

CAPITULO III

CRISTALOFISICA

La cristalofísica o cristalografía es una rama de la Mineralogía que se encarga de:

1. Las propiedades de los sólidos cristalinos.
2. El carácter, disposición y clasificación de las superficies planas naturales observables en los cristales, así como las leyes que rigen su crecimiento.
3. La determinación e interpretación de la disposición ordenada interna de sus átomos.

Anteriormente se ha visto que en un cristal ideal, las partículas (átomos, iones y moléculas) se agrupan regularmente en el espacio, esta agrupación depende del tamaño relativo de las mismas y del tipo de enlace que las une. Estas repeticiones a nivel atómico se reflejan en la simetría y regularidad de las propiedades físicas del cristal.








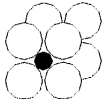

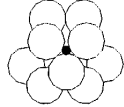
Relación mínima de radio	Coordinación catiónica		Geometría del empaquetamiento
0.155	3 aniones en los vértices de un triángulo		
0.225	4 aniones en los vértices de un tetraedro		
0.414	6 aniones en los vértices de un octaedro		
0.732	8 aniones en los vértices de un cubo		
1.0	12 aniones en los puntos medios de las aristas de un cubo		

Fig. 12. Coordinación catiónica (según W.H. Dennen, 1960).

Las cargas y el tamaño de las partículas determinan el tipo de agrupamiento que va a existir. Se advierte que en los cristales las partículas pueden considerarse como diminutas esferas con radio efectivo constante, con lo que la estructura viene a ser un empaquetamiento de esferitas que se tocan mutuamente.

Las dimensiones de la unidad fundamental son de algunos angstroms, por lo que no pueden distinguirse ni con el microscopio electrónico, siendo solamente mediante la difracción de los rayos X como puede notarse su existencia. Por ejemplo: la celda unitaria del cobre mide 3.6777 \AA , es decir que se necesitan 100 millones de estas celdas para producir 3.6 cm de cobre. La equivalencia de un $\text{\AA} = 10^{-8} \text{ cm}$, es decir, la diezmillonésima parte de un milímetro).

Descripción de red y malla cristalina

Si se hacen pasar planos que intersecten estas esferas en las tres direcciones del espacio, y se condiciona que dichos planos contengan la mayor cantidad posible de esferas, la intersección de estos planos produce un paralelepípedo conocido como celda unitaria o malla fundamental, y representa idealmente los bloques elementales mínimos cuya agrupación espacial produce los cristales. Estas celdas deben cumplir con la restricción de no dejar espacios vacíos ni traslaparse en su repetición, como se muestra en las siguientes figuras:

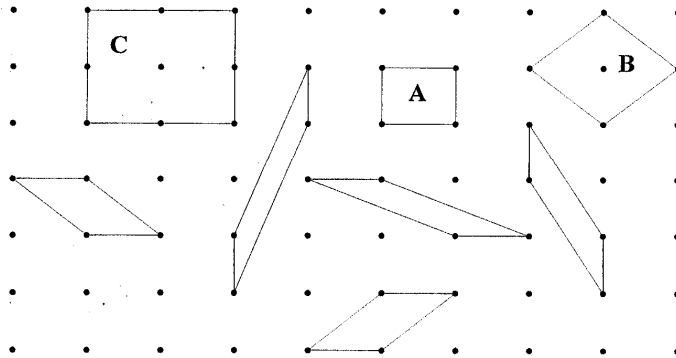


Fig. 13. Algunas posibilidades de recubrimiento total de un plano reticular mediante diversas mallas. La malla A, que posee a la vez la forma del rectángulo y los lados más pequeños, es considerada como la malla elemental.

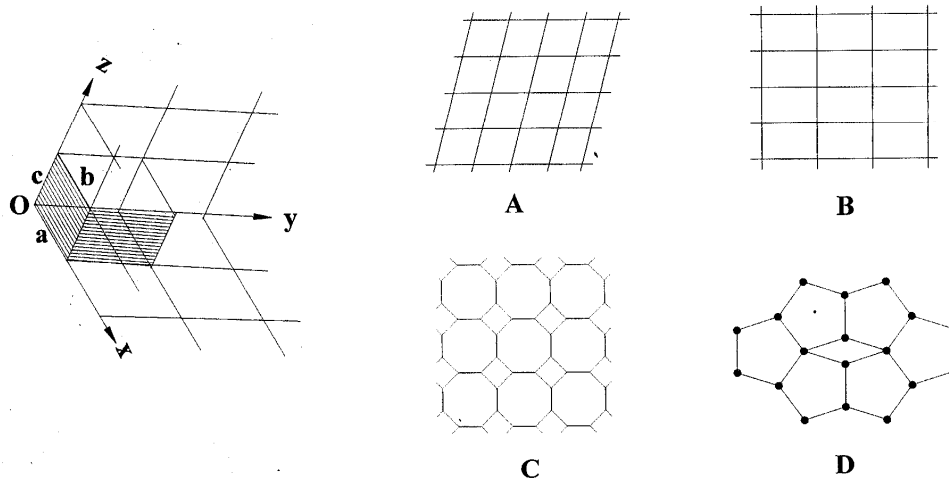


Fig. 14. Limitación de las posibilidades de definición de una malla elemental plana. Solamente son posibles las mallas que tienen forma de paralelogramo, cuadrado, rectángulo, rombo o hexágono. Las mallas octogonal C y pentagonal D deben desecharse.

La existencia de las celdas unitarias fue definida por R. Haüy (cristalógrafo francés, 1801); quién descubrió que al romper cristales de calcita de forma distinta, se producían las caras del romboedro que es la unidad elemental de estos edificios cristalinos.

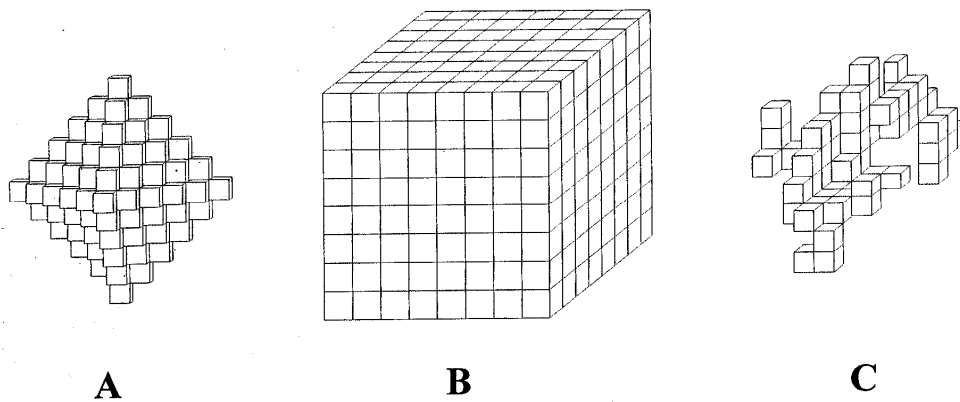


Fig. 15. Construcción de un: A) octaedro, B) cubo y C) un sólido cualquiera, a partir de la malla fundamental cúbica. Los cristales (que pueden tener dimensiones muy grandes), pueden ser considerados como edificaciones producidas por la repetición de pequeñas mallas elementales de algunos angstroms.

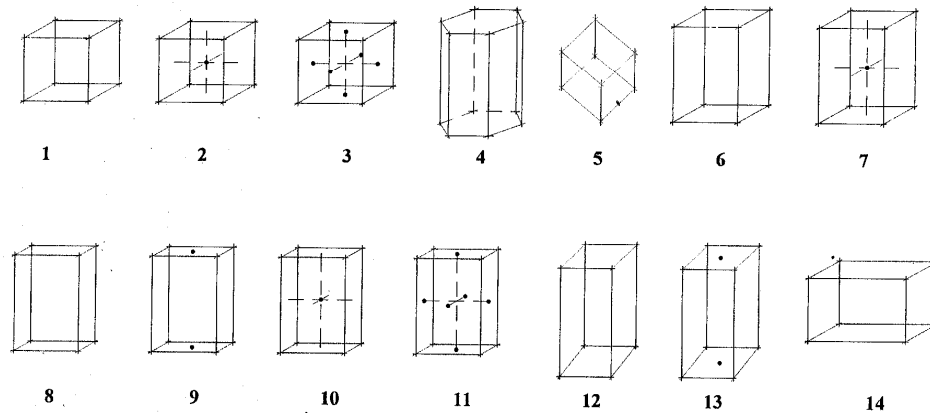


Fig. 16. Las 14 mallas fundamentales (o celdas unitarias) de Bravais.

Forma externa de los cristales - Leyes cristalográficas

Un cristal se caracteriza por una forma geométrica determinada y por la variación de las propiedades físicas de la sustancia en las distintas direcciones del cristal. Pueden variar la conductividad térmica y eléctrica, el índice de refracción, la resistencia a la tracción, entre otras propiedades. Esta variación que se conoce como anisotropía, se presenta en muchos cristales excepto en los que pertenecen al sistema cúbico. Los líquidos y gases, que son cuerpos isótropos, tampoco la presentan.

La disposición espacial de los planos del cristal y, como consecuencia, su forma geométrica, se basa en las tres leyes cristalográficas siguientes:

1) Ley de la constancia de los ángulos interfaciales.

Esta ley establece que para cada sustancia cristalina los ángulos que forman dos caras son siempre los mismos. Si las condiciones de cristalización cambian, el cristal puede variar de forma al desarrollarse las caras irregularmente, pero éstas se cortan siempre en ángulos invariables.

En relación íntima con su estructura pueden elegirse convenientemente en un cristal tres ejes de coordenadas o ejes cristalográficos (alguna vez, cuatro) a los que se refiere la posición de las caras. En cada eje cristalográfico se elige a su vez una distancia adecuada que se conoce como parámetro, son los segmentos **a**, **b** y **c**, no necesariamente iguales, y correspondientes al plano unidad o malla fundamental. En función de los parámetros se establecen las distancias que la intersección de las caras determinan sobre los ejes contando desde su origen. La relación entre estas distancias para una cara cualquiera es: **ma : nb : pc**.



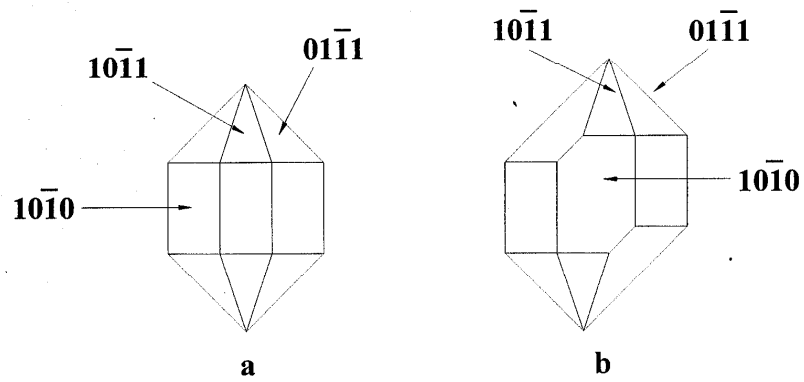


Fig. 17. Desarrollo de dos cristales hexagonales: a) no deformado y b) alargado según la dirección de una arista. A pesar de la deformación que se aprecia en la figura b) los ángulos entre las diferentes caras permanecen iguales, estos ángulos pueden medirse con un goniómetro (ver fig. 18).

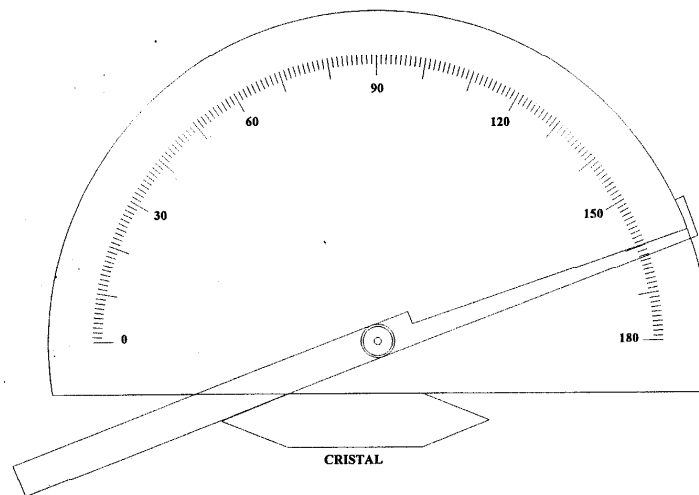
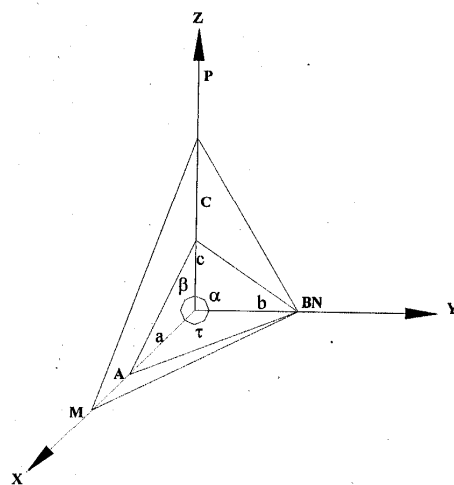


Fig. 18. Goniómetro de aplicación o de contacto.

2) Ley de la racionalidad de los índices.

Los valores de los coeficientes m , n y p son números enteros, incluyendo infinito o fracciones de números enteros. Frecuentemente son la unidad.

La expresión de la posición de la cara de un cristal mediante los coeficientes se conoce como **notación de Weiss** (m , n y p son los índices de Weiss); pero aunque esta notación es muy clara y sencilla ha sido completamente reemplazada por la **notación de Miller**, en la cual los índices son los inversos de los de Weiss multiplicados por los números enteros más sencillos, para poderlos expresar mediante números enteros. La notación de Miller para un conjunto de caras iguales toma la forma general (h,k,l) . Si una cara corta los ejes OX y OY y es paralela al eje OZ , el coeficiente de c o sea el índice de Weiss, es infinito y el correspondiente índice de Miller es cero. La notación de Weiss para una cara (21α) , corresponde a (120) en la notación de Miller.



OX, OY, OZ Ejes cristalográficos

ABC Plano unidad

a, b, c , parámetros
(b , se toma siempre igual a 1)

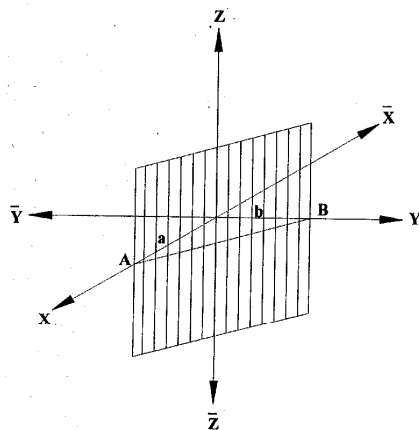
notación de la cara MNP

Índices de Weiss : $3/2 : 1 : 3$

Índices de Miller : $2/3 : 1/1 : 1/3$

es decir: $2 : 3 : 1$
(231)

Fig. 19. Ejes cristalográficos y plano unidad

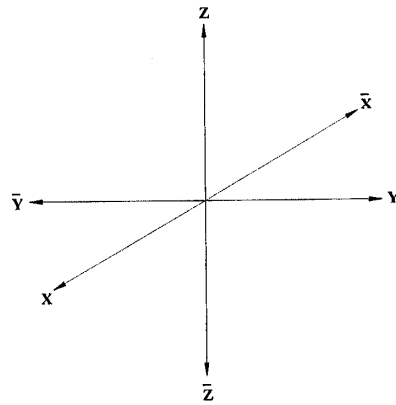
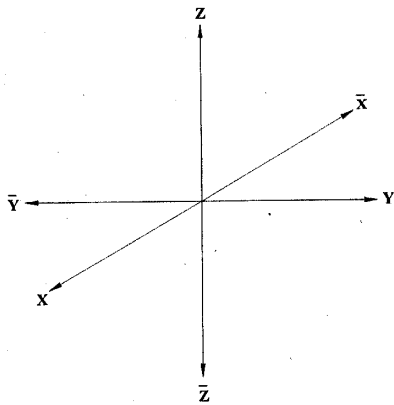
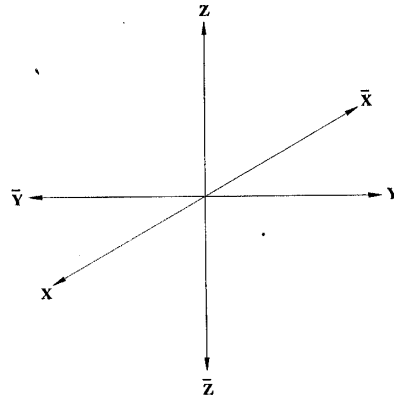
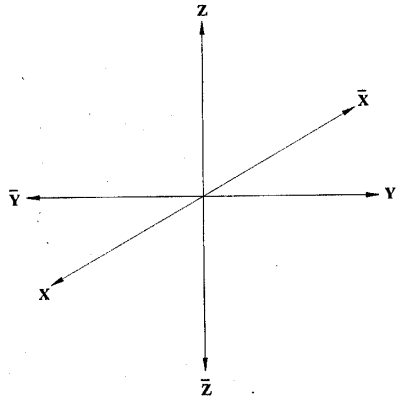


Plano AB

Índices de Weiss (11:)

Índices de Miller (110)

Fig. 20. Ejemplo de una cara que no corta el eje Z.



Ejercicios:

- 1) Siendo $a = b = c$ dibuje los planos $(0,1,0)$, $(1,-1,0)$ y $(1,2,-3)$
- 2) Siendo $2a = b = 3c$ dibuje los planos $(2,1,1)$, $(1,3,2)$ y $(2,2,2)$
- 3) Siendo $a = b = c$ dibuje las caras de un cubo según la notación de Miller:
 $(1,0,0)$, $(0,1,0)$, $(0,0,1)$, $(-1,0,0)$, $(0,-1,0)$ y $(0,0,1)$.
- 4) Siendo $a = b = c$ dibuje las caras de un octaedro según la notación de Miller:
 $(1,1,1)$, $(-1,1,1)$, $(1,1,-1)$, $(-1,-1,1)$, $(-1,-1,-1)$, $(1,-1,1)$, $(1,-1,-1)$ y $(-1,1,-1)$.

3) Ley de simetría

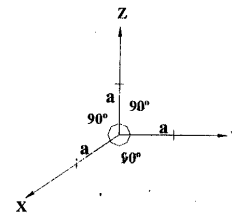
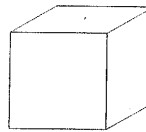
La tercera ley de simetría establecida también por Haüy (1801), dice que todos los cristales de la misma sustancia poseen los mismos elementos de simetría. Esto es, si en la cristalización de una sustancia se modifica un elemento geométrico del cristal, se modifican de la misma manera todos los elementos homólogos.

Los elementos de simetría son: centro, que implica la existencia de caras paralelas; plano, que divide al cristal en dos partes idénticas geométricamente; y eje, que al girar el cristal a su alrededor, tomándolo como eje de giro, el aspecto del cristal se repite dos, tres, cuatro o seis veces en una vuelta completa. Estos ejes se denominan binario A_2 , ternario A_3 , cuaternario A_4 y senario A_6 .

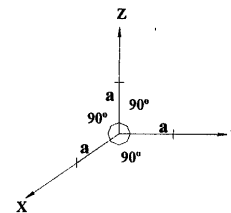
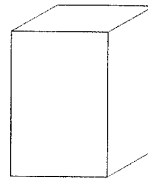
Según los elementos de simetría, los cristales se agrupan en 32 clases o grupos de simetría, pero como todos ellos pueden derivarse de siete formas geométricas fundamentales (o mallas elementales), se refieren más corrientemente a siete sistemas cristalinos caracterizados por la inclinación mutua de los ejes cristalográficos y por la relación entre los parámetros de la malla fundamental.

Fig. 21. Las siete mallas elementales

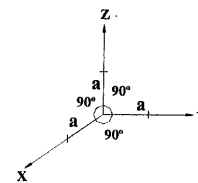
Malla cúbica: cubo poliedro formado por 6 caras cuadradas iguales y paralelas 2 a 2.
 $a = b = c$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



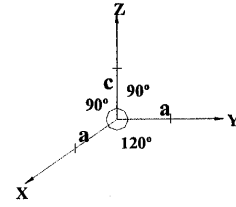
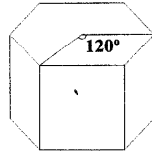
Malla tetragonal: prisma poliedro formado por 4 caras rectangulares paralelas 2 a 2 y base cuadrada.
 $a = b \neq c$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



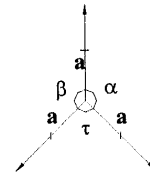
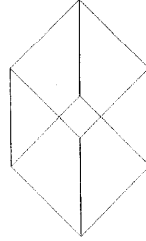
Malla ortorrómbica: prisma ortorrómbico, poliedro formado por 4 caras rectangulares paralelas 2 a 2 y terminado por 2 bases rectangulares.
 $a \neq b \neq c$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



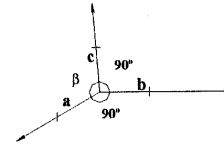
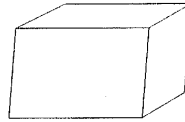
Malla hexagonal: prisma hexagonal, prisma recto terminado por 2 bases hexagonales.
 $a = b \neq c$ y $;\neq \beta = 90^\circ, \sigma = 120^\circ$



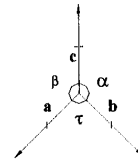
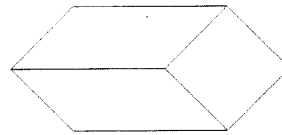
Malla romboédrica o trigonal: Romboedro, poliedro limitado por 6 caras rómbicas iguales.
 $a = b = c$ y $;\neq \beta \neq \sigma \neq 90^\circ$



Malla monoclinica: prisma monoclinico, prisma oblicuo con bases rectangulares.
 $a \neq b \neq c$ y $;\neq \sigma = 120^\circ, \beta \neq 90^\circ$



Malla triclinica: prisma oblicuo con base paralelepípedica.
 $a \neq b \neq c$ y $;\neq \beta \neq \sigma \neq 90^\circ$

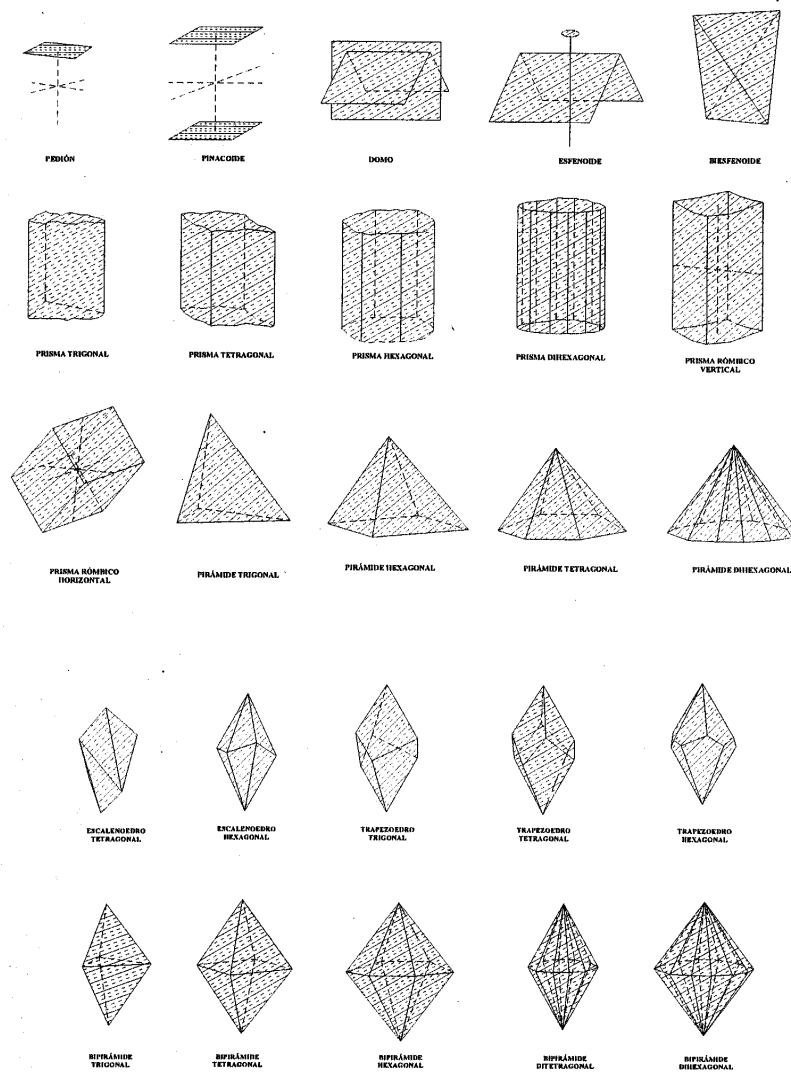


Formas cristalinas:

Cualquier mineral, al tener siempre la misma estructura atómica, posee por lo tanto siempre la misma celda unitaria o malla fundamental. La combinación de dichas celdas puede producir diferentes formas pero todas ellas pertenecerán del mismo sistema cristalino (figura 15).

Una forma cristalina es el conjunto de caras físicamente equivalentes de un cristal. Algunas formas son cerradas y otras abiertas, éstas últimas no pueden existir aisladamente y siempre deben estar asociadas a otras.

Fig. 22. Ejemplo de formas abiertas y cerradas



SISTEMAS CRISTALINOS

SISTEMA CUBICO, ISOMETRICO O REGULAR.

Ejes cristalográficos $a = b = c$ Angulos $\alpha = \beta = \sigma = 90^\circ$

Su forma principal es el cubo y existen cinco clases con simetría distinta.

 $A_{(4,3,2)}$ - Eje de simetría $90^\circ, 120^\circ, 180^\circ$ P - Plano C - Centro

CLASE	CARAS (no. máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Normal	48	Cubo, dodecaedro octaedro, hexa-octaedro.	$3A_4, 4A_3, 6A_2$ $9P, C$	Galena
Diploidal o Piritóédrica	24	Diploedro, Piritóedro	$4A_3, 3A_2$ $3P, C$	Pirita
Tetraédrica	24	Tetraedro	$4A_3, 3A_2, 6P$	Tetraedrita
Giroidal o Plagioédrica	24	Icositetraedro pentagonal	$3A_4, 4A_3, 6A_2$	Cuprita
Tetartoédrica	12	Dodecaedro	$4A_3, 3A_2$	Ilmenita

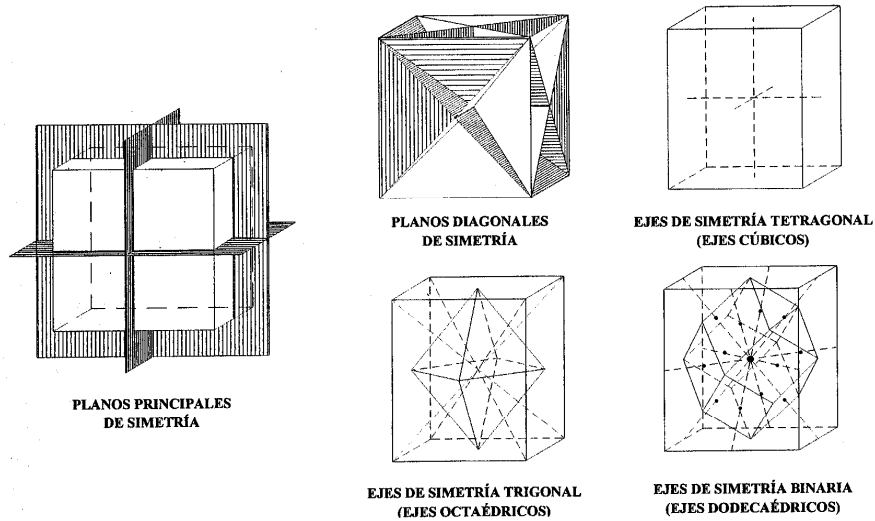


Fig. 23. Tipos de simetría del sistema cúbico (Dana y Ford, 1969).

