



GUÍA DE LA ACTIVIDAD PRÁCTICA Nº 1

Temas: Cristalografía. Elementos de simetría. Formas cristalinas. Sistemas Cristalinos.

Actividades

- 1- Reconocer los diferentes elementos de simetría y las operaciones de simetría principales.
- 2- Reconocer los diferentes sistemas cristalográficos y sus elementos de simetría.

CONCEPTOS IMPORTANTES

CRISTAL: Cuerpo sólido, homogéneo y anisótropo, limitado por caras planas que configuran formas poliédricas. El término alcanza a toda la materia anisótropa cuyas partículas constitutivas (átomos, iones o moléculas) se disponen simétricamente entre sí, en estructuras periódicas según redes homogéneas tridimensionales.

Elementos geométricos de un cristal:

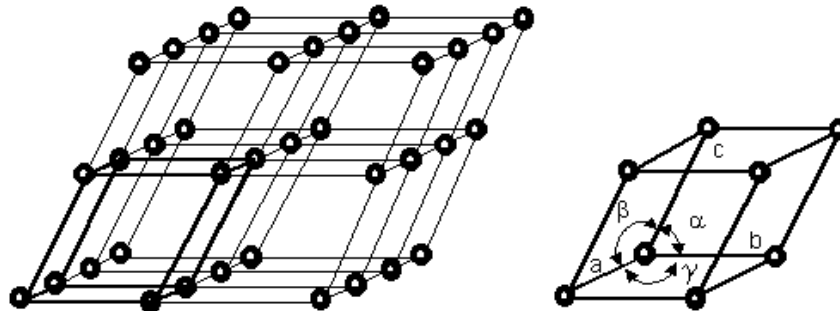
- *Caras:* planos que limitan a los poliedros
- *Aristas:* intersecciones entre dos caras
- *Vértices:* punto de reunión de tres o más aristas.

Los elementos geométricos se relacionan por la ley de Euler-Descartes, que enuncia:

El número de caras + el número de vértices es igual al número de aristas + 2

Ejes cristalográficos

Líneas imaginarias en forma de cruz que pasan a través del cristal y que sirven como ejes de referencia, para situar los parámetros angulares y de posición de las caras del mismo. La posición y relación de tamaños de los ejes cristalográficos dependen de la simetría de los cristales. Generalmente se designan como **a** (anterior o antero posterior), **b** (lateral o transversal) y **c** (vertical), salvo en el sistema hexagonal donde se denominan **a₁**, **a₂**, **a₃** y **c**. Los ángulos formados por los ejes cristalográficos se conocen como **β** (ángulo entre el eje **a** y el eje **c**), **α** (ángulo entre el eje **b** y el eje **c**) y **γ** (ángulo entre el eje **a** y el eje **b**).



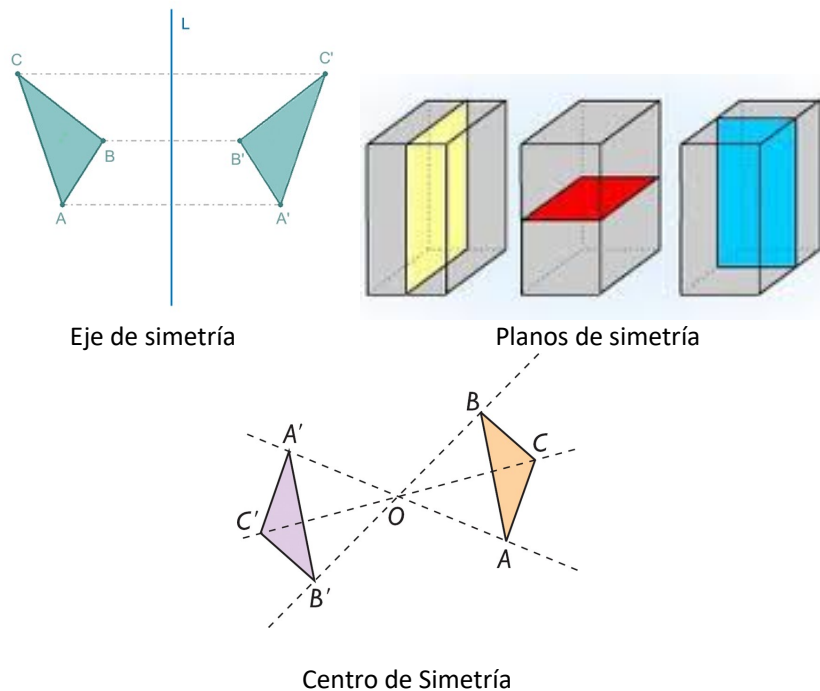


ELEMENTOS DE SIMETRÍA

I. **Simplex:** están formados por un único elemento de simetría

- *Plano de simetría:* produce la reflexión de una cara o de un conjunto de caras.
- *Ejes de simetría:* (Giras): producen la rotación de una cara reproduciéndola a intervalos angulares constantes: 180° (digiras) 120° (trigiras) 90° (tetragiras) 60° (hexagiras).
- *Centro de simetría:* invierte una cara proyectándola a través de un punto central (O).

