

Mineralogía

Tema 2. Cristal y sólido cristalino



Gema Fernández Maroto

Departamento de Ciencias de la Tierra y
Física de la Materia Condensada

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Los griegos llamaron **cristal** al cuarzo, **κρυσταλλος** (krystallos = frío + goteo): carámbanos de extraordinaria dureza y muy fríos.



Cristal y sólido cristalino

- **Cristal:** nombre que dieron los griegos a una variedad del cuarzo, que hoy se llama **crystal de roca**. Sólido limitado por una serie de caras planas con una cierta regularidad en su disposición.
- **Sólido cristalino:** estado de la materia caracterizado por poseer un orden interno.



¿Cómo se forman los cristales?

- **Cristalización**: a partir de disoluciones, fundidos y vapores que están cargados de átomos en estado desordenado con una disposición al azar, al variar la temperatura, la presión o la concentración de los mismos estos átomos pueden agruparse en una **disposición interna ordenada** características del **estado cristalino**.



Cristalización

- **A partir de una solución:**

- Por evaporación del disolvente.
- Por descenso de temperatura: a mayor T, mayor capacidad para disolver sales.
- Por descenso de presión: a mayor P, mayor capacidad de disolver sales.

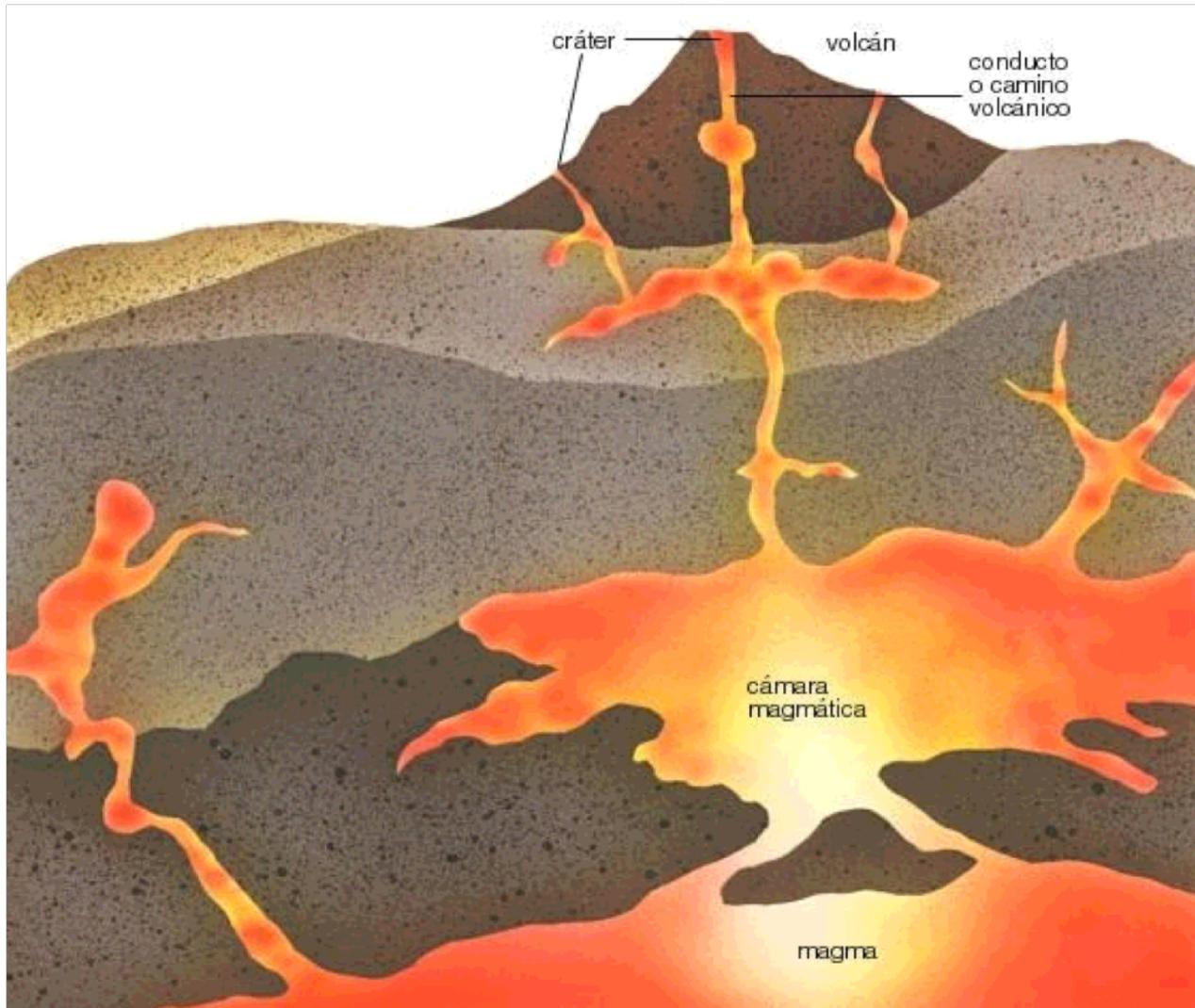


Cristalización

- **A partir de una masa fundida:**

- El magma es un fundido procedente del manto en el cual existen muchos elementos disociados que pueden llegar a formar cristales, cuando se produce disminución de P y/o T. El crecimiento del cristal en un magma que se enfría es el resultado de dos procesos que compiten entre sí:
 - Las vibraciones térmicas que tienden a destruir el núcleo de minerales potenciales.
 - Las fuerzas atractivas que tienden a congregarse átomos y/o iones en estructuras cristalinas.

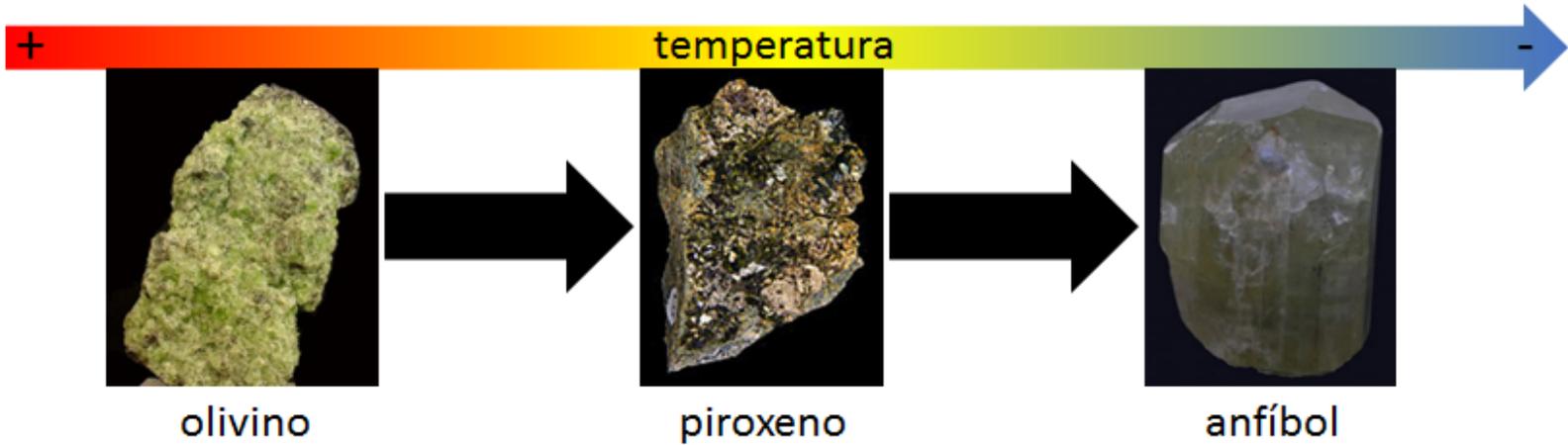
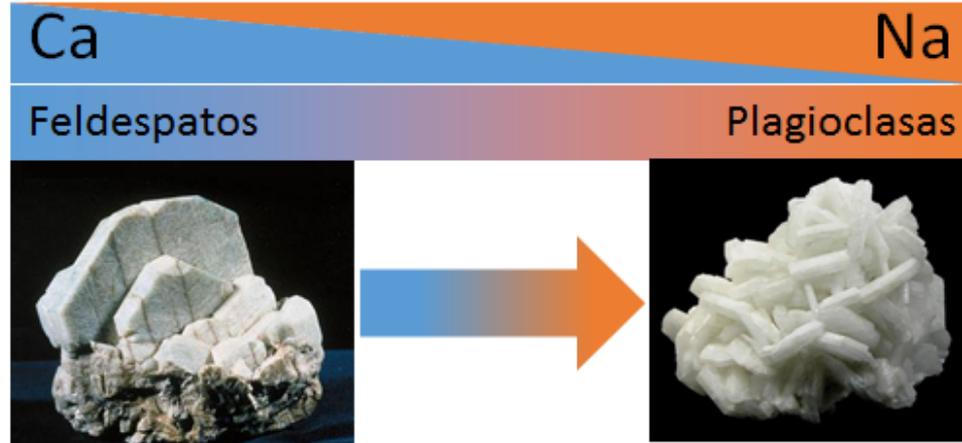
Tema 2. Cristal y sólido cristalino



Mineralogía

Tema 2. Cristal y sólido cristalino

Reacción continua



Reacción discontinua



Cristalización

- **A partir de un vapor:**

- A medida que el vapor se enfría, los átomos o moléculas separadas se van aproximando entre sí, hasta formar eventualmente un sólido cristalino.
- Los ejemplos más familiares son la formación de copos de nieve a partir del aire saturado de vapor de agua y la formación de cristales de azufre en la base de las fumarolas.

La mayoría de los cristales son el resultado del depósito químico de una disolución (o de un cuerpo fundido) en un espacio abierto.





Etapas de crecimiento de un cristal: Cristalogénesis

• Nucleación:

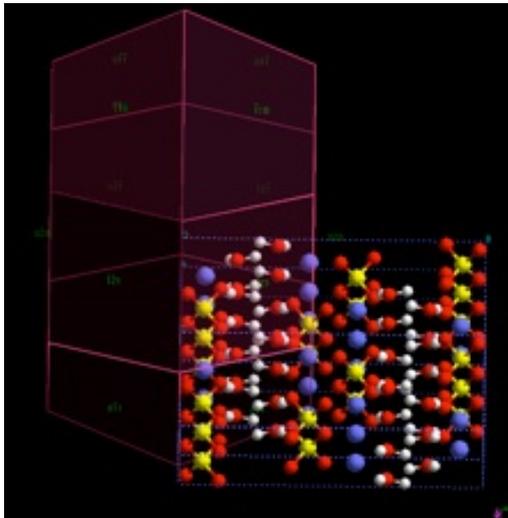
- Cualquiera que sea el proceso que origine el cristal, su formación comienza con la aparición de un núcleo capaz de crecer.
- Núcleo: conjunto de partículas ordenadamente dispuestas que van a servir de semilla para el futuro cristal (varios iones en una solución o en una masa fundida que formarán el modelo estructural regular inicial de un sólido cristalino).

• Crecimiento:

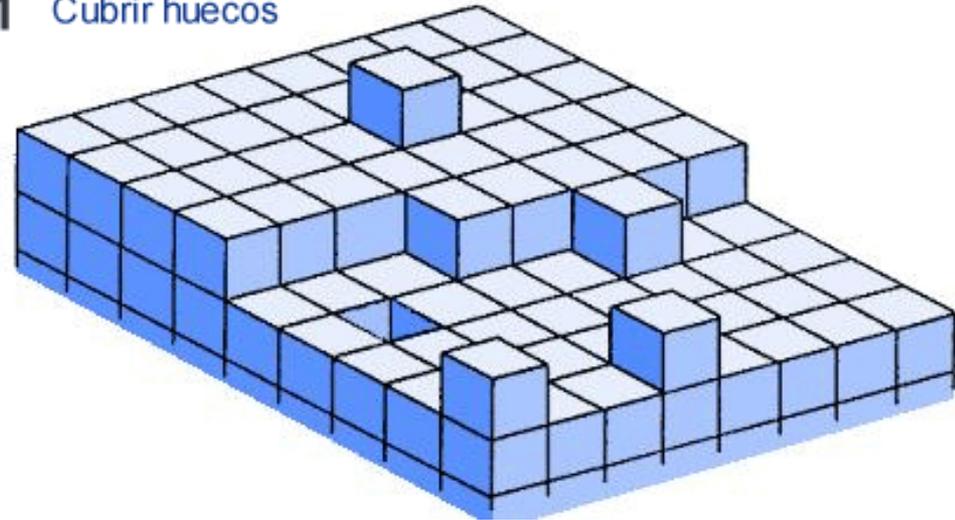
- El núcleo seguirá creciendo siempre que exista aporte de materia y espacio suficiente. Adición continuada de partículas en la superficie del cristal.

Crecimiento de un cristal

El tamaño y forma de los cristales → Condiciones físico-químicas que ocurran durante el proceso de formación y crecimiento.



1 Cubrir huecos



Elementos, átomos, moléculas

Sustancias químicas → Elementos 112 elementos – 92 natural.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H Hidrógeno 1,008																	He Helio 4,0026...
2	3 Li Litio 6,94	4 Be Berilio 9,0121...											5 B Boro 10,81	6 C Carbono 12,011	7 N Nitrógeno 14,007	8 O Oxígeno 15,999	9 F Flúor 18,998...	10 Ne Neón 20,1797
3	11 Na Sodio 22,989...	12 Mg Magnesio 24,305											13 Al Aluminio 26,981...	14 Si Silicio 28,085	15 P Fósforo 30,973...	16 S Azufre 32,06	17 Cl Cloro 35,45	18 Ar Argón 39,948
4	19 K Potasio 39,0983	20 Ca Calcio 40,078	21 Sc Escandio 44,955...	22 Ti Titanio 47,867	23 V Vanadio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganeso 54,938...	26 Fe Hierro 55,845	27 Co Cobalto 58,933...	28 Ni Níquel 58,6934	29 Cu Cobre 63,546	30 Zn Zinc 65,38	31 Ga Galio 69,723	32 Ge Germanio 72,63	33 As Arsénico 74,921...	34 Se Selenio 78,971	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Kriptón 83,798
5	37 Rb Rubidio 85,4678	38 Sr Estroncio 87,62	39 Y Itrio 88,905...	40 Zr Zirconio 91,224	41 Nb Niobio 92,906...	42 Mo Molibdeno 95,95	43 Tc Tecnecio (98)	44 Ru Rutenio 101,07	45 Rh Rodio 102,90...	46 Pd Paladio 106,42	47 Ag Plata 107,86...	48 Cd Cadmio 112,414	49 In Indio 114,818	50 Sn Estañio 118,710	51 Sb Antimonio 121,760	52 Te Telurio 127,60	53 I Yodo 126,90...	54 Xe Xenón 131,293
6	55 Cs Cesio 132,90...	56 Ba Bario 137,327	57-71 Lantanoide	72 Hf Hafnio 178,49	73 Ta Tantalio 180,94...	74 W Wolframio 183,84	75 Re Renio 186,207	76 Os Osmio 190,23	77 Ir Iridio 192,217	78 Pt Platino 195,084	79 Au Oro 196,96...	80 Hg Mercurio 200,59	81 Tl Talio 204,38	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98...	84 Po Polonio (209)	85 At Astatina (210)	86 Rn Radón (222)
7	87 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89-103 Actinoide	104 Rf Rutherfordio (267)	105 Db Dubnio (268)	106 Sg Seaborgio (271)	107 Bh Bohrio (272)	108 Hs Hassio (270)	109 Mt Meitnerio (278)	110 Ds Darmstadtio (281)	111 Rg Roentgenio (280)	112 Cn Copernicio (285)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio (288)	116 Lv Livermorio (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)
	57 La Lantano 138,90...	58 Ce Cerio 140,116	59 Pr Praseodimio 140,90...	60 Nd Neodimio 144,242	61 Pm Prometio (145)	62 Sm Samario 150,36	63 Eu Europio 151,964	64 Gd Gadolinio 157,25	65 Tb Terbio 158,92...	66 Dy Disprosio 162,500	67 Ho Holmio 164,93...	68 Er Erbio 167,259	69 Tm Tulio 168,93...	70 Yb Iterbio 173,054	71 Lu Lutecio 174,96...			
	89 Ac Actinio (227)	90 Th Torio 232,03...	91 Pa Protactinio 231,03...	92 U Uranio 238,02...	93 Np Neptunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curcio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einstenio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Lawrencio (262)			

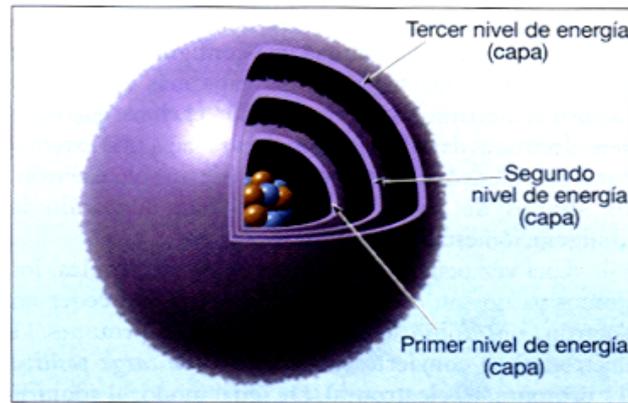
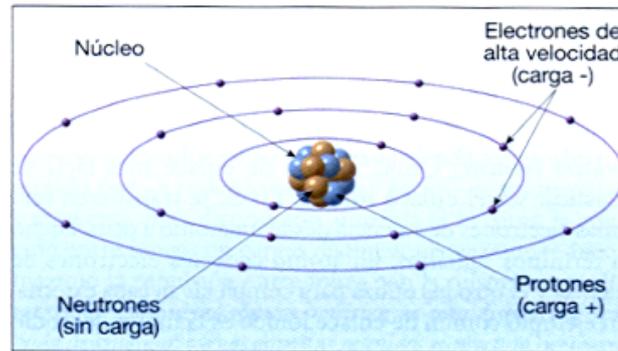
- Un mineral está formado por dos o más elementos, con **Excepción: Au y S.**
- Un mineral es un compuesto químicamente estable.