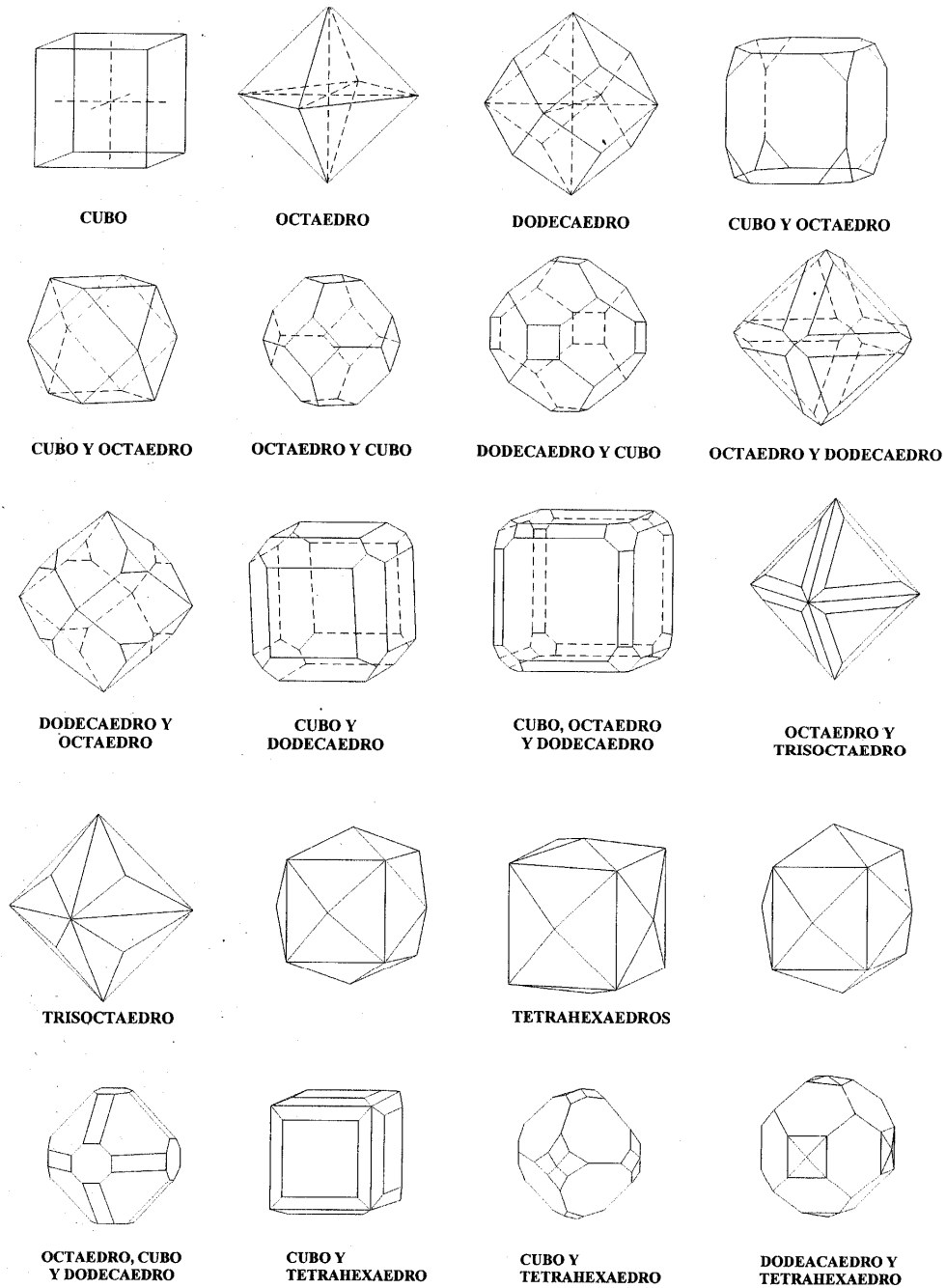
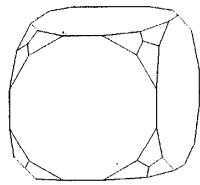
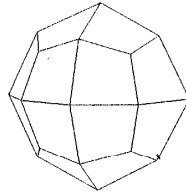


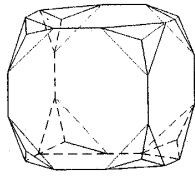
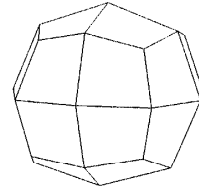
Fig. 24. Formas cristalinas de la clase normal del sistema cúbico.



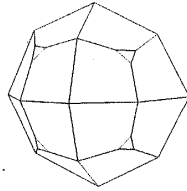
CUBO Y TRISOCTAEDRO



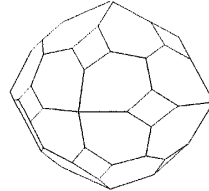
TRAPEZOEDROS



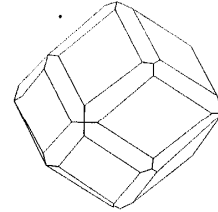
ANALCITA, CUBO Y TRAPEZOEDRO



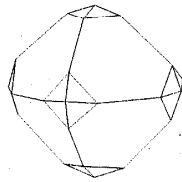
ANALCITA, TRAPEZOEDRO Y OCTAEDRO



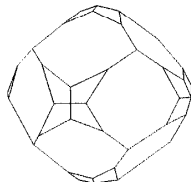
GRANATE, TRAPEZOEDRO Y DODECAEDRO



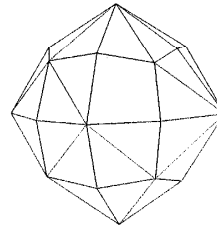
GRANATE, DODECAEDRO Y TRAPEZOEDRO



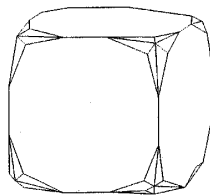
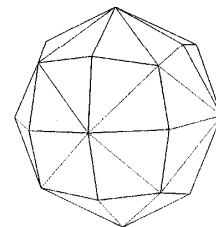
ESPINELA, OCTAEDRO Y TRAPEZOEDRO



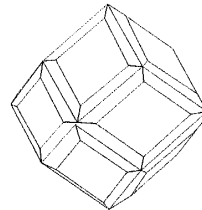
MAGNETITA, DODECAEDRO Y TRAPEZOEDRO



HEXAOCTAEDROS

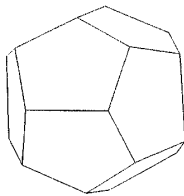
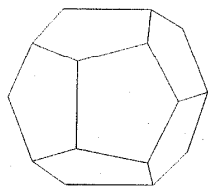


FLUORITA, CUBO Y HEXAOCTAEDRO

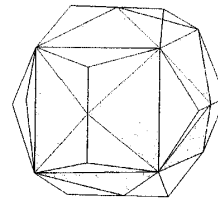


GRANATE, DODECAEDRO Y HEXAOCTAEDRO

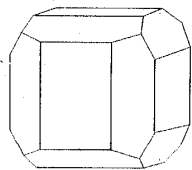
Fig. 25. Formas cristalinas de la clase normal del sistema cúbico.



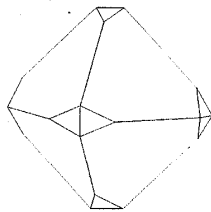
PIRITOEDEOS



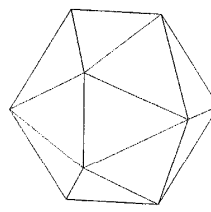
**ILUSTRA LA RELACIÓN ENTRE
EL PIRITOEDEO Y EL
TETRAHEXAEDRO**



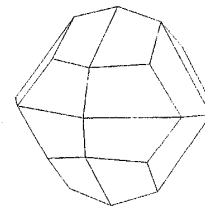
**CUBO Y
PIRITOEDEO**



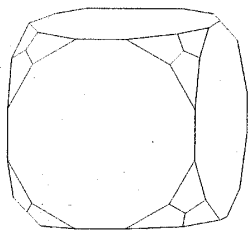
**OCTAEDRO Y
PIRITOEDEO**



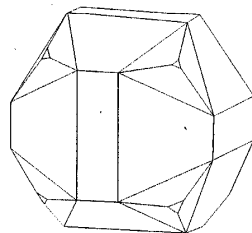
**FLUORITA, CUBO Y
HEXAOCIAEDRO**



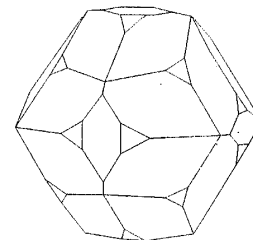
DIPLOEDRO



**CUBO Y
DIPLOEDRO**



**CUBO, DIPLOEDRO
Y PIRITOEDEO**



**CUBO, OCTAEDRO
Y DIPLOEDRO**

Fig. 26. Formas cristalinas de la clase piritoédrica del sistema cúbico

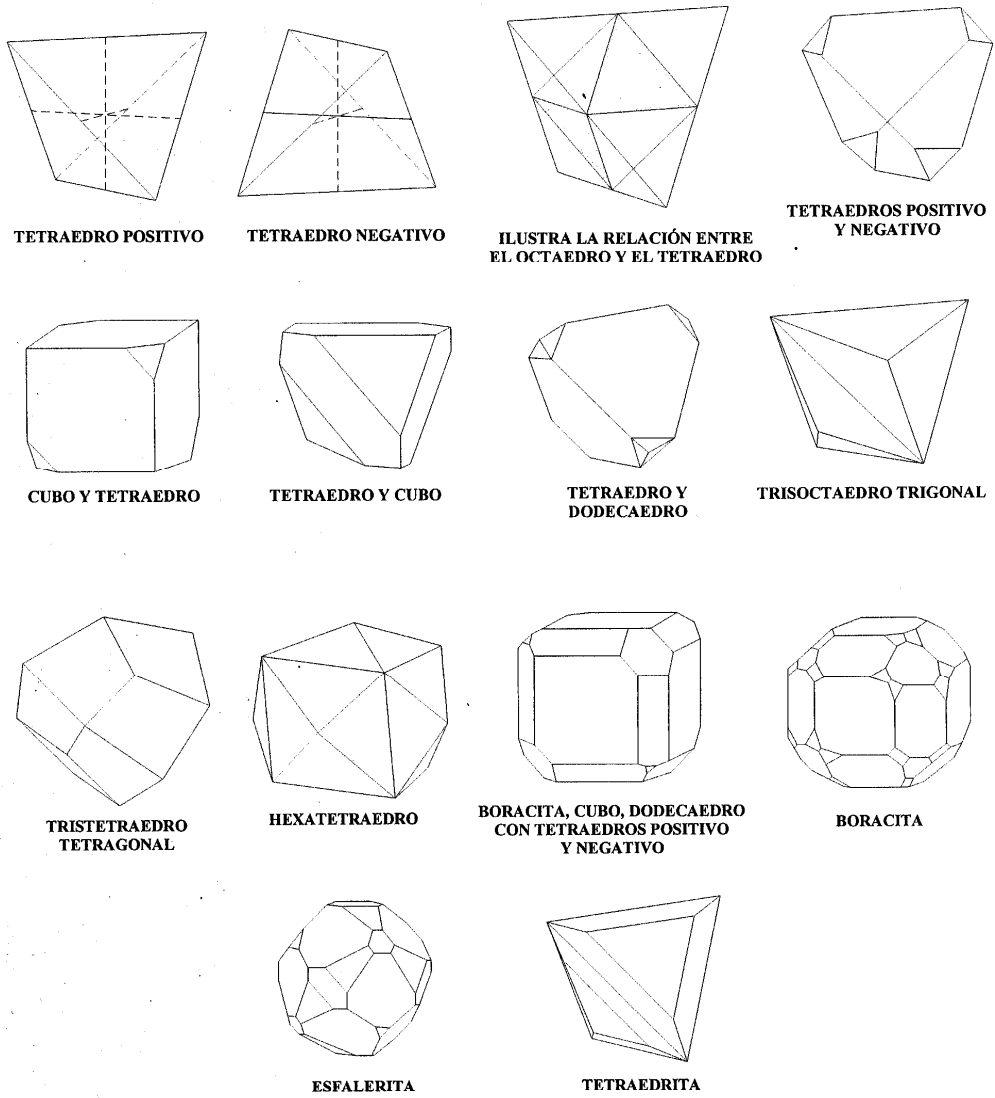


Fig. 27. Formas cristalinas de la clase tetraédrica del sistema cúbico

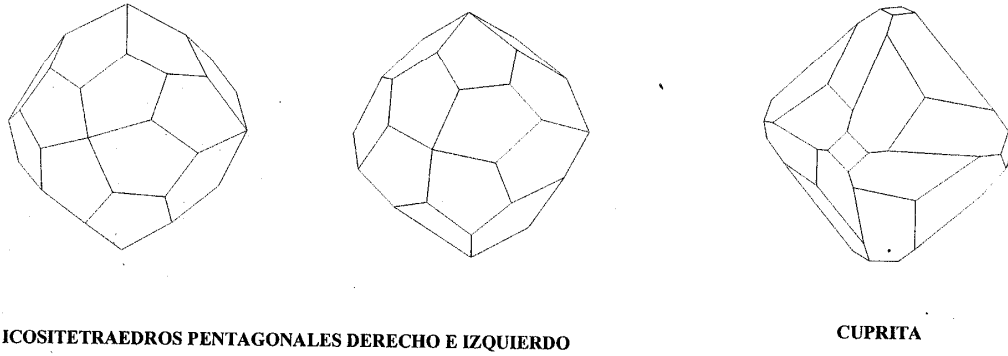


Fig. 28. Formas cristalinas de la clase plagioédrica del sistema cúbico.

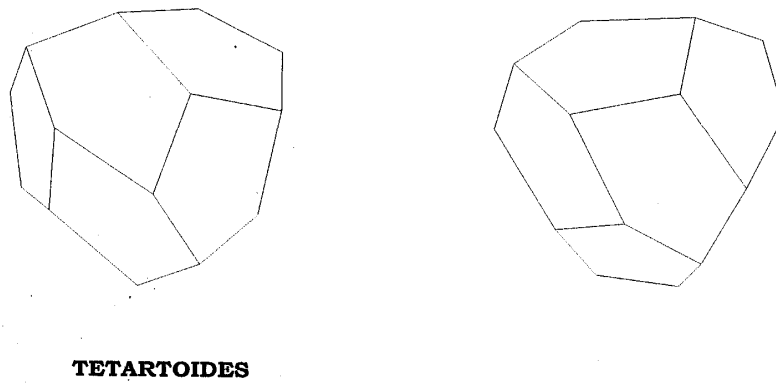


Fig. 29. Formas cristalinas de la clase tetraédrica del sistema cúbico.

SISTEMA TETRAGONAL.Ejes cristalográficos $a = b \neq c$ Angulos $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Tiene siete clases cristalinas, el poliedro principal es el prisma tetragonal.

CLASE	CARAS (número máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Normal	16	Prisma y pirámide ditetragonal	$A_4, 4A_2, 5P, C.$	Circón
Hemimórfica	8	Dipirámide	$A_4, 4P$	Diaboleita
Tripiramidal tetragonal	8	Prisma y pirámide	A_4, P, C	Scheelita
Hemimórfica piramidal	8	Prisma y pirámide tetragonal	A_4	Wulfenita
Esfenoédrica	8	Esfenoedro y Escalenoedro	$3A_2, 2P, C$	Calcopirita
Trapezoédrica	8	Trapezoedro tetragonal	$A_4, 4A_2$	Fosgenita
Tetartoédrica	4	Tetraedro tetragonal	A_2	Cahuita

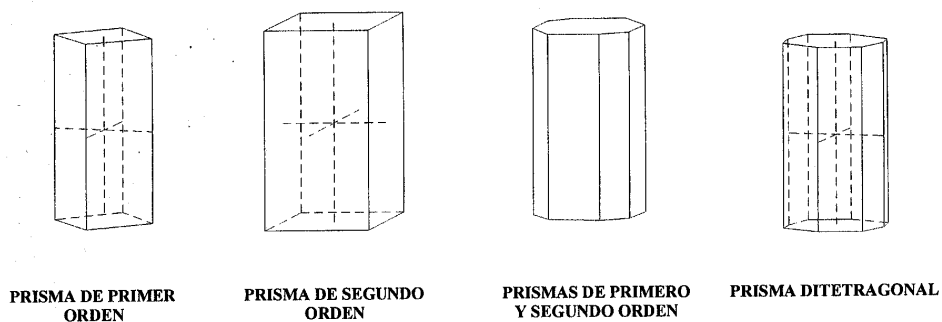
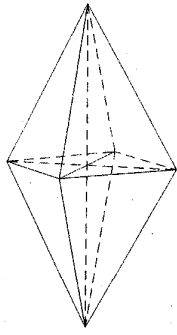
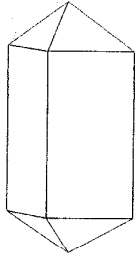


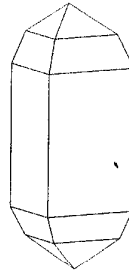
Fig. 30. Formas cristalinas de la clase normal del sistema tetragonal.



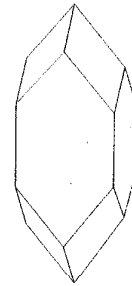
PIRÁMIDE DE PRIMER ORDEN



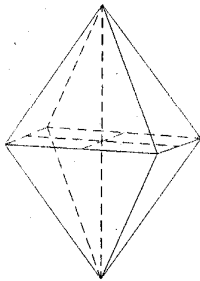
ZIRCÓN, PRISMA Y PIRÁMIDE DE PRIMER ORDEN



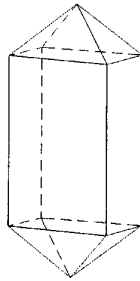
OCTAEDRO Y TRISOCTAEDRO



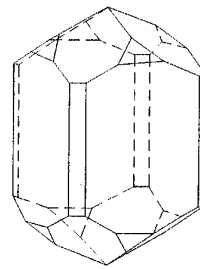
APOFILITA, PRISMA DE SEGUNDO ORDEN Y PIRÁMIDE DE PRIMER ORDEN



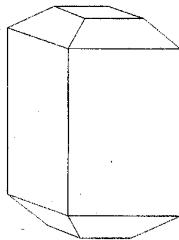
PIRÁMIDE DE SEGUNDO ORDEN



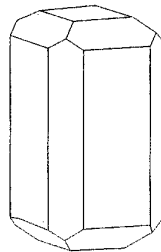
PRISMA Y PIRÁMIDE DE SEGUNDO ORDEN



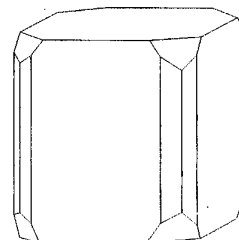
RUTILO, PRISMAS Y PIRÁMIDES DE PRIMERO Y SEGUNDO ORDEN



VESUBIANITA PRISMA DE PRIMER ORDEN, PIRÁMIDE Y BASE



VESUBIANITA PRISMAS DE PRIMERO Y SEGUNDO ORDEN, PIRÁMIDE DE PRIMER ORDEN Y BASE



APOFILITA PRISMA DE SEGUNDO ORDEN, PRISMA DITETRAGONAL, PIRÁMIDE DE PRIMER ORDEN Y BASE

Fig. 31. Algunas formas cristalinas de la clase normal del sistema tetragonal.

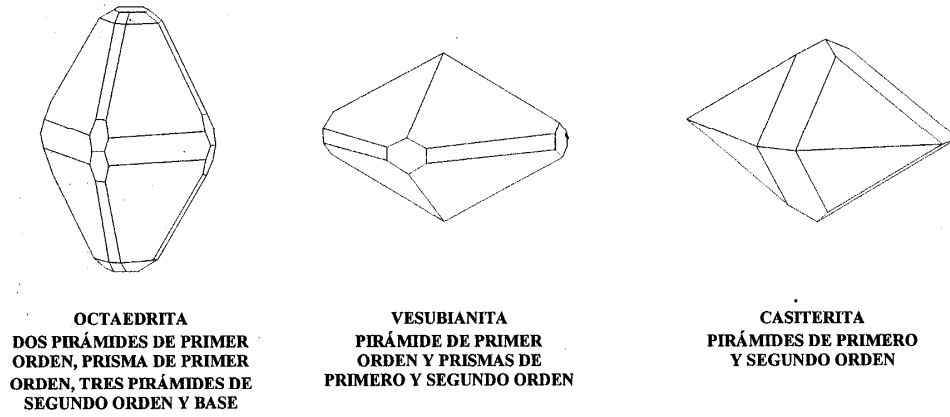


Fig. 31.1. Algunas formas cristalinas de la clase normal del sistema tetragonal.

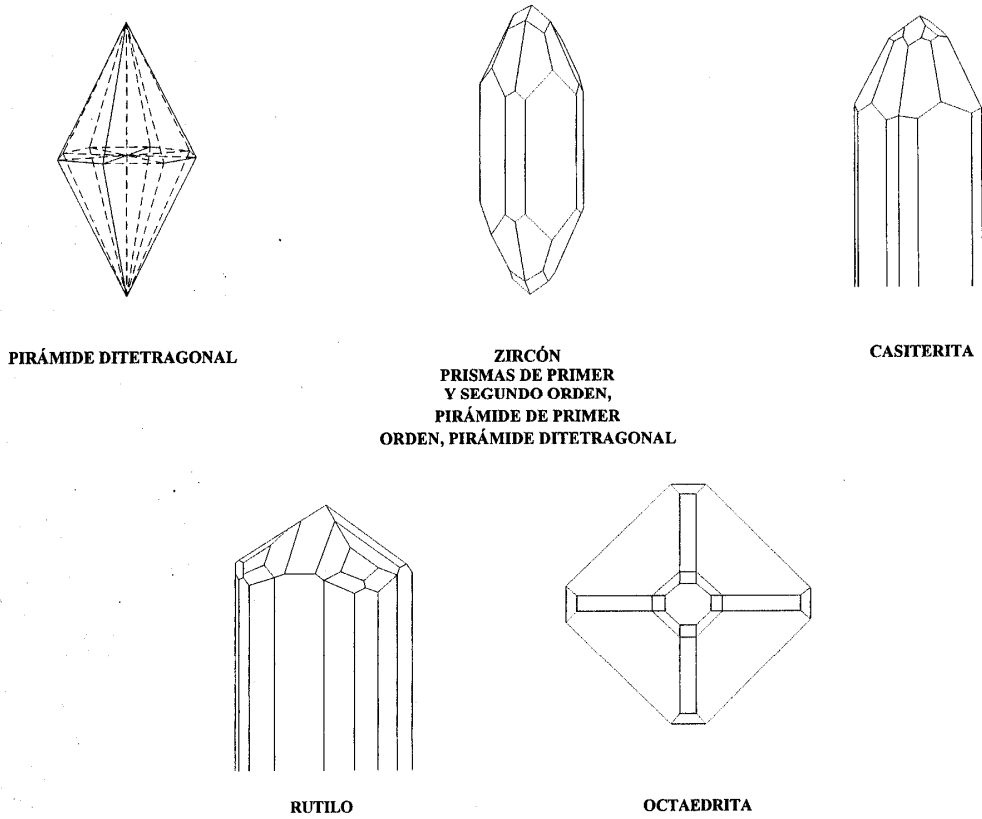
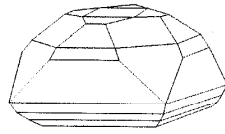
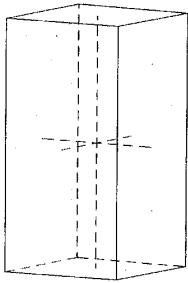


Fig. 32. Otras formas cristalinas de la clase normal del sistema tetragonal.

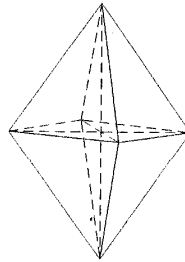


DIABOLEITA

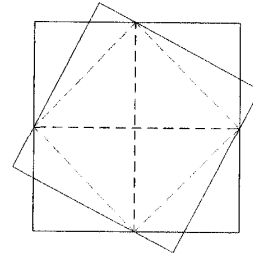
Fig. 33. Forma cristalina de la clase hemimórfica del sistema tetragonal



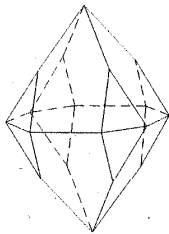
PRISMA DE TERCER ORDEN



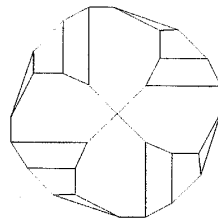
PIRÁMIDE DE TERCER ORDEN



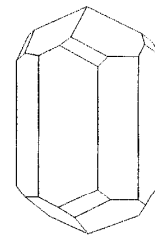
DIABOLEITA



SCHEELITA

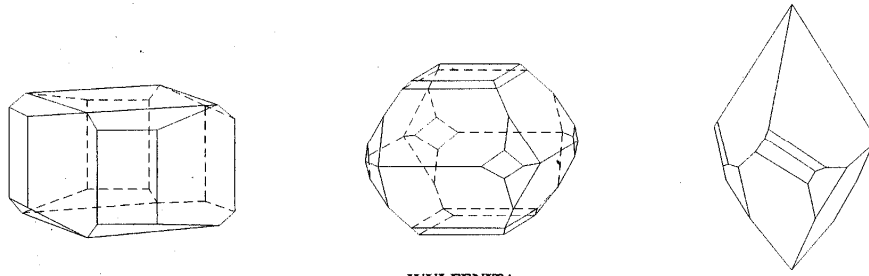


SCHEELITA



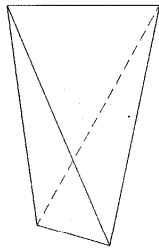
MELONITA

Fig. 34. Formas cristalinas de la clase tripiramidal tetragonal.

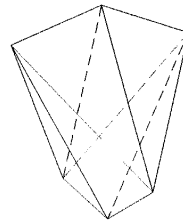


WULFENITA

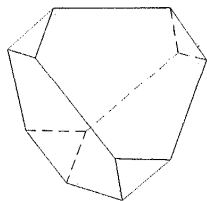
Fig. 35. Formas cristalinas de la clase hemimórfica piramidal del sistema tetragonal.



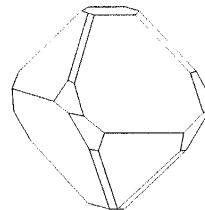
ESFENOEDRO TETRAGONAL



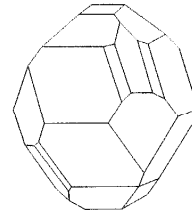
ESCALENOEDRO TETRAGONAL



SCHEELITA

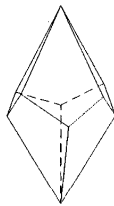


CALCOPIRITA

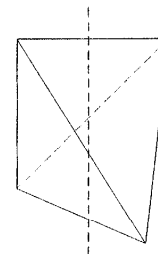


SCHEELITA

Fig. 36. Formas cristalinas de la clase esfenoédrica del sistema tetragonal.



TRAPEZOEDRO TETRAGONAL



TETRAEDRO TETRAGONAL

Fig. 37. Forma cristalina de la clase trapezoédrica tetragonal.

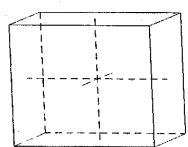
Fig.38. Forma cristalina de la clase tetraédrica tetragonal.

SISTEMA ORTORROMBICO.

