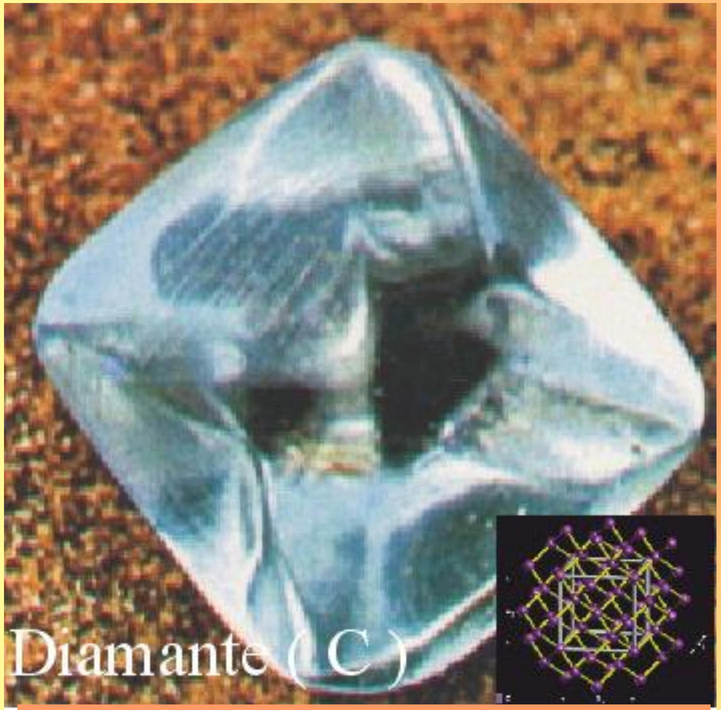
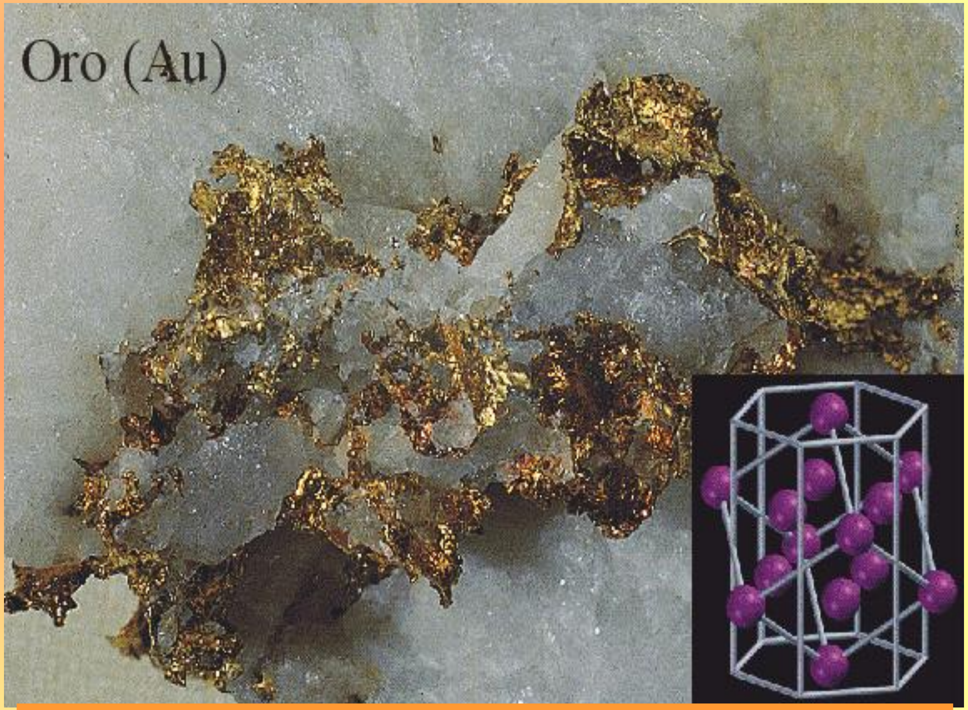
CRISTALOGRAFÍA MORFOLÓGICA

