./cc.) y su valor numérico es igual al peso específico, que a su vez indica cuántas veces el cuerpo en cuestión pesa más que un volumen idéntico de agua destilada. Está directamente relacionada con el nº de coordinación. El peso específico no varía más que con la presión y con la t° . La medición del peso específico se lleva a cabo mediante la aplicación del principio de Arquímedes en el método de la probeta, el picnómetro o la balanza hidrostática de Westphal.

El método del **picnómetro** consiste en pesarlo vacío (p), pesar la sustancia problema triturada (g); se introduce la sustancia problema en el picnómetro y se vuelve a pesar (q).

$$D = \frac{g}{(p + g - q)}$$

Otro método consiste en el de la suspensión sobre un líquido de igual densidad y determinar, posteriormente la densidad del líquido.

Los minerales se clasifican en: ligerísimos ($d < 2$), como la carnalita o el bórax; ligeros ($d = 2-3$), como el cuarzo y la calcita; pesados ($d = 3-5$), como baritina y diamante; muy pesados ($d = 5-10$), cinabrio, scheelita, y, pesadísimos ($d > 10$) como la uraninita o el oro. Su determinación precisa no siempre supone un diagnóstico seguro ya que pocas muestras de minerales carecen de huecos, impurezas, fracturas, etc. que alteran el valor de la densidad que hace que sólo se cualitativa.

PUNTO DE FUSIÓN. Depende del tipo de red del mineral, desciende con las impurezas que éste puede tener (crioscopía). El calor específico de cualquier mineral es siempre menor que el del agua. Se pulveriza el mineral y se introduce en un capilar, éste, a su vez, se introduce en un tubo de ensayo con sulfúrico concentrado, se calienta hasta que cambie de aspecto y se lee en el termómetro la t° .

La escala de Kobell es la siguiente: 1 (Antimonio) funde con la llama de una vela; 2 (Calcopirita), funde con la llama Bunsen; 3 (Granate), con el soplete; 4 (Actinolita), un trozo puntiagudo con el soplete; 5 (Ortosa), se redondean sus aristas con el soplete; 6 (Broncita), sólo funden con el soplete algunas astillas; 7 (Cuarzo), infusible).

3.6.4. Otras propiedades

MAGNÉTICAS. Se dice que un mineral, reducido a polvo, es magnético cuando es atraído por el imán. Los minerales que son atraídos se les llama paramagnéticos (los ferromagnéticos, como la magnetita, son atraídos con más intensidad que los demás), y los que no son diamagnéticos (elementos nativos, sal gema, cuarzo, calcita, etc.).

La intensidad de atracción no depende de la dirección en los minerales isótropos (amorfo y del sistema cúbico); en los uniáxicos hay un máximo o un mínimo poder de atracción en dirección del eje principal, en los biáxicos hay tres direcciones coincidentes con los ejes ópticos.

ELÉCTRICAS. Son la conductividad, la piroelectricidad y la piezoelectricidad. Hay minerales conductores de la electricidad, hay otros aisladores o aislantes. También la conductividad tiene relación con los ejes ópticos. La mayor o menor conductividad eléctrica está en relación con la movilidad de los electrones de los átomos que forman el mineral.

La mayoría de los cristales, cuando se someten a un campo eléctrico se polarizan por inducción y por orientación. Entre los que lo hacen por orientación están los ferroeléctricos (tienen centro de simetría).

Piroelectricidad. Al variar la temperatura en los dos extremos de un cristal, se producen cargas eléctricas de signo contrario. Donde aumenta la t° se carga positivamente. Al descender la t° cambian los signos. Los cristales que presentan esta propiedad carecen de centro de simetría.

Piezoelectricidad. Se presenta en minerales que tienen ejes polares (aquellos cuyos extremos son de distinta forma geométrica). Al someterlos a acciones mecánicas, generan dos polos con cargas eléctricas (el positivo se llama análogo, y el negativo antílogo), es caso, por ejemplo, de la turmalina. Los cristales que presentan esta propiedad carecen de centro de simetría.

TÉRMICAS. Los cristales térmicamente se dividen en isótropos y anisótropos (uniáxicos y biáxicos), coincidentes con la clasificación óptica.

Se dice que son diatermos los que son transparentes al calor (yeso, calcita), y adiatermos los opacos (oropimente). La **conductividad térmica** es la cantidad de calorías que pasan en la unidad de tiempo por una sección de 1 cm², cuando perpendicularmente a ella existe un gradiente de t° de 1°C/cm. Las superficies de igual t° o isotermas dependen de la simetría del cristal. En la plata la conductividad es de 100, 53'2 en el oro, 37'6 en el cobre, 19 en el zinc, etc.