Prácticamente todas las sustancias que encontramos en la naturaleza están formadas por átomos unidos. Las intensas fuerzas que mantienen unidos los átomos en las distintas sustancias se denominan **enlaces químicos**.

Los **átomos** se unen porque, al estar unidos, adquieren una situación más estable que cuando estaban separados.

Esta situación de mayor estabilidad suele darse cuando el número de electrones que poseen los átomos en su último nivel es igual a **ocho**, estructura que coincide con la de los **gases nobles**.

Los gases nobles tienen muy poca tendencia a formar compuestos y suelen encontrarse en la naturaleza como átomos aislados.



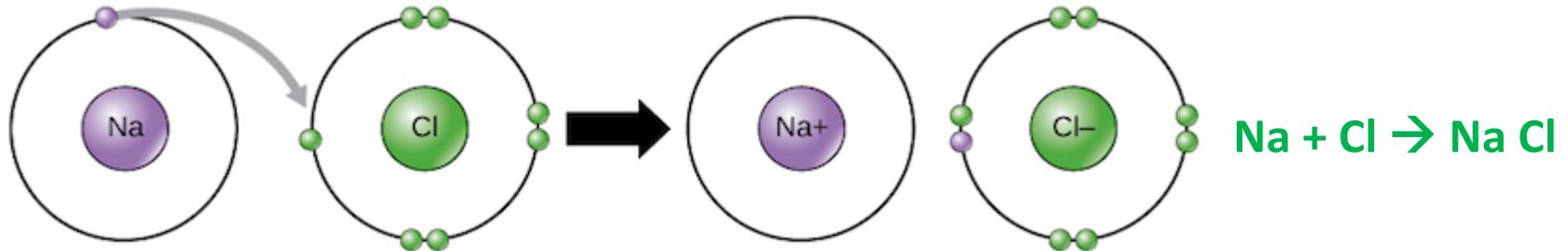
Átomo: la parte más pequeña de la materia que conserva las características de un elemento.

¿Por qué se forman los enlaces químicos?

- Los átomos siempre están tratando de alcanzar el estado más estable (de menor energía) que pueden.
- Muchos átomos se vuelven estables cuando su capa de valencia está llena de electrones o cuando satisface la regla del octeto (al tener ocho electrones de valencia).
- Si los átomos no tienen este arreglo, "tratarán" de alcanzarlo ganando, perdiendo o compartiendo electrones.
- Cuando los átomos comparten electrones, los electrones compartidos forman un enlace que mantiene unidos a los átomos. De manera similar, si los átomos ganan o pierden electrones, se convierten en iones (átomos cargados) y pueden formar enlaces con otros iones de carga opuesta.
- Estas interacciones son la base de los enlaces químicos en moléculas y cristales.

Enlace iónico

- 1 ó más electrones de la capa de valencia de un átomo se transfieren a la capa de valencia de otro.
- **Na:** un metal alcalino blando, untuoso, de color plateado, muy abundante en la naturaleza. Es muy reactivo, arde con llama amarilla, se oxida en presencia de oxígeno y reacciona violentamente con el el agua.



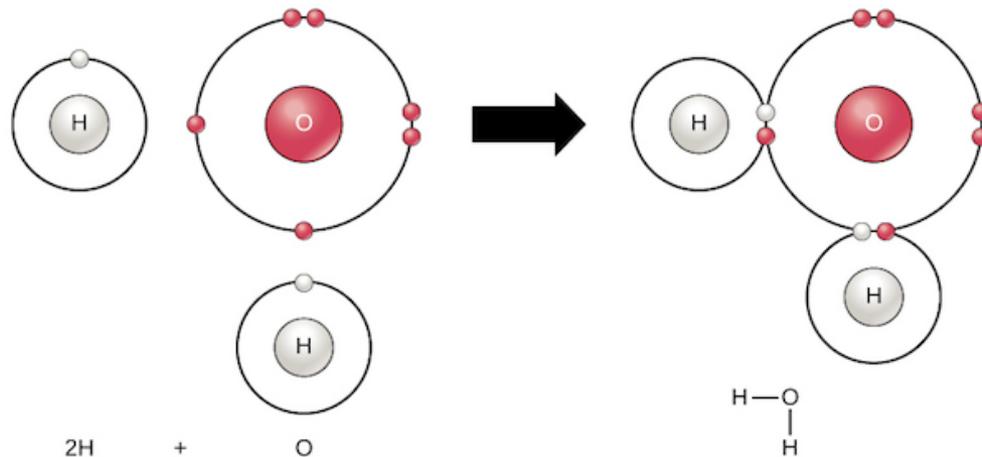
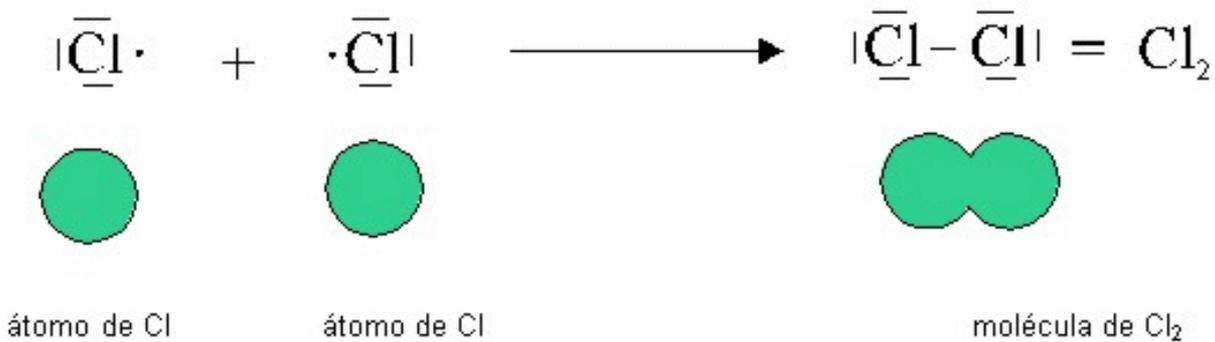
- **Cl:** en condiciones normales y en estado puro forma dicloro: un gas tóxico amarillo-verdoso formado por moléculas diatómicas (Cl_2) unas 2,5 veces más pesado que el aire, de olor desagradable y tóxico.

Propiedades de los compuestos con enlace iónico

- Dureza y PE moderado.
- Puntos de ebullición y fusión altos.
- Poco conductores de la electricidad y el calor.

Enlace covalente

- En un compuesto los elementos comparten pares de electrones.



Propiedades de los compuestos con enlace covalente

- Insolubilidad general.
- Gran estabilidad.
- Puntos de ebullición y fusión muy altos.
- No forman iones en disolución.
- No son conductores de la electricidad.

Diamante

Adamas = invencible.

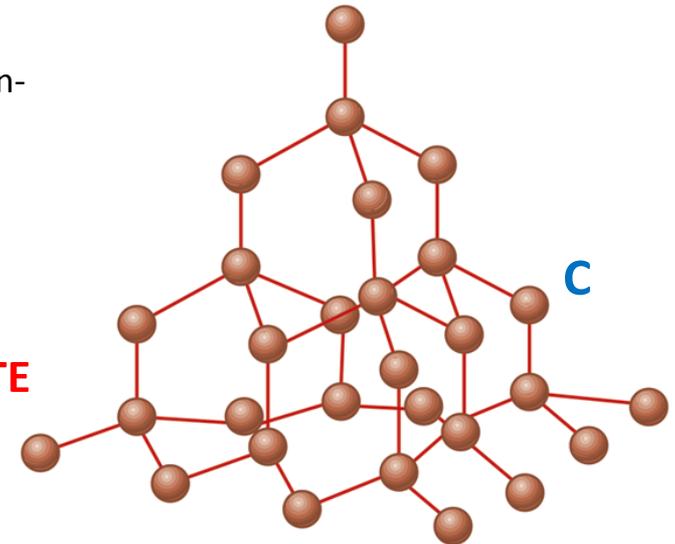
<u>Color</u>	Típicamente amarillo, marrón o gris a incoloro. Menos frecuente azul, verde, negro, blanco translúcido, rosado, violeta, anaranjado, púrpura y rojo (fancy diamond).
<u>Raya</u>	Incolora.
<u>Lustre</u>	Adamantino.
<u>Transparencia</u>	Transparente a subtransparente a translúcido.
<u>Sistema cristalino</u>	Isométrico-Hexoctaédrico. (<u>Sistema cristalino cúbico</u>)
<u>Fractura</u>	<u>Concoidal.</u>
<u>Dureza</u>	10 (<u>Material más duro conocido</u>).
<u>Densidad</u>	3,5 – 3,53 g/cm ³ .

Tiene la dureza más alta y conductividad térmica. Herramienta de corte y de pulido.

La mayoría de los diamantes naturales se forman en condiciones de presión y temperatura extremas (prof. 140-190 km en el manto terrestre).

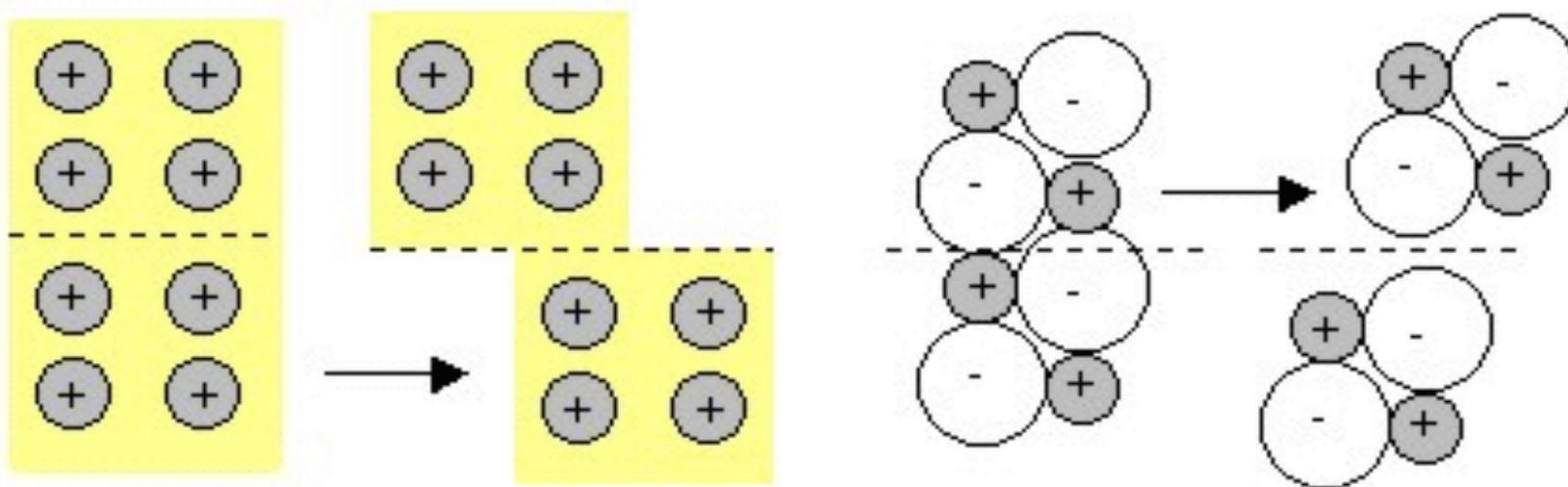


**ENLACE
COVALENTE**



Enlace metálico

- Los átomos comparten todos los electrones que tengan en su nivel exterior.

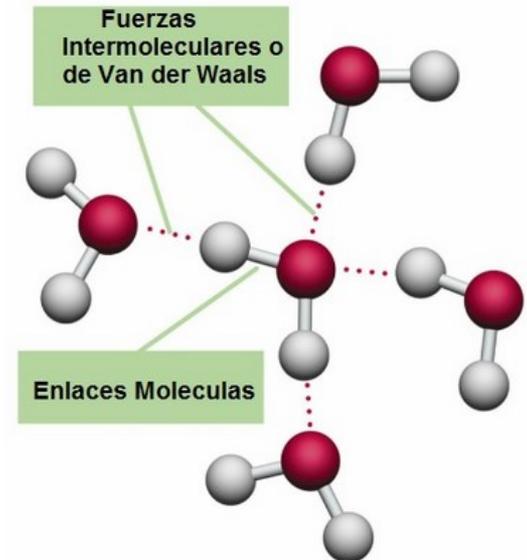


Propiedades de los compuestos metálicos

- Buenos conductores de la electricidad.
- Brillo metálico.
- Efecto fotoeléctrico.
- Gran plasticidad, tenacidad y/o ductilidad.
- Baja dureza y bajos puntos de fusión y ebullición.

Enlace de Van der Waals

- Son las fuerzas atractivas y/o repulsivas entre moléculas distintas a aquellas debidas a un enlace intramolecular o a la interacción electrostática de iones con moléculas neutras.
- También se usa en ocasiones como un sinónimo para la totalidad de las fuerzas intermoleculares.
- Se forman entre moléculas ya constituidas pero que por deformación o desequilibrio quedan cargadas de distinta manera en polos opuestos.
- Son frecuentes en compuestos orgánicos y gases solidificados.
- En los minerales implican zonas de debilidad.