CRISTALOGRAFÍA

CIENCIA QUE ESTUDIA LOS SÓLIDOS CRISTALINOS





NO METAL- NC = 4

METAL - NC = 12

Sistema cúbico – Clase hexaoctaédrica

CRISTALOGRAFÍA

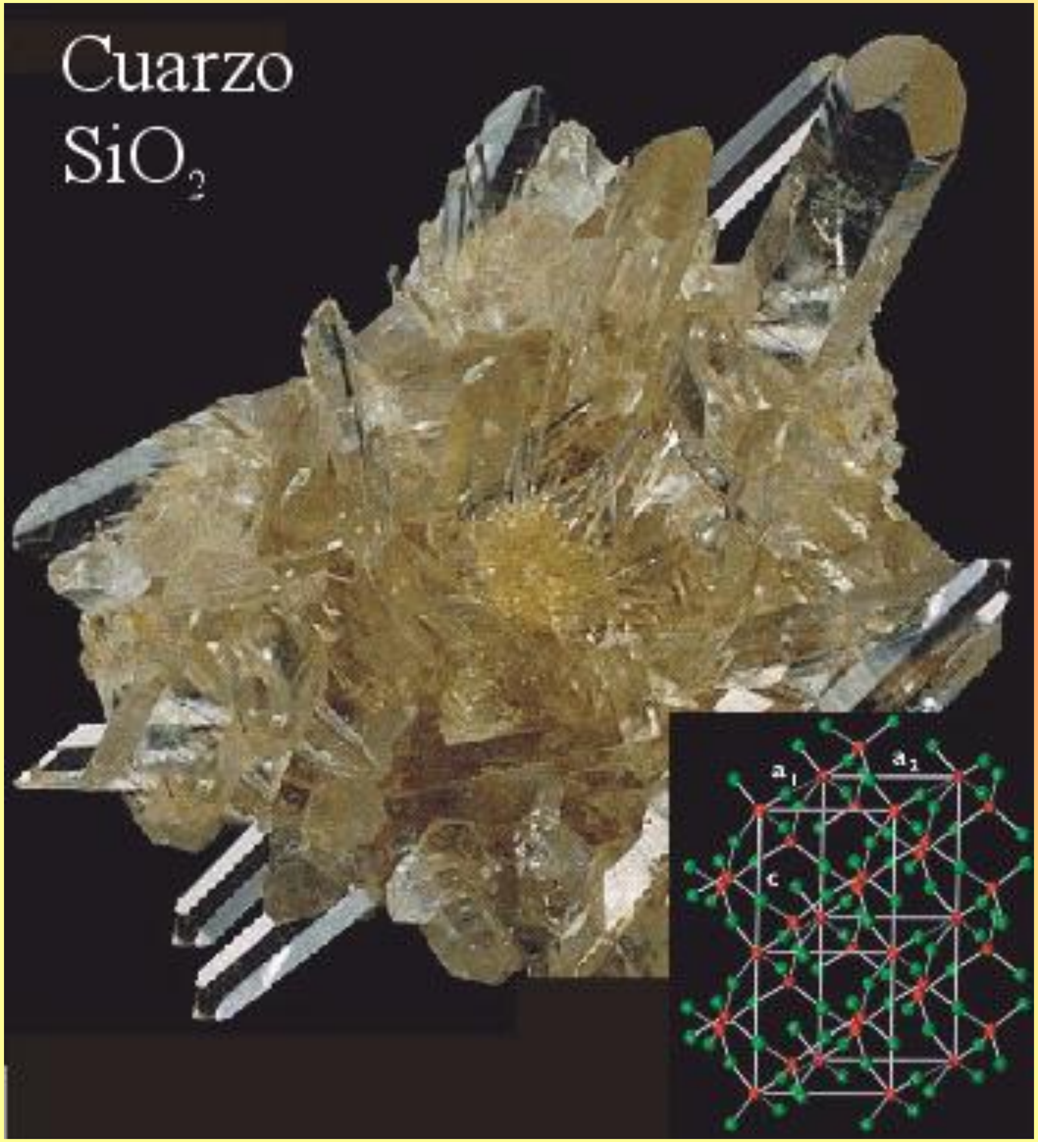
Es la ciencia que estudia los **sólidos cristalinos** y **las leyes** que gobiernan su **crecimiento**, **forma externa y estructura interna**.

Es una **ciencia auxiliar** de la Mineralogía, así como de la tecnología de materiales, metalurgia, etc. Comprende:

(1) La cristalografía morfológica o geométrica, que estudia la **forma externa** de los **cristales**.

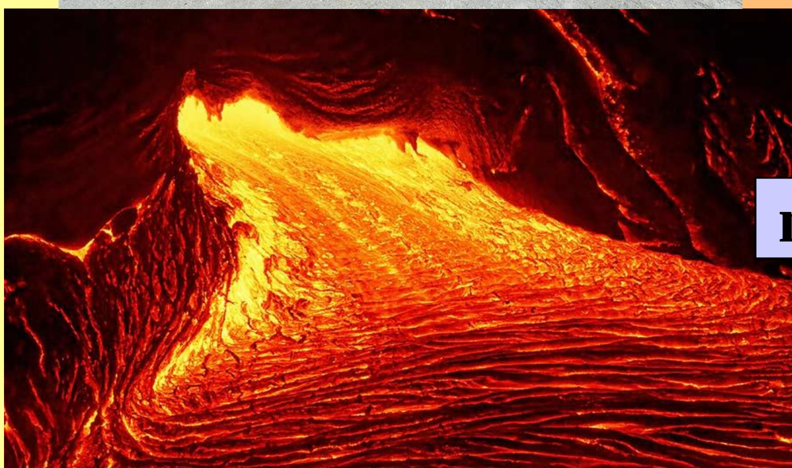
(2) El orden interno de los **cristales.**

Cristal = Del griego "Krystallos" (hielo)



Cuando los sólidos están limitados por caras planas y despliegan formas geométricas regulares, se denominan cristales. La forma exterior, es el reflejo de una distribución atómica ordenada tridimensionalmente.

vapores



magmas

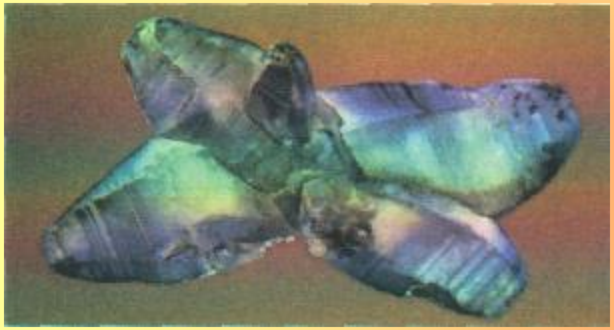
Salar (evaporitas)

soluciones

CRISTALIZACIÓN

***L*os minerales naturales, se forman → por cristalización, a partir de: → soluciones, fundidos y/o vapores. Los átomos en estos estados más o menos desordenados tienen una disposición al azar, pero al cambiar la temperatura, presión y concentración, pueden agruparse con una *disposición ordenada,* característica del estado cristalino.**

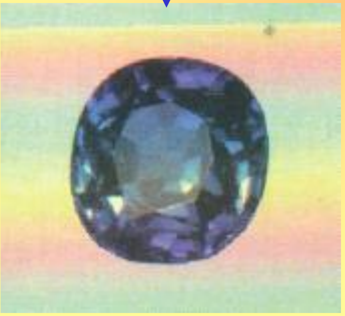
CRISTALES NATURALES Y TALLADOS

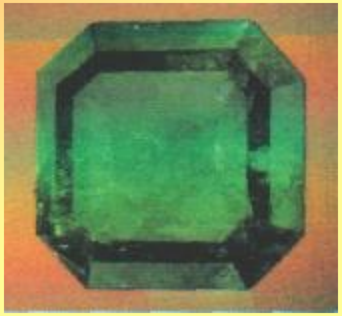


Zafiro (corindón)