II. **Combinados o Giroides:** se originan por la combinación de un eje de simetría con un centro de simetría (Eje de giro –inversión) o con un plano de simetría (Eje de giro – reflexión)



Símbolos de Hermann-Mauquin:

- Ejes de simetría: se denotan con números (1, 2, 3, 4, 6)
- Ejes de inversión: el número con un trazo en la parte superior ($\bar{6}$, $\bar{3}$, etc.)
- Plano de simetría: letra *m*. Cuando un eje de simetría es normal a un plano de simetría se denota como $2/m$, $3/m$, etc.
- Centro de simetría: letra *i*

FORMAS CRISTALINAS

Asociaciones de caras en los cristales a partir de la ejecución de las operaciones de simetría. Pueden ser *abiertas o cerradas*.

Formas abiertas: caras o conjuntos de caras equivalentes, teóricamente infinitas, cuya existencia real se concibe en combinaciones con otras caras que las limitan o cierran. Resultan de la multiplicación de una cara inicial por un elemento de simetría paralelo u oblicuo a la misma.



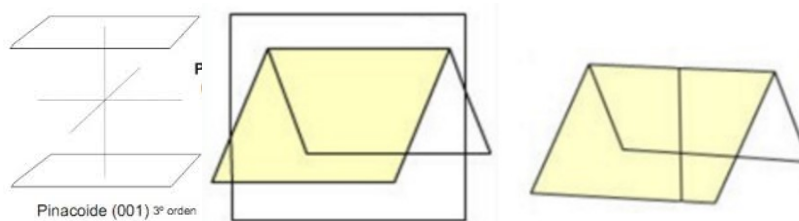
- **Pedión:** cara única
- **Pinacoide:** dos caras, resultado de una cara paralela a una digira o a un plano de reflexión
- **Doma:** dos caras con una arista en común, o diedro bisectado por un plano de simetría
- **Esfenoide:** dos caras resultado de la acción de una gira de orden dos, sobre una cara oblicua a la misma
- **Prismas:** son asociaciones de pinacoides, domas o esfenoides equivalentes. Se forman por acción de ejes de orden tres, cuatro o seis, o giroides de orden 4; también por la acción de digiras perpendiculares entre sí, o una digira perpendicular a un plano de simetría
- **Pirámide:** Conjunto de tres o más caras triangulares que convergen en un vértice

Formas cerradas: conjuntos de caras que se cierran o limitan mutuamente sin necesidad de combinar formas.

- Bipirámide: pirámide repetida por reflexión o combinación adecuada de ejes de orden dos.
- Biesfenoide: dos caras superiores y dos inferiores alternas y opuestas; se forma por una cara oblicua a un giroide de orden 4, o una cara oblicua a tres digiras perpendiculares entre sí.
- Romboedro: cara oblicua a un trigiroide que genera un conjunto de tres caras superiores y tres inferiores; si las caras son rómbicas resulta un romboedro, pero si son cuadradas se forma un cubo.
- Trapezoedro: cuerpo limitado por caras trapezoidales formadas por la acción de una trigira, tetragira o hexagira combinada con 2, 4 o 6 digiras perpendiculares a ella respectivamente.
- Escalenoedro: cuerpo limitado por caras triangulares escalenas. Se forma a partir de la acción de un trigiroide combinado con 3 planos de simetría y 3 digiras, o un tetra giroide, dos planos de simetría y 2 digiras.