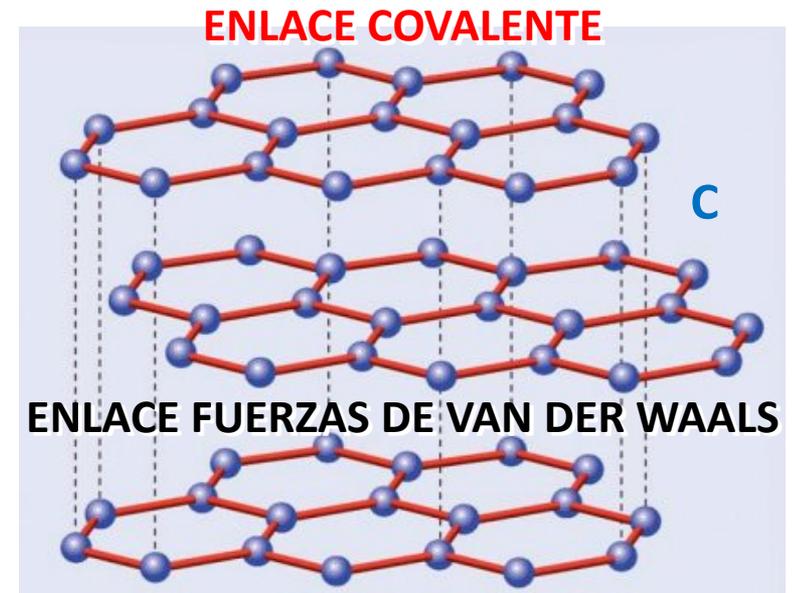
Grafito

γραφειν (graphein) = escribir

PROPIEDADES FÍSICAS	
<u>Color</u>	Negro acero y gris.
<u>Raya</u>	Negra.
<u>Lustre</u>	Metálica, tierra.
<u>Transparencia</u>	No.
<u>Sistema cristalino</u>	<u>Hexagonal</u> (6/m 2/m 2/m).
<u>Hábito cristalino</u>	Tabular, de seis caras foliada, las masas granulares compactados.
<u>Exfoliación</u>	Perfecto en una dirección.
<u>Fractura</u>	Escamosa, de lo contrario en bruto, cuando no en la división.
<u>Dureza</u>	1-2 (Mohs).
<u>Tenacidad</u>	Escamas finas flexibles y quebradizas.
<u>Densidad</u>	2,09 a 2,23 g/cm ³ .
<u>Magnetismo</u>	No magnético.

En la dirección perpendicular a las capas presenta una conductividad de la electricidad baja = **Semiconductor**.

A lo largo de las capas la conductividad es mayor y aumenta con la temperatura = **Conductor semimetálico**.



Compuestos con más de un tipo de enlace

- Propiedades distintas en función del enlace.

Análisis químico

- **Fórmulas químicas**: indican la proporción de los elementos que forman parte del mineral.

PbS = **Galena**.

CuFeS₂ = **Calcopirita**.

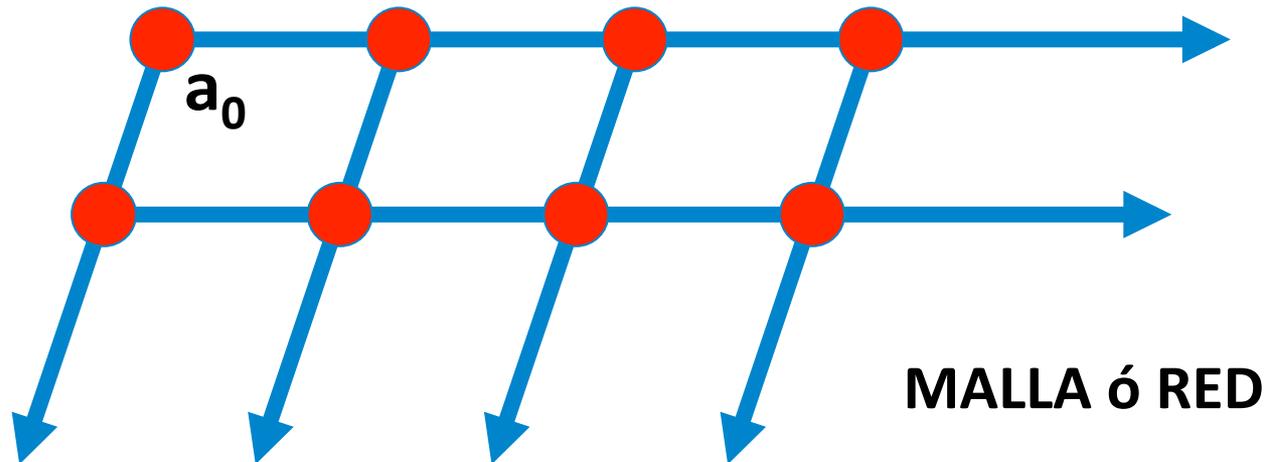
Orden interno del sólido cristalino

- **Sólidos cristalinos o Materia cristalina:** materiales sólidos formados por elementos que se repiten de manera ordenada y paralela y cuya distribución en el espacio muestra ciertas relaciones de simetría.
- **Propiedades de la materia cristalina:**
 1. Periodicidad.
 2. Homogeneidad.
 3. Anisotropía.
- **Periodicidad:** a partir de cualquier punto de referencia todas las partículas están dispuestas en intervalos regulares propios de cada dirección.
- **Homogeneidad:** cualquier partícula se halla rodeada por un número fijo de partículas en una disposición constante.

Orden interno del sólido cristalino

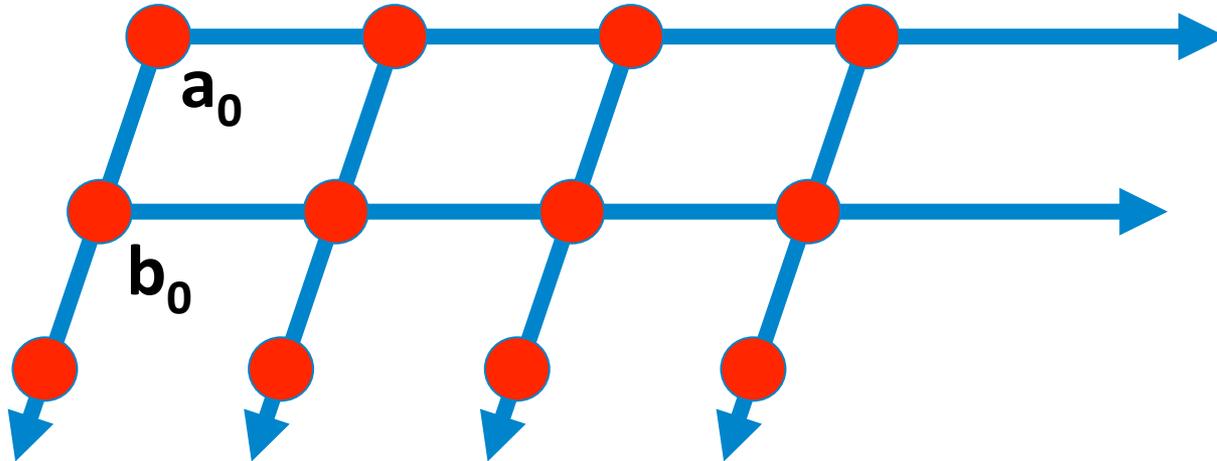
- Repetición en el espacio del **Motivo estructural**.
- **M.E.** = átomos, grupos de átomos ó moléculas que se repiten ordenadamente (NUDOS).

EN UNA SOLA DIRECCIÓN:



Orden interno del sólido cristalino

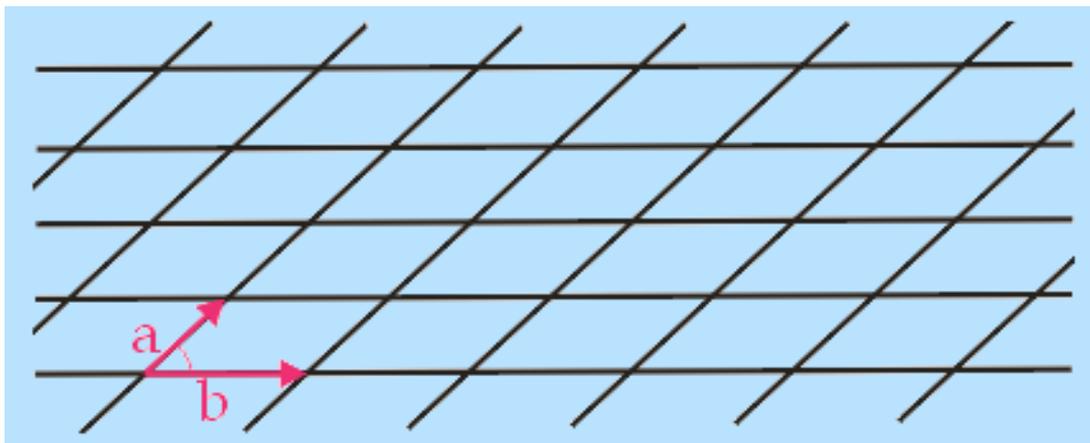
- Las dos periodicidades menores de todas las posibles se denominan: Unidad de Periodicidad.



Tipos de redes planas

- **Cinco tipos:**

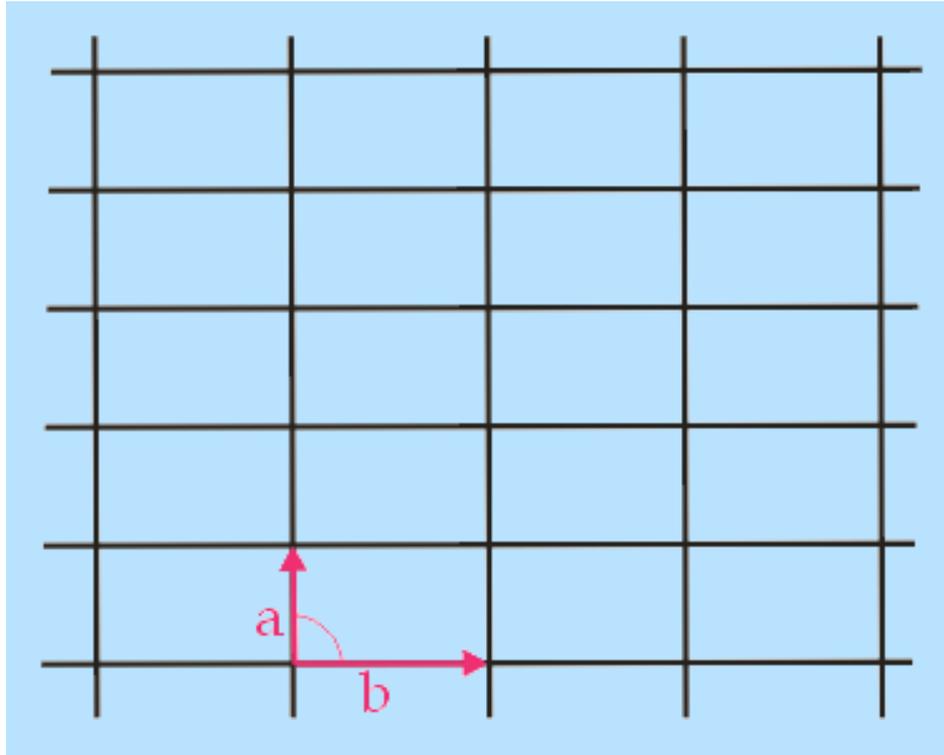
1. Red oblicua ($a \neq b$ $\neq c$ $\neq 90^\circ$).



Tipos de redes planas

- Cinco tipos:

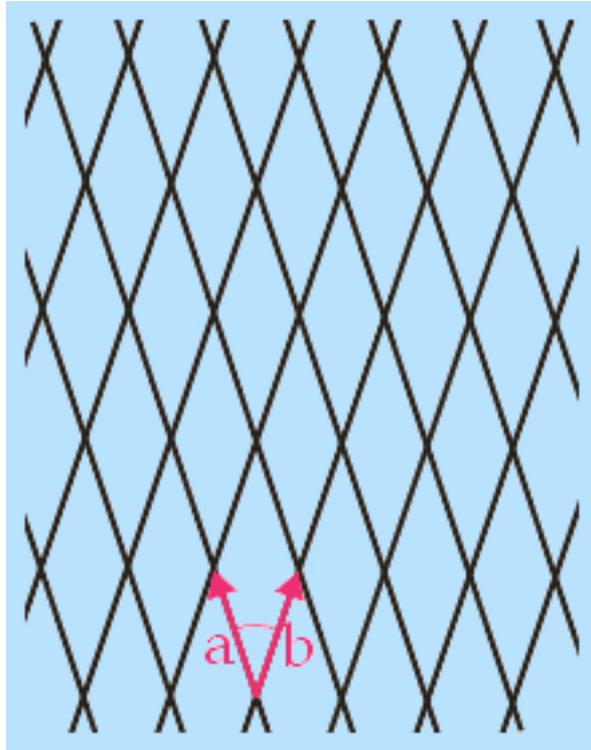
2. Red rectangular ($a \neq b$ $\alpha = 90^\circ$).



Tipos de redes planas

- Cinco tipos:

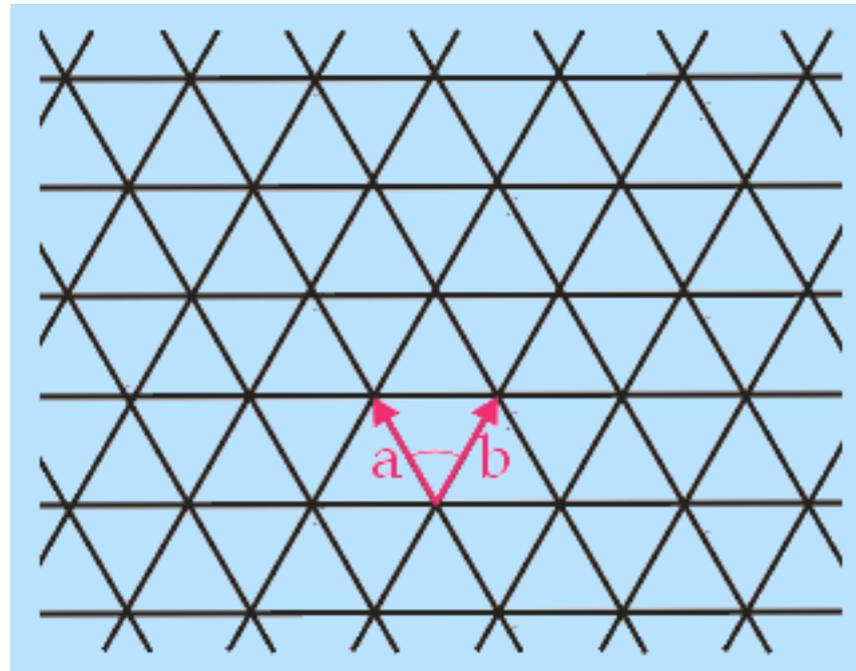
3. Red rómbica ($a = b$ \neq $90^\circ, 60^\circ, 120^\circ$).



Tipos de redes planas

- Cinco tipos:

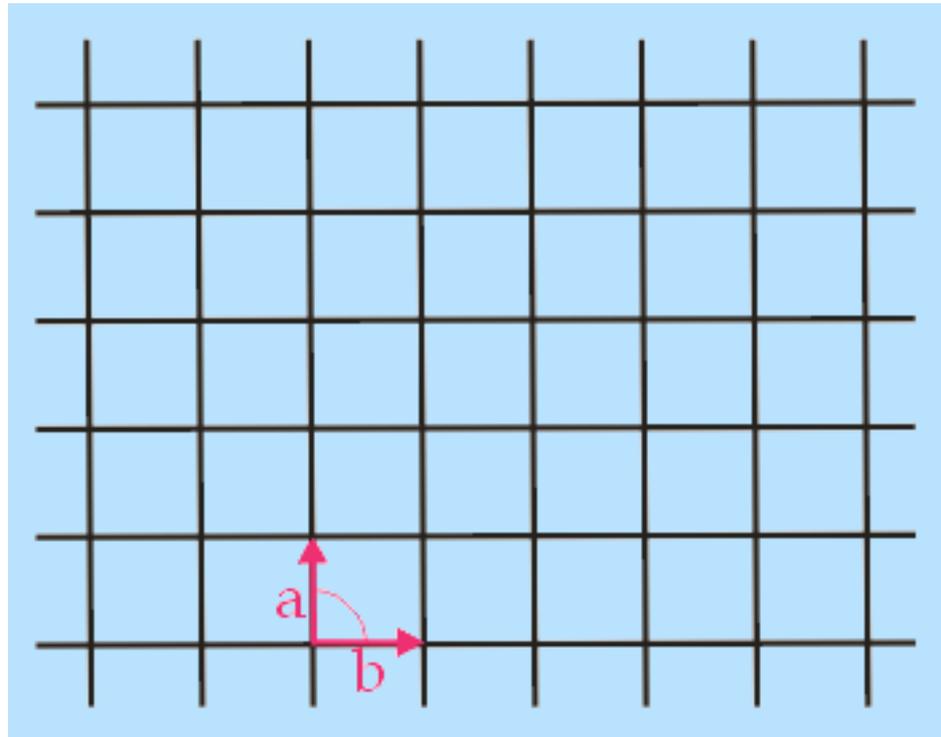
4. Red hexagonal ($a = b$ $\gamma = 60^\circ, 120^\circ$).