La **dilación térmica** de los minerales oscila entre límites muy amplios (siendo pequeña casi siempre); también está ligada a la simetría de los cristales. Si se compara con los líquidos la dilatación térmica de los cristales es pequeña. Con el aumento de t° disminuye el índice de refracción.

ORGANOLÉPTICAS. Dependen de ciertos enlaces iónicos débiles y sólo las presentan algunos. Ej sabor (salado, amargo, picante, etc.) de algunas sales hidrosolubles que también presentan un olor característico.

RADIATIVAS. Las presentan minerales con Uranio o con elementos afines (Th, Ra), emiten radiaciones detectables por contadores Geiger e impresionan las películas fotográficas. Por ejemplo, Autunita, Carnotita, Tobernita, Pechblenda, circón, etc.

3.7. Los métodos de investigación con rayos X y sus fundamentos (se puede eliminar en función del tiempo disponible)

Los rayos X y la materia mineral se han beneficiado mutuamente. La materia cristalina ha servido para explicar la naturaleza de los rayos y para medir su longitud de onda. La aplicación de estos métodos ha demostrado que los nudos de las redes cristalinas están formados por átomos o iones, se han podido calcular distancias interatómicas y de sustancias que se creyeron amorfas, se ha comprobado que son cristalinas.

Método de la difracción. Interpretación de Laüé. Laüegramas.

Se trata de hacer incidir, perpendicularmente, un haz de rayos X sobre una lámina cristalina tallada; los rayos difractados son recogidos en una pantalla o en una placa fotográfica. Aparecen una serie de puntos, líneas o zonas oscuras (laüegramas), cuya alternancia es debida a fenómenos de interferencia producidos por los rayos X y la red cristalina.

Método de Bragg. Ecuación de Bragg.

Se trata de provocar reflexiones selectivas de los rayos X. Se hace incidir un haz de rayos X sobre la cara de un cristal con un ángulo distinto a 90° y se refleja. Los rayos reflejados se llevan a una cámara de ionización (SO₂). La ionización que provocan desencadena una corriente eléctrica cuya diferencia de potencial mide un galvanómetro. Según el ángulo del cristal habrá o no ionización.

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ λ = longitud de onda d = distancia entre los planos reticulares de la red α = ángulo de reflexión

Para conocer d es preciso una longitud de onda conocida o a la inversa. Los Bragg dedujeron así la estructura cristalina de la sal gema y la de la silvina.

Método de Debye-Scherrer

También llamado del polvo, es útil cuando no se dispone de grandes cristales. El mineral pulverizado se mezcla con una sustancia amorfa (colodión), formando una aguja de unos 0'3 mm. Esta se fija en el centro de una cámara cilíndrica con un orificio de entrada para los rayos X y que va cubierta, interiormente, por una película fotográfica. Las reflexiones que estadísticamente cumplen la ecuación de Bragg impresionan la película, dando distintas curvas según las sustancias.

Método del cristal giratorio.

Es una variación del método de Bragg. Se coloca un cristal en un portacristales de un goniómetro, disponiendo uno de sus ejes cristalográficos en posición vertical. El portacristales se monta sobre un eje con capacidad de giro sobre sí mismo, se introduce en una cámara similar a la anterior y se hacen incidir rayos X uniformes (de la misma longitud de onda); las distintas líneas que se obtienen corresponden a los planos reticulares. Si el cristal se va variando de posición podemos obtener las tres dimensiones de la celdilla unidad.

www.eltemario.com

PROGRAMACIÓN 2º Bachillerato

- ❑ **ADVERTENCIA IMPORTANTE:** en el caso de que la programación se aplique para primero de Bachillerato, han de sustituirse los objetivos, los contenidos y los criterios de evaluación con los que aparecen al final de la programación en las propuestas del nuevo currículo.

- ❑ **1. Objetivos**

1. Comprender los principales conceptos relacionados con el estudio de la materia cristalina (Vocabulario básico).
2. Resolver problemas que se planteen al relacionar la estructura íntima de la materia, con su composición y propiedades.
3. Utilizar con autonomía las estrategias características de la investigación científica (plantear problemas, formular y contrastar hipótesis, planificar diseños experimentales, etc.) y los procedimientos propios de la mineralogía y cristalografía, para realizar pequeñas investigaciones y, en general, explorar situaciones y fenómenos desconocidos para ellos.
4. Valorar la información proveniente de diferentes fuentes para formarse una opinión propia, que permita a los alumnos expresarse críticamente sobre problemas actuales relacionados con la geología.
5. Comprender que el desarrollo de la geología supone un proceso cambiante y dinámico, mostrando una actitud flexible y abierta frente a opiniones diversas.