Forma simple: forma cerrada única (cubo, romboedro, bipirámide, hexaoctaedro)

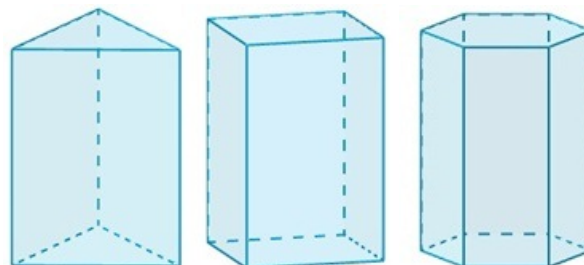
Forma combinada: en la que se asocian dos o más formas simples, cerradas o abiertas, con idéntica simetría (pirámide y pediñ, cubo y octaedro, cubo y dodecaedro, etc)



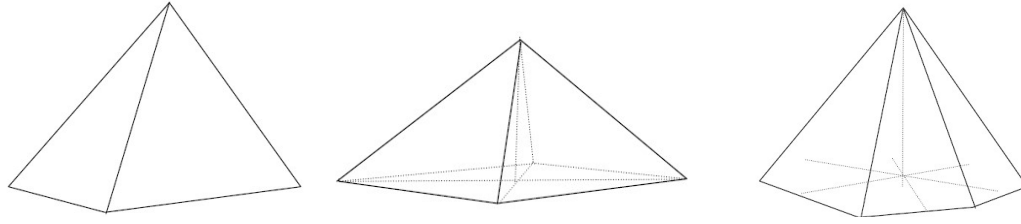
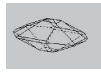
Pinacoide

Doma

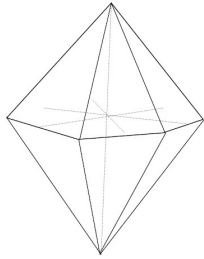
Esfenoide



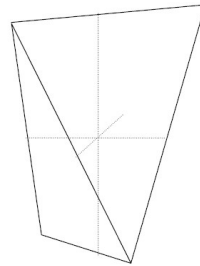
Prismas



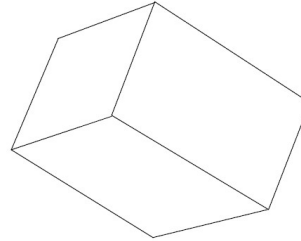
Pirámides



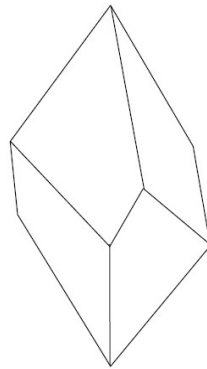
Bipiramide



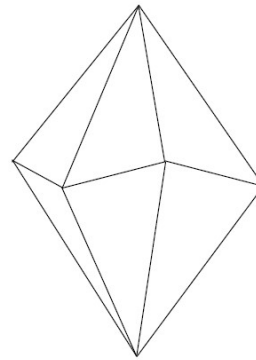
Biesfenoide



Romboedro



Trapezoedro



Escalenoedro

SISTEMAS CRISTALINOS

Las combinaciones posibles de los elementos de simetría que se acaban de describir dan origen a **32 clases cristalinas** (grupos puntuales).

En dependencia del grado de simetría (de la clase) de los cristales, se distinguen **SIETE sistemas cristalinos: CÚBICO, HEXAGONAL, TRIGONAL, TETRAGONAL, RÓMBICO, MONOCLÍNICO, TRICLÍNICO**. La cantidad mínima de elementos de simetría necesaria para referir uno cristal a un sistema es la siguiente:

- I. CÚBICO o ISOMÉTRICO: 4E3.
- II. HEXAGONAL: 1E6.
- III. TRIGONAL u ROMBOÉDRICO: 1E3.
- IV. TETRAGONAL: 1E4.
- V. RÓMBICO: 3E2.
- VI. MONOCLÍNICO: 1E2 o 1P.



VII. TRICLÍNICO: pertenecen los cristales que no poseen elementos de simetría o tienen sólo un centro de simetría.

TABLA 2.2 Treinta y dos clases de cristales (véase también Tabla 2.4)

Sistema cristalino	Simetría de clases cristalinas
Triclínico	1 y $\bar{1}$
Monoclínico	2, m, y 2/m
Ortorrómbico	222, 2mm, y 2/m2/m2/m
Tetragonal	4, $\bar{4}$, 4/m, 422, 4mm, $\bar{4} 2m$, y 4/m 2/m 2/m
Hexagonal	3, $\bar{3}$, 32, 3m, y $\bar{3} 2/m$ 6, $\bar{6}$, 6/m, 622, 6mm, $\bar{6}m2$, y 6/m2/m2/m
Isométrico	23, 2/m $\bar{3}$, 432, $\bar{4} 3/m$, y 4/m $\bar{3} 2/m$

SISTEMA CÚBICO O ISOMÉTRICO

El sistema cúbico es el de mayor simetría de todos los sistemas cristalográficos. Los ejes del sistema cúbico son iguales entre sí y ortogonales. Debido a que los ejes son iguales entre sí la selección de uno de ellos como eje *c* para su proyección estereográfica es indistinta.