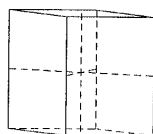
Ejes cristalográficos $a \neq b \neq c$
 Angulos $\alpha = \beta = \sigma = 90^\circ$

El poliedro fundamental es un paralelepípedo rectangular

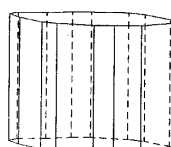
CLASE	CARAS (número máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Normal	8	Pinacoides, prismas y pirámides	$3A_2, 3P, C$	Barita
Hemimórfica	4	Pirámides, pinacoides, Prismas y pediones	$A_2, 2P$	Calamina
Esfenoédrica		Esfenoedro rómbico	$3A_2$	Epsomita



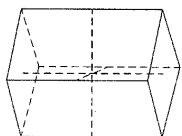
**PINACOIDES, MACRO,
BRAQUI Y BÁSICO**



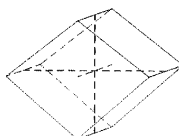
**PRISMA Y PINACOIDE
BÁSICO**



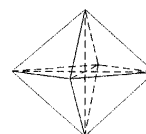
**OCTAEDRO Y
TRISOCTAEDRO**



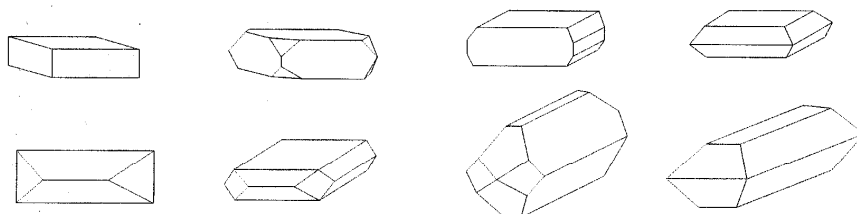
**MACRODOMO Y
BRAQUIPINACOIDE**



**BRAQUIDOMO Y
MACROPINACOIDE**

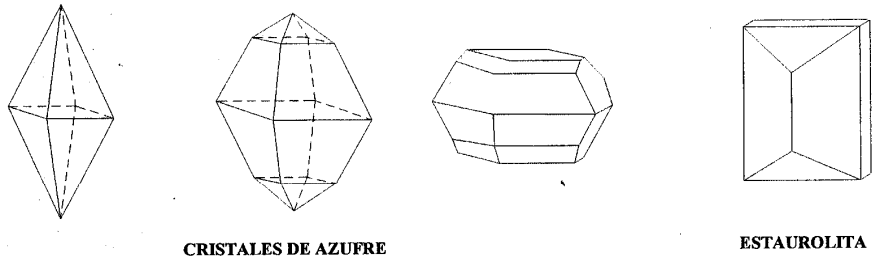


PIRÁMIDE



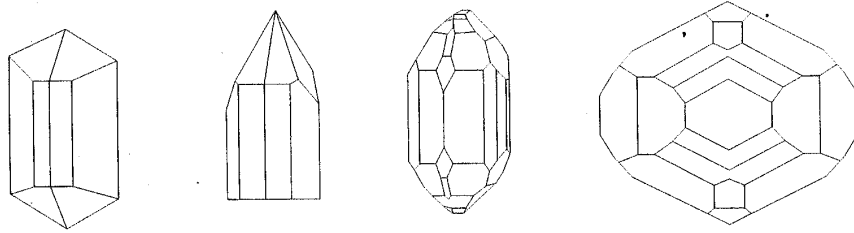
CRISTALES DE BARITA

Fig. 39. Formas cristalinas de la clase normal del sistema ortorrómbico.



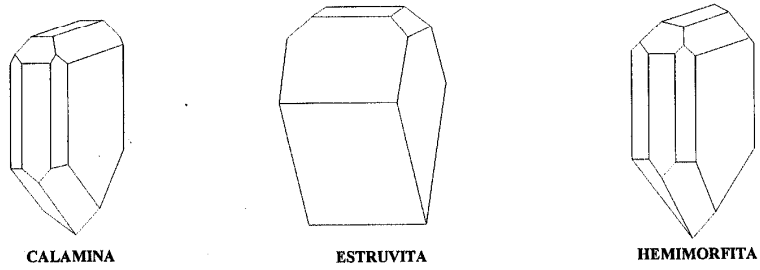
CRISTALES DE AZUFRE

ESTAUROLITA



CRISTALES DE TOPACIO

Fig. 40. Otras formas cristalinas de la clase normal del sistema ortorrómbico.

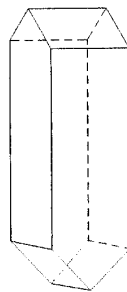


CALAMINA

ESTRUVITA

HEMIMORFITA

Fig. 41. Formas cristalinas de la clase hemimórfica del sistema ortorrómbico.

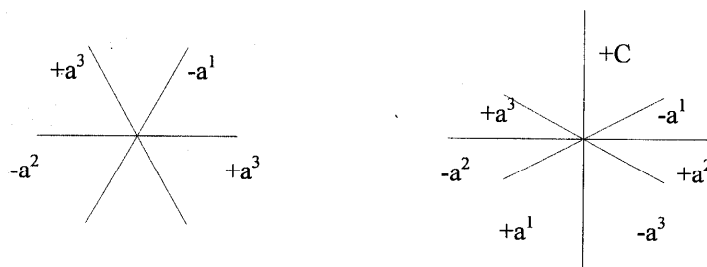


EPSOMITA

Fig. 42. Forma cristalina de la clase esenoédrica del sistema ortorrómbico.

SISTEMA HEXAGONAL.Ejes cristalográficos $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ Angulos entre los ejes positivos de $a = 120^\circ$ y de 90° con respecto a c .

CLASE	CARAS (número máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Normal (Bipiramidal Dihexagonal)	24	Pinacoide basal, prismas y pirámides de primer y segundo orden así como dihexagonales	$A_6, 6A_2,$ $7P, C.$	Berilo
Hemimórfica (Piramidal Dihexagonal)	12	Pirámide dihexagonal y pedión	$A_6, 6P$	Zincita
Tripiramidal (Bipiramidal Hexagonal)	12	Prismas y pirámides	A_6, P, C	Ápatito
Hemimórfica piramidal (Piramidal Hexagonal)	6	Pirámides, prismas y pediones hexagonales	A_6	Nefelina
Trapezoédrica (Trapezoédrica Hexagonal)		Trapezoedro hexagonal	$A_6, 6A_2,$	Cuarzo β
Trigonal	12	Bipirámide ditrigonal	$A_3, 3A_2, 4P$	Benitoita
Tetartoédrica Trigonal (Bipiramidal Trigonal)	6	Prismas y pirámides trigonales	A_3, P	Desconocido

**Fig. 43. Ejes cristalográficos hexagonales.**

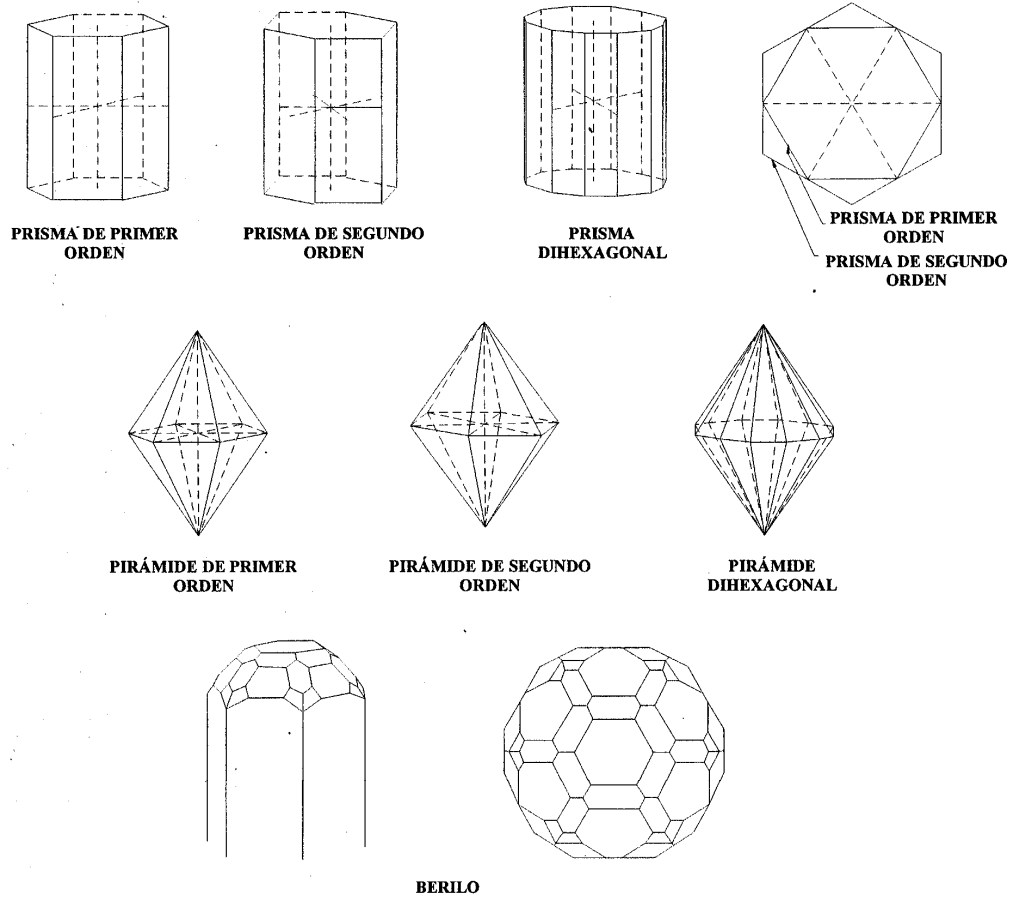


Fig. 44. Formas cristalinas de la clase normal de la división hexagonal.

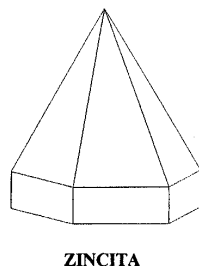


Fig. 45. Formas cristalinas de la clase hemimórfica de la división hexagonal.

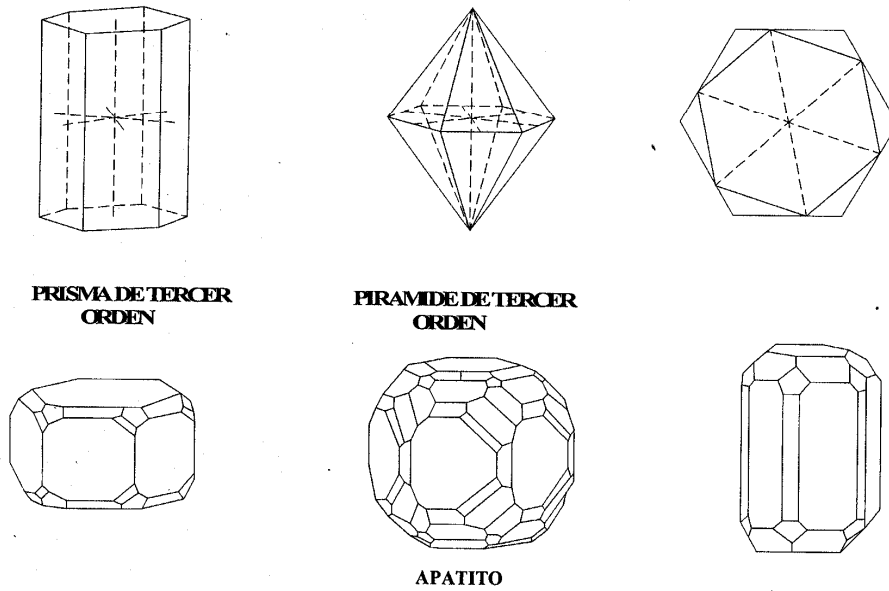


Fig. 46. Formas cristallines de la clase tripiramidal de la división hexagonal.

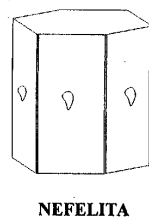


Fig. 47. Forma cristalina de la clase hemimórfica piramidal.

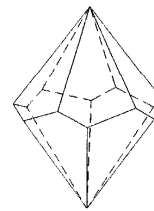


Fig. 48. Forma cristalina de la clase trapezoédrica.

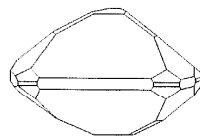


Fig. 49. Forma cristalina de la clase trigonal de la división hexagonal.

División Trigonal o Romboédrica

Esta división del sistema hexagonal presenta cinco clases

CLASE	CARAS (número máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Romboédrica	24	Romboedro y escalenoedro	$A_3, 3A_2, 3P, C$	Calcita
Hemimórfica Romboédrica	12	Pirámides trigonales, pediones, prismas, pirámides hexagonales y bipirámides trigonales	$A_3, 3P$	Turmalina
Triromboédrica (Bipiramidal Hexagonal)	6	Romboedro	A_3, C	Fenacita
Trapezoédrica	6	Trapezoedro trigonal prisma y pirámide trigonal	$A_3, 3A_2$	Cuarzo α
Hemimórfica tetartoédrica trigonal	3	Pirámide trigonal	A_3	Gratonita

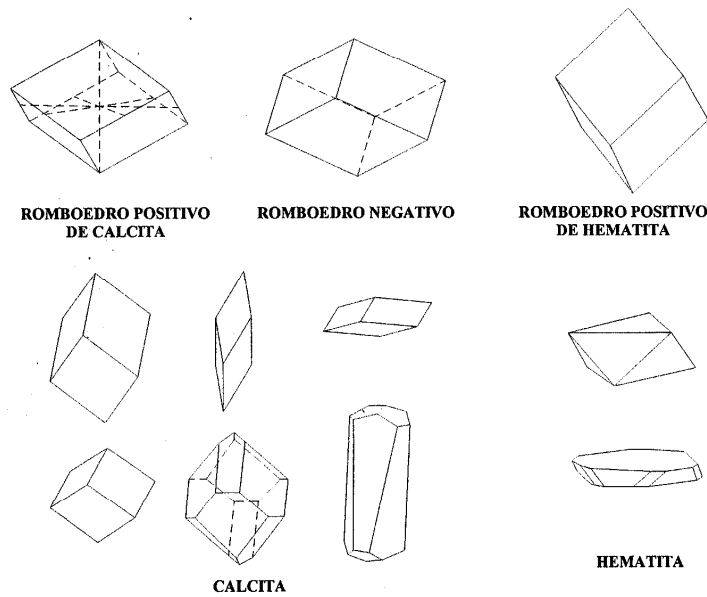


Fig. 50. Formas cristalinas de la clase romboédrica de la división trigonal.

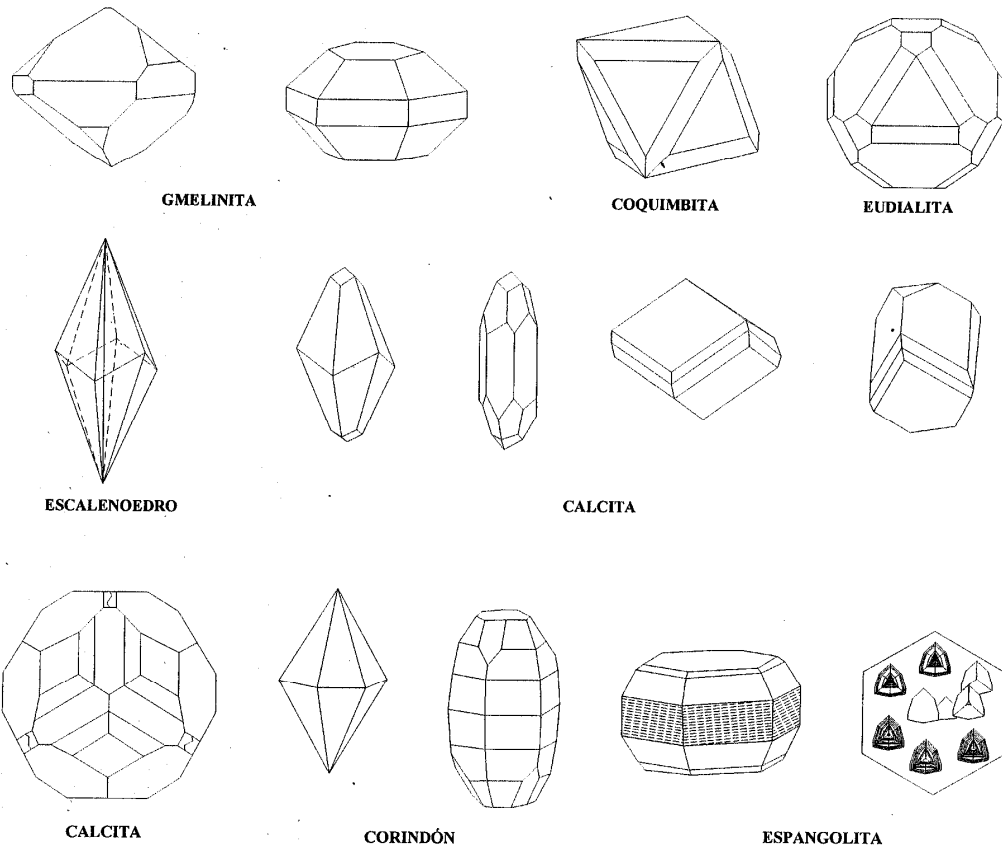


Fig. 51. Formas cristalinas de la clase romboédrica de la división trigonal.

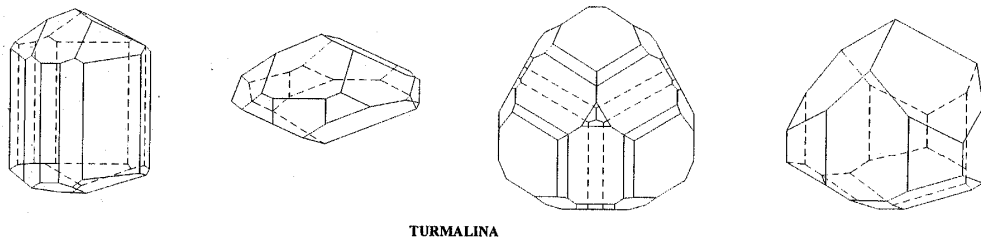


Fig. 52. Formas cristalinas de la clase hemimórfica romboédrica de la división trigonal.

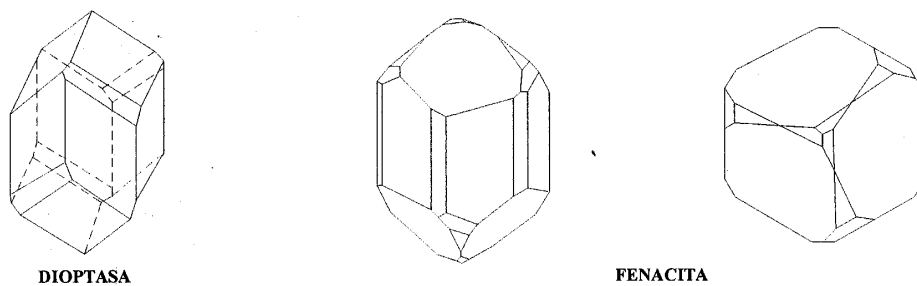


Fig. 53. Formas cristalinas de la clase trirromboédrica de la división trigonal.

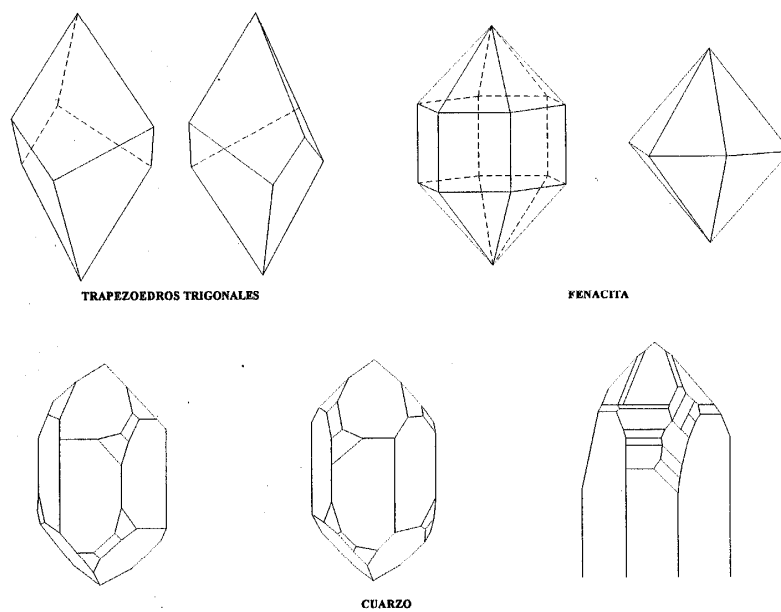


Fig. 54. Formas cristalinas de la clase trapezoédrica de la división trigonal.

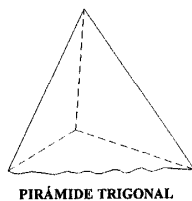
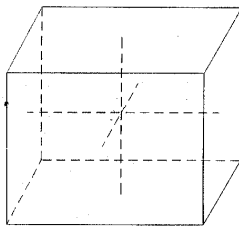
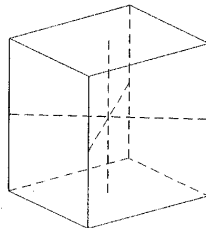
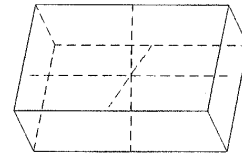
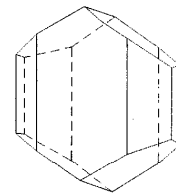
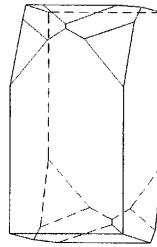
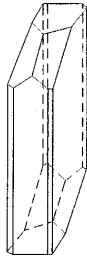
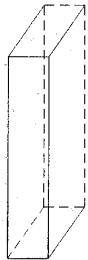


Fig. 55. Forma cristalina de la clase hemimórfica tetraédrica de la división trigonal.

SISTEMA MONOCLINICO.Ejes cristalográficos $a \neq b \neq c$ Angulos $\alpha = \sigma = 90^\circ \beta \neq 90^\circ$

El poliedro fundamental es un paralelepípedo inclinado

CLASE	CARAS (número máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Normal (Prismática)	4	Prismas, pirámides y Pinacoides, ortodomas y clinodomas	A_2, P, C	Yeso
Hemimórfica (Esferoédrica)	2	Esfenoideo, pinacoides y pediones	A_2	Pickeringita
Clinoédrica (Domática)	2	Ortodomas y pediones	P	Clinoedrita

PINACOIDES ORTO,
CLINO Y BÁSICOPRISMA Y PINACOIDE
BÁSICOORTODOMOS Y
CLINOPINACOIDE

PIRÁMIDE TRIGONAL

Fig. 56. Formas cristalinas de la clase normal del sistema monoclinico.

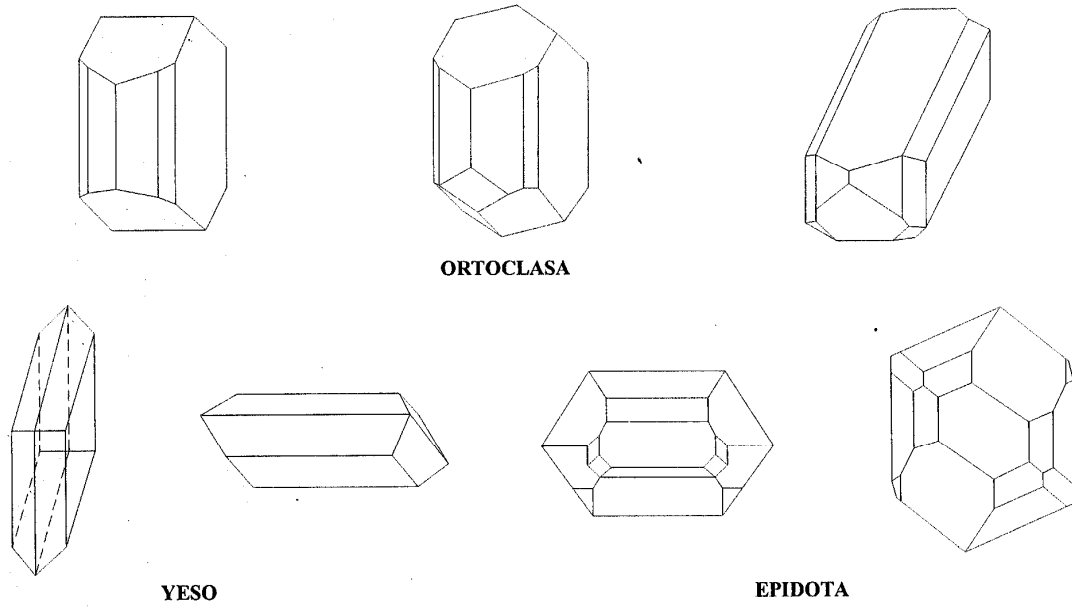


Fig. 57. Formas cristalinas de la clase normal del sistema monoclinico.

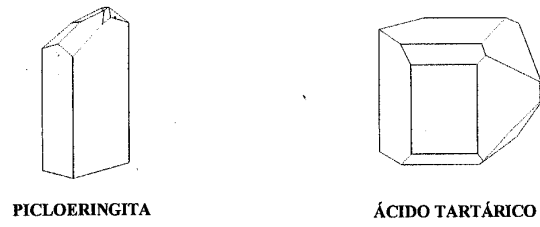


Fig. 58. Formas cristalinas de la clase hemimorfica del sistema monoclinico.

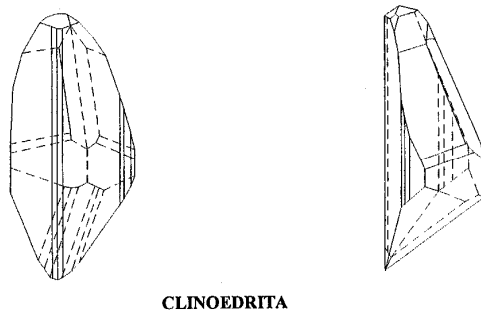
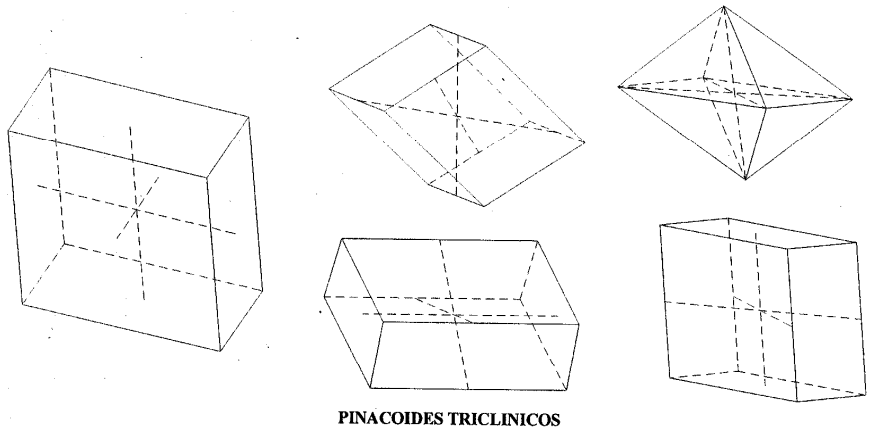
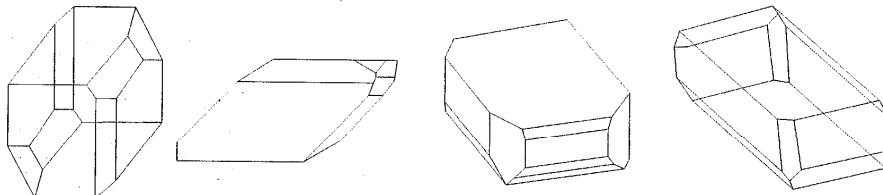
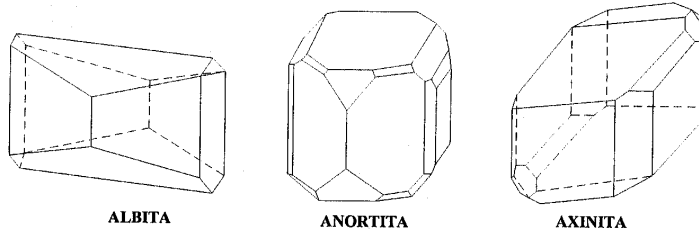


Fig. 59. Formas cristalinas de la clase clinoédrica del sistema monoclinico.