Tipos de redes planas

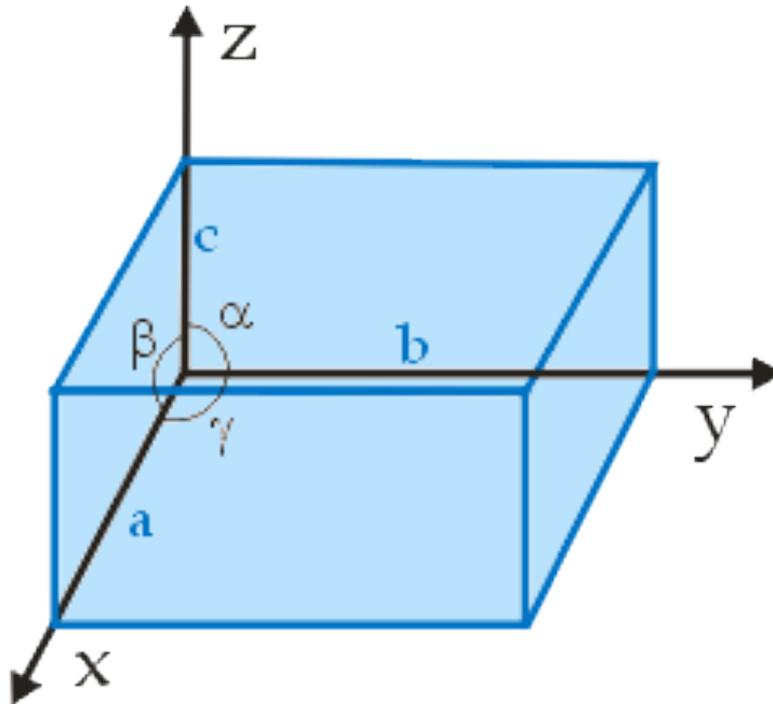
- Cinco tipos:

5. Red cuadrada ($a = b$ $\alpha = 90^\circ$).



Orden interno del sólido cristalino

- Las redes planas forman por apilamiento homogéneo las **Redes espaciales**.



Repetición en las tres direcciones del espacio del motivo estructural.

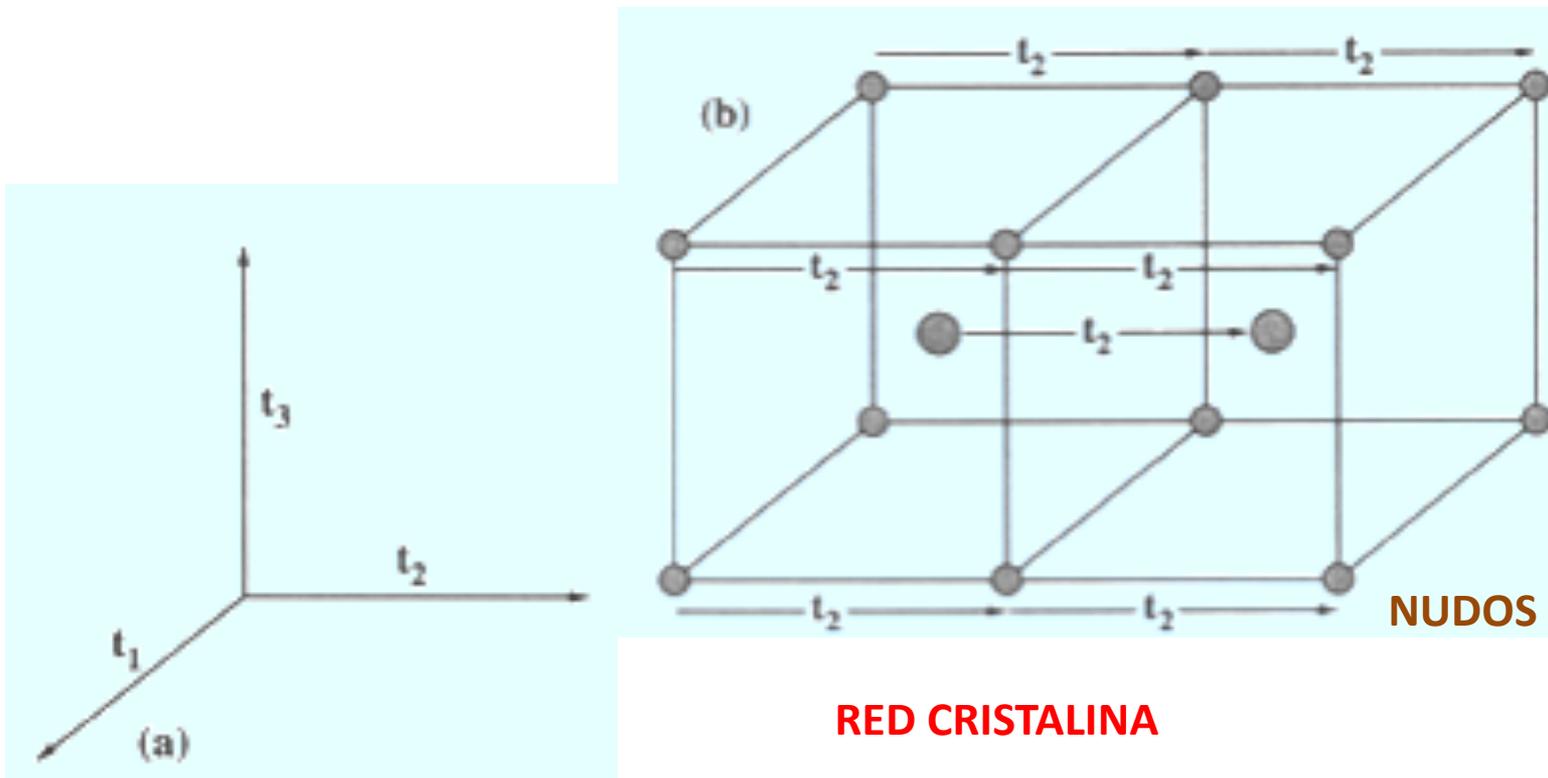
Propiedades de la materia cristalina

- **Periodicidad:**

- La repetición monótona de agrupaciones atómicas paralelas entre sí y a distancias repetitivas específicas.
- En la red cristalina todos los puntos, nudos, tienen exactamente los mismos alrededores y son idénticos en posición con relación al patrón o motivo que se repite.
- Este motivo es una constante.

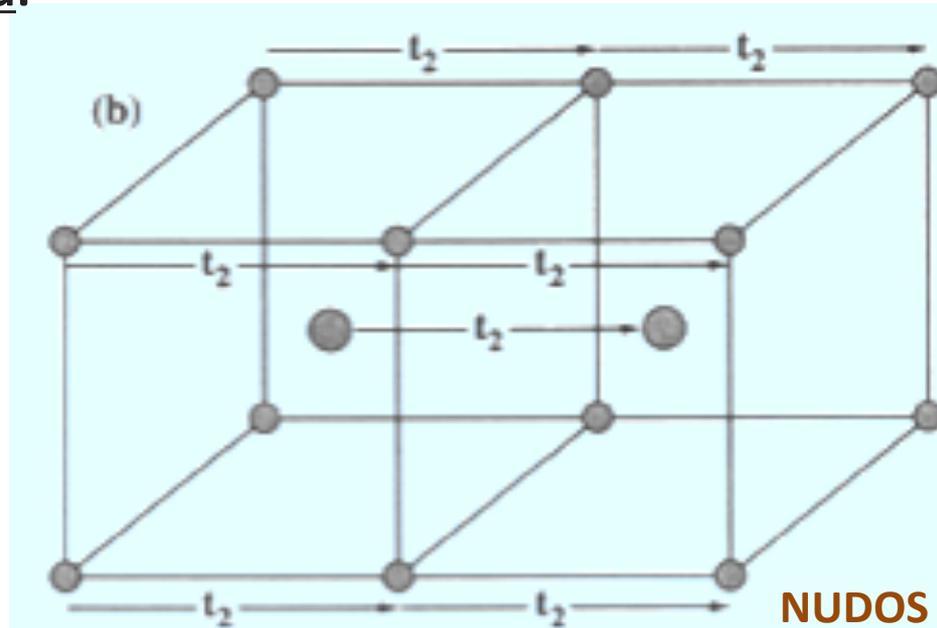
Propiedades de la materia cristalina

- Periodicidad:



Propiedades de la materia cristalina

- Periodicidad:

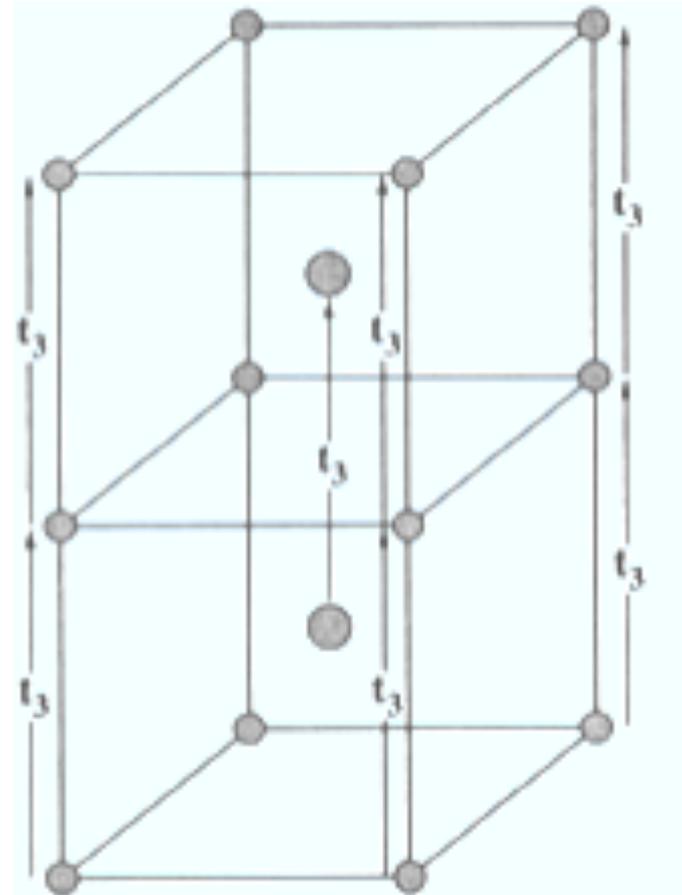


- La distancia según la cual las unidades estructurales se repiten paralela e idénticamente a lo largo de una dirección dada se denomina **TRASLACIÓN**.

Propiedades de la materia cristalina

- Homogeneidad:

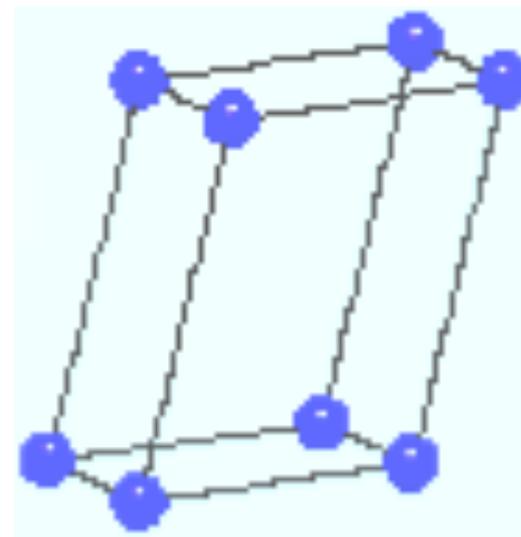
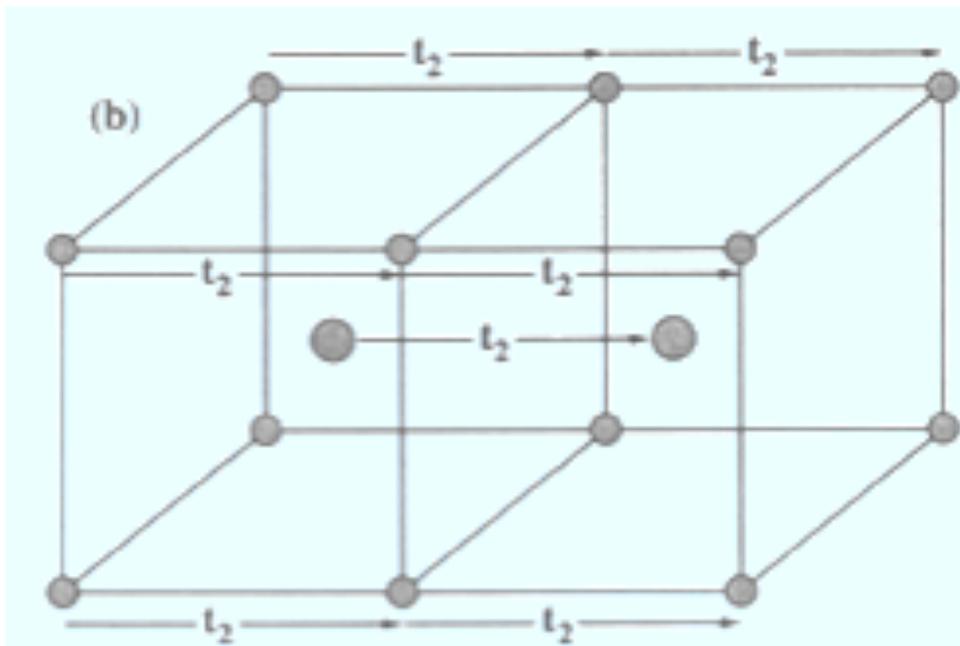
- En una red cristalina la distribución de nudos alrededor de uno de ellos es la misma.



Propiedades de la materia cristalina

- Anisotropía:

- La distancia entre nudos depende de la dirección según la cual se mide.



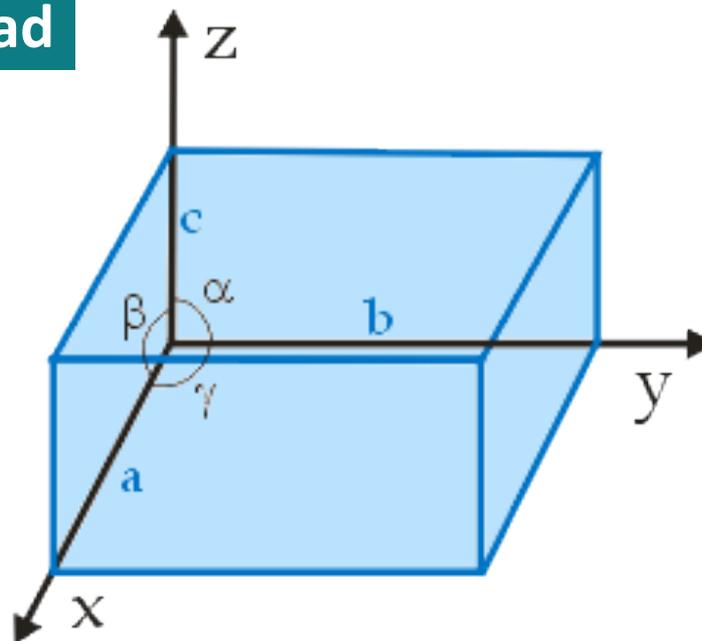
- En el caso de los **minerales** la existencia de una **estructura interna ordenada** implica que cada muestra de un mismo mineral contiene los mismos elementos reunidos en un **Modelo Regular y Repetitivo**.