$$a=b=c$$

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

Principales Clases

a) Hexaocáedrica: clase normal u holoedría 4/m $\bar{3}$ 2/m (3E₄, 4E₃, 6E₂, 9m)

Formas:

- 1- Cubo
- 2- Octaedro
- 3- Dodecaedro rómbico
- 4- Tetraquishexaedro
- 5- Trioctaedro
- 6- Trapezoedro
- 7- Hexaquisoctaedro

Minerales que cristalizan en esta clase: Cobre nativo, Plata, Oro, Plomo, Galena (PbS), Argentita (Ag₂S), Bornita (FeCu₃S₄), Halita (NaCl), Silvita (KCl), Fluorita (CaF₂), Cuprita (Cu₂O), Espinelo (Al₂MgO₄), Uraninita (UO₂), Grosularia (Ca₃Al₂Si₃O₁₂), Almandino (Fe₃Al₂Si₃O₁₂)

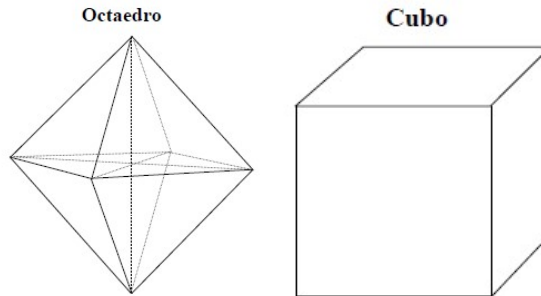


b) Hexatetraédrica: clase hemiédrlica 4 3 m (3E₄, 4E₃, 6m)

Minerales que cristalizan en esta clase: Blenda (ZnS), Tennantita (Cu₃AsS₃), Tetraedrita (Cu₃SbS₃), Boracita (Mg₃ClB₇O₁₃), Sodalita (Na₈Cl₂Al₆SiO₄), Helvina (Bi₄(SiO₄)₃)

c) Diploédrica o Piritoédrica: clase hemiédrlica 2/m 3 (3E₂, 4E₃, 3m)

Minerales que cristalizan en esta clase: Pirita (FeS₂), Alumbre potásico (KAl(SO₄)₂12H₂O) Alumbre sódico (NaAl(SO₄)₂12H₂O)



SISTEMA TETRAGONAL

Los ejes del sistema tetragonal son ortogonales entre sí. Sin embargo, los ejes no son todos iguales en sus dimensiones.

$$a=b$$

$$\text{pero } c > a, \text{ o bien } c < a$$

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

Principales Clases

a) Ditetragonal Bipiramidal: clase normal u holoedría 4/m 2/m 2/mi (1E₄, 4E₂, 5m)

Formas:

- 1- Pinacoide basal
- 2- Prisma de 1º orden (ejes en las aristas)
- 3- Prisma de 2º orden (ejes en las caras)
- 4- Prisma ditetragonal (ejes en las aristas)
- 5- Bipirámide tetragonal de 1º orden (ejes en los vértices)
- 6- Bipirámide tetragonal de 2º orden (ejes en las aristas)
- 7- Bipirámide Ditetragonal (ejes en los vértices)

Minerales que cristalizan en esta clase: Estaño nativo (Sn), Anatasa (TiO₂), Diópsido (CaMgSi₂O₆), Rutilo (TiO₂), Casiterita (SnO), Pirolusita (MnO₂), Zircón (ZrSiO₄), Torita ((Th,U)SiO₄), Jadeíta Na ((Al, Fe⁺³)Si₂O₆), Torbernita (Cu(UO₂)₂(PO₄)₂·8-12(H₂O))

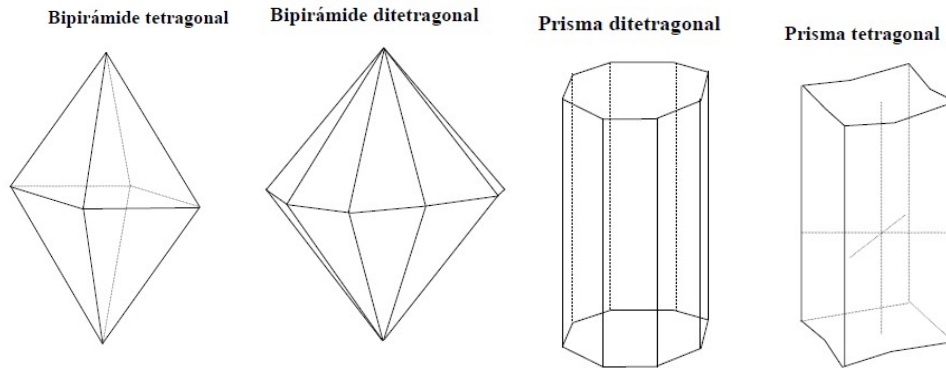
b) Escalenoédrica Tetragonal: clase hemiédrlica 4 2 m (1E₄, 2E₂, 2m)