SISTEMA TRICLINICO.Ejes cristalográficos $a \neq b \neq c$ Angulos $\alpha \neq \beta \neq \sigma \neq 90^\circ$

La característica de este sistema es su escasa simetría, sólo posee centro como elemento de simetría.

CLASE	CARAS (número máximo)	FORMAS	SIMETRIA	EJEMPLO
Normal	2	Pinacoides	C	Rodonita
Pedial	1	Pediones	-	Sales artificiales

**PINACOIDES TRICLINICOS****AXINITA****RODONITA****ALBITA****ANORTITA****AXINITA****Fig. 60. Formas cristalinas de la clase normal del sistema triclinico.**

ISOMORFISMO

Anteriormente habíamos dicho que la composición química de un mineral es de gran importancia en cualquier esquema de clasificación, pues las propiedades de los minerales varían con la composición química.

La tabla periódica de los elementos de Mendeleev (1869) está diseñada en el orden creciente de los pesos atómicos. Establece diversos grupos en los cuales existen elementos con propiedades similares.

Por ejemplo: en el grupo II el Ca, Sr y Ba están químicamente relacionados, los carbonatos de estos tres elementos CaCO_3 , SrCO_3 y BaCO_3 , tienen propiedades químicas y físicas similares. La aragonita, estroncianita y witherita cristalizan en el sistema rómbico y sus estructuras cristalinas son bastante parecidas. Estos minerales se denominan isomorfos (iso: igual, morphe: forma).

Nombre	Fórmula	Peso molecular	Peso específico
Aragonita	CaCO_3	100.1	2.9
Estroncianita	SrCO_3	147.6	3.7
Witherita	BaCO_3	197.4	4.3

Se observa que el peso específico aumenta con el peso molecular. Se llaman minerales isomorfos aquellos que tienen composiciones químicas parecidas, cristalizan con estructuras similares y por lo tanto sus formas cristalinas son también similares. Estos minerales presentan ciertas graduaciones en la composición química y en sus propiedades físicas como el peso específico, índice de refracción, etc.,

Si analizamos la estroncianita, veremos que existen Ca y Ba reemplazando parte del estroncio. Los átomos de estos elementos están distribuidos arbitrariamente en las posiciones estructurales de los iones metálicos positivos. Dichas posiciones fueron adquiridas mientras el cristal crecía, es decir, átomos químicamente similares y de tamaño parecido pueden sustituir a otros en idénticas posiciones estructurales.

La cantidad de átomos reemplazables puede ser pequeña o grande. Como el Fe^{+2} y Mn^{+2} son casi del mismo tamaño, los carbonatos de Fe y Mn; (FeCO_3 y MnCO_3) del grupo de la calcita, forman una serie completa con todas las proporciones posibles de Fe y Mn. La fórmula $(\text{Fe},\text{Mn})\text{CO}_3$ indica que el Fe predomina sobre el Mn, mientras que la fórmula $(\text{Mn},\text{Fe})\text{CO}_3$ indica lo contrario.

En cambio el Ca y el Mg difieren mucho en tamaño y sólo una mínima cantidad de Mg llega a sustituir al Ca en la fórmula CaCO_3 , sin embargo, es posible que el Ca y Mg alternen regularmente en la estructura formando un compuesto definido, con la fórmula $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, llamado dolomita.

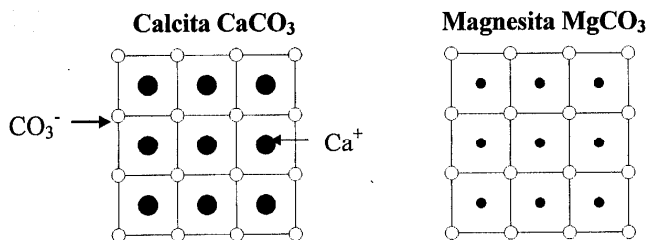


Fig. 61. Tamaño relativo de los átomos de calcio y magnesio dentro de los carbonatos de calcita y magnesita.

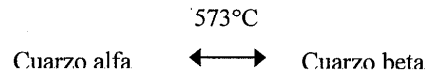
Se llaman series isomorfas a las series de minerales que muestran un cambio continuo en la composición, con cambios muy pequeños o inexistentes de la estructura geométrica. Por ejemplo, el oro y la plata con el mismo radio atómico (1.94 Å) y propiedades químicas similares, presentan una solubilidad sólida. Todos los miembros de la serie del oro y plata, tienen una estructura atómica cúbica y por lo tanto son isomorfos.

POLIMORFISMO

La habilidad de un elemento o compuesto de asumir más de una estructura atómica se denomina polimorfismo (poli: muchas, morphe: forma).

Los polimorfos de un mismo mineral son estables bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, cuando estas condiciones cambian, comúnmente los átomos se reajustan en estado sólido para formar una estructura más estable.

La transición de un polimorfo a otro es rápida cuando la transformación requiere de poca energía. Esta rapidez es debida a que las unidades estructurales del mineral original son levemente desplazadas sin rompimiento de ningún enlace atómico. Por ejemplo, la transición de cuarzo beta (mayor temperatura) a cuarzo alfa (menor temperatura). Es una reacción reversible y casi instantánea en aproximadamente 573°C.

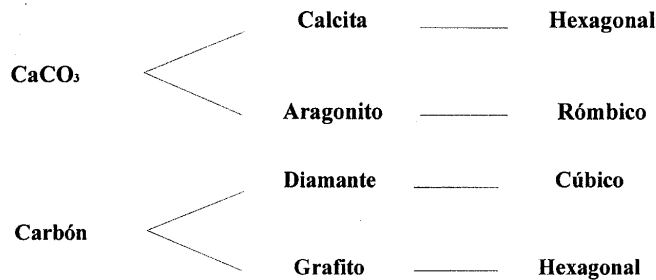


Además de las formas cuarzo α y β , a temperaturas más altas se forman otras dos variaciones de SiO_2 llamadas cristobalita y tridimita. Una vez formadas son estables a temperaturas ordinarias, sin embargo, su estabilidad se atribuye a la presencia de iones ajenos y no representan un SiO_2 puro.

La transformación de un polimorfo es lenta cuando se necesitan grandes cantidades de energía para romper los fuertes enlaces atómicos y formar una nueva estructura. La transición de grafito a diamante es una reacción reconstructiva en la cual la estructura original es transformada y rota para reconstruir un nuevo tipo de enlace.

Ejemplo: la argentita Ag_2S cristaliza en el sistema cúbico por encima de los 180°C, si se forma por debajo de esta temperatura los cristales son monoclinicos y el mineral es llamado acantita. Los cristales de Ag_2S enfriados por debajo de los 180°C sufren un reajuste atómico interno y se convierten en un mosaico de unidades monoclinicas, conservando la forma cúbica externa original, entonces se le llama acantita paramorfa de la argentita.

Una característica propia del polimorfismo es que a veces una sustancia dada puede presentar dos o más estructuras diferentes y coexistir en condiciones normales. Ejemplos:



Si una sustancia se presenta en dos formas se le llaman dimorfa, si se presenta en tres, trimorfas. Para una temperatura y presión dadas sólo puede existir estable una ordenación, las otras deben ser metaestables, es decir, estables más allá de sus condiciones normales, aunque pueden existir durante períodos indefinidamente largos. Los cambios polimórficos pueden realizarse por calentamiento, dicho tratamiento cambia el aragonito en calcita, y la anatasa y brookita en rutilo.

PSEUDOMORFISMO

Pseudomorfismo (pseudo: falsa; morphe: forma) se produce cuando un cristal tiene la composición química y el arreglo atómico de un mineral y la forma externa de otro, por ejemplo, los cristales octaédricos de magnetita (Fe_3O_4) se alteran comúnmente a hematita (Fe_2O_3), pero aún retienen la forma octaédrica original de la primera.

Los pseudomorfos se pueden formar de distinta manera:

- Por relleno de moldes o cavidades que originalmente fueron ocupados por otro cristal, se preservan las líneas del mineral original.
- Por infiltración: en la madera petrificada el SiO_2 rellena las cavidades dentro de las celdas vacías de la madera y los alrededores de las paredes celulares.
- Por incrustación: un mineral puede depositarse como un costra alrededor de los cristales de otro mineral como en el caso de cuarzo rodeando a cristales cúbicos de fluorita.
- Por alteración: incluye un cambio químico parcial como cuando el Cu oxida a malaquita $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$; pirita FeS_2 puede alterar a goetita HFeO_2 ; galena PbS altera a anglesita PbSO_4 y feldespatos y feldespatoides se alteran a minerales de arcilla.
- Por reemplazo: un mineral reemplaza a otro como el cuarzo a la calcita. Este reemplazo implica un cambio en las condiciones ambientales lo cual causa que el primer mineral se vuelva inestable.
- Por sustitución: existe un reajuste de los átomos de un cristal sin alteración de su forma externa, por ejemplo, los cristales ortorrómbicos de aragonita pueden pasar a hexagonales de la calcita.

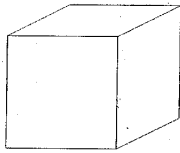
HÁBITO

El hábito es la figura o forma geométrica que los minerales tienden a formar preferentemente. Algunos minerales pueden adquirir varios hábitos pero siempre dentro de un mismo sistema cristalino.

Los diagramas idealizados que se muestran a continuación, ilustran los hábitos frecuentemente observados en la mayoría de los cristales de minerales ordinarios. El hábito, y si es posible la forma o formas acompañantes, pueden constituir la primera observación para una espécimen cristalizado. El mineral que sea sugerido por los diagramas, puede ser confirmado en un libro de mineralogía descriptiva.

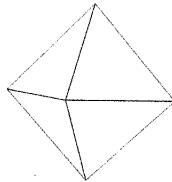
HABITO CRISTALINO DE MINERALES COMUNES

Hábito cúbico:



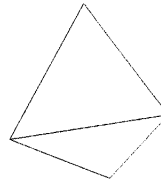
CUBO

FLUORITA	BOLEITA
GALENA	PLATINO
HALITA	BORNITA
PIRITA	ALABANDITA
SILVITA	VILLIAUMITA



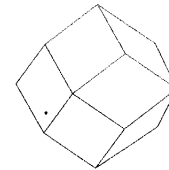
OCTAEDRO

CUPRITA	FLUORITA
DIAMANTE	PIROCLORO
ESPINELA	CRISTOBALITA
MAGNETITA	SENARMONITA
FRANKLINITA	HAUERITA



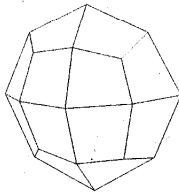
TETRAEDRO

TETRAEDRITA
ESFALERITA



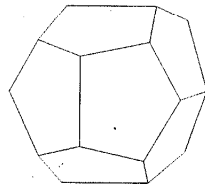
DODECAEDRO

GRANATE
MAGNETITA



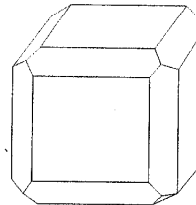
TRAPEZOEDRO

ANALCITA
GRANATE
LEUCITA
SALMIAC



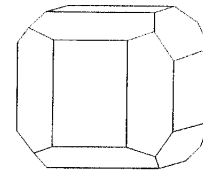
PIRITOEDRO

PIRITA
COBALTINA



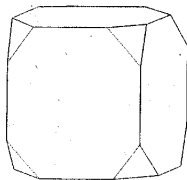
CÚBICO

URANINITA
CUPRITA
FLUORITA
BORACITA



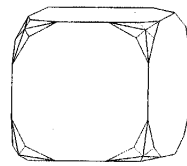
CÚBICO

PIRITA
COBALTINA



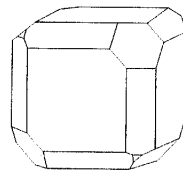
CÚBICO

PIRITA	ARGENTITA
GALENA	PLATA
CLORARGENITA	
SKUTTERUDITA	



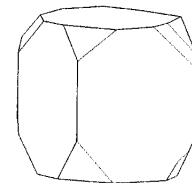
CÚBICO

FLUORITA



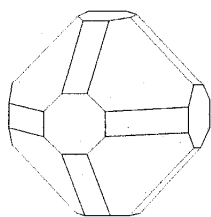
CÚBICO

BORACITA



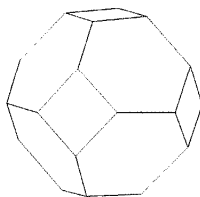
CÚBICO

CRIOBITA



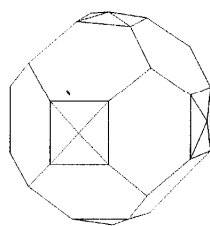
OCTAÉDRICO

**ORO NATIVO FLUORITA
PLATA NATIVA URANINITA
COBRE NATIVO BORACITA**



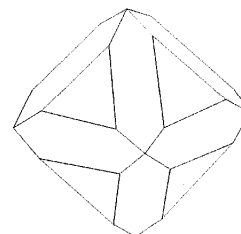
OCTAÉDRICO

**ORO NATIVO GALENA
ARGENTITA**



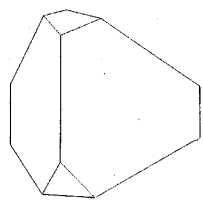
OCTAÉDRICO

ESPINELA



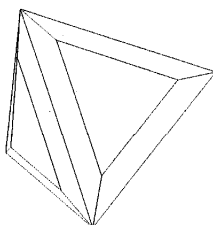
OCTAÉDRICO

MAGNETITA



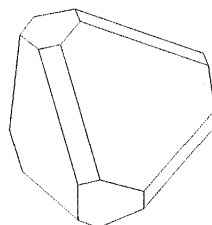
TETRAÉDRICO

**ESFALERITA
COBRES GRISES
CALCOPIRITA
HELVINA
BORACITA**



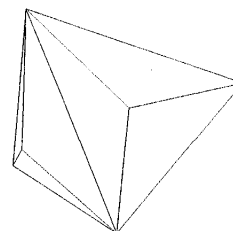
TETRAÉDRICO

**ESFALERITA
COBRES GRISES
BORACITA
FARMACOSIDERITA**



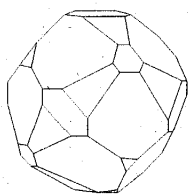
TETRAÉDRICO

ESFALERITA



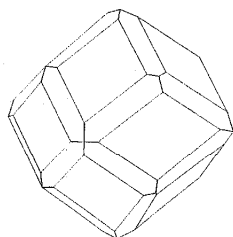
TETRAÉDRICO

**ESFALERITA
COBRES GRISES
HELVINA
EULITINA**



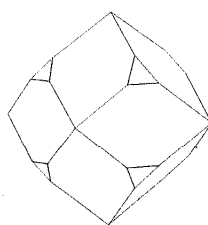
TETRAÉDRICO

ESFALERITA



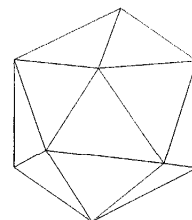
DODECAÉDRICO

GRANATE



DODECAÉDRICO

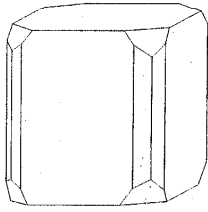
**MAGNETITA
CUPRITA**



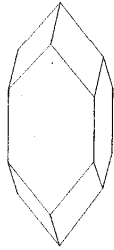
DODECAÉDRICO

**PIRITA
COBALTINA**

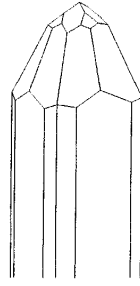
Hábito tetragonal:



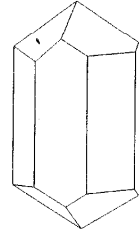
PRISMÁTICO
APOFILITA



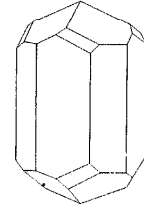
PRISMÁTICO
ANATASA



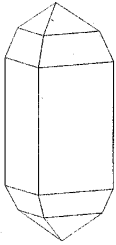
PRISMÁTICO
CASITERITA



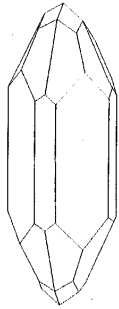
PRISMÁTICO
ESCAPOLITA
XENOTIMA



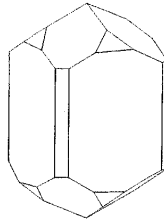
PRISMÁTICO
MELONITA



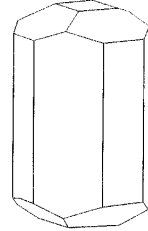
PRISMÁTICO
ZIRCÓN



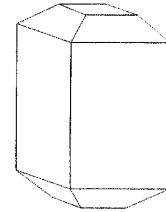
PRISMÁTICO
ZIRCÓN
ANATASA
XENOTIMA
TORITA



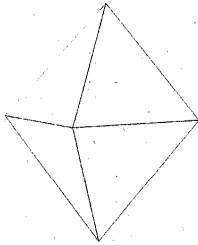
PRISMÁTICO
RUTILO



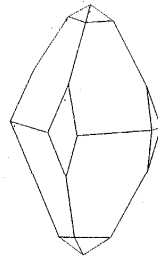
PRISMÁTICO
VESUBIANITA
(IDOCRASA)



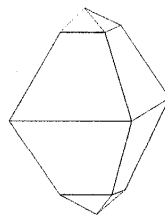
PRISMÁTICO
VESUBIANITA



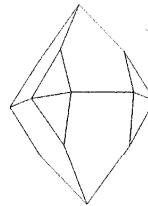
BIPIRAMIDAL
SCHEELITA
WULFENITA



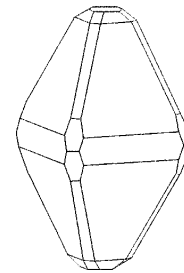
BIPIRAMIDAL
ANATASA



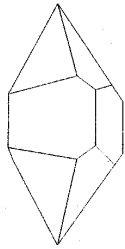
BIPIRAMIDAL
SCHEELITA



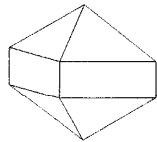
BIPIRAMIDAL
SCHEELITA



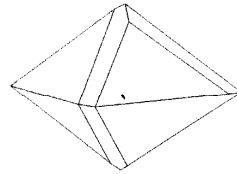
BIPIRAMIDAL
OCTAÉDRITA



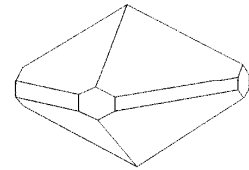
BIPIRAMIDAL
SCHEELITA
WULFENITA



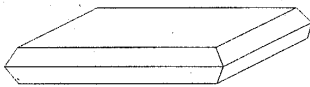
BIPIRAMIDAL
ANATASA



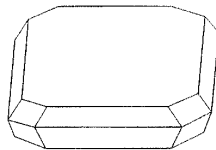
BIPIRAMIDAL
SCHEELITA



BIPIRAMIDAL
SCHEELITA



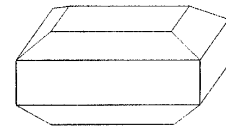
TABULAR
SCHEELITA
WULFENITA



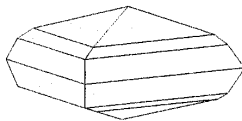
TABULAR
AUTONITA
META-AUTONITA



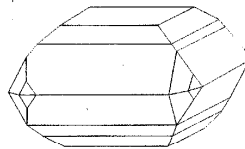
TABULAR
ZEUNERITA



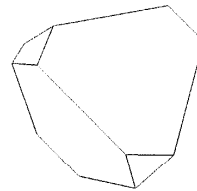
TABULAR
TORBERNITA
META-TORBERNITA



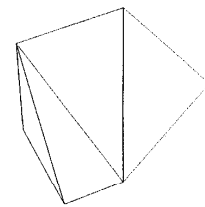
TABULAR
WULFENITA



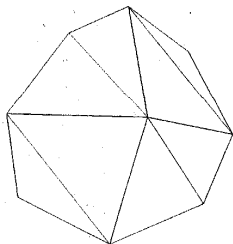
TABULAR
SCHEELITA



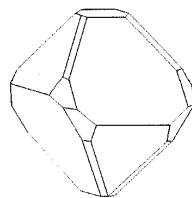
ESFENOÉDRICO
CALCOPIRITA



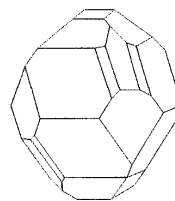
ESFENOÉDRICO
CALCOPIRITA



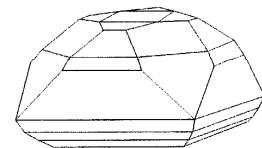
ESFENOÉDRICO
CALCOPIRITA



ESFENOÉDRICO
CALCOPIRITA

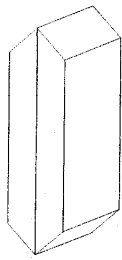


ESFENOÉDRICO
CALCOPIRITA

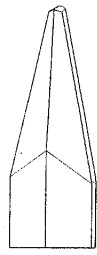


HEMIMÓRFICO
DIABOLEITA

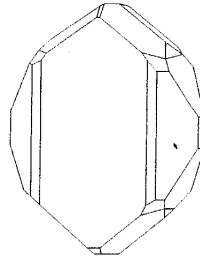
Hábito ortorrómbico:



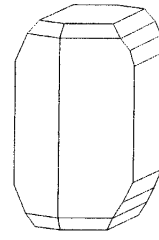
**PRISMÁTICO
ARAGONITO
VARISCITA**



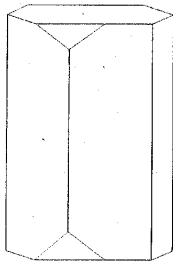
**PRISMÁTICO
ARAGONITO**



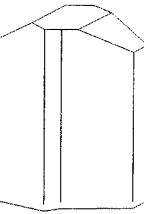
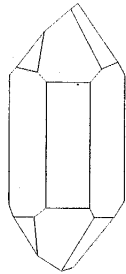
**PRISMÁTICO
BROOKITA**



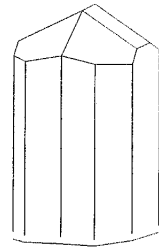
**PRISMÁTICO
CERUSITA**



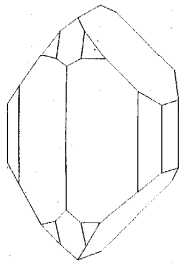
**PRISMÁTICO
ESTAUROLITA**



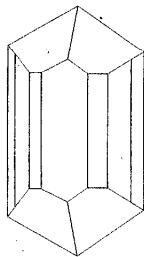
**PRISMÁTICO
DAWSONITA**



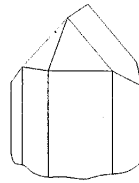
**PRISMÁTICO
GOETHITA**



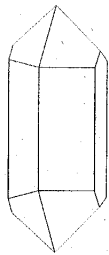
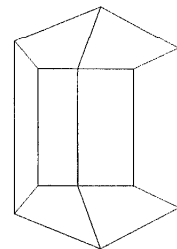
**PRISMÁTICO
OLIVINO**



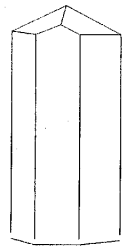
**PRISMÁTICO
CRISOLITA**

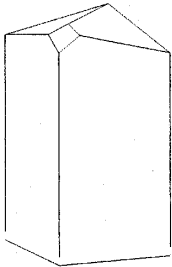


**PRISMÁTICO
TOPACIO**

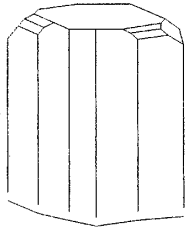


**PRISMÁTICO
ANTIMONITA**

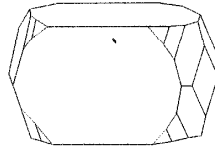




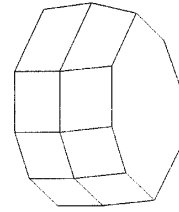
**PRISMÁTICO
ARSENOPIRITA**



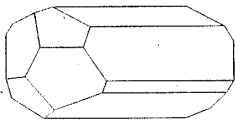
**PRISMÁTICO
BARITA**



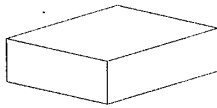
**PRISMÁTICO
ANHIDRITA**



**TABULAR
BOHEMITA**



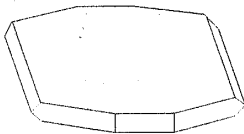
**TABULAR
CELESTINA**



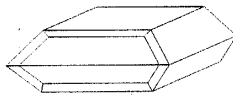
**TABULAR
CELESTINA
BARITA
ANGLESITA**



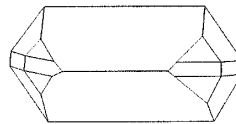
**TABULAR
BARITA**



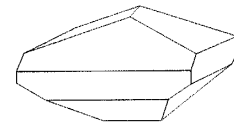
**TABULAR
LEPIDOCRASITA**



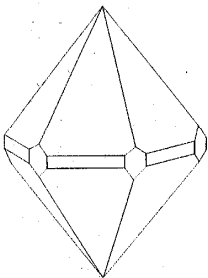
**TABULAR
BOURNONITA**



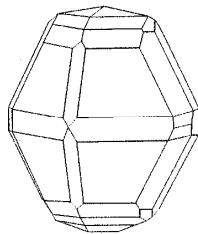
**TABULAR
ANGLESITA**



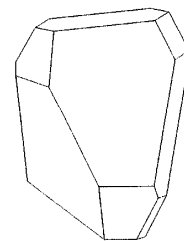
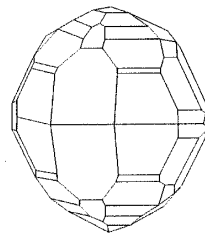
**TABULAR
EDINGTONITA**



**BIPIRAMIDAL
WITHERITA**

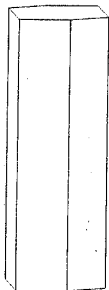


**BIPIRAMIDAL
AZUFRE**

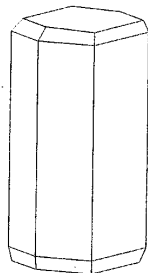


**ESFENOIDAL
AZUFRE**

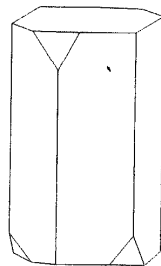
Hábito hexagonal:



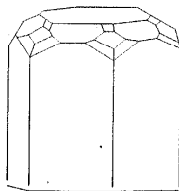
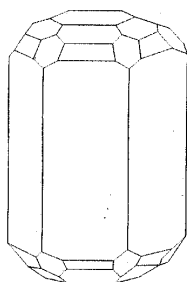
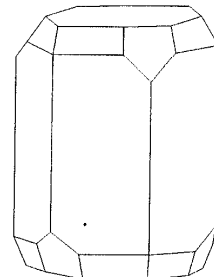
PRISMÁTICO
 CALCITA APATITO
 PIROMORFITA BERILO
 MIMETESITA NEFELINA
 VANADINITA CORINDÓN



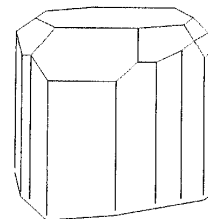
PRISMÁTICO
 APATITO
 PIROMORFITA
 BERILO
 MIMETESITA



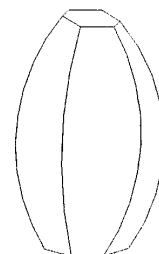
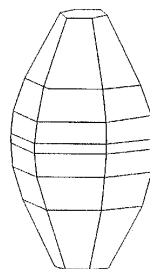
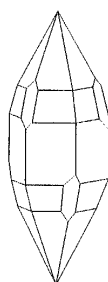
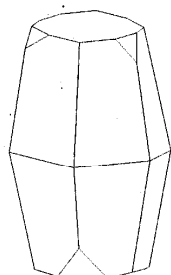
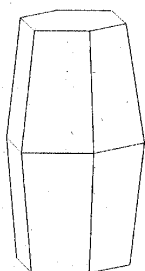
PRISMÁTICO
 CORINDÓN