Cruz axial

- Representación gráfica de las **Constantes cristalográficas**.

Celda unidad

- Es el paralelepípedo construido con las constantes cristalográficas.



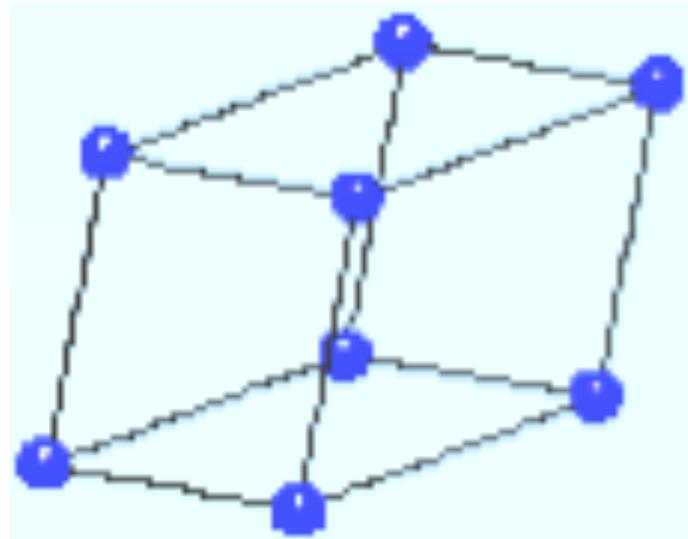
Sistemas cristalinos

- Las distintas combinaciones de las Constantes Cristalográficas constituyen los **Sistemas cristalinos**.
- Geométricamente se demuestra que sólo existen 6 combinaciones posibles:

SISTEMA TRICLÍNICO

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



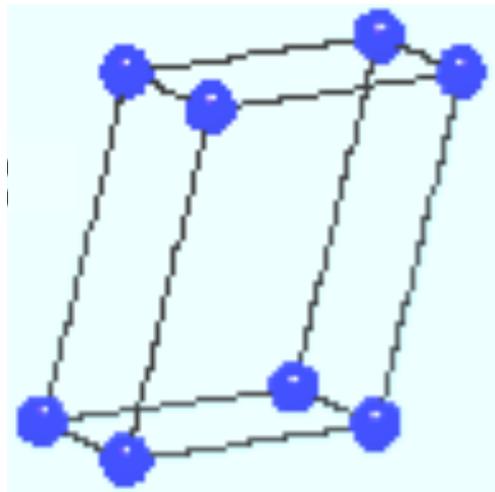
Sistemas cristalinos

SISTEMA MONOCLÍNICO

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ$$

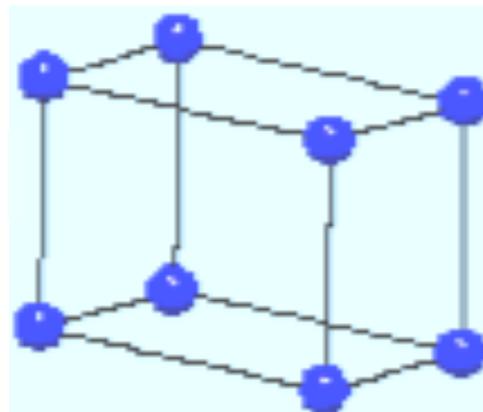
$$\beta \neq 120^\circ$$



SISTEMA RÓMBICO

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



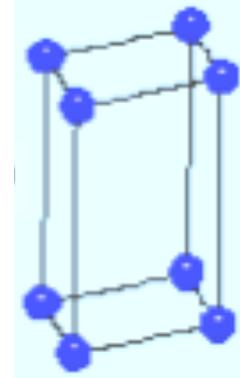
Sistemas cristalinos

SISTEMA HEXAGONAL Y TRIGONAL

$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

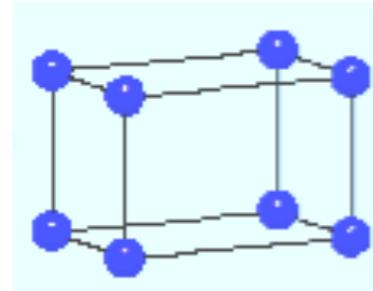
$$\gamma = 120^\circ$$



SISTEMA TETRAGONAL

$$a = b \neq c$$

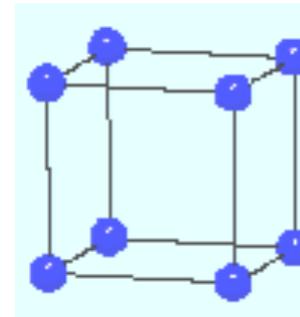
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



SISTEMA CÚBICO

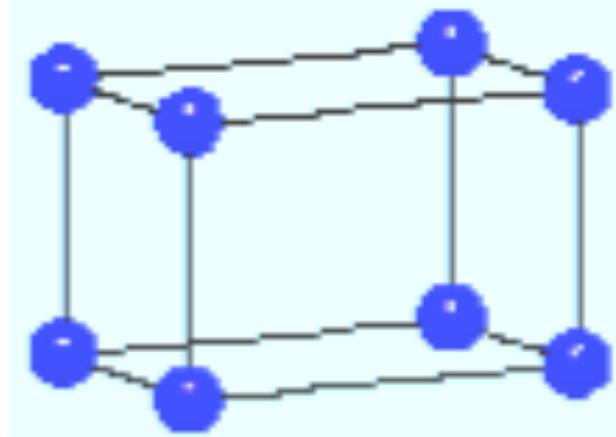
$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

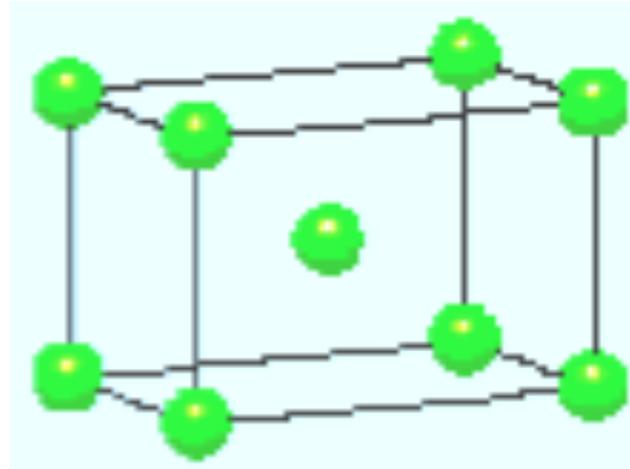


Celdilla unidad

CELDA PRIMITIVA

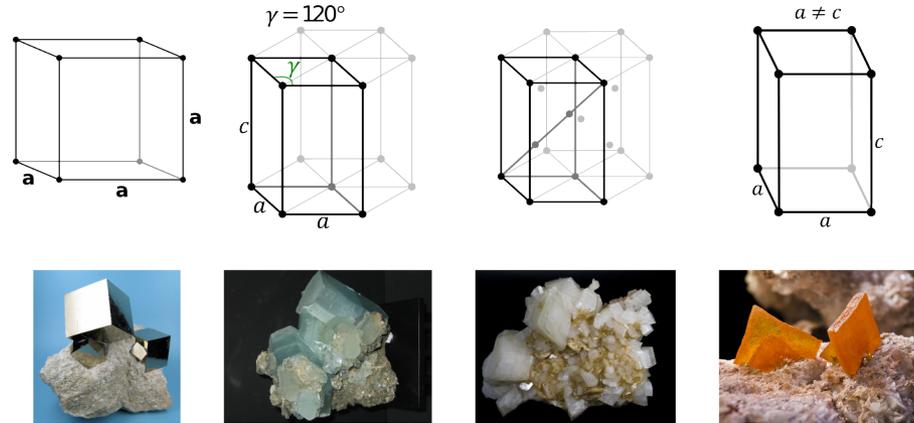


CELDA MÚLTIPLE



• En función de los parámetros de red, es decir, de las longitudes de los lados o ejes del paralelepípedo elemental y de los ángulos que forman, se distinguen siete sistemas cristalinos:

- Cúbico.
- Hexagonal.
- Tetragonal.
- Trigonal.
- Rómbico.
- Monoclínico.
- Triclínico.

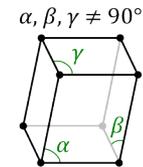
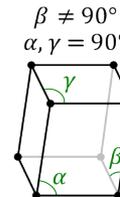
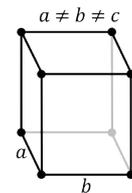


Cúbico
PIRITA

Hexagonal
BERILO

Trigonal
DOLOMITA

Tetragonal
WULFENITA



Ortorómbico
MARCASITA

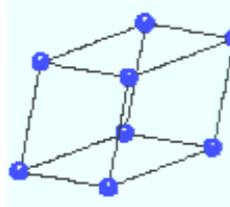
Monoclínico
YESO

Triclínico
MICROCLINA

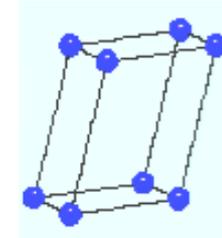
Celdilla unidad

- Geoméricamente se demuestra que sólo existen 6 tipos de Celdillas primitivas.

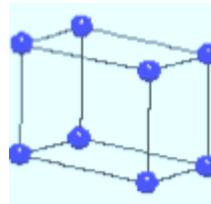
TRICLINICA P



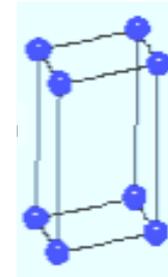
MONOCLÍNICA P



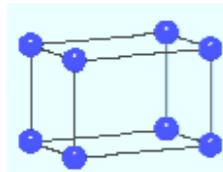
RÓMBICA P



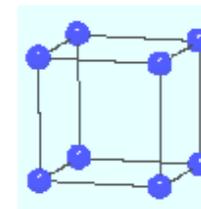
HEXAGONAL P



TETRAGONAL P

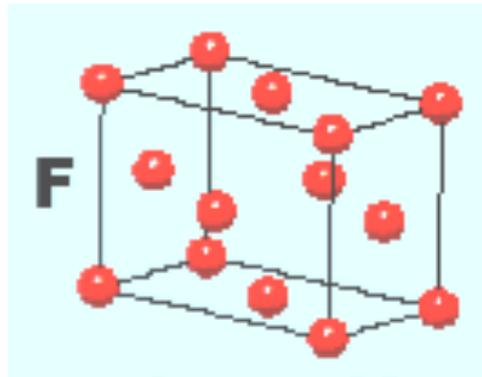


CÚBICA P

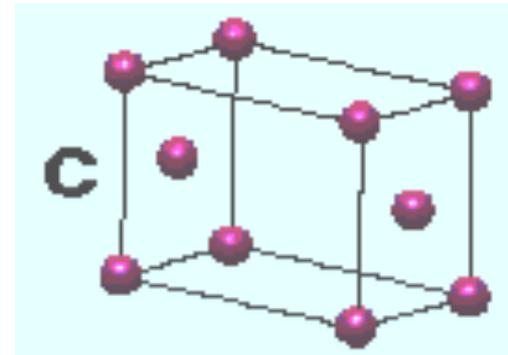


Celdilla múltiples

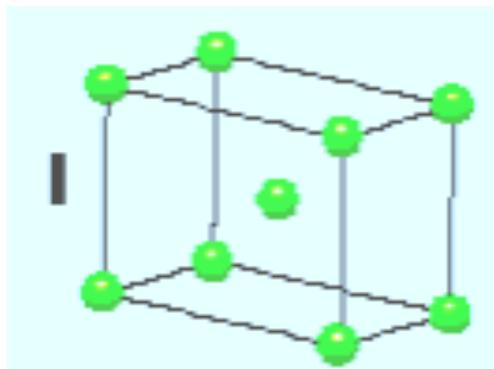
DE BASES CENTRADA



DE CARAS CENTRADA



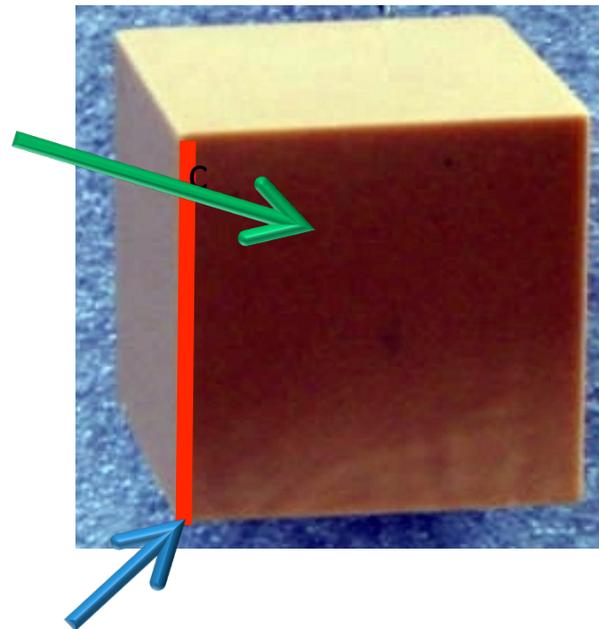
CENTRADA EN EL INTERIOR



- El conjunto de 6p y 8m → 14 celdillas condicionadas por las leyes de la simetría: **Redes de Bravais**.

Motivos morfológicos

- **CARAS:** superficies planas que delimitan la materia cristalina.
- **ARISTAS:** intersección de dos caras.
- **VÉRTICES:** intersección de 3, 4 u 8 aristas.



Mineralogía

Tema 2. Cristal y sólido cristalino

Simetría



Simetría

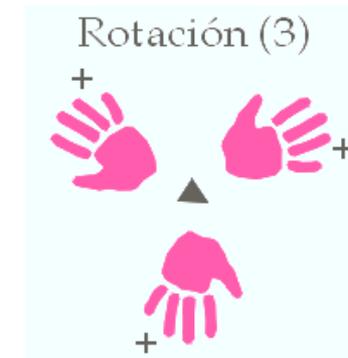
- Conjunto de transformaciones lineales que hacen unas direcciones equivalentes a otras.
- La simetría de una especie cristalina es constante para todos los miembros de esa especie cristalina.
- **Elemento de simetría**: lugar geométrico que ayuda a la visualización de la Simetría de una distribución ordenada.

Elementos de simetría

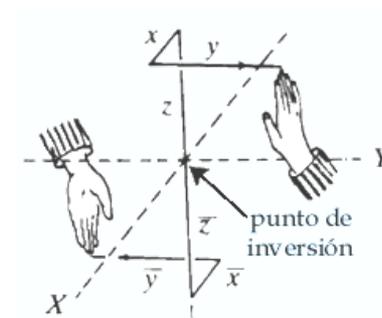
- **Plano de simetría**: imagen especular = m .



- **Eje de simetría**: línea imaginaria, “n” veces en un giro completo de 360° .