Minerales que cristalizan en esta clase: Calcopirita (FeCuS_2), Estannina ($\text{FeSnCu}_2\text{S}_4$), Luzonita (Cu_3AsS_4), Bornita ($<228^\circ\text{C}$) (FeCu_5S_4), Grupo de las Melilitas ($\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Zn}, \text{Mg})(\text{Si}, \text{Al})_2$)

c) Bipiramidal Tetragonal: clase hemiédrica $4/m$ ($i, 1E_4, 1m$)

Minerales que cristalizan en esta clase: Escapolita ($(\text{Na}, \text{Ca})_4(\text{Cl}, \text{CO}_3)[(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_8]_3$), Scheelita (CaWO_4), Marialita ($\text{Na}_4\text{ClAl}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}$), Powellita (CaMoO_4).



SISTEMA HEXAGONAL

Los ejes del sistema hexagonal no son todos ortogonales entre sí, al igual que no son todos iguales en sus dimensiones. Además se define un eje cristalográfico más que en cualquier otro sistema cristalino.

Existen tres ejes coplanares horizontales denominados:

$$a_1 = a_2 = a_3$$

Los mismos divergen uno de otro en 120° , y se ubican espacialmente de manera tal que a_2 queda en posición horizontal y visto en toda su magnitud por el observador (dicho de otra forma, queda en la misma posición que el eje b de los otros sistemas cristalográficos). El eje a_1 entonces se desplaza 30° , en el sentido de las agujas del reloj, de la posición normal para el eje a de los demás sistemas. El eje a_3 tiene su extremo positivo a 120° de a_2 , por lo tanto queda hacia atrás y a la izquierda de la vista del observador; su extremo negativo mira hacia el observador y diverge 60° de a_1 y a_2 .

El eje c es el único que posee dimensiones distintas (siendo más largo o más corto), y se dispone perpendicular al plano que contiene a los demás ejes (es vertical).

El índice de un cristal hexagonal cuenta de 4 números, ya que se trata de 4 ejes cristalográficos y adopta la forma $(hkil)$. Por regla general el 3º dígito del índice es igual a la suma algebraica de los dos primeros pero con el signo cambiado.

Principales Clases

División Hexagonal

a) Dihexagonal Bipiramidal: clase normal u holoedría $6/m \ 2/m \ 2/m$ (eje orden 6 coincidente con c ; digiras axiales y diagonales) ($i, 1E_6, 6E_2, 7m$)

Formas:

1- Pinacoide basal



- 2- Prisma de 1º orden (ejes en las aristas)
- 3- Prisma de 2º orden (ejes en las caras)
- 4- Prisma dihexagonal (ejes en las aristas)
- 5- Bipirámide hexagonal de 1º orden (ejes en los vértices)
- 6- Bipirámide hexagonal de 2º orden (ejes en las aristas)
- 7- Bipirámide Dihexagonal (ejes en los vértices)

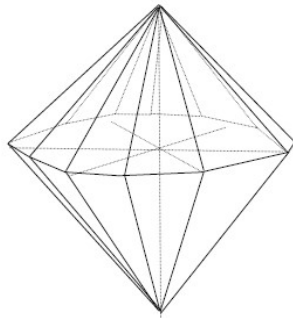
Minerales que cristalizan en esta clase: Grafito (C), Molibdenita (MoS_2), Berilo ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$), Pirrotina de alta Tº (FeS), Nicolita (NiAs), Covelina (SCu), Bromellita (BeO), Milarita [$\text{Ca}_2\text{K}(\text{AlBe}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30})(\text{OH})$]

División Romboédrica - Trigonal

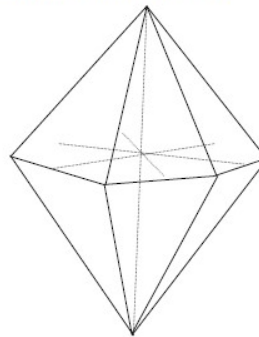
- b) Escalenoédrica Ditrigonal: clase hemiédrica u holoedría trigonal $\bar{3}2/m$ (eje de giro inversión de orden tres coincidente con c; digiras horizontales axiales y planos perpendiculares a las mismas) ($1E_3, 3E_2, 3m$)