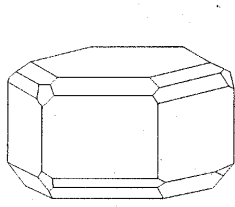
PRISMÁTICO
 BERILO



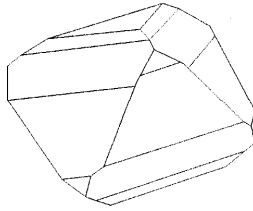
PRISMÁTICO
 ENARGITA



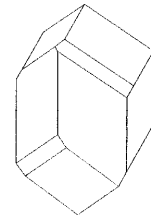
PRISMÁTICO EN FORMA DE TONEL
 CORINDÓN



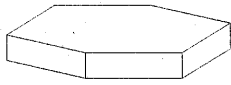
**TABULAR
CINABRIO**



**TABULAR
OLIGISTO**



**TABULAR
DIOPTASA**



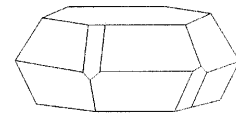
**TABULAR
RUBÍ**



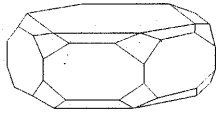
**TABULAR
MOLIBDENITA**



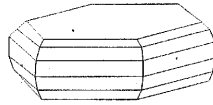
**TABULAR
COVELLINA**



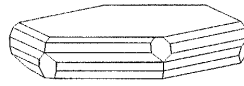
**TABULAR
OLIGISTO**



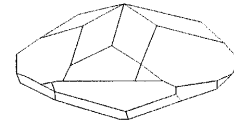
**TABULAR
APATITO
MIMETASITA
PIROMORFITA**



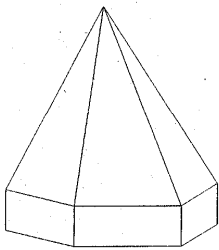
**TABULAR
PIRROTINA
MOLIBDENITA**



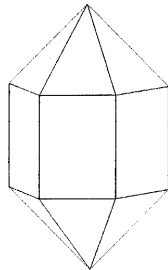
**TABULAR
GRAFITO**



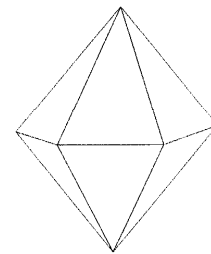
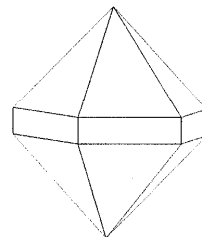
**TABULAR
PHENACKITA**



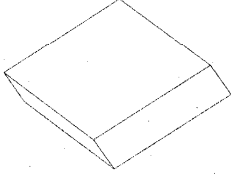
**PIRAMIDAL
ZINCITA**



**PIRAMIDAL
CUARZO**



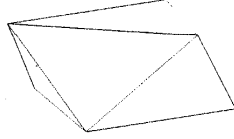
Hábito trigonal:



ROMBOÉDRICO

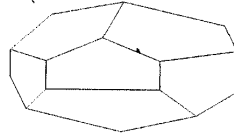
CALCITA
RODOCROSITA
SMITHSONITA

DOLOMITA
SIDERITA
ANKERITA



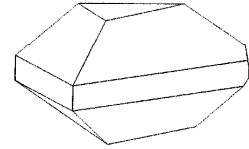
ROMBOÉDRICO

DOLOMITA
OLIGISTO
ANKERITA
CALCITA



ROMBOÉDRICO

CALCITA

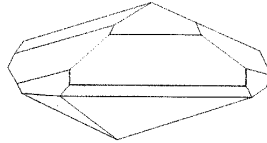


ROMBOÉDRICO

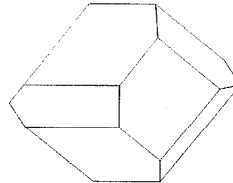
BENTONITA



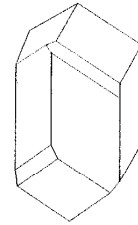
TABULAR
OLIGISTO



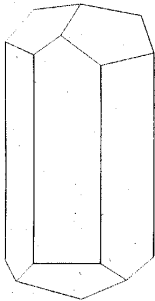
TABULAR
CINABRIO
DOLOMITA



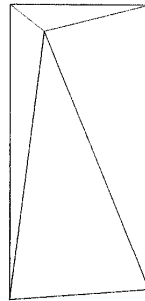
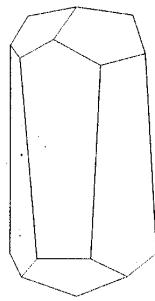
TABULAR
CALCITA



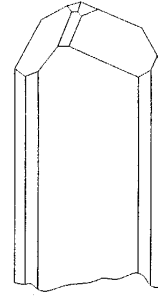
TABULAR
DIOPTASA



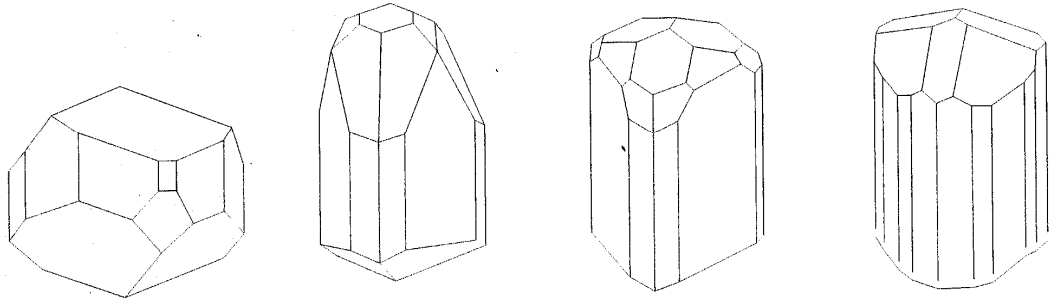
PRISMÁTICO
CALCITA



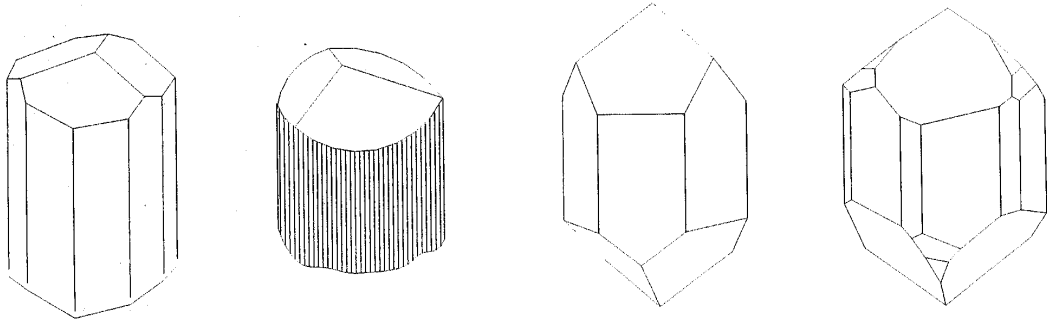
PRISMÁTICO
CALCITA
DOLOMITA
SIDERITA
MAGNESITA



PRISMÁTICO
GRATONITA



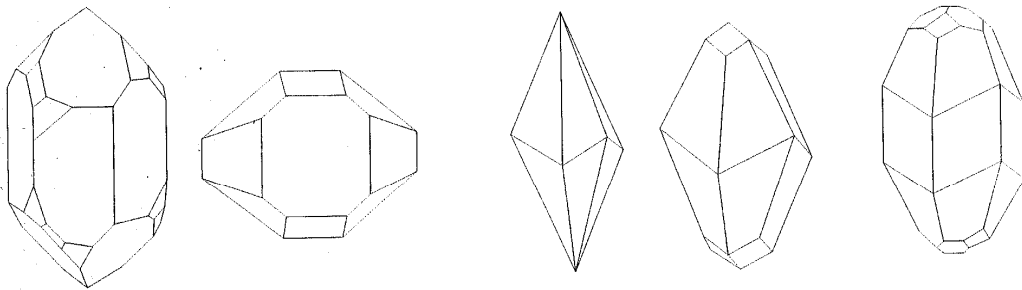
**PRISMÁTICO
TURMALINA**



**PRISMÁTICO
TURMALINA**

**PRISMÁTICO
CUARZO**

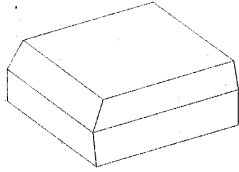
**PRISMÁTICO
FENACITA**



**PRISMÁTICO
CUARZO**

**PRISMÁTICO
CALCITA**

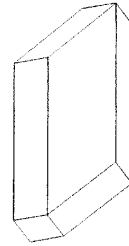
**PRISMÁTICO
PROUSTITA**

Hábito monoclinico:

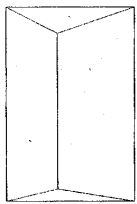
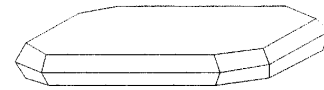
**TABULAR
ESFENA**



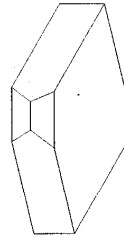
**TABULAR
YESO**



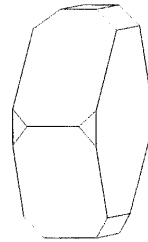
**TABULAR
CARNOTITA**



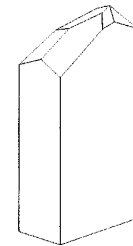
**PRISMÁTICO
ADULARIA**



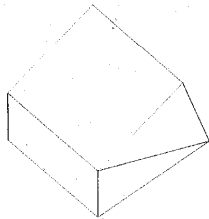
**PRISMÁTICO
SANIDINA**



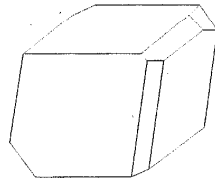
**PRISMÁTICO
HEULANDITA**



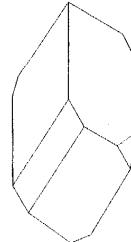
**PRISMÁTICO
HALOTRIQUITA**



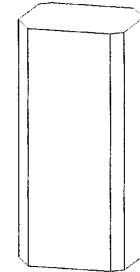
**PRISMÁTICO
BISMUTO**



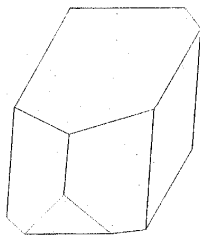
**PRISMÁTICO
AXINITA**



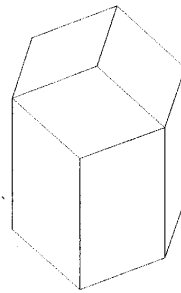
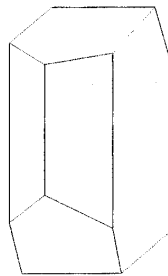
**PRISMÁTICO
CALCANTITA**



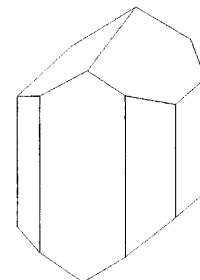
**PRISMÁTICO
CIANITA**



**PRISMÁTICO
ORTOCLASA**

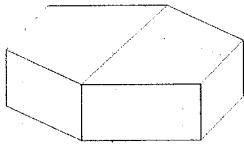


**PRISMÁTICO
HORNBLENDA**

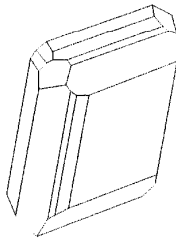


**PRISMÁTICO
AUGITA**

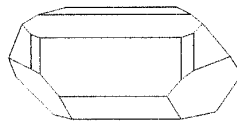
Hábito Triclínico:



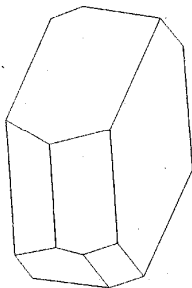
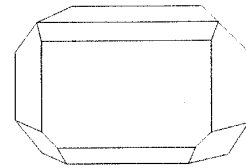
**TABULAR
CLORITOIDE**



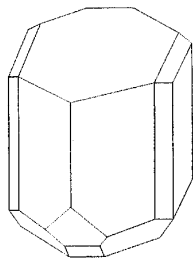
**TABULAR
PIROXMANGITA**



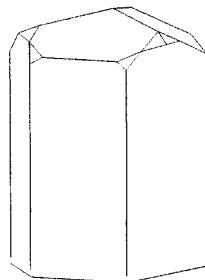
**TABULAR
WOLLASTONITA**



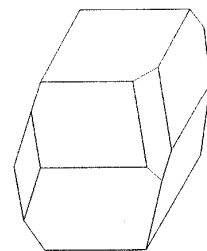
**PRISMÁTICO
PLAGIOCLASA**



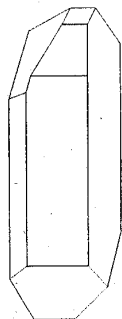
**PRISMÁTICO
ALBITA**



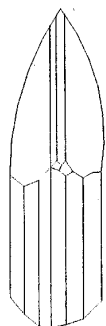
**PRISMÁTICO
MILLERITA**



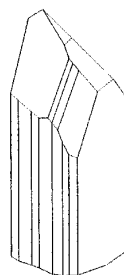
**PRISMÁTICO
HORNBLENDA**



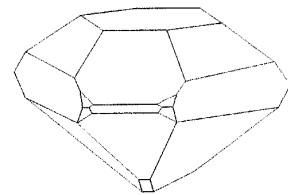
**PRISMÁTICO
INESITA**



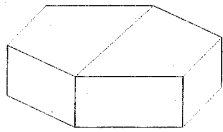
**PRISMÁTICO
POLIHALITA**



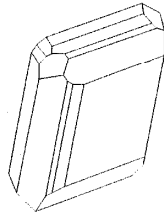
**PRISMÁTICO
ALUNÓGENO**



**PRISMÁTICO
BENITOÍTA**

Minerales con hábito pseudo – cúbico:

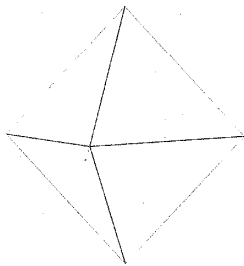
TABULAR
CLORITOIDE



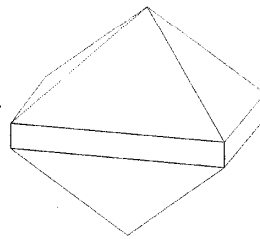
TABULAR
PIROXMANGITA



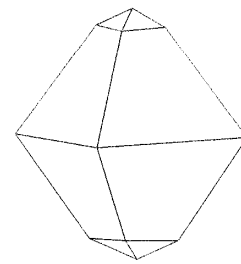
TABULAR
WOLLASTONITA

Minerales con hábito pseudo – octaédrico:

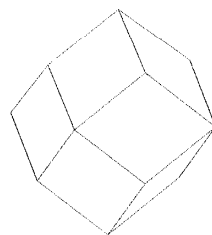
CALCOPIRITA



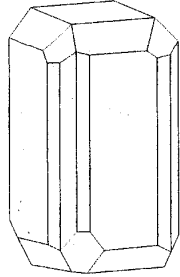
SCHEELITA



HAUSMANTITA
BRAUNITA
SCHEELITA

Minerales con hábito pseudo – romboédrico:

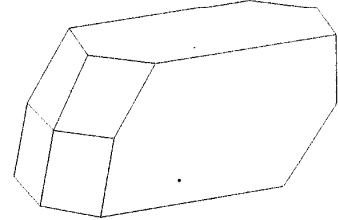
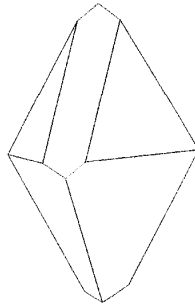
CIRCÓN

Minerales con hábito pseudo – tetragonal columnar:

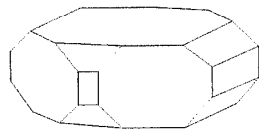
FOSGENITA



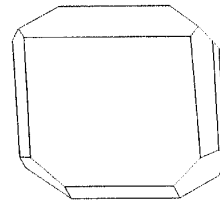
ANDALUCITA

FILIPSITA
HARMOTOMA**Minerales con hábito pseudo – tetragonal dipiramidal:**

LAZULITA

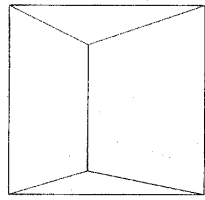
Minerales con hábito pseudo – tetragonal tabular:

BURNONITA

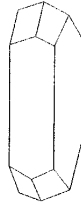


MONACITA

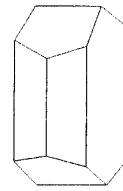
Minerales con hábito pseudo – ortorrómbico columnar:



ADULARIA

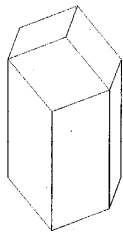


DESMINA

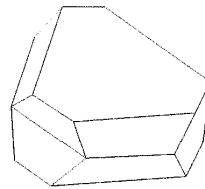


ORTOCLASA

Minerales con hábito pseudo – trigonal:



HORNBLENDA



DIAMANTE
CALCOPIRITA
ESPINELA
COBRE NATIVO
ORO NATIVO

ESFALERITA
MAGNESITA
CRISTOBALITA
PLATA NATIVA
PENINA

Minerales con hábito pseudo – hexagonal:

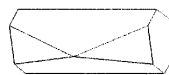


MUSCOVITA



BIOTITA

Minerales con hábito pseudo – monoclinico:



PERICLINA

AGREGADOS CRISTALINOS

En la naturaleza es raro encontrar cristales aislados, generalmente los encontramos en asociaciones regulares o irregulares.

Agregados cristalinos regulares

Los agregados cristalinos regulares, llamados **maclas**, son intercrecimientos de dos o más individuos o cristales de la misma sustancia, los cuales están unidos de una manera simétrica. Dicho intercrecimiento se establece mediante ciertas normas conocidas como leyes de maclas.

La formación de maclas es una característica distintiva de algunos minerales. A primera vista, las maclas se reconocen porque tienen ángulos entrantes, es decir, hacia dentro de los cristales, mientras que en un mineral no maclado los vértices son siempre hacia afuera. Cuando esta característica no existe, pueden reconocerse las maclas por las líneas de sutura entre los individuos o bien por la convergencia de líneas particulares de crecimiento en las caras de los cristales, llamadas estrías. Este hecho es comúnmente observable en cristales de pirita.

No debe entenderse que una macla se forma al unirse dos cristales ya desarrollados, sino que se produce desde el momento en que se constituyen los núcleos, los cuales van creciendo cada uno por su lado, quedando la macla desarrollada al final del proceso.

Tipos de Maclas

Sencillas o simples: si están formadas por dos cristales orientados de un modo determinado.

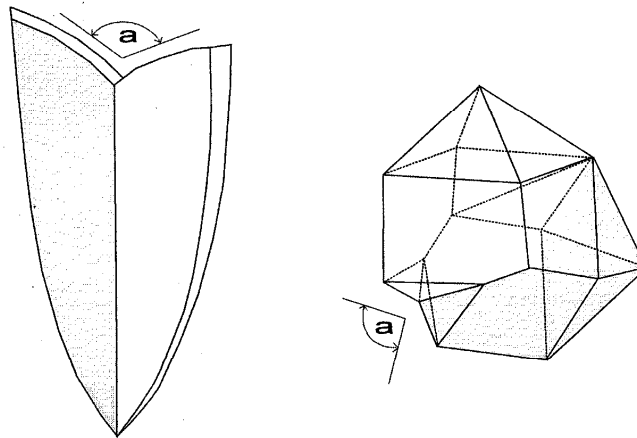


Fig. 62. Ejemplos de maclas simples: a) yeso, b) casiterita. α indica los ángulos entrantes.

Maclas múltiples: cuando están formadas por tres o más individuos.

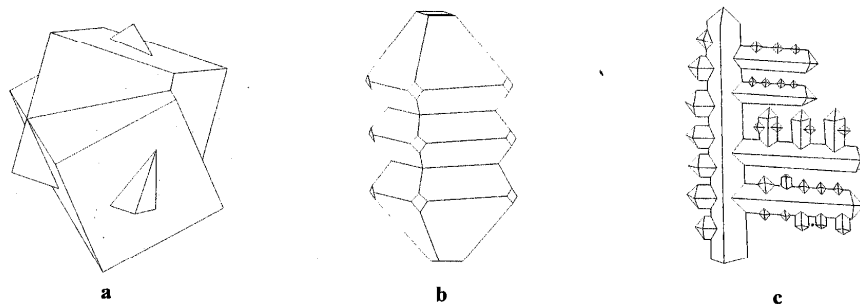


Fig. 63. Ejemplos de maclas múltiples: a) fluorita, b) argentita y c) cobre.

Macla de contacto o yuxtaposición: si hay un plano bien definido entre los cristales.

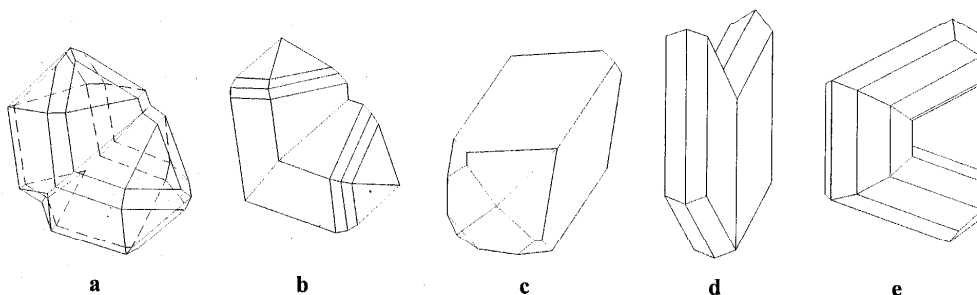


Fig. 64. Ejemplos de maclas de contacto: a) casiterita, b) circón, c) cobre, d) yeso y e) rutilo.

Macla de penetración: son aquellas en que dos o más cristales se compenetran como si estuvieran cruzando uno a través del otro, en este caso la superficie del contacto es quebrada o irregular. Las maclas de contacto y penetración pueden ser múltiples o simples.

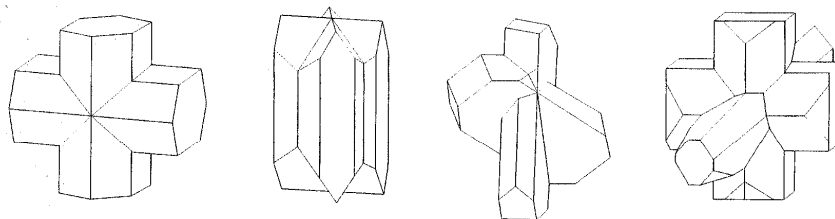


Fig. 65. Maclas de penetración en el mineral estaurolita.

Macla polisintética: macla múltiple en la que las caras de crecimiento de los individuos permanecen paralelas al conjunto.

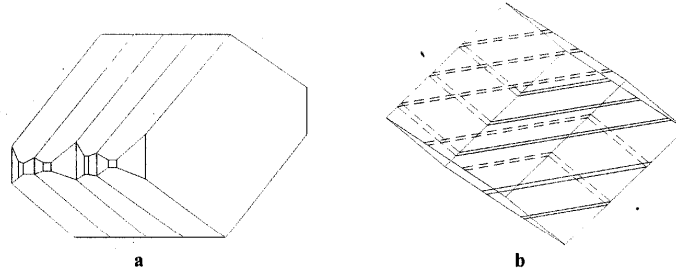
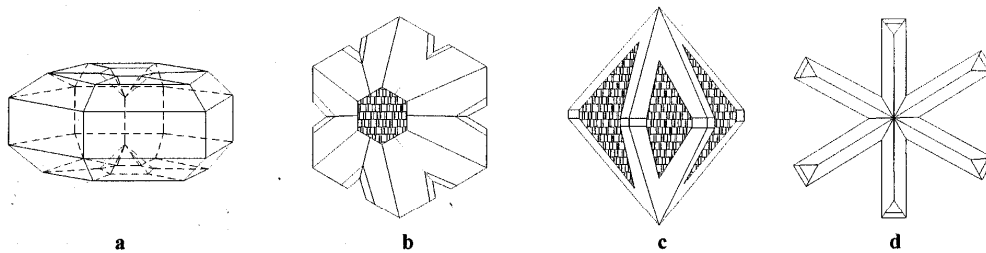


Fig. 66. Macla polisintética de a) albita y b) calcita.

Macla cíclica: macla múltiple donde los planos de macla no son paralelos.



Macla mimética: macla múltiple que por combinación de varios individuos aparenta pertenecer a otro sistema cristalino.

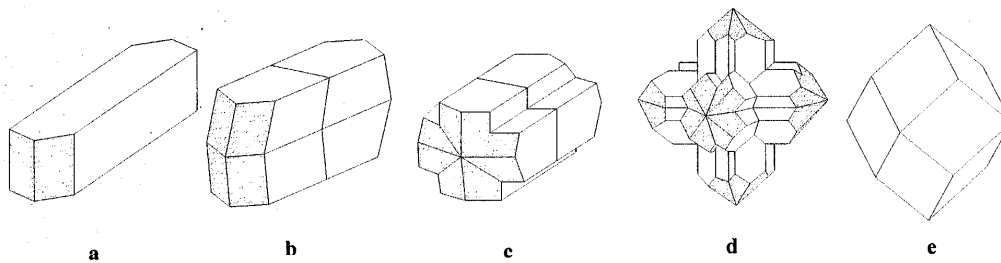
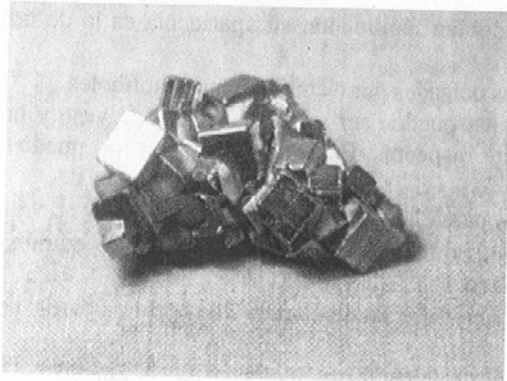


Fig. 68. Maclas de penetración miméticas de la hermatoma y de la filipsita: a) cristal individual, b) macla sencilla pseudortorrómbica, c) macla doble pseudotetragonal, d) macla triple pseudocúbica y e) macla triple pseudododecaédrica.

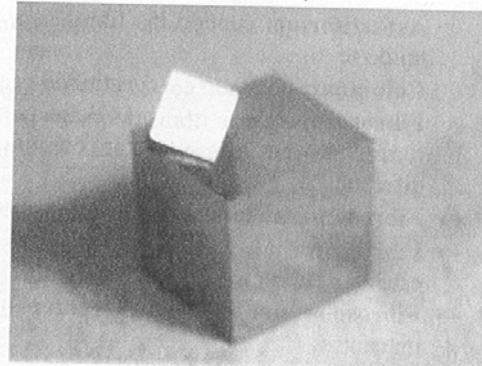
Se suponen tres modos diferentes de formación de las maclas:

- **Maclas de crecimiento:** son causadas por un accidente durante el crecimiento del cristal.
- **Maclas de deformación:** se producen cuando tensiones mecánicas son aplicadas a los cristales, los cuales pueden deformarse a lo largo de ciertos planos.
- **Macla de transformación:** debida a la inversión de minerales polimorfos.

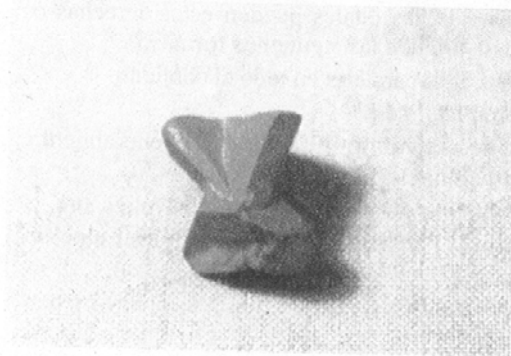
Ejemplos de minerales maclados:



Pirita maclas múltiples



Pirita macla simple



Estauroлита macla de penetración



Yeso maclas de penetración

Agregados cristalinos irregulares

Las asociaciones o agrupaciones irregulares de los minerales son las más comunes, y constituyen lo que se conoce como **aspecto** de los minerales, que es una característica muy importante para su determinación.