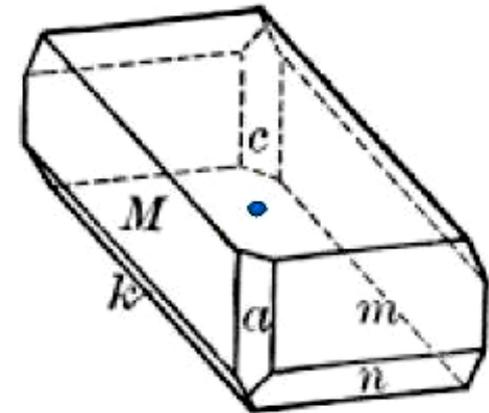
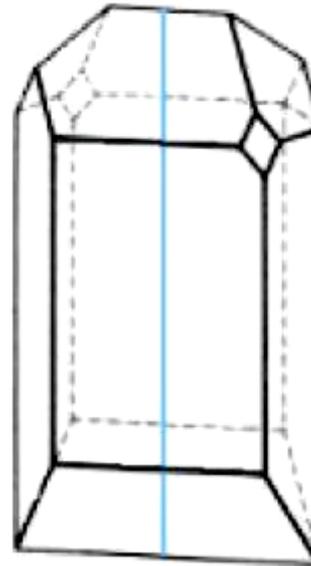
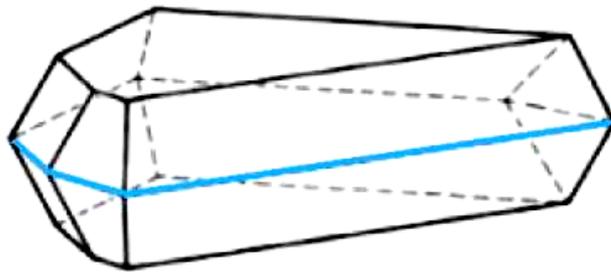


- **Centro de simetría**: invierte el objeto.



Operaciones de simetría

- Son el resultado de hacer actuar un determinado elemento de simetría sobre un motivo morfológico del cristal:
 - Rotación: eje.
 - Reflexión: plano.
 - Inversión: centro.



Nomenclatura

- **Plano**: m.
- **Centro**: c.
- **Ejes**: 1, 2, 3, 4, 6.
- **Eje de inversión**: 1.
- $360^\circ/n$
- $n = 1$ -- MONARIO.
- $n = 2$ -- BINARIO.
- $n = 3$ -- TERNARIO.
- $n = 4$ -- CUATERNARIO.
- $n = 6$ -- SENARIO.

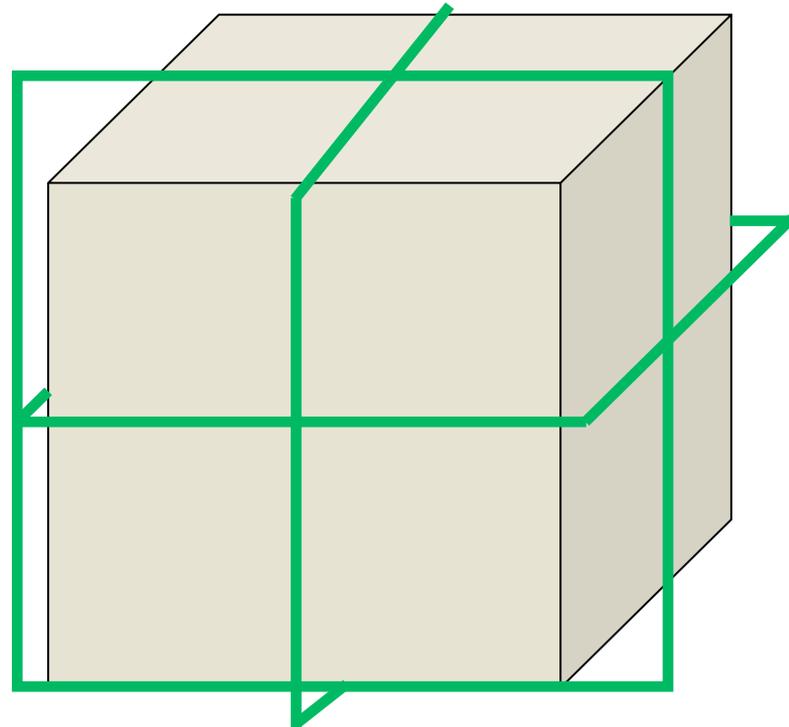
Descripción de la simetría de un cristal

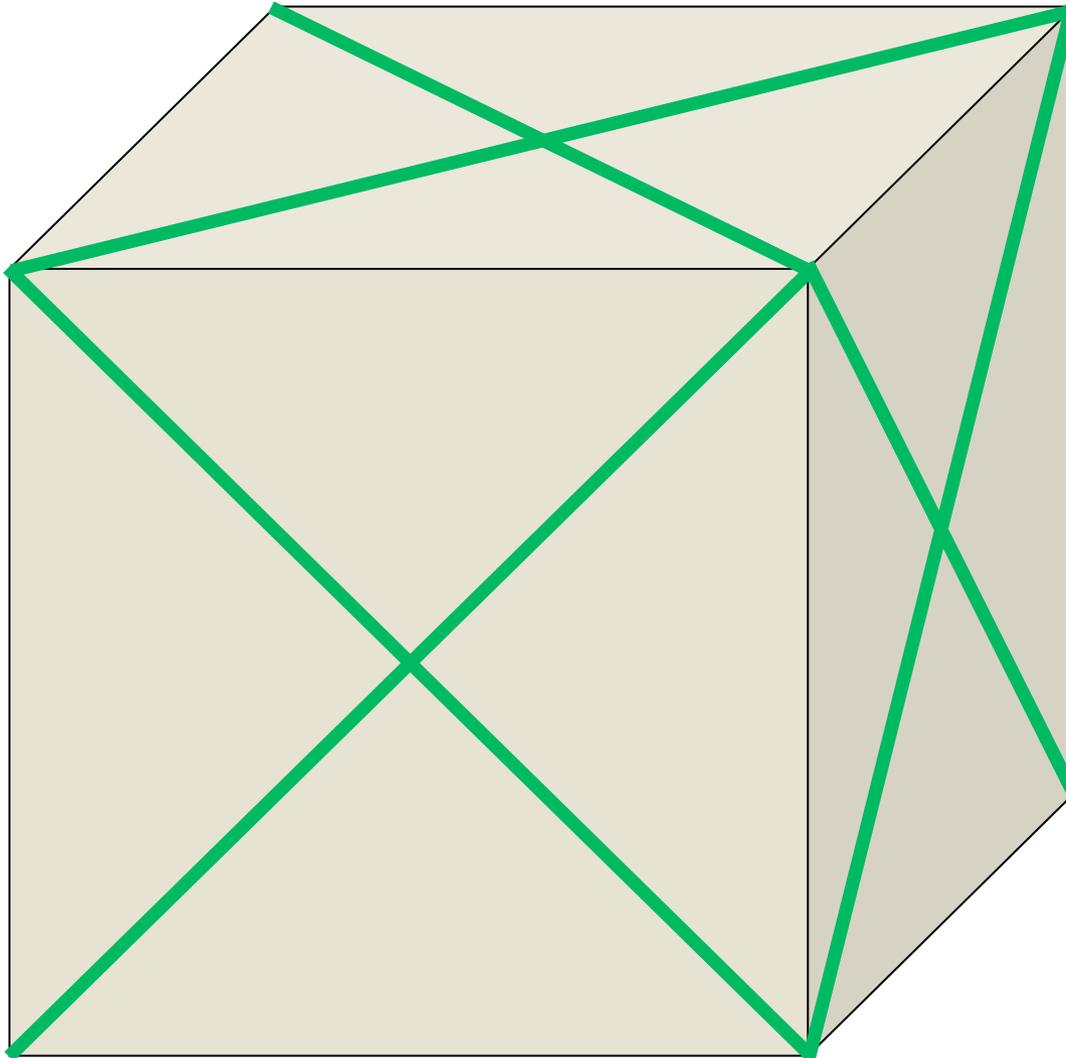
- **Hermman-mauguin:**

- 1 eje simetría cuaternario y 1 plano de simetría paralelo al eje : 4 m.

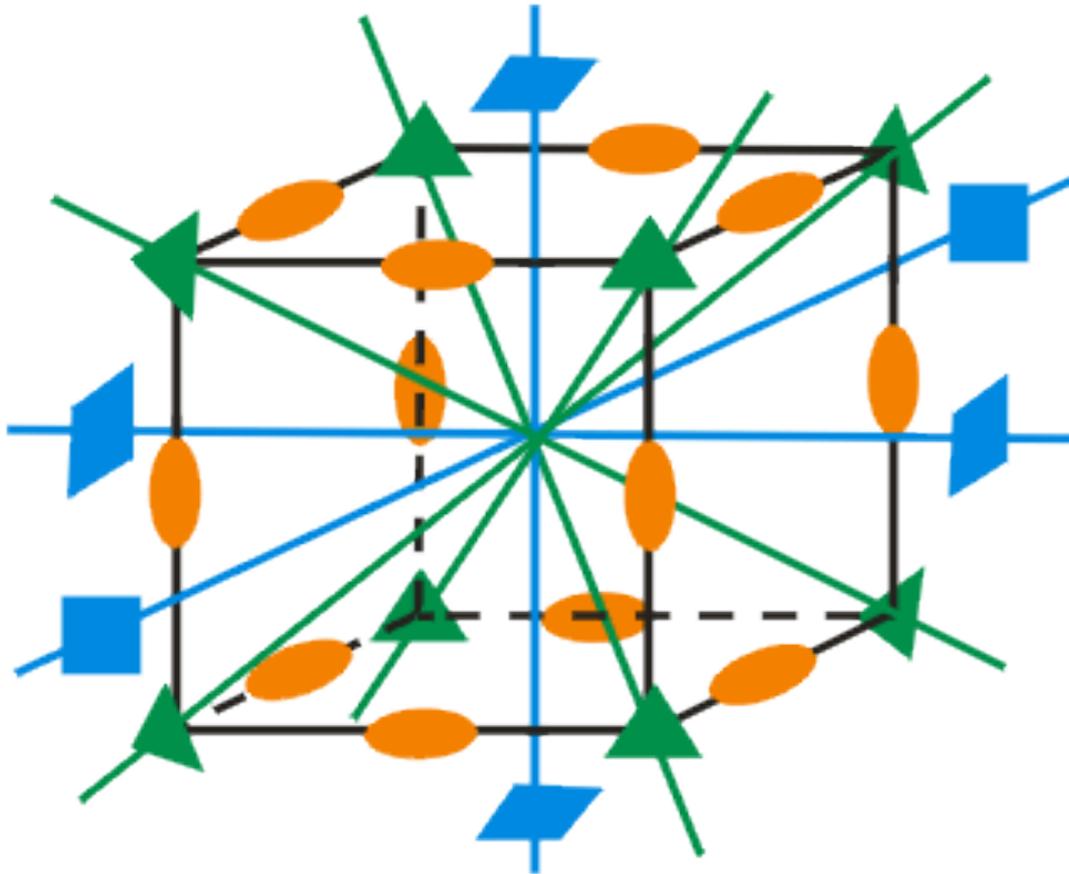
- **Simetría de Cubo:**

- 3 planos de simetría paralelos a las caras.





- 36 planos de simetría en las diagonales.



- 3 ejes Cuaternarios.
- 4 Ternarios.
- 6 Binarios.
- 1 centro de simetría.

Mineral

- *«Compuesto químico sólido y homogéneo, de origen natural, formado como consecuencia de un proceso generalmente inorgánico, dotado de una composición química definida pero no fija y con una estructura interna ordenada».*

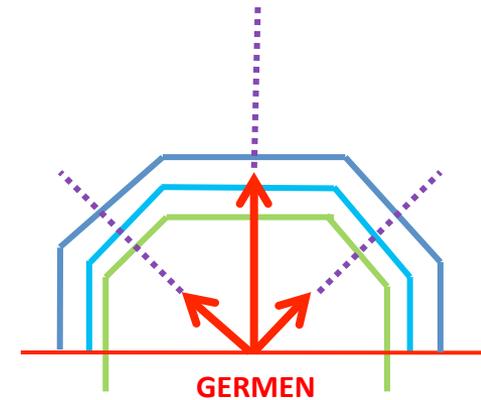
Cristal

- *«Sólido limitado por una serie de caras planas con una cierta regularidad en su disposición».*

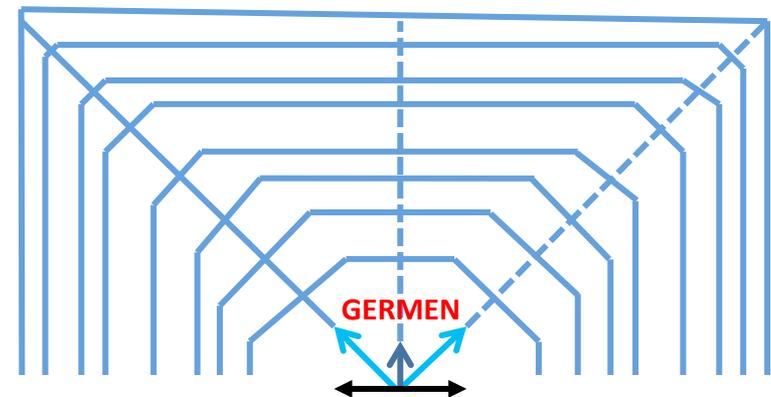
Sólido cristalino

- *«Estado de la materia caracterizado por poseer un orden interno».*

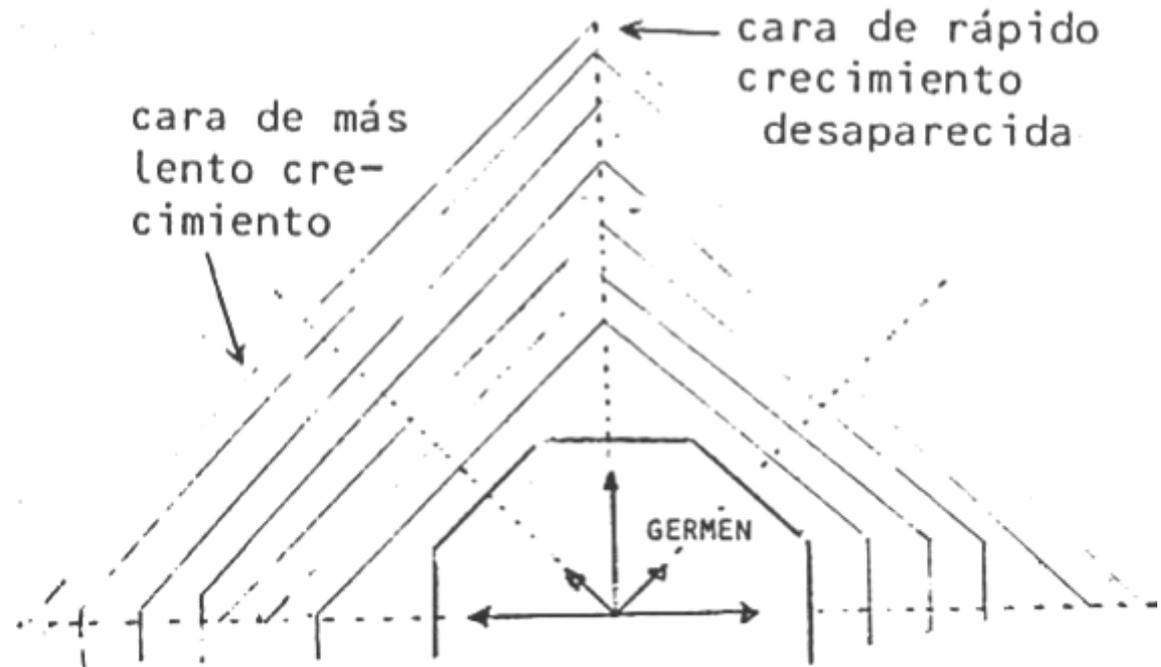
- El crecimiento de la materia cristalina a partir de un germen o núcleo se realiza por **Aposición** sobre dicho germen de los átomos, iones o moléculas que se encuentran en el fluido circundante. Se van ordenando líneas de puntos y éstas a su vez forman una capa paralela a un plano reticular de la estructura del mineral. Una capa se superpone paralelamente a otra y así sucesivamente.