Minerales que cristalizan en esta clase: Calcita (CaCO_3), Rodocrosita (MnCO_3), Siderita (FeCO_3), Smithsonita (ZnCO_3), Magnesita (MgCO_3), Corindón, rubí, zafiro (Al_2O_3), Oligisto o especularita (Fe_2O_3), Brucita [$\text{Mg}(\text{OH})_2$], Nitrato sódico (NaNO_3), Arsénico (As), Millerita (NiS), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi)

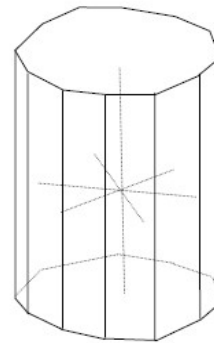
Bipirámide dihexagonal



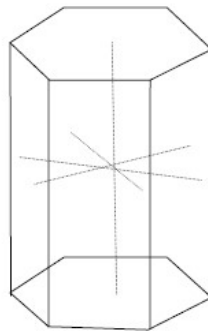
Bipirámide hexagonal



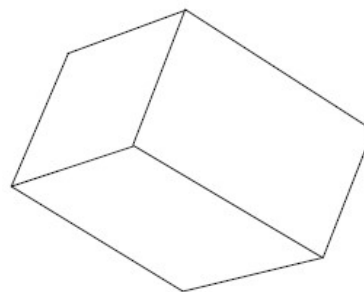
Prisma dihexagonal



Prisma hexagonal



Romboedro trigonal





SISTEMA RÓMBICO

Los ejes del sistema rómbico son ortogonales entre sí, pero sus dimensiones son desiguales. De los ejes reconocidos, **c** puede estar representado por cualquiera de ellos, es decir, no es estrictamente necesario que siempre sea el mayor o el menor de los ejes del cristal, aunque esto último es preferible. De los dos ejes restantes, **b** es el mayor y **a** es el más pequeño.

$$a \neq b; c \text{ puede ser indistintamente } >b \text{ ó } <a$$

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

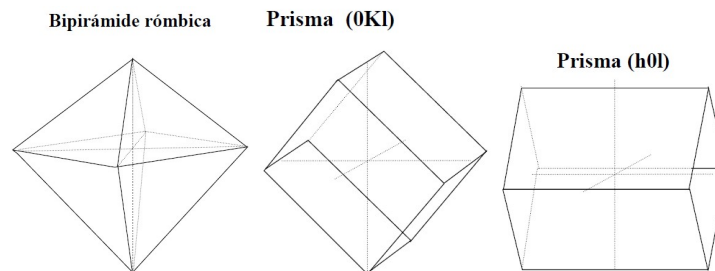
Principales Clases

- a) **Rómbica Bipiramidal**: clase normal u holoedría $2/m \ 2/m \ 2/m$ (i, $3E_2$, $3m$)
 Los tres ejes cristalográficos son ejes binarios y hay un plano perpendicular a cada uno de ellos.

Formas:

- 1-Pinacoide frontal o pinacoide A
- 2-Pinacoide lateral o pinacoide B
- 3-Pinacoide basal o pinacoide C
- 4-Prisma de tercer orden o especie
- 5-Prisma de segundo orden o especie
- 6-Prisma de primer orden o especie
- 7-Bipirámide rómbica

Minerales que cristalizan en esta clase: Andalucita (Al_2SiO_5), Antofilita ($(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$), Aragonita ($CaCO_3$), Azufre \square (S), Baritina ($BaSO_4$), Columbita ($(Fe, Mn) Nb_2O_6$), Cordierita ($(Mg, Fe)_2Al_4Si_5O_{18} \cdot nH_2O$), Enstatita ($MgSiO_3$), Estibina (Sb_2S_3), Goethita ($\square FeO \cdot OH$), Marcasita (FeS_2), Olivino ($(Mg,Fe)_2 SiO_4$), Topacio ($Al_2(SiO_4) (F, OH)_2$)



SISTEMA MONOCLÍNICO

Los cristales de este sistema se refieren a tres ejes de longitudes desiguales. Se debe cumplir la siguiente relación angular:

$$\gamma (a \wedge b) = \alpha (c \wedge b) = 90^\circ$$

$$\beta (a \wedge c) > 90^\circ$$



El eje coincidente con la digira o que es perpendicular al plano especular se toma como eje cristalográfico **b**; **c** es vertical y **a** se coloca hacia el frente e inclinado hacia abajo.

Principales Clases

a) Prismática: clase normal u holoadría $2/m$ ($i, 1E_2, 1m$).