Rubí (corindón)

***Esmeralda* (berilo)**

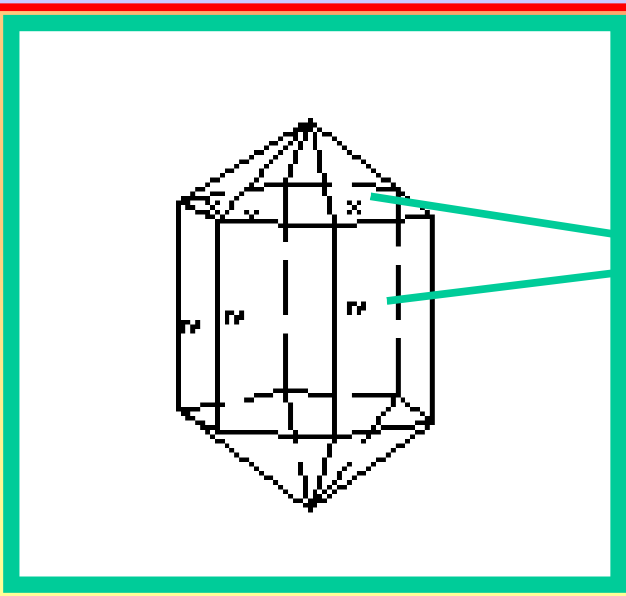




LEYES QUE GOBIERNAN EL CRECIMIENTO CRISTALINO

1) Ley de la constancia de los ángulos interfaciales (ley de Steno)

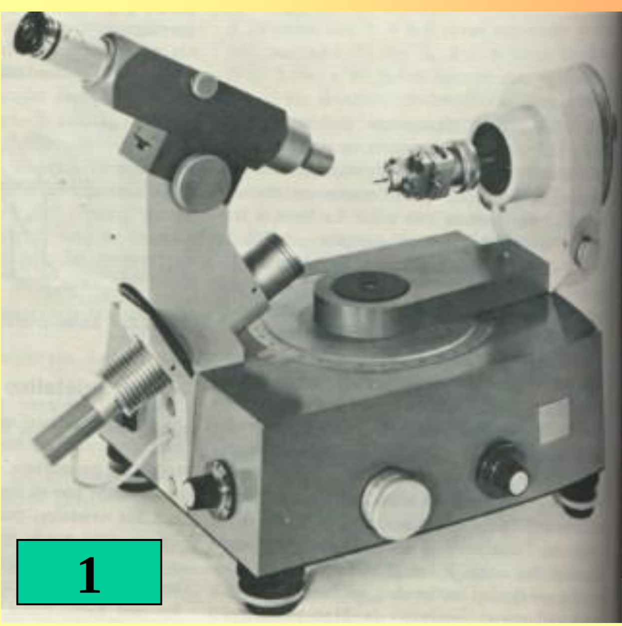
Los ángulos entre las caras de una misma especie cristalina son siempre constantes, independientemente de donde se encuentre, ya sean cristales naturales o artificiales. Para el mineral *apatita*, el ángulo entre las caras adyacentes **x** y **m** es de 130º18’



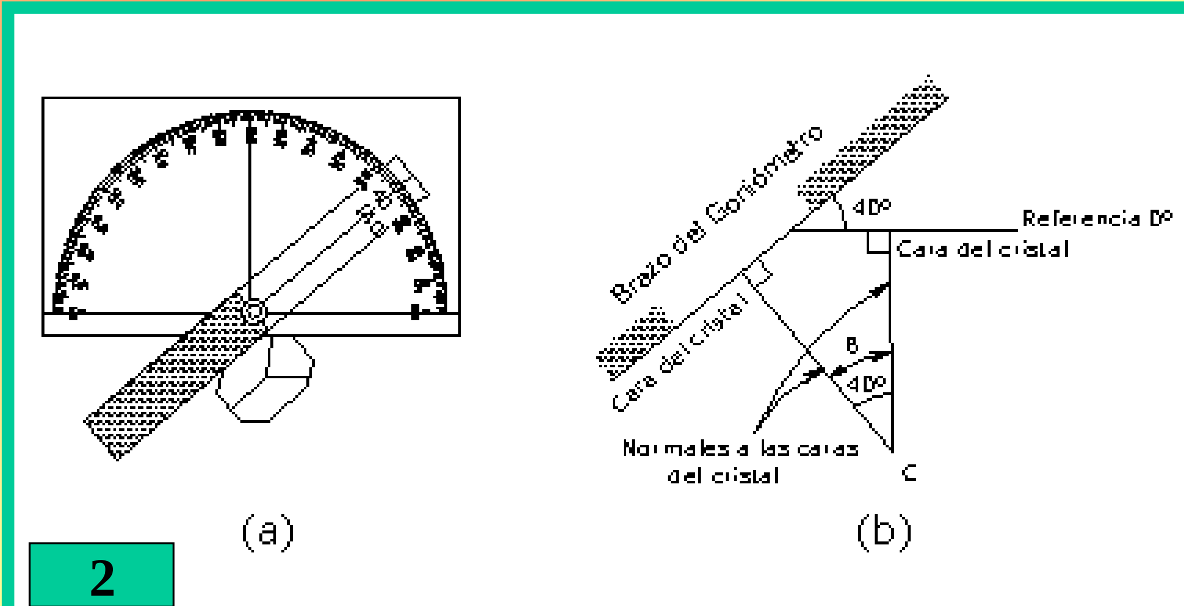
130º18’

Los ángulos que se miden entre las normales a las caras cristalinas caracterizan un cristal y deben medirse cuidadosamente. Una representación gráfica de la distribución de los ángulos y las normales a las caras cristalinas pueden definir la simetría del cristal y por lo tanto su clase cristalina. Los ángulos se miden con