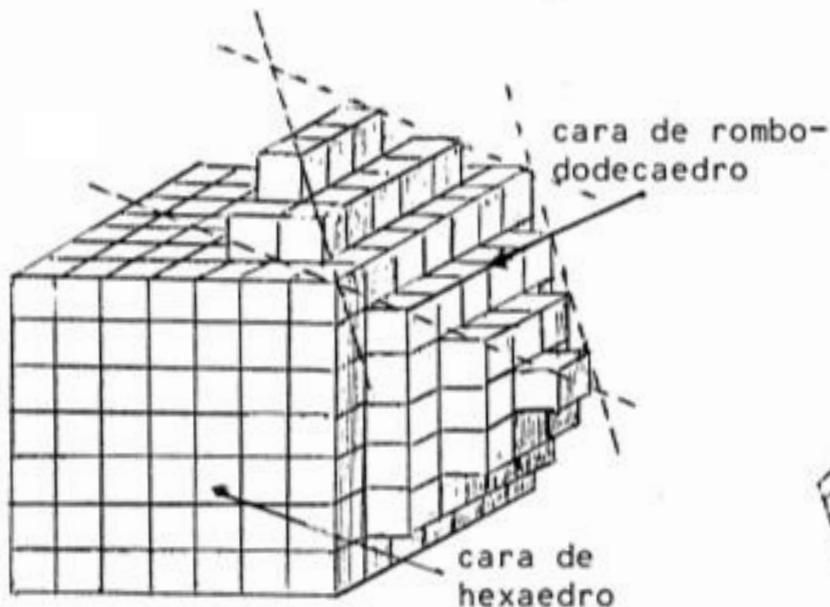
- Esta aposición paralela de materiales no se realiza de igual manera sobre las distintas caras iniciales del germen. Cada plano reticular posee una determinada **Energía de crecimiento**: unas caras crecen más rápidamente que otras.
- Las caras de crecimiento más lento tienden a desarrollarse más: **Caras dominantes**.
- Las de crecimiento rápido quedan reducidas e incluso desaparecen.



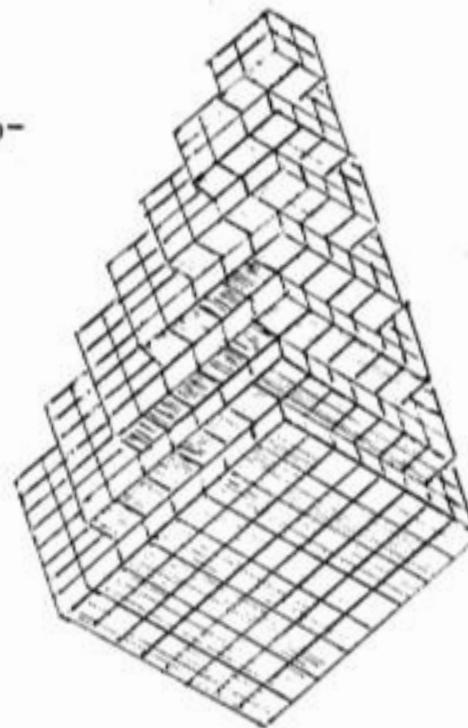
- Los **Biselamientos** (caras en lugar de aristas),
- Truncamientos** (caras en lugar de vértices) y
- Apuntamientos** (varias caras en lugar de un vértice o una arista) corresponden a caras de rápido crecimiento.



Los minerales se han de considerar constituidos por repetición tridimensional de infinitud de celdillas unidad.



Apilamiento de celdillas cubos formando un hexaedro o un rombododecaedro.

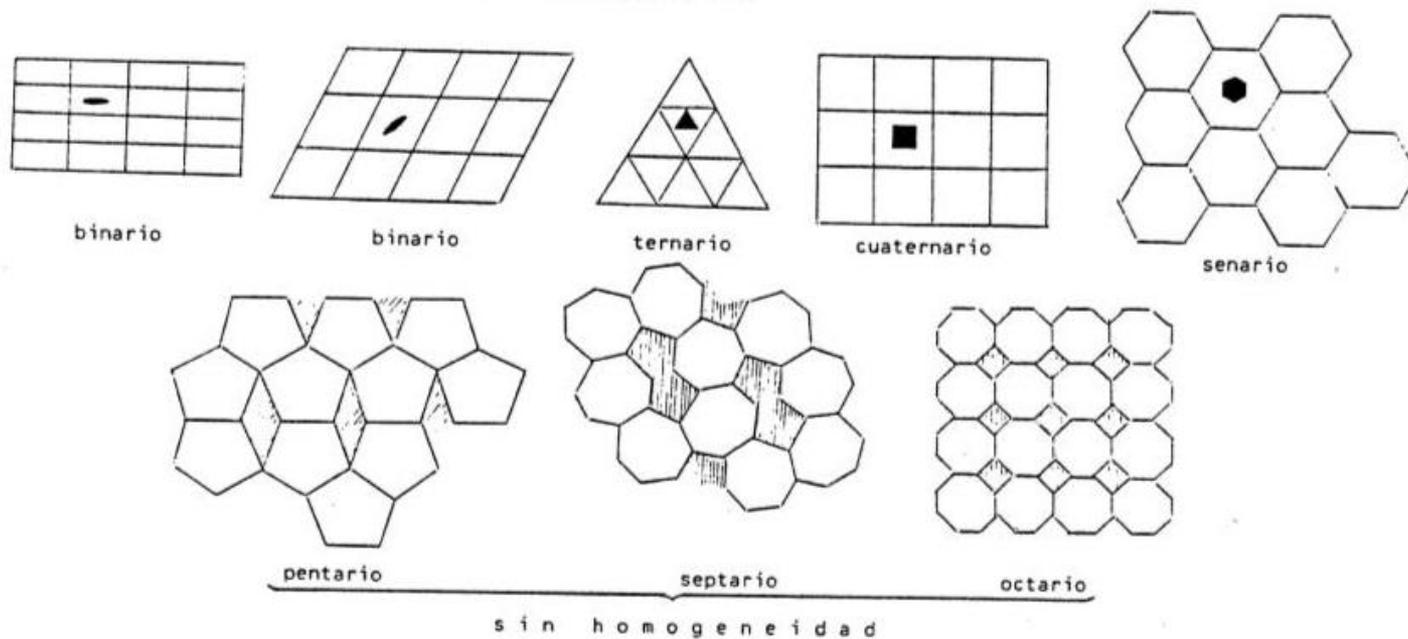


Apilamiento de celdillas romboedros formando un escalenoedro.

El escalonamiento de las celdillas es en realidad de unas dimensiones tan pequeñas (del orden de 10^{-8} cm), que a nuestro tacto y vista aparece totalmente lisa y con brillo en su conjunto.

La homogeneidad de la estructura cristalina

- Los puntos de la celdilla se ordenan formando polígonos de n lados en planos reticulares perpendiculares a ejes de giro de orden n . Esto no puede ocurrir más que formando paralelogramos ($n = 2$), rombos ($n = 2$), triángulos equiláteros ($n = 3$), cuadrados ($n = 4$) ó hexágonos ($n = 6$).
- No es posible una ordenación regular homogénea (sin lagunas) de polígonos de 5 lados o de más de 6.



Forma cristalográfica

- Aunque se utiliza habitualmente el término **"forma"** para designar el aspecto externo de un cristal, lo apropiado es designar la forma externa (generalmente mal formada y defectuosa) con la palabra **Hábito**, y utilizar **"forma"** como un grupo ideal de caras cristalinas todas las cuales tienen la misma relación con los elementos de simetría y exhiben las mismas posibilidades físicas y químicas.



Forma cristalográfica

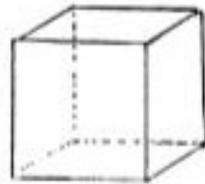
- Por **Forma cristalográfica**, se entiende el conjunto de caras homólogas o equivalentes que se obtienen a partir de una cualquiera de ellas haciendo actuar sobre dicha cara todos los elementos de simetría existentes en el cristal.
- De esta manera, las caras se agrupan según conjuntos equivalentes por simetría; y estos conjuntos se denominan formas cristalinas y se simbolizan por $\{hkl\}$. Como para constituir una forma cristalina únicamente necesitamos caras equivalentes por simetría, las formas pueden ser **cerradas** o **abiertas**, según limiten un espacio cristalino o no.



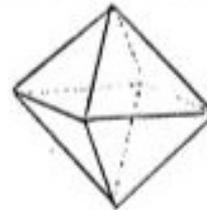
Las caras equivalentes de un cristal poseen el mismo comportamiento físico-químico

Una forma cristalográfica puede ser:

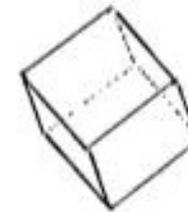
- a) CERRADA: delimita por sí sola totalmente el cristal. Por ejemplo: un hexaedro, un cubo, un octaedro, un romboedro, etc.



hexaedro
o cubo

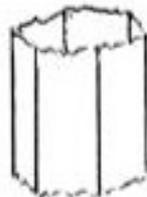


octaedro



romboedro

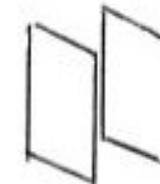
- b) ABIERTA: no delimita ella sola todo el cristal, sino que requiere otra u otras formas, con cuyo conjunto quede delimitado el cristal. Por ejemplo: un prisma, una pirámide, un pinacoide, etc.



prisma:
necesita un
par de ca-
ras paralelas que ha-
gan de bases



pirámide:
necesita
una base



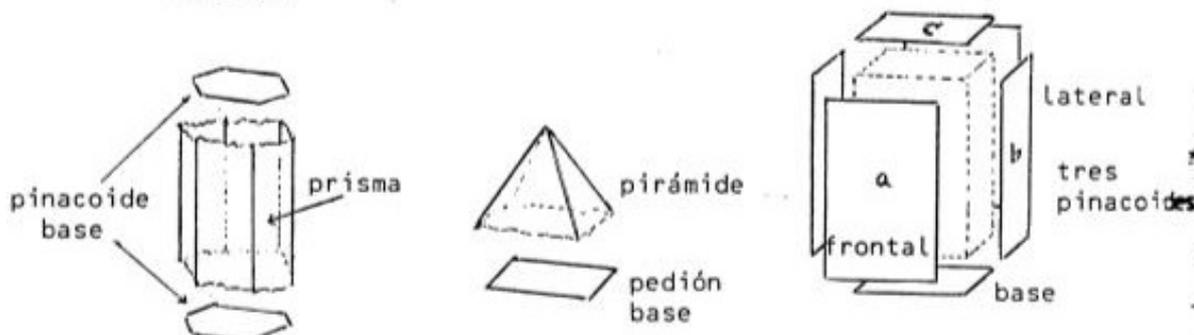
pinacoide:
necesita
otros dos
pinacoides (uno latera
y otro base)

Tema 2. Cristal y sólido cristalino

c) SIMPLE: cualquier forma abierta o cerrada considerada aisladamente. Por ejemplo un cubo, una pirámide, un pinacoide, etc.

d) COMPUESTA: consta de dos o más formas simples abiertas, indispensables para terminar de delimitar el cristal. Por ejemplo: prisma + pinacoide; pirámide + pedión; pinacoide + dos pinacoides, etc.

Un prisma y una dipirámide no es forma compuesta, pues la dipirámide es una forma simple cerrada, que puede delimitar por sí sola el cristal.



e) COMBINACION: simultaneidad de formas simples o compuestas, abiertas o cerradas, en un mismo cristal. Por ejemplo: prisma + dipirámide; prisma + dipirámide + pinacoide base; cubo + octaedro, etc.

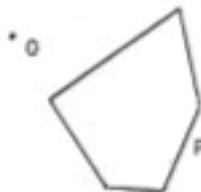


FORMAS SIMPLES ENGENDRADAS POR CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA SIMPLES

De la actuación aislada de los elementos de simetría simples se obtienen siempre FORMAS SIMPLES ABIERTAS.

Existen solamente seis formas simples abiertas:

1. PEDION o MONOEDRO: una sola cara sin elementos de simetría que actúen sobre ella.



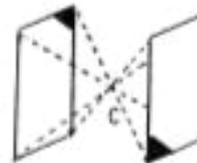
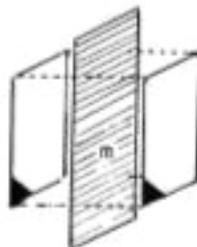
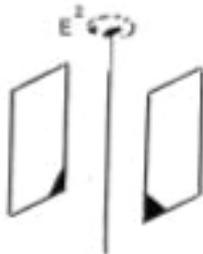
PEDION

(O = centro geométrico del cristal;
no es un centro de simetría)

Por ejemplo: la base de una pirámide; cualquier cara de un cristal triclinico de la clase que no posee elementos de simetría, etc.

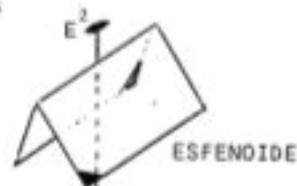
2. PINACOIDE: par de caras PARALELAS, engendradas indistintamente por un eje binario o por un plano o por un centro de inversión.

Por ejemplo: el par de caras-base de un prisma, etc.



P I N A C O I D E

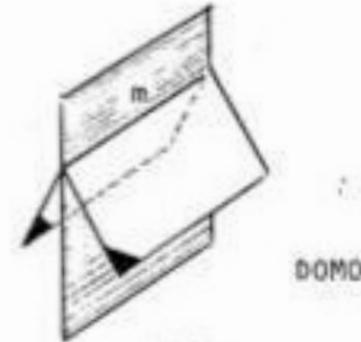
3. ESFENOIDE: par de caras NO PARALELAS engendradas por un eje binario.



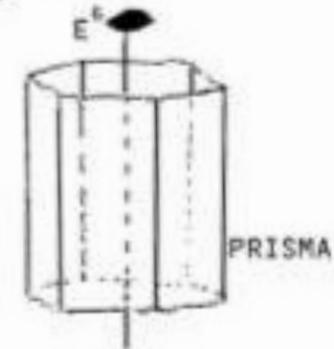
ESFENOIDE

- DOMO: par de caras NO PARALELAS engendradas por un plano.

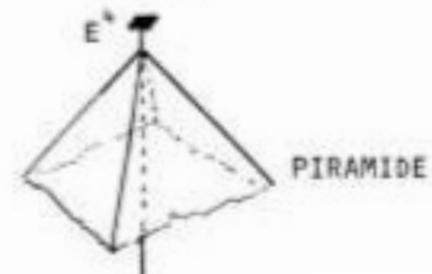
Dos caras no paralelas, engendradas simultáneamente por un eje binario y además por un plano, forman un DOMO, ya que en el contorno de las caras prevalece la actuación del plano.



- 5. PRISMA: tres, cuatro o seis caras con sus aristas comunes PARALELAS, engendradas por un eje ternario, cuaternario o senario.



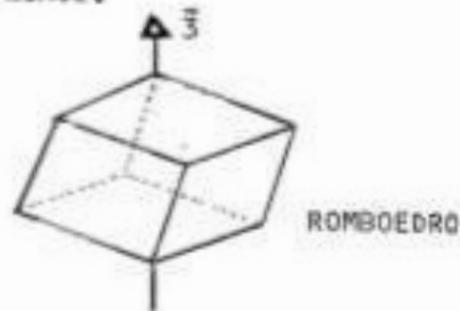
- 6. PIRAMIDE: tres, cuatro o seis caras con sus aristas comunes COINCIDENTES en un punto, engendradas por un eje ternario, cuaternario o senario.



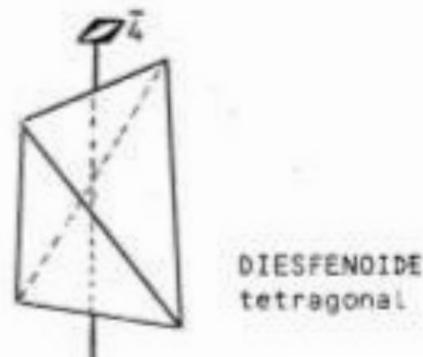
FORMAS SIMPLES ENGENDRADAS POR CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPUESTOS

Existen solamente tres formas simples cerradas engendradas por la sola actuación de ejes de simetría compuestos, ya que el eje monario de inversión y el eje binario de inversión equivalen a la actuación de un centro o de un plano respectivamente, cuyas formas simples ya se han visto anteriormente.