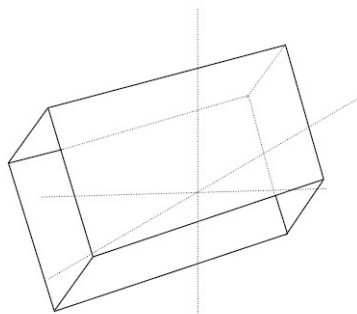
El eje de orden 2 es coincidente con **b**; los ejes **a** y **c** están contenidos en el plano especular.

Formas:

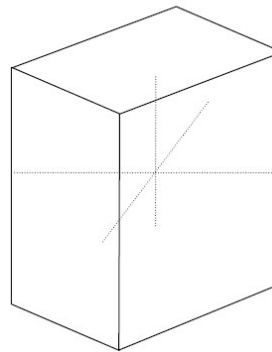
- 1- Pinacoide frontal o pinacoide A
- 2- Pinacoide lateral o pinacoide B
- 3- Pinacoide basal o pinacoide C
- 4- Prisma de tercer orden o especie
- 5- Pinacoide de segundo orden o especie
- 6- Prisma de primer orden o especie
- 7- Prisma de cuarto orden o especie (positivo o negativo)

Minerales que cristalizan en esta clase: Azufre \square (S), Boulangerita ($Pb_5Sb_4S_{11}$), Arsenopirita ($FeAsS$), Rejalgar (AsS), Oropimente (As_2S_3), Bórax ($Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8(H_2O)$), Azurita ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$), Malaquita ($Cu_2CO_3(OH)_2$), Wolframita ($FeMnWO_4, Fe$), Yeso ($CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$), Estauroлита ($(Fe^{2+}, Mg, Zn)_2Al_9(Si, Al)_4O_{22}(OH)_2$), Titanita o esfena ($TiCaSiO_5$), Epidoto $Ca_2Fe^{3+}Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$, Augita ($(Ca, Na)(Mg, Fe, Al, Ti)(Si, Al)_2O_6$), Muscovita ($KAl_2[AlSi_3O_{10}(OH, F)_2]$), Biotita K ($(Mg, Fe, Mn)_3[AlSi_3O_{10}(OH, F)_2]$), Hornblenda ($(Al, Ca, Mg, Fe, Na)_7[(Si, Al)_4O_{11}/OH]_2$), Ortosa ($KAlSi_3O_8$), Sanidina ($(K, Na)AlSi_3O_8$)

Prisma (hkl)



Prisma (hk0)



SISTEMA TRICLÍNICO

Los cristales de este sistema poseen los tres ejes de diferentes dimensiones y los ángulos entre ellos son también distintos de 90° . Por convención se toma al eje más alargado como el eje **c**. El pinacoide basal (001) debe inclinarse hacia delante y a la derecha. Se deben seleccionar dos formas en dirección del eje **c** (zona del eje **c**) como el pinacoide frontal o de primera especie (100) y otro que corresponda al pinacoide de segunda especie. Los ejes **a** y **b** se determinan por las intersecciones entre 010 y 100 con 001 respectivamente. El eje **b** debe ser más largo que **a**.



Principales Clases

b) Clase Pinacoidal: holoedría o clase normal \pm, i (centro de simetría o inversión).

Formas:

Todas las formas son pinacoides.

- 1- 1º Pinacoide A o frontal
- 2- 2º Pinacoide B o lateral
- 3- 3º Pinacoide C o basal
- 4- Pinacoide de tercer orden o especie (positivo o negativo)
- 5- Pinacoide de segundo orden o especie (positivo o negativo)
- 6- Pinacoide de primer orden o especie (positivo o negativo)
- 7- Pinacoide de cuarto orden o especie (der. izq., pos. neg.;