Goniómetros *de: (1)* ***Reflexión*** *y/o de (2)* ***Contacto.***



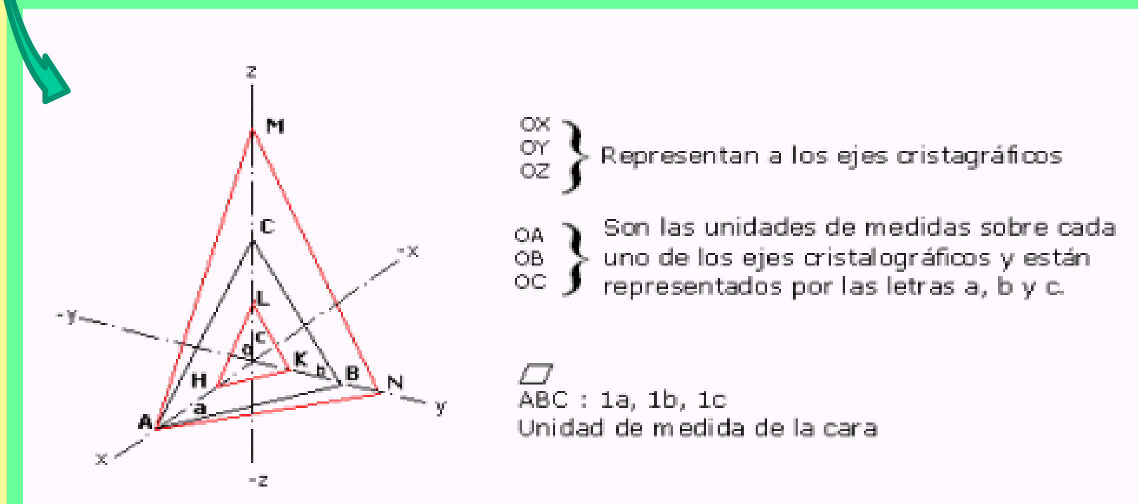
1

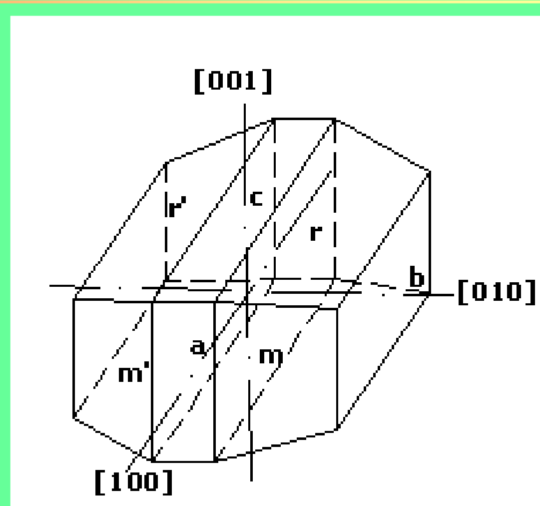


2

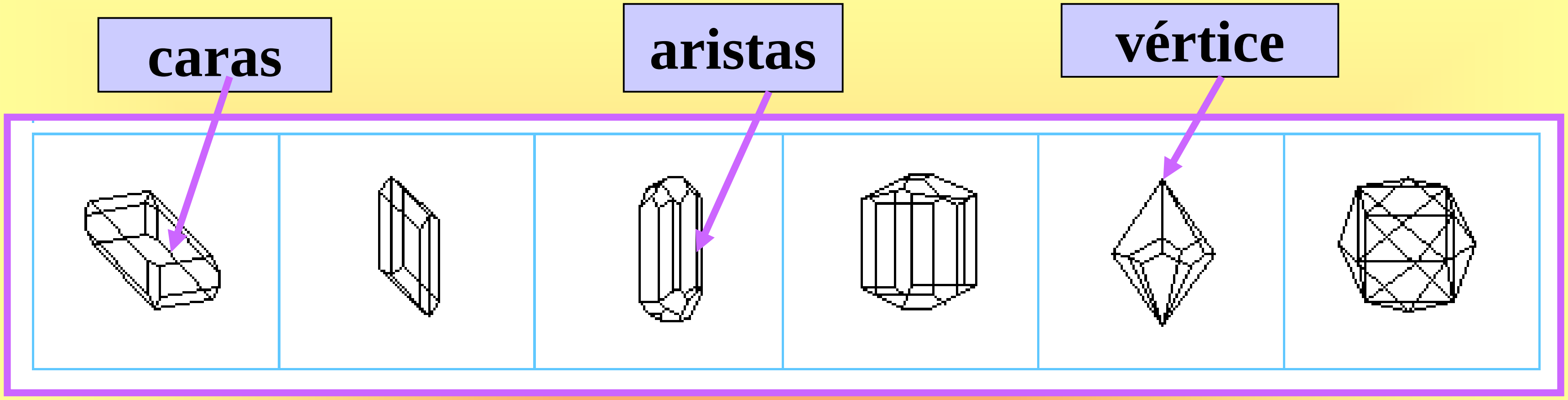
2) Ley de la racionalidad de los índices**:** Las relaciones entre las diferentes caras de un cristal y sus intersecciones con ejes de referencia espacial (ejes cristalográficos) son siempre números racionales. Por ejemplo: 1/2; 1/3; 1/4, pero no 1:√2.

3) Ley de zona**:** Una zona incluye una serie de caras de un cristal, cuyas líneas de intersección son paralelas entre sí y a su vez a una línea común que pasa por el centro del cristal que se llama *eje de zona.*





4) Ley de la simetría



Como en todo poliedro, es posible reconocer en los cristales los siguientes elementos geométricos:

Caras: los planos que delimitan el poliedro.

Aristas: las líneas de intersección de dos planos.