- ❑ **2. Contenidos**

- ❑ **2.1. Conceptos**

- Principales elementos químicos que componen la materia cristalina.
- La materia mineral. Redes espaciales. Algunas estructuras minerales. Conceptos de mineral, cristal y roca.
- Correlación entre estructura interna de materia, enlaces químicos y propiedades.
- Características fundamentales de los siete sistemas cristalinos.
- Elementos de simetría característicos de cada simonía.
- Concepto de Isotropía y Anisotropía.
- Condiciones necesarias para una buena cristalización.
- Fundamento del Lauegrama y del método de Bragg.
- Las siete redes de Bravais.
- El radio iónico y los poliedros de coordinación como justificación del Isomorfismo y el Polimorfismo.
- Dada una serie isomorfa, comentarla. (Ej. Albita-Anortita).

- ❑ **2.2. Procedimientos**

- Reconocimiento de minerales y rocas de propiedades y características.
- Estudio y reconocimiento de algunos minerales y al microscopio petrográfico.
- Manejo de la lupa binocular (estudio de minerales).
- La consulta bibliográfica en diversas fuentes.
- Dada una tabla de datos que realicen su representación gráfica
- Dada una tabla de datos que aprendan a comentarlos.
- Orientación de un cristal en el espacio por la cruz axial.
- Realizar e interpretar algunas de las proyecciones estereográficas más representativas.
- Clasificar minerales por sus propiedades físicas.

- ❑ **2.3. Actitudes**

- Predisposición al análisis riguroso como medio de resolver problemas.
- Valoración positiva de la manifestación de hipótesis distintas en relación a un mismo problema.
- Valorar la información proveniente de diferentes fuentes para formarse una opinión propia.
- Valorar la mayor autonomía en el trabajo y estudio como motor de nuevos aprendizajes.
- Valorar positivamente la colaboración en el estudio de la unidad con el resto de compañeros del grupo y de la clase.

□ 3. ACTIVIDADES

- Metodología Activa/ Receptivo significativa.
- Motivación la composición de la Tierra. Manipulación sólidos, comprobar propiedades. Uso del microscopio petrográfico.
- Dados unos datos realizar diferentes representaciones gráfica. Curvas, barras, círculos, etc.
- Interpretación de gráficas y diagramas
- Ventajas e inconvenientes de algunas de las determinaciones.
- Contraponer la composición de la Corteza, Manto y Núcleo.
- Modelos de bolas de poliuretano: Poliedros de coordinación.
- Dados los valores de radios iónicos, realizar diferentes poliedros de coordinación.
- Explicar sobre modelos de bolas el Isomorfismo y el polimorfismo.
- Dibujar la posición de las caras con respecto a la cruz axial.
- Construcción de modelos de redes con bolas o mondadientes.
- Estudio de algunas redes típicas: Halita, diamante.
- Diseñar redes dándole diferentes valores a los distintos parámetros.
- Modelos de papel de alguno de los sólidos fundamentales.
- Localizar los elementos de simetría sobre los modelos. Deducir a qué sistema pertenecen los sólidos más representativos.
- Empezar por el Triclínico.
- Dibujar sólidos fundamentales y sobre dibujos localizar elementos de simetría.
- Criterios de clasificación cristalográfica y de minerales.
- Realización e interpretación de proyecciones estereográficas.
- Experiencias de cristalización: Ej. sal (lenta y rápida). Deducir condiciones precisas para una buena cristalización. Cristalización de S fundido, sulfato de cobre, etc. Alumbre. Estudio de variables.
- - Sobre una serie de ejemplares conocidos, identificar alguna de sus propiedades físicas (comprobación). Densidad, Dureza (Mohs), Brillo, color de la raya, exfoliación o fractura.
- Idem. Sobre ejemplares desconocidos, anotar resultados en tabla de doble entrada y posteriormente intentar clasificarlos. Uso claves adaptadas.
- Densidad método probeta.
- Reconocimiento de minerales por algunas de sus propiedades químicas: Reducir a polvo, filtrar, Claves adaptadas.
- Uso microscopio petrográfico (Nícoles) o Microproyector.
- Lecturas complementarias (J.L. Amorós: El cristal. Ed. Urania. Klockmann, Tratado de Mineralogía. Ed. Gili. Dana.
- Cuestionario de actividades
- Actividades que derivan de las del material A.V.

Material A.V.