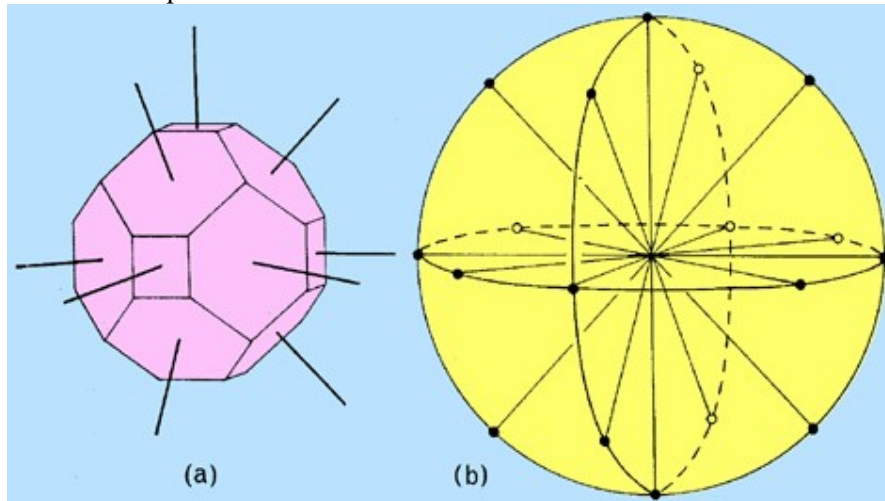
Minerales que cristalizan en esta clase: Ulexita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Turquesa $\text{CuAl}_6\text{4}[\text{PO}_4/(\text{OH})_2]_4$
 H_2O , Wollastonita (CaSiO_3), Bustamita ($(\text{CaMn})_3(\text{SiO}_3)_3$), Microclino (KAlSi_3O_8), Anortoclasa
($(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Anortita ($\text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).



PROYECCIONES ESFÉRICAS

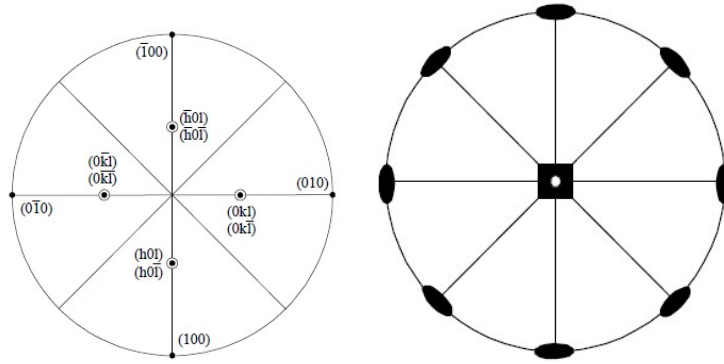
Las proyecciones esféricas se utilizan para representar en dos dimensiones un objeto tridimensional. Para proyectar un cristal se lo imagina inserto en una esfera cuyo centro coincide con punto de unión de los ejes cristalográficos. El plano ecuatorial de la esfera perpendicular al eje **c** del cristal, será el plano bidimensional sobre el que se representaran las caras del cristal

Para representar las caras de un cristal sobre un papel se utilizan puntos llamados polos, que representan la intersección con la superficie de la esfera de una línea radial (originada en el centro de la esfera) perpendicular a cada cara del cristal. Se considera que el eje **a** del cristal siempre apunta hacia el observador (salvo en el sistema triclinico) y el eje **b** se encuentra siempre perpendicular al observador. De esta forma todas las caras paralelas al eje **c** del cristal se representan por puntos ubicados en el perímetro del círculo formado por la intersección de la esfera con el papel y las distancias angulares entre estas caras varían desde el círculo menor de 0° (cara perpendicular al eje **a**) hasta el círculo menor de 90° (cara paralela al eje **a**). Las caras perpendiculares al eje **c** se representan por un punto ubicado en el centro de la circunferencia. Para representar las caras oblicuas al eje **c** primero se debe tener en cuenta su relación con los otros ejes. Estas caras se representarán en el interior del círculo entre el perímetro y el centro. Mientras menor sea el ángulo formado entre la cara y el eje **c**, más cercano se encontrará su polo del perímetro del círculo. Y mientras mayor sea este ángulo más cercano se hallará el polo del centro de la circunferencia. Por convención las caras del cristal ubicadas por encima de la línea ecuatorial de la esfera se representan con un punto mientras que las caras ubicadas por debajo de la línea ecuatorial se representan con un círculo vacío.



Proyección esférica de las caras de un cristal del sistema cúbico

Para representar los elementos de simetría del cristal se utiliza un óvalo negro para las digiras, un triángulo para las trigiras, un cuadrado para las tetragiras y un hexágono para las hexagiras. Los planos de simetría se representan mediante líneas de trazo grueso y el centro de simetría mediante un círculo blanco.



Proyección estereográfica de las caras y los elementos de simetría de un cristal conformado por un prisma y una bipirámide tetragonal.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- DANA, E. y FORD, W. 1976. Tratado de Mineralogía. Ed. Continental. 910 p. Yate.
- HURLBUT, C.S.KLEIN 1982. Manual de Mineralogía de Dana. Ed. Reverte. 3° Edición. 564p. Barcelona.
- KLEIN, C., 1999. Mineralogy Tutorials 2.0: a companion to the Manual of Mineralogy revised 21th edition. John Wiley & Sons. New York.