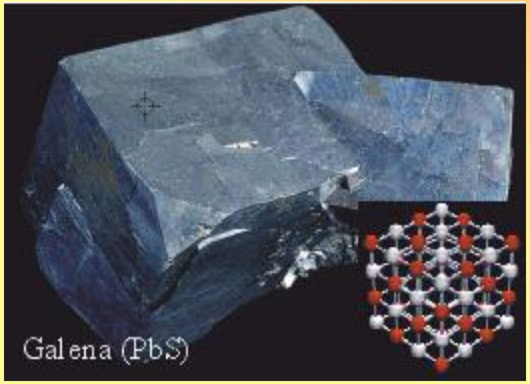
Vértices: los puntos de reunión de tres o mas aristas.

Las caras de los cristales se distribuyen de acuerdo a ciertas leyes de simetría y esta simetría es la base natural de la división de los **cristales** en **sistemas**, **clases y formas.**

MORFOLOGIA EXTERNA

Cuando los minerales están limitados por caras planas y tienen formas geométricas regulares, se denominan cristales. Esta forma exterior es el resultado de una distribución atómica ordenada en una estructura tridimensional interna (redes cristalinas), que persiste a pesar de no manifestarse externamente.

El desarrollo del cristal surge como consecuencia del ordenamiento íntimo y regular de la materia anisótropa y del desarrollo externo gracias a la disponibilidad de espacio.



Según su morfología externa distinguimos entre cristales que son euhedros, subhedros o anhedros.
Hedron: CARA (griego)

Granates **EUHEDROS**
EU = BUENAS CARAS

Calcita **ANHEDRA**
AN= SIN CARAS

Plagioclasa **SUBHEDRA**
ALGUNAS CARAS

OPERACIONES DE SIMETRÍA

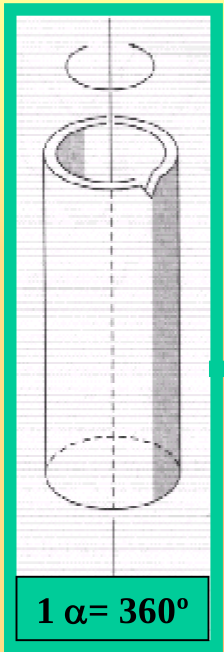
Elementos de simetría		Operación	Simbología
Simples	Ejes de simetría (giras)	Rotación	1, 2, 3, 4, 6.
	Plano de simetría	Reflexión	m
	Centro de simetría	Inversión	i $\bar{1}$
Combinados (giroides)	Ejes de giro-inversión	Rotación + Inversión	$\bar{1}$ $\bar{2}$ $\bar{3}$ $\bar{4}$ $\bar{6}$

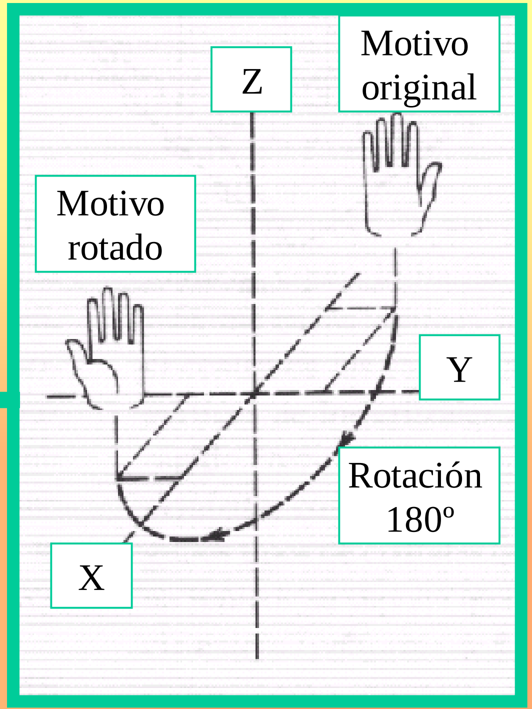
Caras, vértices y aristas guardan una distribución que es resultado de la multiplicación de un elemento inicial que se repite en forma simétrica y armónica en el espacio. Cambiando la posición del cristal se aprecian coincidencias en la distribución espacial de sus elementos geométricos, de tal manera que nada permite distinguir las nuevas posiciones de la posición original.

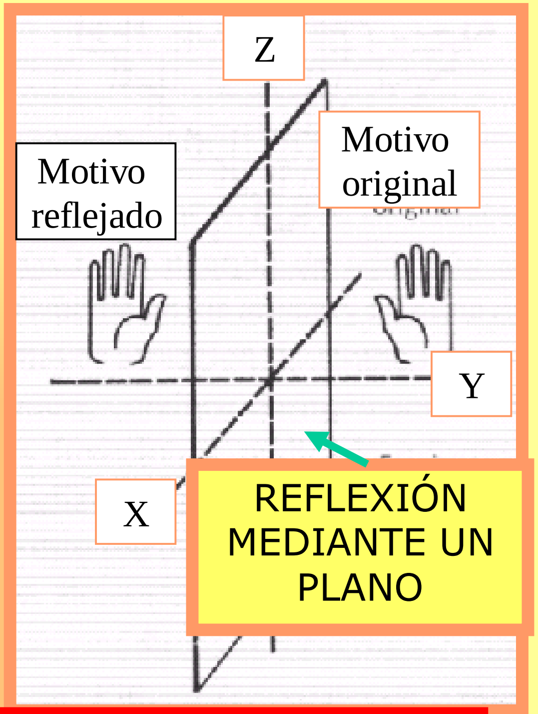
ELEMENTOS DE SIMETRÍA DE LOS 32 GRUPOS PUNTUALES