Los aspectos más comunes se describen a continuación:

- **Asbestiforme:** cuando las fibras se separan y doblan fácilmente, su apariencia es la de un tejido textil.
- **Columnar:** un agregado constituido por columnas delgadas por ejemplo algunos anfíboles.
- **Fibroso:** formada por fibras delgadas o finas, que pueden ser separables o no; el yeso y la turmalina pueden presentar comúnmente este aspecto. En este agregado se pueden diferenciar:
 - **Fibroso paralelo:** cuando las fibras permanecen paralelamente en el conjunto.
 - **Fibroso radial:** cuando las fibras crecen en todas direcciones a partir de un centro común, este aspecto recibe también el nombre de estrellado.
 - **Fibroso semirradial o divergente:** cuando las fibras crecen de manera divergente a partir de un centro.
 - **Reticulada:** cuando las fibras cruzan en varias direcciones formando una especie de red.
- **Granular:** partículas que difieren en su tamaño, éste puede variar de grueso a fino, si el agregado puede separarse fácilmente en partículas finas se puede llamar sacaroide (como los granos de azúcar); cuando es tan pequeño que no se alcanza a ver a simple vista se le llama masivo, compacto o impalpable.
- **Laminar:** está constituida por láminas, placas u hojas, las cuales pueden estar derechas o curvadas y pueden separarse fácilmente o no. Se distinguen las siguientes formas:
 - **Laminar paralela:** cuando las placas u hojas se mantienen paralelas en todo el conjunto.
 - **Foliada:** cuando las láminas son delgadas y se separan fácilmente.
 - **Micácea:** cuando las láminas son muy delgadas, se separan muy fácilmente, generalmente poseen la propiedad de ser elásticas. La mayoría de las micas poseen este aspecto.
 - **Hojuelas:** son láminas delgadas y cortas generalmente de elementos nativos, plata oro y cobre, si son sumergidas en un líquido (o en glicerina) pueden flotar y tardar en caer a pesar de su elevada densidad.
 - **Tabular:** cuando las láminas son cortas y más gruesas, en forma de tabletas, pueden tener una orientación visible o no.
 - **Rosetas:** cuando las tabletas parecen radiar de un centro común y dan formas de flores o rosas. La hematita (rosa de hierro), la barita y el yeso (rosas del desierto), presentan este aspecto.

Formas imitativas y otras:

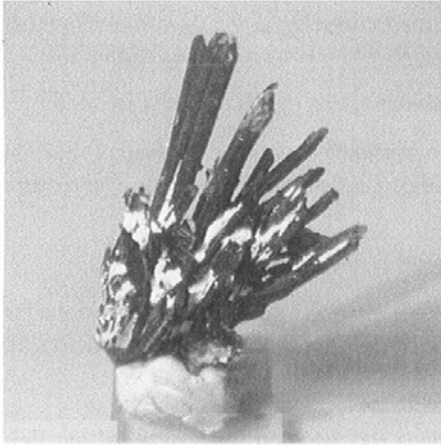
- **Acicular:** delgada, corta y rígida como una aguja, por ejemplo, la estibinita.
- **Amigdaloides:** en forma de almendra.
- **Arborescente:** en forma de un árbol o arbusto, el cobre nativo puede poseer este aspecto.
- **Bandeada:** el agregado está dispuesto en bandas que generalmente varían de color por impurezas o bien pueden corresponder a minerales diferentes.
- **Bandeada concéntrica:** las bandas se suceden en forma concéntrica.
- **Botroidal:** parecido a un racimo de uvas, por ejemplo la calcedonia y la limonita.
- **Concreciones:** poseen la misma forma que las geodas pero sin espacios huecos. En su interior se observan bandas concéntricas, estructuras radiales o ambas; así como bandas concéntricas y cristales apretados sin espacios vacíos. Ejemplos, hematita y pirita.
- **Coraloides:** parecido al coral, el aragonito puede cristalizar con este aspecto.
- **Dendrítica:** parecida a las ramas de un árbol, en una superficie delgada y más o menos plana, pueden confundirse con raíces o plantas fósiles. La pirolusita y el oro son ejemplos típicos.
- **Drusiforme:** agregados de cristales, comúnmente incrustados en las paredes de una cavidad.
- **Estalactítica:** en forma cónica, cilíndrica o de estructuras colgantes formadas por la precipitación constante de un líquido saturado del mineral, pueden poseer o no una estructura interna. Ejemplos: calcita, aragonito y yeso.
- **Filiforme o capilar:** parecidos a hilos o cabellos. Ejemplos: millerita y jamesonita.
- **Geodas:** estructuras esféricas o semiesféricas de diferentes tamaños que poseen en su interior cristales y vacíos, la formación de las geodas se supone como una cavidad con aportación de sustancias minerales que se forman desde el exterior hacia el interior.
- **Globular:** en forma de glóbulos esféricos o semiesféricos rodeados por otro material, pueden presentar una estructura interna al igual que los reniformes.
- **Mamilar:** botroidal con prominencias más grandes, por ejemplo la malaquita.
- **Musgosa:** con apariencia del musgo.
- **Nodular:** en forma de tubos o nudos con protuberancias irregulares.
- **Oolíticas:** son pequeñas partículas esféricas o semiesféricas que han crecido a partir de un núcleo por el continuo empalme de capas, poseen una estructura de bandas o capas concéntricas. Ejemplos: calcita, psilomelana y chamosita.
- **Pepita:** masa irregular de tamaño muy variado de algún mineral nativo, como el cobre y el oro. Esta forma es adquirida por el continuo transporte al que fue sometido el clasto original, sin embargo, se cree que existe un crecimiento del mineral después de su depósito. Si la pepita es de tamaño reducido es llamada chispa o luz.
- **Reniforme:** forma externa de riñón, por dentro puede presentar una estructura radial o en bandas concéntricas.



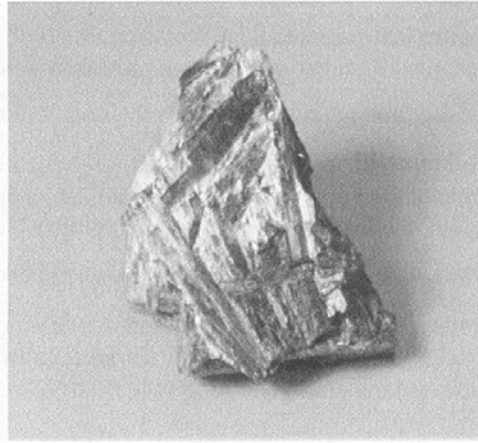
Filiforme: jamesonita en cuarzo



Columnar: aragonito



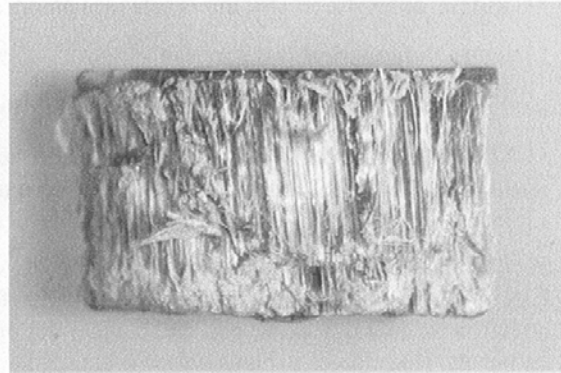
Fibroso: estibinita



Fibroso paralelo: epidota



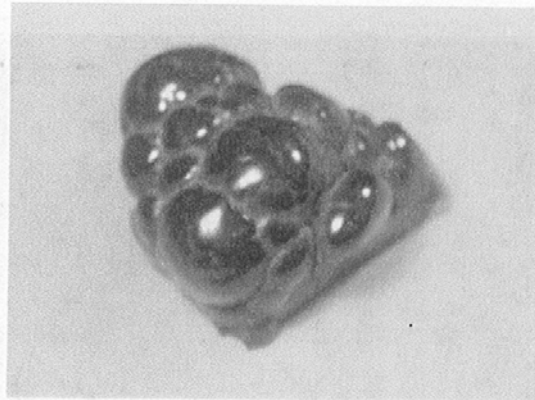
Fibroso radial: turmalina



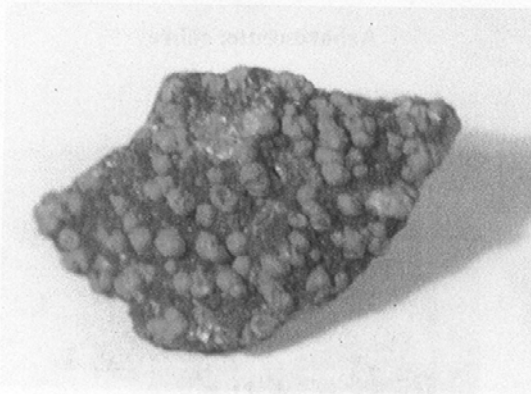
Asbestiforme: crisotilo



Reniforme: malaquita



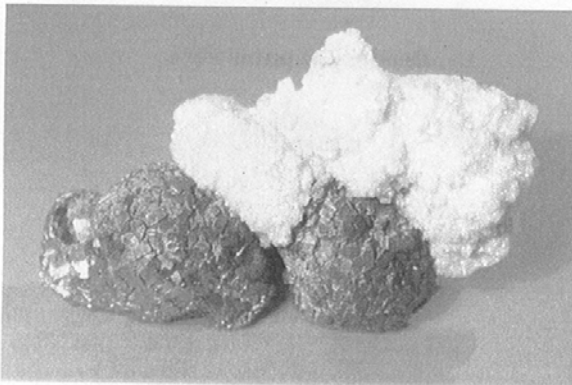
Mamilar: malaquita



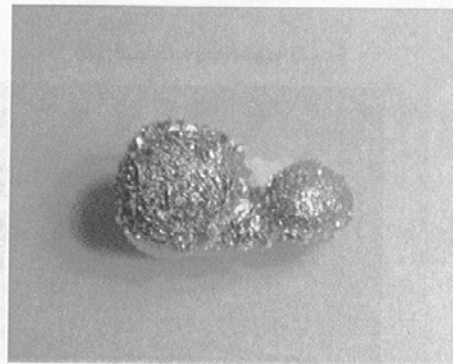
Globular: ópalo y calcedonia



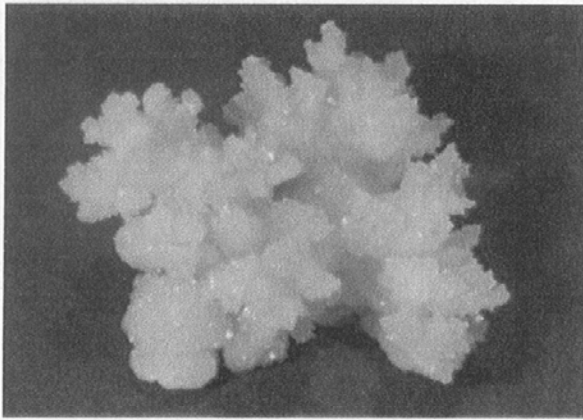
Nodular: hematita



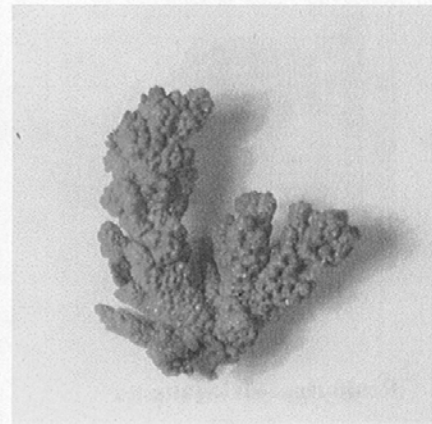
Sacaroide: aragonito en pirita



Globular: pirita sobre calcita



Coraloide: aragonito



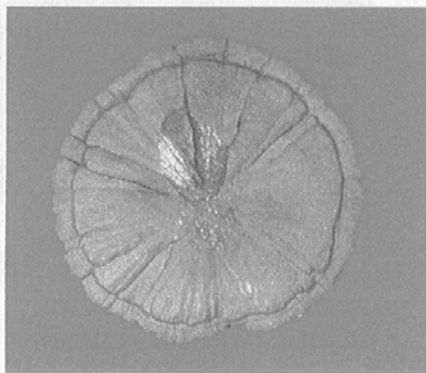
Arborescente: cobre



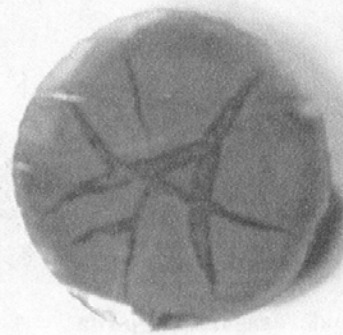
Estalactítico: calcita



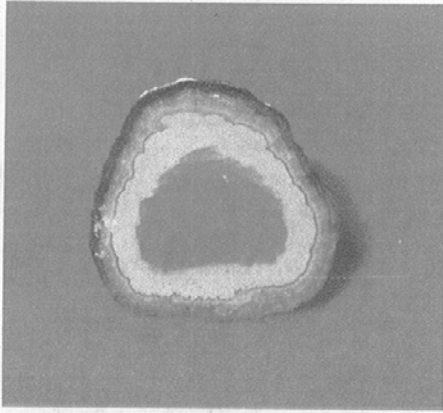
Dendrítico: pirolusita



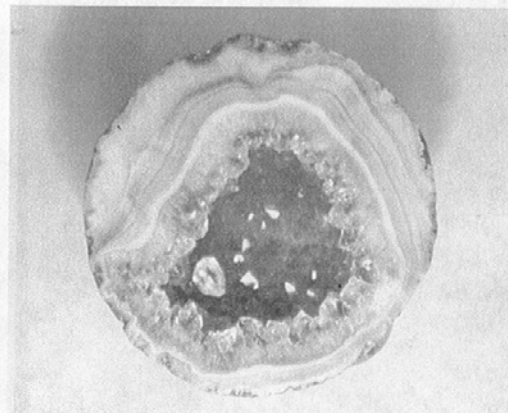
Concreción: pirita (dólar)



Concreción: barita (septaria)



Bandeada concéntrica: rodocrosita y dolomita



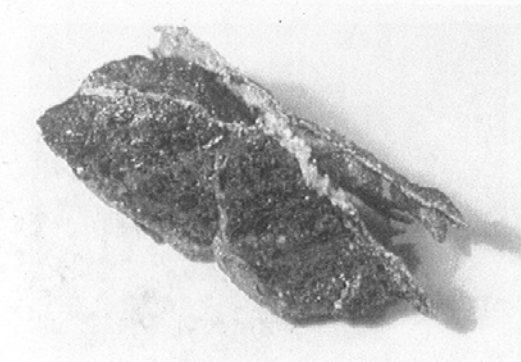
Geoda: calcedonia, cuarzo amatista y calcita



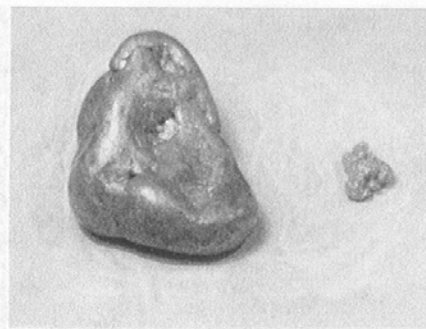
Bandeada: esfalerita, calcita



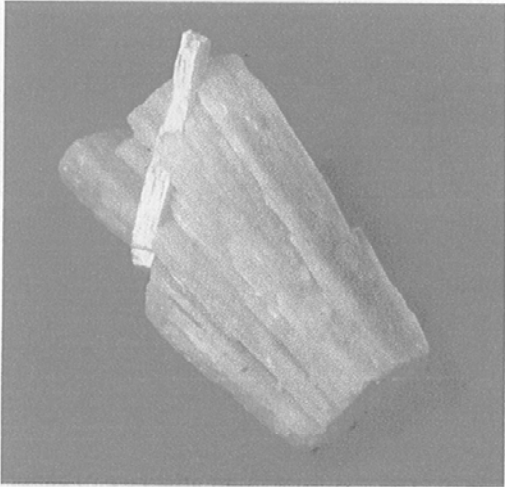
Drusiforme: calcita, esfalerita, galena y calcopirita



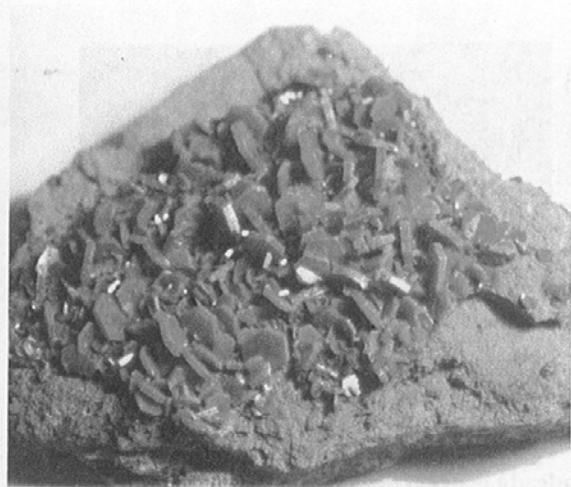
Hojuelas y láminas de plata en bornita



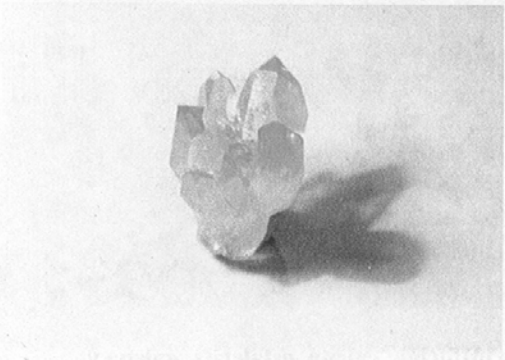
Pepitas: cobre y oro



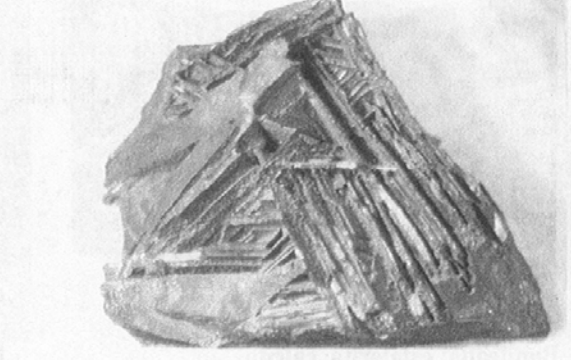
Tabular: celestita



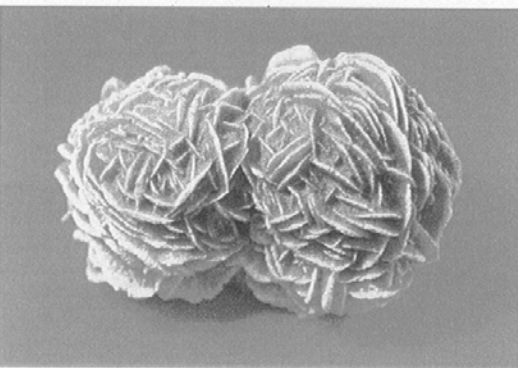
Tabular: vanadinita



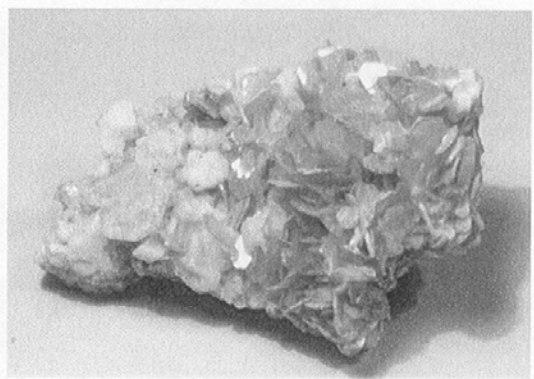
Columnar: cuarzo



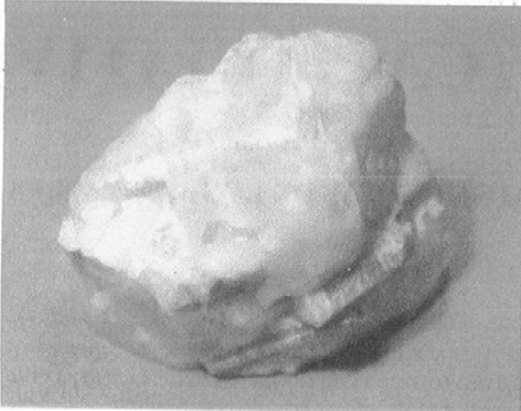
Tabular: escoria



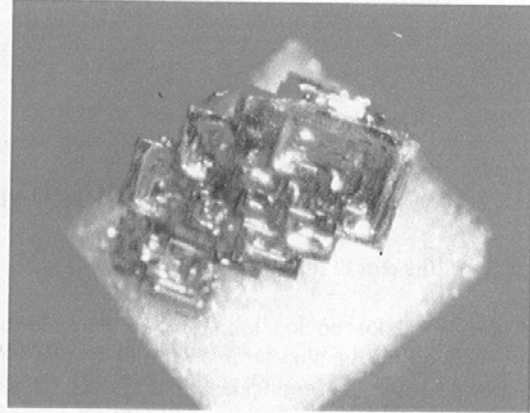
Roseta: yeso



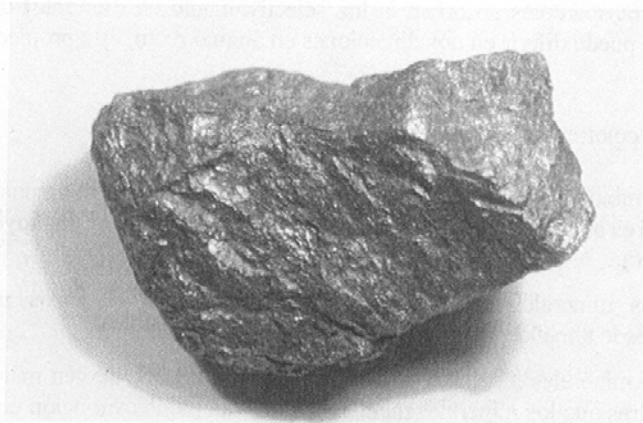
Micáceo: muscovita



Prismático: berilo en cuarzo



Esqueletal: bismuto artificial



Masivo: calcopirita

CAPITULO IV

PROPIEDADES FISICAS DE LOS MINERALES

A) Relacionadas con la luz

Color. El color en los minerales es causado no sólo por la interacción de la luz con los constituyentes químicos, sino también por el arreglo atómico, impurezas y defectos estructurales. Las sensaciones de color son producidas en el ojo por ondas de luz que varían a través del espectro visible del violeta 3 900 Å (angstroms) al rojo 7 600 Å. Cuando la luz blanca (que es la combinación de todas las longitudes de onda) cae en un mineral coloreado, algunas de esas ondas de luz son absorbidas. Las ondas que no son absorbidas son las que proporcionan el color del mineral. Cuando todas las ondas son absorbidas el mineral es negro.

Algunos minerales transparentes absorben la luz selectivamente en diferentes direcciones del cristal, por ejemplo, el color puede diferir en dos direcciones en ángulo recto, esta propiedad es llamada pleocroismo.

Algunos cambios de color en los minerales son debidos a:

- **Sustituciones:** los cambios de color son producidas por variaciones en la composición química. Así la esfalerita ZnS es amarilla pálida y cambia a negro cuando el hierro sustituye parcialmente al zinc en la estructura.
- **Inclusiones:** algunos minerales son coloreados por inclusiones de otros minerales. Las inclusiones varían desde tamaño submicroscópico a cristales visibles.
- **Impregnaciones:** los minerales incoloros y transparentes son los que se ven más afectados por las impurezas, mientras que los minerales metálicos muestran menos variación en su color. Una característica para saber si el color es propio del mineral, es la uniformidad en el color, cuando no es uniforme es debido a impurezas.
- **Alteraciones:** son transformaciones químicas de un mineral en sus capas más superficiales y son casi siempre ocasionados por el agua o los agentes atmosféricos.

Entre los minerales cuya coloración es una característica que puede ayudar en su determinación se encuentran; la pirita, amarillo latón; la calcopirita, amarilla con irisaciones rojas y azules; la galena, gris plomo; la malaquita, verde; la azurita, azul oscuro; la celestina, azul celeste; la hematita, rojo sangre.

La mayoría de los minerales no tienen colores característicos ya que diversos minerales traza bastan para modificar su aspecto. En cambio, es mucho más interesante la coloración del polvo o el color de la raya que deja un mineral cuando se frota sobre una placa de porcelana porosa. Esta técnica permite diferenciar ciertos minerales muy parecidos (sulfuros, óxidos de hierro, óxidos de manganeso), así como ciertas rocas (raya gris de la antracita, negro pardusco de la hulla y pardo del lignito). Hay que añadir que ciertas variaciones de color pueden ser debidas al modo de examinar la substancia, ya que la luz pudo haber sido reflejada, refractada o difractada, o haber sufrido interferencias.

Para minerales que no dejen color sobre la porcelana, ya que su dureza es mayor y sólo la están desgastando, es necesario pulverizar un pedazo del mineral para obtener esta propiedad.

Mineral	Colores		
	Cristal	Polvo	Raya en porcelana
Blenda	Amarillo – negro	Blanco a negro	Gris marrón
Pirita	Amarillo latón	Gris oscuro	Gris verdosa
Hematita	Rojo pardo	Rojo	Rojo cereza
Ilmenita	Pardo rojiza	Amarillo rojizo	Negro – rojo pardo
Magnetita	Rojo pardo	Negro	Rojo pardo muy oscuro

Tabla 1. Diferencia entre el color propio de algunos minerales con el de su polvo y su raya.

Lustre o Brillo

Esta característica proviene de la luz reflejada por la superficie del cristal o mineral. Se distinguen las siguientes clases:

Brillo metálico: lo poseen los minerales que reflejan fuertemente la radiación visible y que son opacos. Algunos minerales tienen variedades con lustre metálico y con lustre no metálico ejemplo: oro, cobre, hierro, estaño, etc.

El lustre metálico imperfecto se llama submetálico. Ejemplo: wolframita.

Brillo No Metálico: lo poseen los minerales que absorben la radiación visible, pueden variar desde opacos hasta transparentes, es necesario precisar que brillo no metálico no significa sin brillo. Se clasifican en:

- Adamantino:** es el lustre del diamante, corindón o las variedades del plomo.
- Vítreo:** se le llama así por ser característico del vidrio y es el más común. Ejemplos: cuarzo, calcita.
- Resinoso:** lustre de las resinas amarillas. Ejemplos: ópalo y algunas variedades de esfalerita.
- Perlino o nacarado:** es el brillo de las perlas. Ejemplos: talco, brucita.
- Sedoso:** resulta de la estructura fibrosa. Ejemplos: calcita, yeso
- Terroso:** propio de los minerales terrosos como el caolín.

Para poder observar el brillo auténtico de un mineral se ha de observar la superficie fresca (reciente), no alterada del mismo.

Transparencia y opacidad

La cantidad de luz transmitida por un sólido varía en intensidad, es decir, la luz puede ser absorbida al pasar a través de un mineral. La cantidad de absorción es mínima en un sólido transparente como el hielo y es máxima en un mineral opaco como el hierro.

Se utilizan los siguientes términos:

- **Transparente:** cuando el contorno de un objeto visto a través del mineral se distingue perfectamente.
- **Subtransparente:** cuando se ven los objetos, pero los contornos no son precisos, es también llamado semitransparente.
- **Translúcido:** cuando se transmite la luz pero no se ven los objetos a través del mineral.
- **Opacos:** cuando se absorbe toda la luz que incide en los minerales.

No existen minerales completamente opacos. Algunos minerales son transparentes en láminas delgadas y otros son transparentes en luz infrarroja.