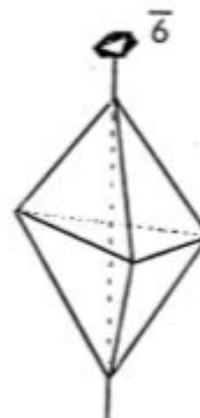
1. ROMBOEDRO: seis caras rómbicas engendradas por un eje ternario de inversión ($\bar{3}$) o por un eje senario de reflexión (E^6_r).



2. DIESFENOIDE tetragonal: cuatro caras triángulos isósceles, engendradas por un eje cuaternario de inversión ($\bar{4}$) o de reflexión (E^4_r).



3. DIPIRAMIDE trigonal: seis caras triángulos isósceles, engendradas por un eje senario de inversión ($\bar{6}$) o por un eje ternario de reflexión (E^{3r}).



DIPIRAMIDE
trigonal

Todas las demás formas simples abiertas (pirámide rómbica, prisma ditetragonal, etc.) o cerradas (cubo, tetraedro, pentadodecaedro, etc.) existentes en Cristalografía, son engendradas por la presencia en un mismo cristal de dos o más elementos de simetría simples o compuestos, como más adelante se verá al describir cada una de las 32 clases de simetría.

Se sobreentiende que todas las caras constitutivas de una forma simple han de ser homólogas (equivalentes).

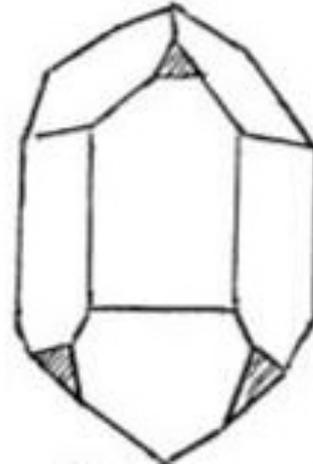
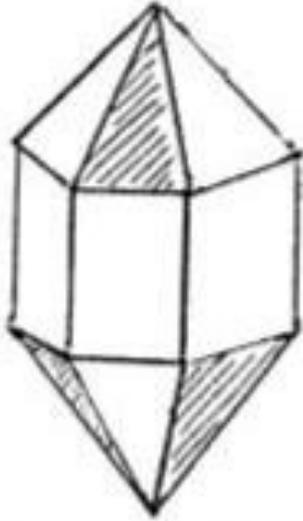
Cristal real

- Las circunstancias variadísimas del medio, en que en realidad crece un mineral pueden alterar el equilibrio energético en el que teóricamente se desarrolla la estructura del mineral. Estos factores externos son:
 - a) **Materiales**: sustancias extrañas existentes en el medio, concentración, etc.
 - b) **Energéticas**: presiones, radiactividad, temperatura etc.
- Aparecen nuevas caras.
- Disminuye o aumenta el crecimiento de otras.
- El resultado de este proceso genético del cristal real es la irregularidad morfológica de su forma geométrica: **Cristales deformados**.
- En la naturaleza no existen cristales geoméricamente perfectos: el crecimiento de un cristal no se completa, sino que se interrumpe. La terminación de un cristal es defecto de crecimiento, bien por exigencias energéticas, bien por agotamiento de materiales.

Mineralogía

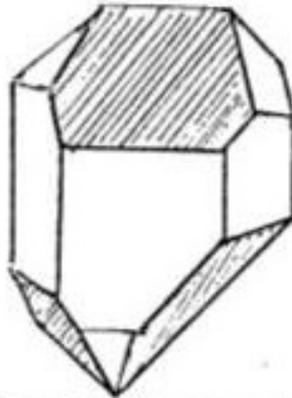
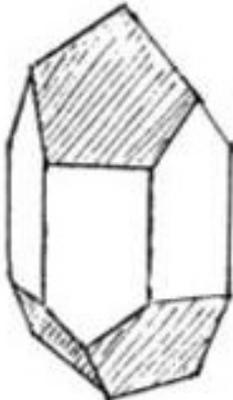
Tema 2. Cristal y sólido cristalino

CRISTAL IDEAL DE CUARZO



CRISTALES DEFORMADOS

Hábito en "flauta"



Hábito

- *«Desarrollo relativo del conjunto de caras de un cristal bajo la influencia de los factores fisicoquímicos del medio (temperatura, presión, radiactividad, concentración, viscosidad, etc.), que actúan durante su génesis».*
- El hábito cristalino describe el aspecto macroscópico que presentan los minerales. El hábito se encuentra condicionado por factores externos al mineral, como por ejemplo, las condiciones ambientales que había mientras se formó. La estructura cristalina también influye sobre el hábito, aunque muchas veces el aspecto de un mineral puede despistar acerca de su estructura cristalina. Minerales con la misma estructura cristalina no tienen por qué presentar el mismo hábito, e incluso un mismo mineral puede aparecer bajo varias formas diferentes. Algunos hábitos de un mineral son específicos de una localidad.

Hábito

1. Columnar.
2. Prismático.
3. Tabular.
4. Acicular.
5. Capilar.
6. Isométrico.



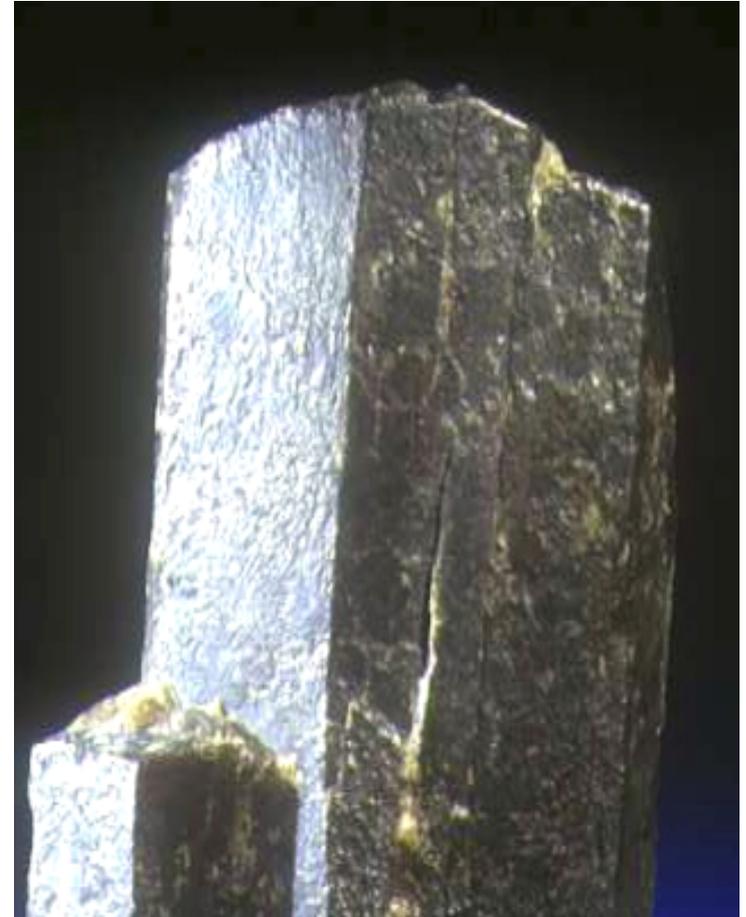
1. Columnar

- Prismas largos y delgados.
- **Turmalina**: $\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$



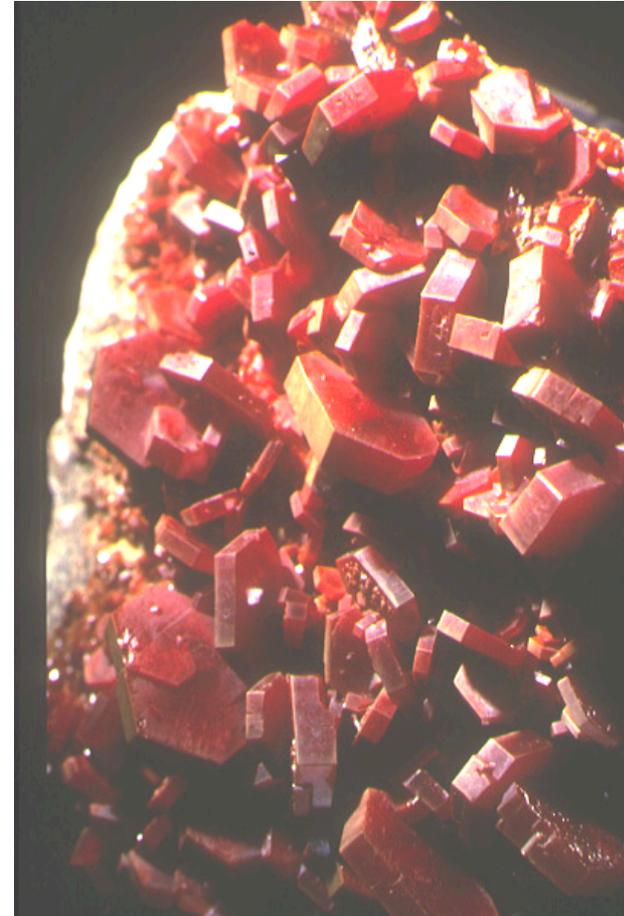
2. Prismático

- Prismas largos y gruesos.
- **Enstatita**: $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$



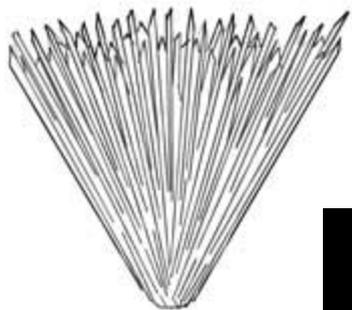
3. Tabular

- Prismas aplastados o muy cortos.
- Vanadinita: $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)\text{Cl}$



4. Acicular

- Agujas gruesas.
- **Azurita**: $\text{Cu}_2 + 3(\text{CO}_3)2(\text{OH})_2$



NATROLITA

5. Capilar

- Agujas muy finas.
- Jamesonita: $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$



5. Capilar

- Cristales desarrollados por igual en las tres direcciones cristalográficas.
- **Fluorita**: CaF_2



Agrupaciones

- Agrupaciones de cristales unidos íntimamente en su fase inicial e individualizados en su desarrollo posterior.

CRECIMIENTO PARALELO



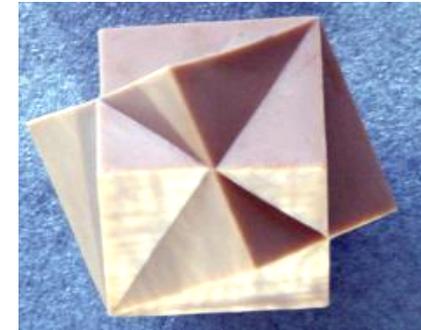
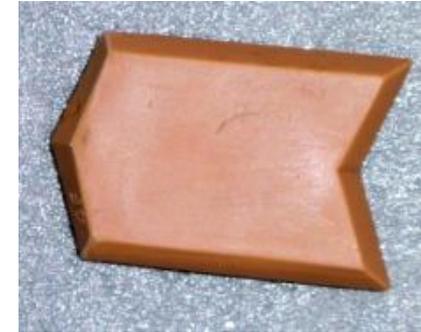
CRECIMIENTO RADIAL

Maclas

- Crecimiento conjunto simétrico de 2 ó más individuos gemelos de la misma sustancia controlados cristalográficamente.
- **Relacionados por un elemento de simetría:**
 - Plano de macla.
 - Eje de macla.
 - Centro de macla.

Tipos de maclas

- **Maclas de Contacto**: la superficie de contacto está definida por un plano de macla.
- **Maclas de Penetración**: cristales interpenetrados que tienen una superficie de unión irregular. Eje de macla.
- **Maclas Repetitivas ó Múltiples**: se forman por 3 ó más partes macladas según la misma ley.
- Si todas las superficies de composición sucesivas son paralelas: **Maclas Polisintéticas**.
- Si los planos sucesivos NO son paralelos: **Maclas Cíclicas**.



Tipos de maclas

- **Maclas de Contacto**: tienen una superficie de unión definida que separa a los cristales, la ley de macla viene definida por un plano de macla.



- **Maclas de Penetración**: formadas por distintos cristales interpenetrados, que tienen una superficie de composición irregular y la ley de macla queda usualmente definida por un eje de macla.

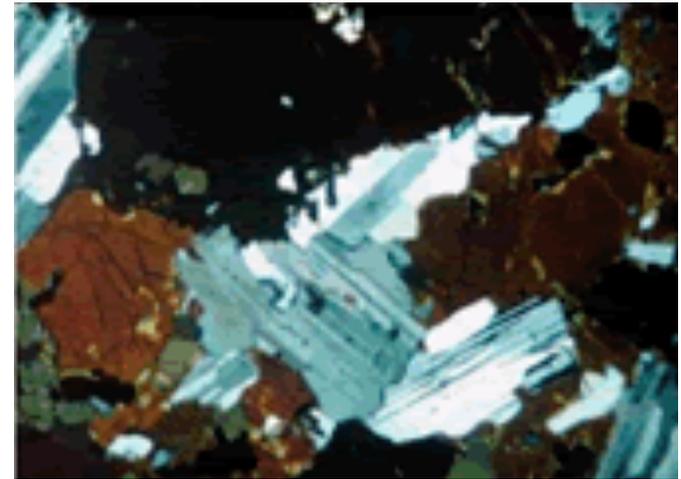


Yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Tipos de maclas

- **Maclas Múltiples o Repeticas**: formadas por tres o más partes macladas según la misma ley de macla.

Si los planos de unión sucesivos son paralelos el grupo resultante se denomina **Macla Polisintética**.



Origen de las maclas

- **Maclas Primarias**: cuando se forma el cristal, un fallo en el crecimiento origina la macla.
- **Maclas Secundarias**: originadas después de la formación del cristal como consecuencia de:
 - De cambios en la temperatura de formación: **M. de Transformación**.
 - Deformación de una sustancia cristalina por aplicación de una tensión mecánica: **M. de Deslizamiento ó Deformación**.

Ley de Macla

- Las maclas se definen por su Ley de Macla, que indica si la relación entre los cristales es:
 - **Un Plano de macla**: una parte se deriva de la otra como si se hubiese producido una reflexión sobre un plano común a ambas. Los dos cristales están dispuestos simétricamente a él.
 - **Un Eje de macla**: por rotación alrededor de una dirección cristalina común a ambas.
 - **Un Centro de macla**: dos individuos simétricos por un centro.

Agregados y Aspecto

- Agrupaciones de infinidad de cristalitos de un mismo mineral que en su desarrollo no han alcanzado el aislamiento → Textura especial originada por el desarrollo particular de los cristales integrantes: esta textura exterior se denomina **Aspecto**.
- El **Hábito** hace referencia exclusivamente a un cristal.
- **Existen 4 tipos fundamentales de aspectos:**
 - Granudo.
 - Fibroso.
 - Micáceo.
 - Informe.

Tipos de aspecto

- **Granudo**: agregados de granos.
- **Fibroso**: agregados de cristalitos muy alargados en forma de agujas o hilos paralelos unos con otros.
- **Micáceo ó Escamoso**: agregados de cristalitos en forma de placas o escamas.
- **Informe**: agregado de micro o criptocristalitos de un mineral que no presenta externamente una morfología.

DENDRÍTICO

Pirolusita: Mn^{4+}O_2

GLOBULAR

Apatito: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$

ESTALACTÍTICO

Goethita: $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$

GEODA

Cuarzo: SiO_2 - variedad Ágata

OOLÍTICO

Calcita: CaCO_3

Costras

- **Depósitos recristalizados a base de materiales acarreados por las aguas sobre las superficies o grietas de otro mineral o roca:**
 - Fosfatos.
 - Sulfatos.
 - Carbonatos.
 - Arseniatos.

- **Las coloraciones más frecuentes de las costras son:**
 - Negras: óxidos de Mn, V.
 - Pardas rojizas: óxido de Fe.
 - Verdes: carbonatos de Cu
 - Rosáceas: arseniatos de Co.