ROTACIÓN ALREDEDOR DE UN EJE =

REPETICIÓN DEL MOTIVO POR ROTACIÓN

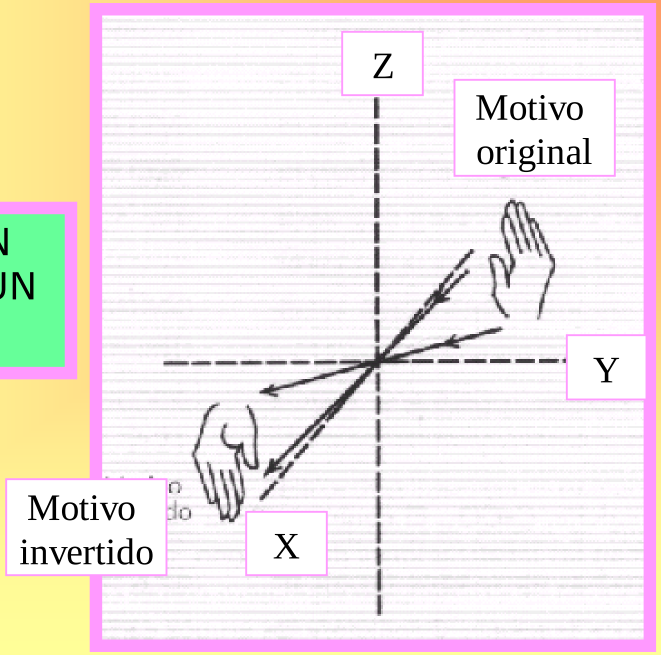






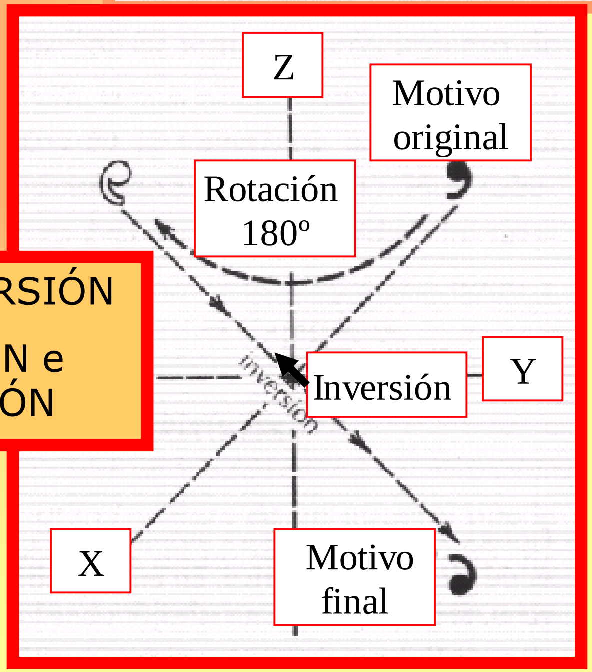
REFLEXIÓN MEDIANTE UN PLANO

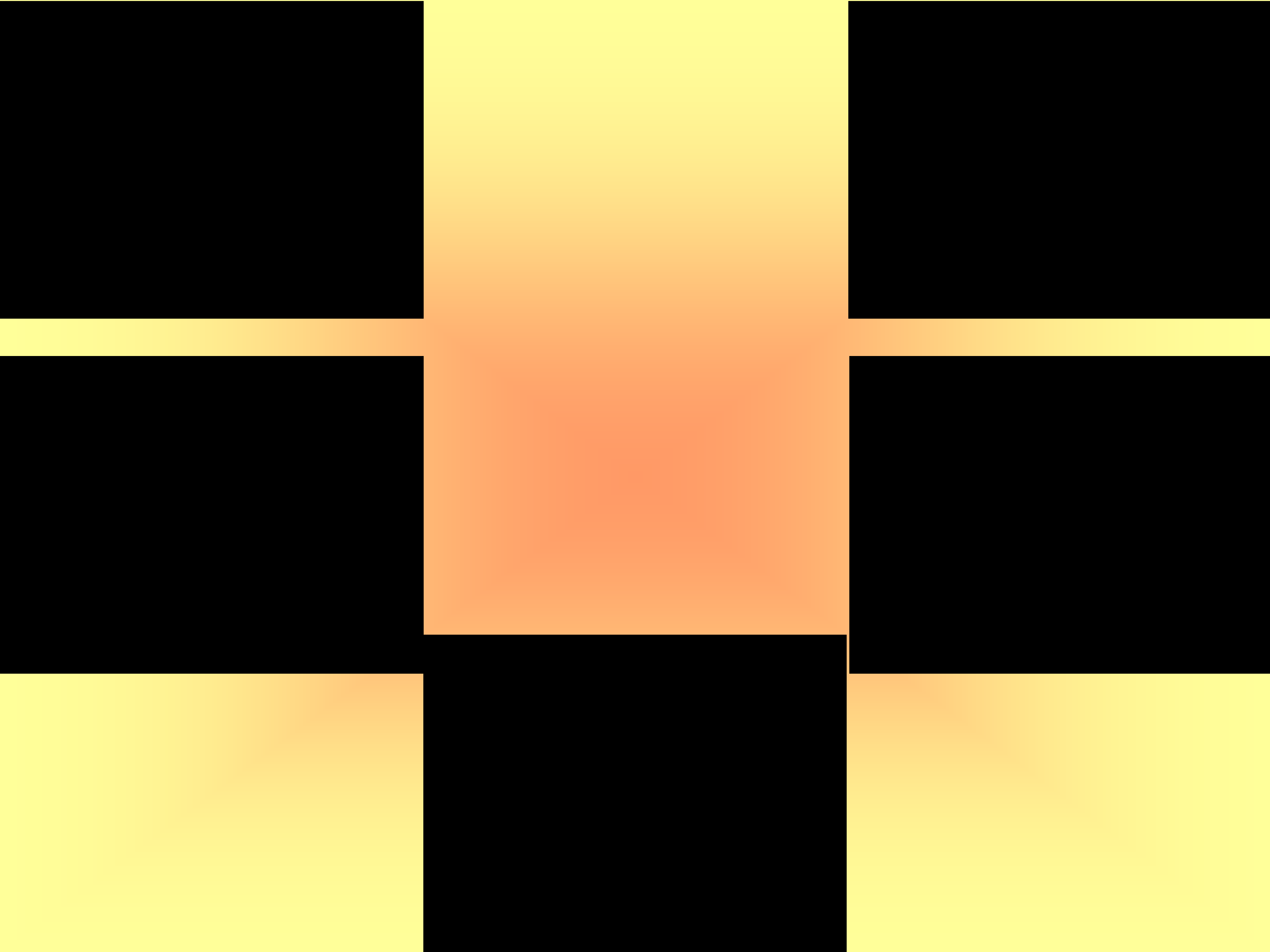
INVERSIÓN MEDIANTE UN CENTRO