Luminiscencia, termoluminiscencia y triboluminiscencia

Los minerales que brillan en la obscuridad cuando son expuestos a la luz ultravioleta, se dice que son luminiscentes. La energía puede ser absorbida de la luz ultravioleta, rayos X, luz visible, infrarroja; después de lo cual es liberada en forma de luz visible o calor. La absorción de energía es llamada excitación y la liberación de ésta, luminiscencia. La luminiscencia incluye la fosforescencia y la fluorescencia. En la segunda, la luz emitida cesa cuando la fuente de energía cesa; pero un mineral fosforescente puede continuar emitiendo luz luego que la fuente de energía es removida. La luminiscencia es causada por el movimiento de electrones. La energía absorbida durante la excitación eleva los electrones a niveles de energía más altos. Posteriormente, el electrón excitado retorna a estados de baja energía, perdiendo energía por emisión de un fotón de luz. La respuesta de los minerales a la luz ultravioleta no es siempre constante y positiva, una misma especie mineral puede variar dependiendo de los distintos depósitos de los que procede.

Algunos minerales al ser calentados a temperaturas relativamente bajas pueden ser luminiscentes, a esta propiedad se le conoce como termoluminiscencia. Del mismo modo, otros minerales pueden volverse luminiscentes al ser sometidos a esfuerzos mecánicos, como cuando son molidos, rayados o golpeados con un martillo. Esta propiedad se llama triboluminiscencia.

B) Relacionadas con sensaciones de los sentidos

Gusto o sabor

Es la impresión que ciertos minerales muy solubles o ávidos de agua, ejercen sobre las papilas gustativas de la lengua. Se producen al disolverse en la saliva ciertas sales solubles, produciendo los sabores: salado (halita: NaCl), cáustico (natrón: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), amargo (epsomita: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$),

astringente (pickeringita o alumbre magnesiano $MgAl_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$), picante (silvita: KCl). Otros minerales absorben el agua de la superficie de la lengua y parecen adherirse o ser atrapados por ella, entre estos se encuentran las arcillas, la magnesita y la caolinita.

Olor

Con excepción de unas cuantas especies gaseosas y solubles, los minerales en estado seco no desprenden olor. Por fricción, humedeciéndolos con aliento, mediante reacciones con calor o ácidos se obtienen los siguientes olores:

1. **Aliáceo:** olor a ajo, por ejemplo al friccionar la arsenopirita. Este olor se desprende de los compuestos de arsénico por calor.
2. **Olor a rábano rústico:** cuando se calientan menas de selenio.
3. **Sulfuroso:** emite este olor por fricción la pirita, también al calentar muchos sulfuros.
4. **Bituminoso:** olor del bitumen.
5. **Fétido:** olor del ácido sulfhídrico o de los huevos podridos, por ejemplo, al friccionar o golpear calizas y dolomías.
6. **Arcilloso:** olor del barro húmedo, las arcillas.

Tacto

La impresión producida por algunos minerales al sentido del tacto se manifiesta principalmente en sensación untuosa o en sensación grasienta. Este comportamiento coincide con el grado de dureza del mineral. Sólo son untuosos los minerales con dureza similar a 1. Ejemplos: el grafito y la molibdenita.

Tabla 2. Minerales Luminiscentes

Significado:

- o mineral luminiscente + luminiscente en onda corta • luminiscente en onda larga
 ♦ mineral fosforescente ◇ mineral termoluminiscente □ mineral triboluminiscente
 r mineral radioactivo

Dureza	Mineral	Luminiscencia														
		Blanca	Amarilla clara	Verde clara	Azul clara	Amarilla	Amarilla verdosa	Parda amarillenta	Naranja	Crema	Rosa - violeta	Roja	Parda	Verde	Azul	Azul verdosa
1-2	Calomelano										o	o				
1	Sassolita														o	
1	Ulexita	o														
1.5	Mirabilita	♦♦														
1	Aluminita	♦														
2	Yeso				♦♦	o								•	o	
1-2	Montmorillonita	•														
1-2	Holloysita	•														
1	Talco	o		+		•				•			•	+	•	+
1.5	Pirofilita	•				•				•						
1	Evenkita				o											
1.5	Idrialita						o							o	o	
2	Selenio nativo									o	o					
2.5-3	Gibbsita									+				+		
2.5	Brucita				o										o	
2-2.5	Bórax														♦	
2.5	Gaylussita									o						
2	Inyoita		o													
2.5	Trona	o													o	
2-2.5	Hidrocincita				o										o	
2.5-3	Fosgenita					o										
2.5	Leadhillita					o										
		Luminiscencia														

Dureza	Mineral	Luminiscencia														
		Blanca	Amarilla clara	Verde clara	Azul clara	Amarilla	Amarilla verdosa	Parda amarillenta	Naranja	Crema	Rosa - violeta	Roja	Parda	Verde	Azul	Azul verdosa
2.5	Thenardita		◆◆			•										
2.5-3	Crocoita											o				
2.5-3	Stolzita			+												
2	Eritrina															
2-2.5	Autunita					r	o									
2-2.5	Torbemita													r		
1-2	Tyuyamunita					r	o									
2-2.5	Meta - autonita						o									
2-2.5	Sepiolita		+		+											
2	Carnotita					r										
2 - 3	Uranofano					r										
2-2.5	Clinocloro															
2-2.5	Kammererita															
2-2.5	Flogopita				+											
2.5-3	Lepidolita										◇			□		
2.5	Uranotilo						o							◇		
2-2.5	Ambar				•									+		
2-2.5	Melita														•	
3.5-4	Esfalerita				□							□			□	
3-3.5	Priceíta					o										
3.5	Hidromagnesita	•				•								+		
3	Dawsonita	+														
3	Calcita	□◇ ◆				□◇ ◆						□◇ ◆		□◇ ◆	□◇ ◆	
3.5-4	Dolomita	o										o	o			
3.5-4	Ankerita															
3.5-4	Kutnahorita	o				o								o		

Dureza	Mineral	Blanca	Amarilla clara	Verde clara	Azul clara	Amarilla	Amarilla verdosa	Parda amarillenta	Naranja	Crema	Rosa - violeta	Roja	Parda - negra	Verde	Azul	Azul verdosa	
3.5	Estroncianita	♦								♦							
3.3	Witherita					o	o								o		
3-3.5	Cerusita								•		•			+	+		
3.5-4	Alunita	o							o								
3.5	Anhidrita											o					
3-3.5	Celestina			o			◊								o		
3-3.5	Baritina	o		o		◊	o		◊							o	
3.5-4	Powelita					o											
3	Anglesita		o						o	o							
3.5-4	Evansita	•												+			
3.5-4	Wavellita			o						o							
3.5-4	Fosfofilita										+						
3.5	Adamita			o		o											
3.5-4	Piromorfita					o											
3.5-4	Mimetita								+								
3	Alofana	o				o			o					o			
3.5	Thaumasita	+															
3.5-4	Heulandita														•		
3-3.5	Laumontita	•															
3-4	Serpentina	•				•											
3-4	Crisotilo												•				
4.5	Prosopita					o											
4	Fluorita										◊□			◊	◊□		
4.5	Colemanita		♦	♦													
4-4.5	Magnesita		□	□	□												
4	Baritocalcita					o											
4	Rodocrosita										•						
4.5-5	Scheelita														o		
		Luminiscencia															

Dureza	Mineral	Blanca	Amarilla clara	Verde clara	Azul clara	Amarilla	Amarilla verdosa	Parda amarillenta	Naranja	Crema	Rosa - violeta	Roja	Parda - negra	Verde	Azul	Azul verdosa
4-5	Variscita													o		
4.5	Chabasita													+		
4.5-5	Apofilita			•		•										
4	Tugtupita															•
4.5-5	Wollastonita					o			o	o	o			o	o	
5	Smithsonita	o		o	o		o								o	
5-6	Turquesa						o								o	
5.5-6	Ambligonita								•							
5-6	Lazulita	o														
5	Apatito	◇				◇			◇		◇			◇	◇	
5-5.5	Monacita												r			
5-5.5	Natrolita								o							
5	Okenita									+						
5-6	Sodalita					o			o							
5.5-6	Haiüyna								o							
5.5-6	Leucita								•							
5.5-6	Nefelina							o								
5-6	Coffinita												r			
5-6	Escapolita					+◇			+◇							
5	Pectolita					+□			+□							
5	Hemimorfita				□	□			□							
5.5	Willemita													o		
5-5.5	Datolita	o													o	
5-6	Tremolita		+			+					•	•				
5.5	Antofilita	o			o										o	
4-4.5	Cianita											o				
5.5-6	Opalo	o				o	o							o		
5.5-6	Opalo noble												o	o		
Luminiscencia																

Dureza	Mineral	Blanca	Amarilla clara	Verde clara	Azul clara	Amarilla	Amarilla verdosa	Parda amarillenta	Naranja	Crema	Rosa - violeta	Roja	Parda	Verde	Azul	Azul verdosa
5.5-6	Hialita						o							o		
6-7	Calcedonia	o					o							o		
6-7	Agata	o					o							o		
6.5-7	Diáspora					o										
6.5-7	Espodumena							◇				◇				
6	Periclasa					•										
6	Uraninita												r			
6.5	Petalita	o				o			o							
6	Ortosa					o				o				o		
6	Microclina				o											
6	Amazonita													+		
6-6.5	Albita													o		
6-6.5	Polucita	o														
6.5-7	Espodumena					o		o								
6.5-7	Kunzita							o								
6.5-7	Hiddenita							o								
6-7	Diópsido			o						o						
6-7	Jadeíta														o	
6-7	Epidota											o				
6-6.5	Condrodita					o		o					o			
6-6.5	Zoisita												o			
6-6.5	Thulita												o			
6.5-7	Axinita											o				
6.5	Benitoíta														+	
5.5-6.5	Rodonita											o				
7	Cuarzo					□			□	□				□		
7	Amatista														□	
7	Cuarzo rosa									□						
7	Venturina											o				
Luminiscencia																

Dureza	Mineral	Blanca	Amarilla clara	Verde clara	Azul clara	Amarilla	Amarilla verdosa	Parda amarillenta	Naranja	Crema	Rosa - violeta	Roja	Parda	Verde	Azul	Azul verdosa
7.5-8	Berilo					o								o		
7.5-8	Morganita										o					
7.5-8	Heliodoro													o		
7.5	Andalucita					o								o		
7-7.5	Turmalinas					o								o		
7-7.5	Danburita														o	o
7.5	Euclasa											o				
7	Dumortierita				o						o					
7.5	Zircón					o	o		o			o	r			
8	Espinela					o						o				
8	Topacio				o					o				o		
8.5	Crisoberilo					o						o				
8.5	Alejandrita											o				
9	Corindón				□ o											
9	Rubí										o	o				
9	Zafiro								o		o					
10	Diamante													◆◆ □	◆◆ □	

C) Propiedades basadas en el estado de agregación

Dureza

La dureza de un mineral se define como la resistencia que ofrece una superficie a la abrasión o al desgaste mecánico, es decir, la resistencia que ofrece a la penetración de otro cuerpo.

La escala de dureza más utilizada es la llamada **Escala de Mohs**, en la cual se consideran diez minerales índices con dureza que varía de 1 a 10. Todos los minerales de la Escala de Mohs poseen raya blanca y están ordenados según su grado de dureza, pero la diferencia entre ellas no es proporcional; las diferencias entre los primeros minerales son pequeñas, y muy grandes entre los últimos. Si comparamos la Escala de Mohs con la escala de dureza de Vickers, podemos observar que el comportamiento es de manera exponencial. Ver figura 73.

El grado de dureza se determina en el laboratorio o en el campo normalmente observando la facilidad o dificultad con la que un mineral raya a otro, o bien, haciendo referencia a la dureza de objetos o materiales comunes.



Escala de dureza de Mohs:

1. Talco	Tizna el papel y los dedos
2. Yeso	Se raya con la uña
3. Calcita	Se raya con una moneda de cobre
4. Fluorita	Se raya con la navaja
5. Apatito	Se raya con la navaja
6. Ortoclasa	Igual dureza que el vidrio
7. Cuarzo	Se raya con un punzón de acero
8. Topacio	Raya al vidrio
9. Corindón	Raya al vidrio
10. Diamante	Raya al vidrio y a cualquier gema.

La dureza es un carácter anisótropo (no es igual en todas direcciones). Así, por ejemplo, los minerales tendrán distinta dureza en una dirección o en otra, ya que dependen de las fuerzas de enlace que mantiene a los átomos juntos. Existe un aparato llamado esclerómetro, que sirve para la medición de la dureza de los minerales. La dureza debe de medirse en superficies grandes y libres de alteración.

Para utilizar la Escala de Mohs al determinar la dureza, es necesario rayar la superficie del mineral que se estudia con la punta de otro mineral de la escala y a la inversa. Se utiliza la punta, ya que ésta es ligeramente mayor que la de la superficie, por lo tanto, dos minerales de misma dureza pueden rayarse con sus puntas; se debe observar si en la superficie del mineral ha quedado o no una marca. El mineral que raya y no es rayado posee una dureza mayor. Al hacer esta prueba no se debe presionar o ejercer una fuerza al frotar los minerales, ya que esta presión no la podemos cuantificar y se puede en realidad estar quebrando el cristal.

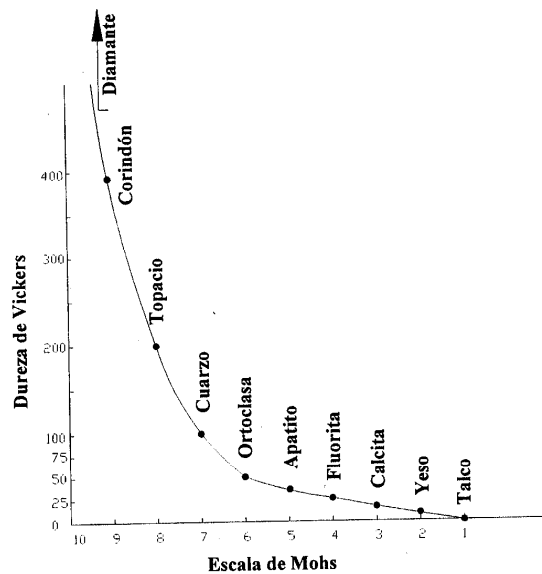


Fig. 73. Relación entre las escala de dureza de Mohs y de Vickers.

Tenacidad

Es la propiedad que describe la manera en que un mineral se rompe o se deforma bajo presión, es decir, como se comporta al ser golpeado con una pica o martillo. Algunos minerales ofrecerán resistencia, otros se romperán con gran facilidad. Esto depende de las fuerzas cohesivas entre los átomos y de los enlaces atómicos que los componen, lo cual puede variar en las diferentes direcciones del cristal.

Los siguientes términos describen la tenacidad:

- **Quebradizo o Frágil:** el mineral se rompe o pulveriza. Ejemplos: cuarzo y diamante.
- **Maleable:** el mineral puede aplanarse con un martillo sin quebrarse. Ejemplos: oro, plata y cobre.
- **Dúctil:** el mineral puede alargarse en alambres. Ejemplos anteriores.
- **Séctil:** el mineral puede cortarse con una navaja como cera. Ejemplo: argentita.
- **Flexible:** el mineral puede curvarse sin retornar a su posición original después que la tensión ha sido liberada. Ejemplos: talco y molibdenita.
- **Elástica:** material generalmente formado por capas delgadas que después de curvarse retorna a su posición original. Ejemplos: muscovita, biotita, flogopita y lepidolita.

Exfoliación, clivaje o crucero

Representa la tendencia de un mineral a romperse en ciertas direcciones paralelas a planos atómicos a lo largo de los cuales las fuerzas de enlace son más débiles.

Las micas o el grafito por ejemplo, tienen una exfoliación perfecta paralela a un plano, la cual es reflejo de su estructura interna. La unión dentro de cada lámina es mucho más fuerte que la que existe entre una lámina y otra, en el primer caso, son enlaces iónicos, mientras que en el segundo, son fuerzas de Van der Waals. Esta propiedad depende sólo de manera indirecta de la composición química.

No todos los minerales presentan clivaje, pero si lo presenta un determinado mineral, todos los cristales de esa especie mineral exhiben el mismo clivaje. De cualquier modo, en algunos especímenes masivos de grano fino, el clivaje no es observable, excepto con el uso de microscopio.

El clivaje es usualmente descrito de acuerdo a la facilidad de separación de las capas, como: muy perfecto, perfecto, bueno, claro e impreciso. También se clasifican por el número y dirección de los planos de clivaje. Es necesario subrayar que **los planos de exfoliación son caras posibles del cristal**, esto es importante ya que si el mineral se encuentra de forma masiva, o en cualquier otro aspecto, y posee exfoliación, al romperlo se separará a lo largo del clivaje, lo cual nos puede guiar a establecer el sistema cristalino al cual puede pertenecer.

Tipos de Clivaje:

- **Cúbico:** tres planos en ángulos rectos. Ejemplos: galena, halita, silvita, etc.
- **Rectangular:** tres planos. Ejemplo: anhidrita
- **Basal:** un plano paralelo a la base o pinacoide basal. Ejemplo: estibinita.
- **Romboedral:** tres planos paralelos a las caras opuestas del romboedro. Ejemplos: calcita, siderita, dolomita, rodocrosita.
- **Octaedral:** cuatro plano paralelos a cada par de caras del octaedro. Ejemplo: fluorita.

- **Prismático:** dos planos (tres para el prisma hexagonal). Ejemplos: espodumena, rodonita, hornblenda y augita.
- **Dodecaedral:** seis planos paralelos a cada par de caras de un dodecaedro. Ejemplo: esfalerita.

Ejemplos de Exfoliación :

Cristales con clivaje perfecto en una dirección	Clivaje basal Topacio Epidota Antimonio Covelita Apofilita	
	Clivaje pinacoidal (lado) Yeso Estilbita Diáspora Wolframita Zoisita Estibinita Heulandita Bismutinita Colemanita Vivianita Silimanita Eritrita	
	Clivaje pinacoidal (frente) Cianita	
	Clivaje micáceo (minerales separables en hojas delgadas) Muscovita Brucita Biotita Auricalcita Flogopita Copiapita Lepidolita Autunita Margarita Torbernitita Clorita Grafito Talco Molibdenita Pirofilita Oropimente	
Minerales con clivaje prominente en dos direcciones	cercanos a 90°	Ortoclasa Microclina Plagioclasa Espodumena Grupo de los piroxenos Diópsida Augita Wollastonita Ambligonita Rodonita
	Angulos obtusos y agudos 56° y 124° Grupo de anfíboles	Hornblenda Tremolita Actinolita Glaucófano Riebeckita

Fragmentos con clivaje astilloso alargado	Kernita
Minerales con clivaje prominente en tres direcciones	Clivaje cúbico Sal Silvita Galena
	Clivaje romboedral Calcita Dolomita Siderita Magnesita Rodocrosita Smithsonita Proustita Corindón
	2 Prismáticos con 1 pinacoidal Barita Celestina
	3 Prismáticos Cinabrio
	3 Pinacoidal (clivaje rectangular) Anhidrita
Clivaje en cuatro direcciones	Clivaje octaedral Fluorita Diamante
Clivaje en seis direcciones	Clivaje dodecaedral Esfalerita

Fractura

Cuando no existen planos de exfoliación en un mineral, éste se rompe en secciones irregulares llamadas fracturas. La mayor parte de los minerales muestran fractura desigual o irregular. Así, esta característica no es útil para la identificación.

Una excepción es la fractura concoidea (en forma de concha), que consiste en superficies curvas y lisas. Ejemplos de materiales que muestran una fractura concoidea son: el vidrio, la obsidiana, la calcedonia y el ópalo. Los metales nativos, oro, plata, cobre, muestran una fractura cortante.

Densidad y peso específico

Desde el punto de vista físico, densidad es masa/volumen. El peso específico es la densidad expresada en relación con la densidad del agua. Entonces cuando se indica que el peso específico del grafito es igual a 2, significa que la densidad de este mineral es dos veces la del agua (la densidad del agua es 1 gr/cm³). La densidad de un mineral está determinada por su estructura cristalina y por su composición química, por ejemplo, el cuarzo normal tiene una densidad de 2.65, otras variedades de

SiO_2 que tienen distinta estructura, como la cristobalita y la tridimita, tienen densidades de 2.32 y 2.26 respectivamente.

El peso específico del olivino $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ aumenta a medida que los átomos de Mg son sustituidos por los de Fe, más pesados, pasando de 3.22 para el Mg_2SiO_4 (Forsterita) hasta 4.41 para el Fe_2SiO_4 (Fayalita) puros.

Resulta entonces que la densidad de una sustancia refleja la naturaleza de los átomos que forman en su estructura, así como el modo su agruparse y empaquetarse.

Para determinar el peso específico se utiliza el principio de Arquímedes, el cual nos dice que un sólido sumergido en el agua pierde peso en una cantidad que es igual al peso del volumen de agua que desaloja. Entonces con una báscula (fig. 74) podemos determinar el peso de un sólido en el aire, al que denominaremos (w), luego podemos obtener su peso sumergido en el agua (w'), el peso específico (G) resulta de la siguiente relación:

$$G = w / w - w'$$

es decir cuantas veces cabe el peso del agua en el peso del mineral.

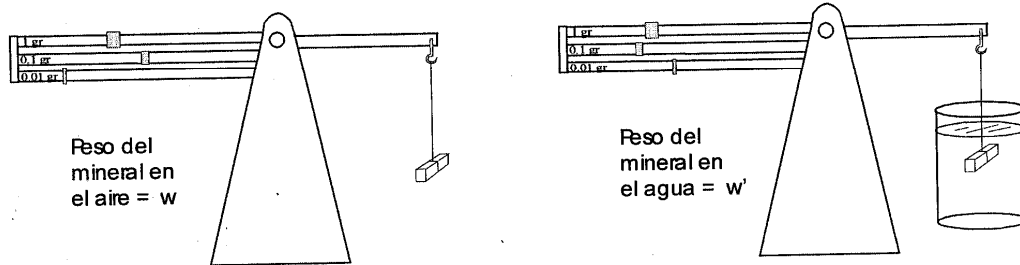


Fig. 74. Método para obtener el peso específico de un mineral..

Las muestras utilizadas en esta prueba pueden ser masivas o cristales, lo que hay que cuidar al realizarla es que los minerales sean puros, es decir, que no se trate de una mezcla de dos o más minerales, puesto que entonces lo que se obtendría sería un peso específico promedio dependiendo de sus volúmenes respectivos. Además, al medir el peso del mineral en agua, es necesario asegurarse de que todo el volumen del mineral se encuentre sumergido.

Otro método para obtener la densidad es mediante la inmersión en líquidos densos, cuando los minerales son polvorientos y deleznales, o cuando el mineral se ha molido. Por ejemplo, la barita es analizada continuamente para ver su calidad en los laboratorios particulares de las minas.

En el campo, o donde se carezca de básculas, puede lograrse una apreciación de densidad aproximada, comparando dos minerales de igual tamaño, uno en cada mano, conociendo la densidad de uno de ellos.

TABLA 3. MINERALES DE ACUERDO A SU INCREMENTO DE PESO ESPECIFICO

Mineral	Peso Específico	Mineral	Peso Específico
Hielo	0.917	Estilbita	2.1 – 2.2
Epsomita	1.67	Halita	2.16
Bórax	1.7	Heulandita	2.1 – 2.2
Kernita	1.9	Tridimita	2.2
Ulexita	1.95	Natrolita	2.2 – 2.26
Silvita	1.98	Variscita	2.2 – 2.5
2.0 - 2.3		Serpentina	2.2 – 2.6
Sepiolita	2.0	Nitrato de sodio	2.25
Opalo	2.0 – 2.2	Analcita	2.24 – 2.29
Copiapita	2.08 – 2.17	Sodalita	2.27 – 2.33
Nitrato	2.1	Calcantita	2.28
Crisocola	2.0 – 2.3	2.3 – 2.5	
Bauxita	2.0 – 2.55	Yeso	2.3
Chabasita	2.05 – 2.1	Cristobalita	2.33
Grafito	2.09 – 2.23	Sodalita	2.27 – 2.33
Apofilita	2.33 – 2.37	2.75 – 3.0	
Wavelita	2.36	Anortita	2.76
Brucita	2.4	Plagioclasa	2.62 – 2.76
Gibbsita	2.4	Pectolita	2.7 – 2.8
Lazurita	2.4 – 2.45	Flogopita	2.76 – 2.9
Colemanita	2.42	Talco	2.58 – 2.83
Cancrinita	2.42 – 2.5	Turquesa	2.6 – 2.9
2.5 – 2.75		Clorita	2.6 – 2.9
Leucita	2.5	Berilo	2.66 – 2.83
Serpentina	2.2 – 2.6	Polihalita	2.78
Garnierita	2.5	Glauberita	2.81
Escapolita	2.5 – 2.7	Pirofilita	2.65 – 2.9
Ortoclasa	2.56 – 2.59	Wollastonita	2.8 – 2.9
Microclina	2.56 – 2.59	Dolomita	2.85
Calcedonia	2.57 – 2.64	Lepidolita	2.8 – 2.9
Albita	2.62	Muscovita	2.77 – 2.88
Nefelina	2.55 – 2.62	Prehnita	2.9 – 2.95
Caolinita	2.6	Datolita	2.9 – 3.0
Cordierita	2.55 – 2.75	Jarosita	2.91 – 3.26
Talco	2.58 – 2.83	Biotita	2.7 – 3.3

Mineral	Peso Especifico	Mineral	Peso Especifico
Oligoclasa	2.65	Hornblenda	2.9 – 3.4
Cuarzo	2.65	Aragonita	2.94
Plagioclasa	2.62 – 2.76	Criolita	2.97
Tenardita	2.67	Brazilianita	2.98
Vivianita	2.68	Anhidrita	2.98 – 3.0
Alunita	2.6 – 2.9	Eudialita	2.9 – 3.0
Turquesa	2.6 – 2.9	Danburita	2.97 – 3.02
Clorita	2.6 – 2.9	Penakita	3.0
Colofana	2.6 – 2.9	3.0 – 3.5	
Pirofilita	2.65 – 2.9	Danburita	2.97 – 3.02
Berilo	2.66 – 2.83	Ambligonita	3.0 – 3.1
Pectolita	2.7 – 2.8	Margarita	3.0 – 3.1
Calcita	2.71	Magnesita	3.0 – 3.2
Labradorita	2.71	Turmalina	3.0 – 3.25
Bitownita	2.74	Tremolita	3.0 – 3.3
Biotita	2.7 – 3.3	Eritrita	3.1
Autunita	3.1 – 3.2	Granate	3.58 – 4.31
Condrodita	3.1 – 3.2	Estauroлита	3.7 – 3.8
Apatito	3.1 – 3.2	Estroncianita	3.72
Espodumena	3.1 – 3.2	Crisoberilo	3.75
Andalucita	3.1 – 3.2	3.75 – 4.0	
Lazulita	3.1 – 3.39	Atacamita	3.76
Fluorita	3.18	Azurita	3.77
Silimanita	3.23	Estauroлита	3.7 – 3.8
Torbernita	3.2 – 3.7	Goetita	3.3 – 4.3
Diópsida	3.25 – 3.35	Malaquita	3.6 – 4.0
Jadeíta	3.3 – 3.5	Antlerita	3.9
Augita	3.2 – 3.4	Anatasa	3.9
Clinozoisita	3.21 – 3.38	Siderita	3.9
Axinita	3.26 – 3.36	Brochantita	4.0
Dumortierita	3.3 – 3.4	Celestita	3.97
Enstatita	3.2 – 3.5	Esfalerita	3.9 – 4.0
Dioptasa	3.3	Wilemita	3.9 – 4.2
Zoisita	3.15 – 3.36	4.0 - 4.5	
Olivino	3.2 – 4.3	Esfalerita	3.0 – 4.1
Epidota	3.38 – 3.49	Corindón	4.0 – 4.1
Diáspora	3.3 – 3.5	Carnotita	4.0 – 5

Mineral	Peso Específico	Mineral	Peso Específico
Hornblenda	2.9 – 3.4	Calcopirita	4.1 – 4.3
Idocrasa	3.4 – 3.5	Brookita	4.1
Hemimorfita	3.4 – 3.5	Rutilo	4.2
Rodonita	3.4 – 3.7	Witherita	4.29
Oropimente	3.49	Olivino	3.2 – 4.3
Esfena	3.45 – 3.55	Manganita	4.33
Topacio	3.49 – 3.57	Smithsonita	4.4
3.5 – 3.75		Pirolusita	4.4 – 5.0
Diamante	3.5 – 3.53	Enargita	4.4 – 4.5
Rejalgar	3.56	Barita	4.5
Topacio	3.49 – 3.57	4.5 - 5.0	
Espinela	3.58 – 4.6	Espinela	3.58 – 4.6
Benitoita	3.6	Estibinita	4.63
Rodocrosita	3.7	Cromita	4.5 – 4.8
Kianita	3.53 – 3.65	Pirrotita	4.6 – 4.7
Pirolusita	4.4 – 5.0	Scheelita	6.1
Zircón	4.6 – 4.7	Cuprita	6.1
Covellita	4.6 – 4.76	Telerio	6.1 – 6.3
Molibdenita	4.62 – 4.73	Descloicitia	6.2
Pentlandita	4.6 – 5.0	Estefanita	6.2
Tetraedrita – tenantita	4.6 – 5.1	Cobaltita	6.33
Monazita	4.6 – 5.4	Anglesita	6.38
Psilomelana	4.7	Skuterudita	6.5
Ilmenita	4.7	Columbita – tantalita	5.2 – 7.95
Selenio	4.8	Cerusita	6.55
Marcasita	4.88	Antimonio	6.61 – 6.72
Greenokita	4.9	Bismutinita	6.8
5.0 - 5.5		Wulfenita	6.5 – 7.0
Bornita	5.06 – 5.08	Vanadinita	6.88
Pirita	5.01	Casiterita	7.0
Monazita	4.6 – 5.4	7.0 - 8.0	
Magnetita	5.2	Columbita	5.2 – 7.95
Columbita	5.2 – 7.95	Tantalita	5.2 – 7.95
Tantalita	5.2 – 7.95	Piromorfita	7.04
Hematita	5.26	Mimetita	7.24
Linarita	5.35	Wolframita	7.12 – 7.51
Millerita	5.5	Argentita	7.2 – 7.4

Mineral	Peso Específico	Mineral	Peso Específico
5.5 - 6.0		Níquel - Fierro (bajo)	7.3 - 7.87
Cerargirita	5.56	Galena	7.57
Proustita	5.57	Nicolita	7.78
Calcocita	5.5 - 5.8	Níquel - Fierro (alto)	7.8 - 8.22
Jamesonita	5.63	8.0 - 10.0	
Zincita	5.68	Silvanita	8.1
Arsénico	5.63 - 5.78	Cinabrio	8.09
Columbita - tantalita	5.2 - 7.95	Uraninita	8.0 - 10.9
Bornita	5.83	Pitchblenda	6.5 - 8.5
Pirargirita	5.85	Níquel - Fierro (alto)	7.8 - 8.22
6.0 - 7.0		Breithauptita	8.23
Crocoíta	6.0 - 6.1	Cobre	8.95
Polibasita	6.0 - 6.2	Calaverita	9.2
Arsenopirita	6.07	Bismuto	9.7 - 9.83
> 10		Platino	14 - 19
Plata	10.5	Platino (puro)	19.3 - 21.4 6
Mercurio	13.59	Oro	15.5 - 19.3

D) Propiedades relacionadas con la respuesta y/o comportamiento de los minerales a la acción de:

Magnetismo

Existen algunos minerales que presentan atracción magnética de un imán de mano. Sólo la magnetita Fe_3O_4 , algo en la pirrotita FeS , algunas variedades de platino nativo, la ilmenita y franklinita, muestran una clara atracción magnética. La magnetita puede en ocasiones ser imán natural.