- T.V. Cristalografía. ¿Qué es un Cristal. Fenómenos ópticos en los cristales. El crecimiento de los cristales. Propiedades ópticas de los minerales. El microscopio petrográfico (60') buena COU.
- Serveis. El mundo de los cristales (45').
- Ancora. Minerales y rocas.
- Videoprovic: Cristalografía. Difícil. Complutense.
- Video Enciclopedia Americana: Los Cristales y su formación.
- Librería continental: Minerales al microscopio.

❑ **4. Criterios de Evaluación**

3. Utilizar satisfactoriamente diversos instrumentos y técnicas como son: estereoscopio, lupa binocular, tabla cronoestratigráfica, láminas delgadas y bloques de diagrama.
Es necesario comprobar si el alumno sabe utilizar adecuadamente estos instrumentos básicos en el quehacer geológico.
7. Identificar las características más importantes de la materia mineral, y establecer algunas relaciones sencillas entre la composición química, la estructura cristalina y el comportamiento físico-químico.
Se trata de ver si los alumnos saben reconocer, describir y explicar la existencia de determinadas propiedades en los minerales (densidad, color, solubilidad, forma de cristalización, etc.).

ADVERTENCIA IMPORTANTE: en el caso de que la programación se aplique para primero de Bachillerato, han de sustituirse los objetivos, los contenidos y los criterios de evaluación con los que aparecen al final de la programación en las propuestas del nuevo currículo.

EL TEMA 3 EN EL NUEVO CURRÍCULUM

Objetivos ESO

- 1) Iniciarse en el conocimiento y aplicación del método científico.
- 2) Comprender y expresar mensajes científicos utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad, así como interpretar diagramas, gráficas, tablas, expresiones matemáticas sencillas y otros modelos de representación.
- 3) Interpretar científicamente los principales fenómenos naturales, así como sus posibles aplicaciones tecnológicas, utilizando leyes y conceptos de las Ciencias de la Naturaleza.
- 4) Participar de manera responsable en la planificación y realización de actividades científicas.
- 5) Utilizar de forma autónoma diferentes fuentes de información, incluidas las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, con el fin de evaluar su contenido y adoptar actitudes personales críticas sobre cuestiones científicas y tecnológicas.
- 6) Adquirir conocimientos sobre el funcionamiento del organismo humano para desarrollar y afianzar hábitos de cuidado y salud corporal.
- 7) Aplicar los conocimientos adquiridos en Ciencias de la Naturaleza para disfrutar del medio natural valorándolo y participando en su conservación y mejora.
- 8) Reconocer y valorar las aportaciones de la Ciencia para la mejora de las condiciones de existencia de los seres humanos y apreciar la importancia de la formación científica.
- 9) Entender el conocimiento científico como algo integrado, que se compartimenta en distintas disciplinas para profundizar en los diferentes aspectos de la realidad.

CONTENIDOS

Primer Curso. Bloque II. Materiales terrestres: La corteza terrestre.

TERCER CURSO. ESO

I. Rocas y Minerales. La materia mineral. Características de la materia mineral, materia cristalina y materia amorfa. Concepto de cristal. Cristalización. Los minerales. Propiedades físico-químicas y clasificación. Sus aplicaciones e interés económico.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. Definir los conceptos de materia amorfa, materia cristalina y cristal.
2. Elaborar correctamente informes sencillos de las actividades prácticas realizadas.

1º DE BACHILLERATO. BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA

OBJETIVOS

1. Desarrollar actitudes y hábitos de trabajo asociados al método científico, tales como: búsqueda exhaustiva de información, capacidad crítica, cuestionamiento de lo obvio, apertura a nuevas ideas y necesidad de verificación de los hechos.
2. Comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales de la Biología y la Geología, que les permitan tener una visión global y una formación científica básica para desarrollar estudios posteriores y aplicarlos a situaciones reales y cotidianas.
3. Analizar hipótesis y teorías contrapuestas que permitan desarrollar el pensamiento crítico y valorar sus aportaciones al desarrollo de la Biología y la Geología.
4. Desarrollar hábitos de observación y descripción esenciales para el trabajo del naturalista.
5. Interpretar globalmente los fenómenos de la geodinámica interna a la luz de la Tectónica de placas.

6. Comprender el funcionamiento de los seres vivos como diferentes estrategias adaptativas al medio ambiente.

CONTENIDOS

Boque 3. Cristalización y ambientes petrogenéticos: Solidificación, cristalización y recrystalización. Cristalogénesis: nucleación y crecimiento de los cristales. Aplicaciones de los cristales..

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. Conocer y aplicar algunas de las técnicas de trabajo utilizadas en la investigación de diversos aspectos Geología de nuestro planeta.
2. Aplicar las estrategias propias del trabajo científico a la resolución de problemas relativos a la estructura y composición de la Tierra.