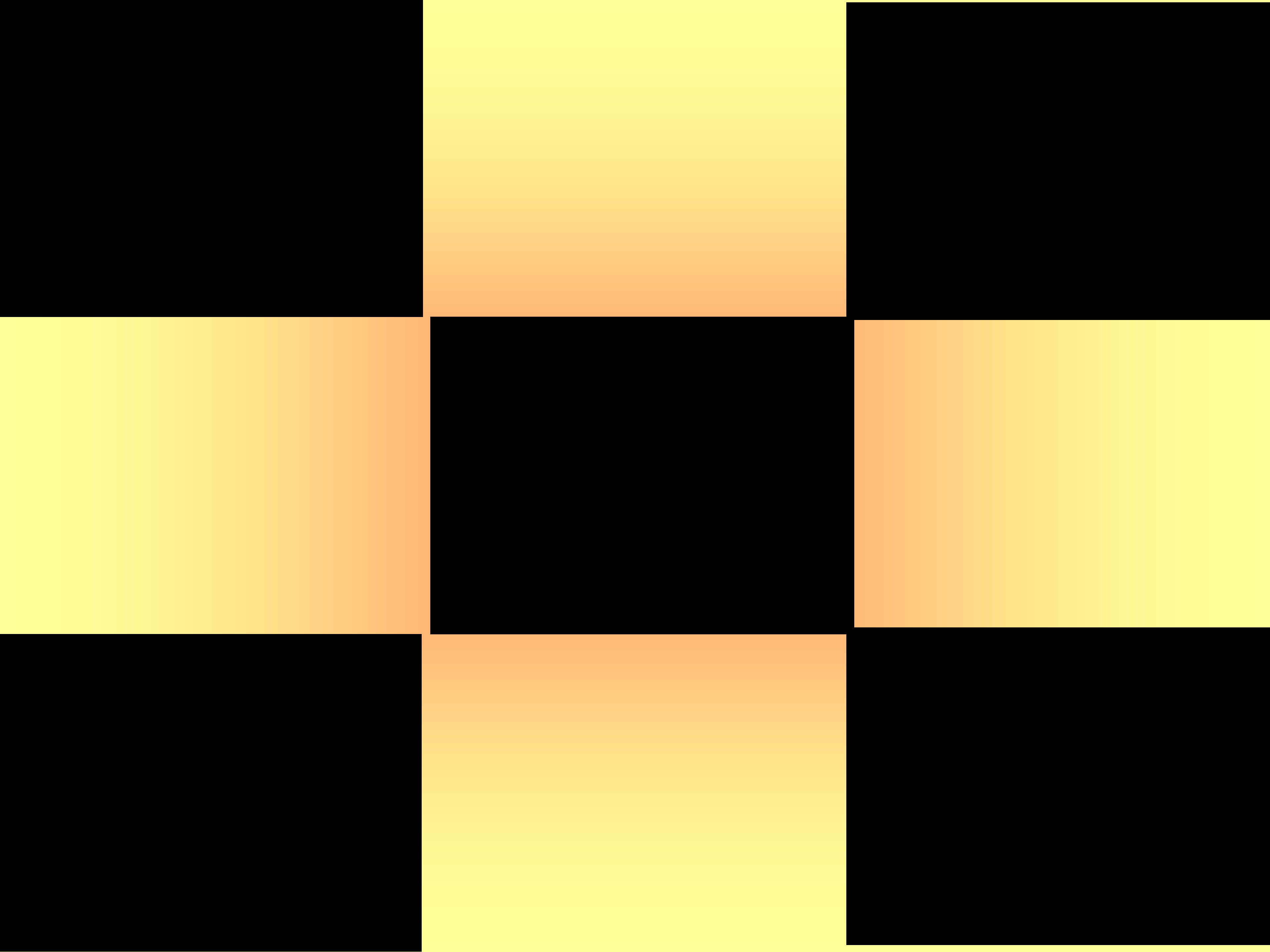


GIRO+INVERSIÓN

ROTACIÓN e INVERSIÓN







Notación

Centro de simetría i

Plano de simetría m

Eje de giro 1, 2, 3, 4, 6

Giro/Inversión $\bar{3}$, $\bar{4}$

$\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{6}$???