En un campo magnético muy fuerte todos los minerales son afectados por la fuerza magnética, de acuerdo a su comportamiento se distinguen tres clases de magnetismo:

- **Diamagnetismo:** el mineral es repelido por el imán. Ejemplos: Cu, Ag, Au, Bi, NaCl, $CaCO_3$, SiO_2 , fluorita, wulfenita, etc.
- **Paramagnetismo:** el mineral es atraído por el imán: rutilo, berilo, minerales ferríferos (franklinita), cromita, platino y ferberita.
- **Ferromagnetismo:** el mineral es fuertemente atraído por el campo magnético. Su susceptibilidad es grande. Ejemplos: magnetita, pirrotita, ilmenita, etc.

Calor

Las características que dependen del calor son: conductividad y expansión. Los análisis de conductividad, miden la cantidad de calor transmitida por los minerales y son poco utilizados.

Los de expansión miden el aumento de volumen al elevarse la temperatura.

La fusibilidad relativa de ciertos minerales es un carácter importante para distinguir una especie mineral de otra mediante el soplete. Existe una escala de fusibilidad llamada de Kobell que se muestra en la tabla 4. Esta prueba se lleva a cabo mediante un soplete y es siempre aproximada. Una pieza pequeña del mineral, sostenida con un par de pinzas o sobre una pieza de carbón, es calentada y comparada con la escala de fusibilidad.

Tabla 4. Escala de fusibilidad de Kobell.

Mineral	Temperatura °C
Estibina	525
Natrolita	965
Almandita	1200
Actinolita	1269
Ortoclasa	1300
Broncita	1380
Cuarzo	1600

Electricidad

La mayor parte de los minerales, excepto aquellos que tienen lustre metálico entre los sulfuros y los óxidos, no son conductores. La prueba que se realiza es sobre la conductividad eléctrica. Es fácil distinguir los minerales conductores de los no conductores. Sobre una placa de zinc sumergida en una disolución de vitriolo azul, se deposita la muestra a estudiar. En los minerales que son buenos conductores, en el punto de contacto de la placa con el mineral se forma una delgada capa de cobre.

Algunos minerales presentan una característica llamada piroelectricidad, que consiste en la generación de cargas eléctricas positivas y negativas en diferentes partes del cristal, cuando son sometidos a cambios de temperatura o de presión. Son ejemplos, el cuarzo y la turmalina. Este tipo de cuarzo es utilizado en la manufactura de relojes.

Radioactividad

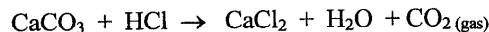
Los minerales con contenidos de los elementos de uranio, thorio y radio, se caracterizan por tener propiedades radioactivas; emitiendo rayos o partículas alfa, beta o gamma; con la formación progresiva de isótopos. Por ejemplo, la uraninita UO_2 , contiene cierta proporción de UO_3 y Pb, el trióxido de uranio se forma por oxidación y el plomo por la desintegración radioactiva del dióxido de uranio (uraninita). Esta emisión es invisible, y por lo tanto, la radioactividad de los minerales se determina basándose en la ionización del aire que producen; para ello, se utilizan electroscopios o detectores como un contador geiger o cintilómetro. Algunos minerales de uranio y thorio son capaces de desprender rayos químicamente activos que impresionan la placa fotográfica (lo cual se utiliza en la obtención de radiografías). Los minerales con enlaces químicamente débiles se desintegran metamórficamente, es decir, alteran su estructura interna sin modificar su forma externa, por ejemplo la alanita. En ellos se observa que se vuelven opacos, negros, disminuyen su exfoliación, adquiriendo un brillo graso - resinoso y una fractura concoidea. Algunos minerales radiactivos son luminiscentes (ver tabla 2). Otros minerales pueden ser radioactivos en menor grado al contener inclusiones de minerales traza radioactivos, por ejemplo el zircón en mezcla isomorfa con la thorita. Los minerales radioactivos se enlistan en la tabla 5.

Tabla 5. Minerales Radioactivos			
Dureza	Nombre del mineral	Fórmula química	Observaciones
1 - 2	Tyuyamunita	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \text{V}_2\text{O}_8 \cdot 5-8\text{H}_2\text{O}$	Vanadato
2	Carnotita	$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2 \text{V}_2\text{O}_8 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	Vanadato
2 - 2.5	Lantinita	$\text{UO}_2 (\text{OH})_2$	Oxido
2 - 2.5	Autunita	$\text{Ca} (\text{UO}_2, \text{PO}_4) 8 -12 \text{H}_2\text{O}$	Fosfato
2 - 2.5	Torbernita	$\text{Cu} (\text{UO}_2, \text{PO}_4) 8 -12 \text{H}_2\text{O}$	Fosfato
2 - 2.5	Meta-autonita	$\text{Ca} (\text{UO}_2, \text{PO}_4) 2 - 6 \text{H}_2\text{O}$	Fosfato
2.5	Meta-torbernita	$\text{Cu} (\text{UO}_2, \text{PO}_4) 2 - 8 \text{H}_2\text{O}$	Fosfato
2.5	Zeunerita	$\text{Cu} (\text{UO}_2, \text{AsO}_4)_2 8-12 \text{H}_2\text{O}$	Arseniato
2.5	Uranotilo	$\text{CaH}_2(\text{UO}_2, \text{SiO}_4)_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	Silicato
2.5	Scoepita	$(\text{UO}_2)_8 \text{O}_2 (\text{OH})_{12} 12\text{H}_2\text{O}$	Hidróxido
2.5	Bequerelita	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_6\text{O}_4(\text{OH})_6 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	Hidróxido
2.5	Gumita	$\text{UO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ Producto de alteración de la uraninita	Amorfo
2.5	Uranofana	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 [\text{SiO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Silicato
2.5	Betauranofana	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 [\text{SiO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Silicato
2 - 3	Sklodowskita	$\text{Mg}(\text{UO}_2)_2 [\text{SiO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato
3.5	Sodita	$(\text{UO}_2)_2 \text{SiO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Silicato
3 - 5.5	Betafita	$(\text{Ca,Fe,U})_{2-x} (\text{Ni,Ti,Ta})_2\text{O}_6(\text{OH,F})_{1-z}$	Oxido
4.5	Branerita	$(\text{U,Ca,Th,Y})(\text{Ti,Fe})_2\text{O}_6$	Oxido
4.5	Curita	$\text{Pb}_2\text{U}_5\text{O}_{17} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Hidróxido
4	Cuprosklodowskita	$\text{CuH}_2 (\text{UO}_2, \text{SiO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Silicato
4	Kasolita	$\text{Pb}_2 (\text{UO}_2, \text{SiO}_4)_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	Silicato
4.5 - 5	Thorita	ThSiO_4	Silicato
4.5 - 5.5	Thorogumita	$\text{Th} (\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$	Silicato
4 - 5	Xenotima	$\text{Y}(\text{PO}_4)$ Con elementos traza de U, Th o Zr.	Fosfato
5 - 5.5	Pirocloro	$(\text{Na,Ca})_2(\text{Nb,Ti,Ta})_2\text{O}_6(\text{OH,F,O})$ Con impurezas de U	Oxido
5.5	Zirconolita	$(\text{Ca,Th,Ce})\text{Zr}(\text{Ti,Nb})_2\text{O}_7$	Oxido
5 - 6	Coffinita	$\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$	Silicato
6	Euxenita	$(\text{Y,Ce,U,Th,Ca})(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6$	Oxido
6	Thorianita	ThO_2	Oxido
6	Uraninita	UO_2	Oxido
6	Davidita	$(\text{Ce,La})(\text{Y,U,Fe})(\text{Ti,Fe})_{20}(\text{O,OH})_{38}$	Oxido

Solubilidad

La solubilidad es otra propiedad utilizada para la identificación de las especies minerales y se determina sometiendo la muestra a la acción del agua o los ácidos. Teóricamente todos los minerales son solubles en agua, la capacidad de disolución del agua depende en gran medida de la temperatura siendo mucho mayor cuando ésta se incrementa. La disolución en un litro de agua a temperatura ordinaria es de 310 gr para la silvita (sal de potasio), de 280 gr para la halita (sal común), de 0.06 a 0.03 gr para la calcita y de 0.19 gr para la misma calcita pero en agua de mar. En la tabla 6 se enlistan los minerales que son solubles en agua, los minerales de baja dureza generalmente tienen sabor, pero no es recomendable probarlos.

Los ácidos más utilizados en la disolución de minerales son el clorhídrico, el nítrico y el sulfúrico. Esta prueba se puede hacer directamente sobre la muestra o bien pulverizarla para posteriormente disolverla, en ambos casos, es necesario notar el grado (facilidad) de solubilidad de la muestra y el fenómeno que acompaña la disolución. Algunos minerales se disuelven tranquilamente y pueden dejar teñida la solución en diferentes colores, por ejemplo en color amarillo cuando está presente el hierro, azul o verde al existir el cobre, y rosa o rosa pálido con el cobalto. Otros minerales se disuelven produciendo efervescencia, lo cual ocurre debido al desprendimiento de un gas durante la disolución producto de la reacción del ácido con el mineral. La efervescencia es una característica muy importante para identificar desde el punto de vista químico al grupo de los carbonatos, ya que todos la producen al reaccionar con el ácido clorhídrico. En algunos es suficiente el ácido clorhídrico a temperatura ambiente y diluido al 10 %, en otros es necesario calentarlo; para otros usarlo concentrado; en ocasiones, es necesario pulverizar la muestra antes de atacarla químicamente. La efervescencia es producida por la reacción del carbonato con el ácido clorhídrico HCl con desprendimiento de bióxido de carbono (CO₂), el cual es inodoro, la reacción de los carbonatos con el ácido clorhídrico puede ejemplificarse con la siguiente reacción:



Al reaccionar el ácido clorhídrico (HCl) con minerales del grupo de los sulfuros, como la galena o la esfalerita, se produce ácido sulfhídrico (H₂S), el cual es un gas fácil de reconocer por su fuerte y desagradable olor (tóxico). El ácido clorhídrico, como todos los ácidos, es de uso delicado, por lo tanto es necesario tener precaución en su manejo, se recomienda utilizarlo en recipientes pequeños, de plástico, con gotero integrado, con etiquetas claras que permitan la distinción entre el HCl diluido al 10 % (una parte de HCl y nueve de agua pura) y el HCl concentrado. En la Tabla 7 se enlistan minerales que son solubles con ácido clorhídrico diluido y son efervescentes.

Los minerales metálicos, como los sulfuros o compuestos de plomo y plata, requieren ácido nítrico para disolverse a temperatura ambiente. El oro y el platino son solubles solamente en agua regia o ácido nitroclorhídrico. Para el uso de estos ácidos es necesario un laboratorio especial de ensayos químicos ya que muchas reacciones son tóxicas y son necesarias ventilación, equipo e instrumental adecuado.

Tabla 6. Minerales solubles en agua

Dureza	Mineral soluble en agua fría	Dureza	Mineral soluble en agua caliente
1 - 2	Salmiac	1	Sassolita
1 - 1.5	Natrón	1	Ulexita
1.5 - 2	Nitratina	1.5 - 2	Yeso
1.5	Mirabilita	1.5	Sideronatrita
1.5	Tschermigita	1.5 - 2	Struvita
1 - 2	Alunógeno	1	Evenkita
1.5	Halotriquita	2	Inyoita
1.5	Pickeringita	2.5	Kernita
2.5	Carnalita	2.5	Alumohidrocalcita
2	Silvita	2.5	Leadhillita
2	Halita	2 - 2.5	Melita
2	Villiamuta		
2 - 2.5	Bórax		
2.5	Gaylussita		
2.5	Trona		
2 - 2.5	Epsomita		
2 - 2.5	Hexaidrita		
2 - 2.5	Goslarita		
2	Melanterita		
2	Pisanita		
2.5	Calcantita		
2	Bieberita		
2 - 2.5	Morenosita		
2	Fibroferrita		
2	Coquimbita		
2.5	Quenstedtita		
2.5	Copiapita		
2.5	Ferrinatrita		
2.5	Thenardita		
2.5 - 3	Kroehnkita		
2.5	Delvauxita		
2 - 2.5	Farmacolita		
3	Kainita		
3.5	Kieserita		
3 - 3.5	Polihalita		

Tabla 7. Minerales que efervescen en ácido clorhídrico

Acido clorhídrico frío diluido (HCl 10 %)		
Mineral	Color	Características
Aragonito CaCO_3	Colores claros, blanco variadamente teñido	Prismas pseudo hexagonales Clivaje pobre Dureza $3 \frac{1}{2} - 4$
Azurita $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	Azul brillante, los cristales azul oscuro	Dureza $3 \frac{1}{2} - 4$
Calcita CaCO_3	Colores claros, blanco variadamente teñido	Clivaje romboedral perfecto Dureza 3
Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (pobremente)	Blanco, tintes pálidos	Pequeños cristales rosas curvados Dureza $3 \frac{1}{2} - 4$
Malaquita $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	Verde	Dureza $3 \frac{1}{2} - 4$
Smithsonita ZnCO_3	Blanca, verde, azul, amarillo, rosa, gris, café	Agregados botroidales Densidad 4.4 Dureza $4 - 4 \frac{1}{2}$
Estroncianita SrCO_3	Blanca, gris, amarillo, rosa, verdosa	Agregados fibrosos Alta densidad 3.7 Dureza $3 \frac{1}{2} - 4$
Witherita BaCO_3	Blanca	Cristales maclados que parecen piramides hexagonales Densidad 4.3 Dureza $3 \frac{1}{2}$
Acido clorhídrico caliente diluido		
Auricalcita $(\text{Zn,Cu})_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$	Azul verdoso	Escamas perladas azul-verdosas Dureza 2
Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Blanca, tintes pálidos	Pequeños cristales rosas curvados Dureza $3 \frac{1}{2} - 4$
Hidrozincita	Blanca	Masas suaves blanco mate, luminiscentes de azul pálido a violeta Dureza $2 - 2 \frac{1}{2}$
Magnesita MgCO_3	Blanca	Masas compactas mate Dureza $3 \frac{1}{2} - 5$
Rodocrosita MnCO_3	Rosa	Clivaje romboédrico perfecto Dureza $3 \frac{1}{2} - 4 \frac{1}{2}$
Siderita FeCO_3	Gris, café	Clivaje romboedral perfecto Dureza $3.7 - 4.2$
Acido Nítrico caliente diluido		
Cerusita PbCO_3	Blanco, gris y ahumado	Lustre brillante Alta Densidad 6.55 y en Agregados como rejillas

Seguimiento para el reconocimiento de los minerales

En la identificación de un mineral es necesario el reconocimiento de cada una de las diferentes características que se han descrito en los capítulos 3 y 4. En la Tabla 8 se enlistan las propiedades a definir. Se recomienda primero determinar el tipo de agregado cristalino que forma el mineral, si es un agregado cristalino regular se podrá identificar el sistema cristalino con uno o varios cristales bien desarrollados, así como la presencia de maclas. En caso de ser un agregado cristalino irregular se podrá determinar el aspecto. Posteriormente se deben identificar las propiedades relacionadas con la luz como el brillo, el color, la raya, la luminiscencia y la transparencia. Después se determinan las propiedades relacionadas con la sensación de los sentidos, como si es untuoso al tacto o si presenta un olor particular. La prueba del sabor sólo se realizará una vez que se hayan restringido las opciones de minerales posibles y alguno de los restantes presente esta propiedad, debe efectuarse con las debidas precauciones, por ejemplo, al probar un mineral será únicamente con la punta de la lengua sobre una superficie fresca del mineral, jamás tomar una muestra aunque sea muy pequeña y echársela a la boca, tampoco deben probarse muestras que hayan sido atacadas con ácidos como el HCl. A continuación pueden realizarse las pruebas relacionadas al magnetismo, al calor, a la electricidad y a la radioactividad. Después se determinan las características relacionadas con el estado de agregación como son la dureza y la densidad, al hacer la prueba de tenacidad se observa también el tipo de exfoliación y de fractura, las cuales se observan mejor con ayuda de una lupa. Una vez que ha sido quebrado el mineral, o sometido a un cambio de temperatura es necesario volver a poner la lámpara de luz ultravioleta para confirmar si el mineral es triboluminiscente, termoluminiscente o no, también se recomienda volver a probar el magnetismo de la muestra quebrada o de su polvo. Para realizar la prueba de solubilidad se recomienda colocar una pequeña muestra del mineral ya quebrado, que se vea lo más homogénea posible, en un vaso de agua pura. Al final, se realizan las pruebas de solubilidad con ácidos, el más recomendable es el ácido clorhídrico; si presenta efervescencia, en general, se estará identificando la presencia del anión carbonato, aunque algunos otros minerales pueden ser efervescentes. Siempre existirán ciertos rasgos o características que queden fuera de las anteriormente presentadas, entonces se anotarán en el espacio sobre observaciones. Por ejemplo si el mineral está acompañado por otros minerales se puede establecer la asociación mineral, o tal vez el mineral presenta fracturas, o cavidades, éste es el lugar para indicarlo.

Una vez recabada toda la información sobre las propiedades físicas y químicas del mineral, incluyendo todas las observaciones posibles sobre la muestra, se cotejan en las tablas diseñadas para la identificación de minerales. Dichas tablas son proporcionadas por algunos tratados de mineralogía, por ejemplo el libro de Mineralogía de Barry y Mason en la parte III denominada como Mineralogía Determinativa presenta unas tablas para la determinación de minerales basadas en el tipo de brillo y la dureza creciente de los minerales; otras tablas de identificación muy completas son las que aparecen en el libro de Mineralogía de Kraus las cuales se basan primero en el tipo de brillo, después en su color, el color de la raya y finalmente su dureza. Tablas más recientes para la identificación de minerales son las que presenta la Gran Enciclopedia de los Minerales basadas principalmente en la dureza, después por el color, la raya y el brillo del mineral.

Al usar las tablas, es posible que varios minerales coincidan con las características obtenidas, tal vez porque se carece de mayor información acerca de sus propiedades, como podría ser la determinación de su sistema cristalino si la muestra está en forma masiva, o tal vez su densidad al ser un mineral mezclado con otro, en fin, podrían ser muchas las causas que no permiten la identificación inmediata de una especie mineral, entonces será necesario comparar la descripción completa de dichos minerales en algún libro de mineralogía. El Tratado de Mineralogía de Dana contiene uno de los mejores compendios de mineralogía descriptiva, el libro de Mineralogía de Kraus et al, describe en cada

uno de los minerales la importancia que tienen desde el punto de vista del uso de los mismos. Actualmente existen muchos libros sobre minerales, que realzan más la parte visual, están muy enriquecidos en fotos y tratan de sintetizar lo más posible la información cristalográfica. El Atlas de Mineralogía (The Photo-Atlas of Minerals Ms Windows CD-ROM), muestra una excelente exhibición de fotos de minerales, pero aún carece de mucha información práctica de la mineralogía descriptiva.

Tabla 8. Propiedades físicas y químicas del mineral a identificar.	
Sistema Cristalino :	Agregado Cristalino :
Maclas :	
Brillo :	Color :
Transparencia :	Raya :
Luminiscencia :	Relacionadas a las sensaciones de los sentidos:
Dureza :	Densidad :
Tenacidad :	Exfoliación :
	Fractura :
Magnetismo :	Calor , Electricidad y Radioactividad :
Solubilidad en agua :	Solubilidad en ácidos :
	Efervescencia :
Segunda prueba de luminiscencia :	Observaciones :
Clave de la muestra :	Nombre del mineral :

Métodos alternos para la identificación de los minerales

a) Utilización del microscopio petrográfico y mineragráfico

El microscopio petrográfico puede ser utilizado para estudiar los minerales transparentes. Para ello se requiere elaborar una lámina delgada de la roca a estudiar. La roca es cortada, pulida, pegada en un portaobjetos y luego desbastada hasta obtener un espesor promedio de 0.03 mm; entonces se le pega un cubreobjetos. La luz emitida por el microscopio se transmite a través de la lámina y permite obtener diversas características ópticas como son: el relieve, el color, la birrefringencia (colores observados utilizando polarizadores), el clivaje, ángulos de extinción, figura de interferencia y signo óptico, entre otras. Estas características pueden ayudar a la identificación del mineral utilizando tablas con las propiedades ópticas.

El microscopio mineragráfico funciona con luz reflejada (no transmitida), la cual incide sobre el mineral y reflejada por éste hacia los oculares del microscopio. Este aparato permite el estudio de minerales opacos, los cuales en el microscopio petrográfico se ven negros. Para el estudio en luz reflejada se preparan superficies pulidas de la muestra, las cuales consisten en un trozo de roca el cual es pulido hasta obtener superficies brillantes sin rayaduras. Mediante la observación de estas superficies se obtienen características ópticas tales como color, brillo, clivajes, entre otros, cuyo cotejo en tablas específicas, pueden ayudar a la identificación de los minerales opacos.

b) Métodos de difracción de rayos X

Las técnicas de difracción de rayos X son el método más seguro para la identificación de un mineral. Los rayos X permiten, dentro de ciertos límites, determinar la clase cristalina y los parámetros de la celda unitaria, así como la posición de los diferentes átomos dentro de la celda unitaria. Todo esto puede hacerse sin disolver el espécimen, frecuentemente de una muestra muy pequeña. El método utiliza radiación electromagnética (específicamente rayos X) para determinar las distancias entre los planos atómicos de la malla cristalina y el tipo y distribución de átomos en esos planos, dos propiedades típicas y únicas de cada especie mineral. El método más utilizado es el del polvo, que consiste en colocar una muestra finamente molida en un rayo angosto de rayos X monocromáticos y medir la dispersión angular y la intensidad de los rayos X difractados, ya sea mediante una película fotográfica o mediante aparatos electrónicos. La posición de las líneas de reflexión depende de la geometría de la celda unitaria, en otras palabras en sus dimensiones angulares y lineares. La intensidad de los rayos difractados depende del tipo de átomos presentes en las distintas posiciones de la estructura. Mediante la consulta de tablas que incluyen más de 30,000 sustancias y sus características de difracción, es posible igualar una de ellas con el mineral que se investiga.

c) Análisis químicos

El análisis químico cuantitativo de un mineral es un proceso difícil, largo y complicado. Otro aspecto a considerar es que los resultados pueden ser erróneos debido a que es difícil separar sustancias minerales puras en cantidades suficientes. De cualquier modo, existen pruebas químicas cualitativas que requieren sólo algunos granos del mineral y son seguras y baratas. Estas pruebas proveen datos útiles acerca de la composición del mineral y limitan el rango de minerales posibles de manera considerable.

- Pruebas de flama. Consisten en calentar el mineral en la flama de un gas (aproximadamente a 1000 °C), la cual puede ser reforzada con oxígeno o aire presurizado mediante un soplete (a cerca de 1500

- °C). La flama está hecha de una parte interior de color azulado la cual es reductora y una parte exterior amarilla a incolora que es oxidante y mucho más caliente. Algunos minerales producen un color distintivo en la flama (amarillo del sodio, carmesí del estroncio, violeta del potasio, etc.), algunos producen vapores irritantes o tóxicos (sulfuros, minerales de arsénico), algunos dejan un glóbulo negro (ciertos minerales de hierro) o rojo (minerales de cobre) o gris (minerales de plomo).
- Métodos instrumentales. Son métodos químico-físicos típicos, generalmente usados sólo en laboratorios de investigación (o comerciales). Entre éstos se puede mencionar el espectroscopio, usado para análisis cualitativos de los elementos contenidos en un mineral con base en la presencia de líneas de absorción en la luz que pasa a través del espécimen y luego es dispersada por un prisma. El espectrógrafo de rayos infrarrojos mide las frecuencias vibratorias de grupos atómicos presentes en un mineral. La microsonda electrónica puede utilizarse para muestras muy pequeñas. La preparación de la muestra en este caso es similar a la de una lámina delgada, pero sin cubreobjetos, la cual es recubierta por una pátina de grafito. Los minerales se observan a través de un microscopio y una vez seleccionados se hace incidir un rayo láser que ioniza la sustancia y entonces el plasma resultante es analizado por varios espectrómetros. El área analizada generalmente se encuentra entre 1 y 5 micras (millonésimas de milímetro). Este es un método muy preciso y eficiente, que permite obtener un análisis químico relativamente preciso del mineral (con excepción de los fluidos).