DEDUCCIÓN DE LAS 32 CLASES DE SIMETRÍA o 32 GRUPOS DE PUNTOS

Sistema cristalino	Clase cristalina	Nº	Nombre	Contenido de la simetría
Triclínico	1	1	Pedial	Ninguno
	$\bar{1}$	2	Pinacoidal	i
Monoclínico:	2	3	Esfenoídica	$1E_2$
	m	4	Domática	1m
	2/m	5	Prismática	i, E_2, 1m
Ortorrómbico:	222	6	Rómbica biesfenoídica	$3E_2$
	mm2	7	Rómbica piramidal	$1E_2$, 2m
	2/m2/m 2/m	8	Rómbica bipiramidal	i, $3E_2$, 3m
Tetragonal:	4	9	Tetragonal piramidal	$1E_4$
	$\bar{4}$	10	Tetragonal biesfenoídica	$1E_{\bar{4}}$
	4/m	11	Tetragonal bipiramidal	i, $1E_4$, 1m
	422	12	Tetragonal trapezoédrica	$1E_4$, $4E_2$
	4mm	13	Ditetragonal piramidal	$1E_4$, 4m
	$\bar{4}$2m	14	Tetragonal escalenoédrica	$1E_{\bar{4}}$, $2E_2$, 2m
	4/m 2/m 2/m	15	Ditetragonal bipiramidal	i, $1E_4$, $4E_2$, 5m
Hexagonal: División Romboédrica:	3	16	Trigonal piramidal	$1E_3$
	$\bar{3}$	17	Romboédrica	$1E_{\bar{3}}$
	32	18	Trigonal trapezoédrica	$1E_3$, $3E_2$
	3m	19	Ditrigonal piramidal	$1E_3$, 3m
	$\bar{3}$ 2/m	20	Ditrigonal Escalenoédrica	$1E_{\bar{3}}$, $3E_2$, 3m
Hexagonal: División Hexagonal:	6	21	Hexagonal piramidal	$1E_6$
	$\bar{6}$	22	Trigonal bipiramidal	$1E_{\bar{6}}$
	6/m	23	Hexagonal bipiramidal	i, $1E_6$, m
	622	24	Hexagonal trapezoédrica	$1E_6$, $6E_2$
	6mm	25	Dihexagonal piramidal	$1E_6$, 6m
	$\bar{6}$m2	26	Ditrigonal bipiramidal	$1E_{\bar{6}}$, $3E_2$, 3m
	6/m 2/m 2/m	27	Dihexagonal bipiramidal	i, $1E_6$, $6E_2$, 7m
Cúbico o Isométrico:	23	28	Tetartoédrica	$3E_2$, $4E_3$
	2/m $\bar{3}$	29	Diploédrica	i, $3E_2$, $4E_{\bar{3}}$, 3m
	432	30	Giroédrica	$3E_4$, $4E_3$, $6E_2$
	$\bar{4}$ 3m	31	Hexatetraédrica	$3E_4$, $4E_3$, 6m
	4/m $\bar{3}$ 2/m	32	Hexaoctaédrica	i, $3E_4$, $4E_{\bar{3}}$, $6E_2$, 9m

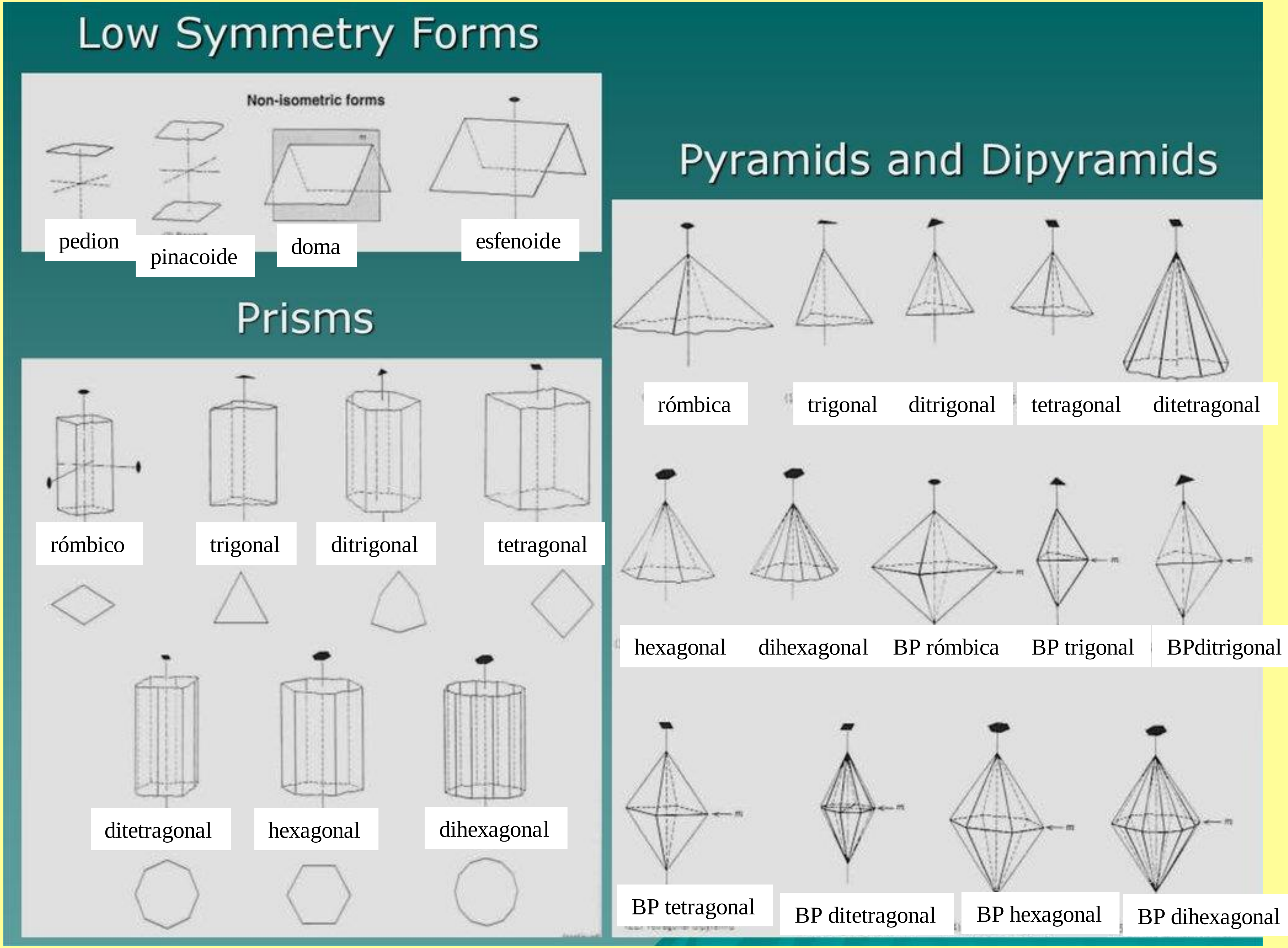
OBTENIDO POR COMBINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPATIBLES CON TRASLACIONES PERIÓDICAS

Formas cristalográficas

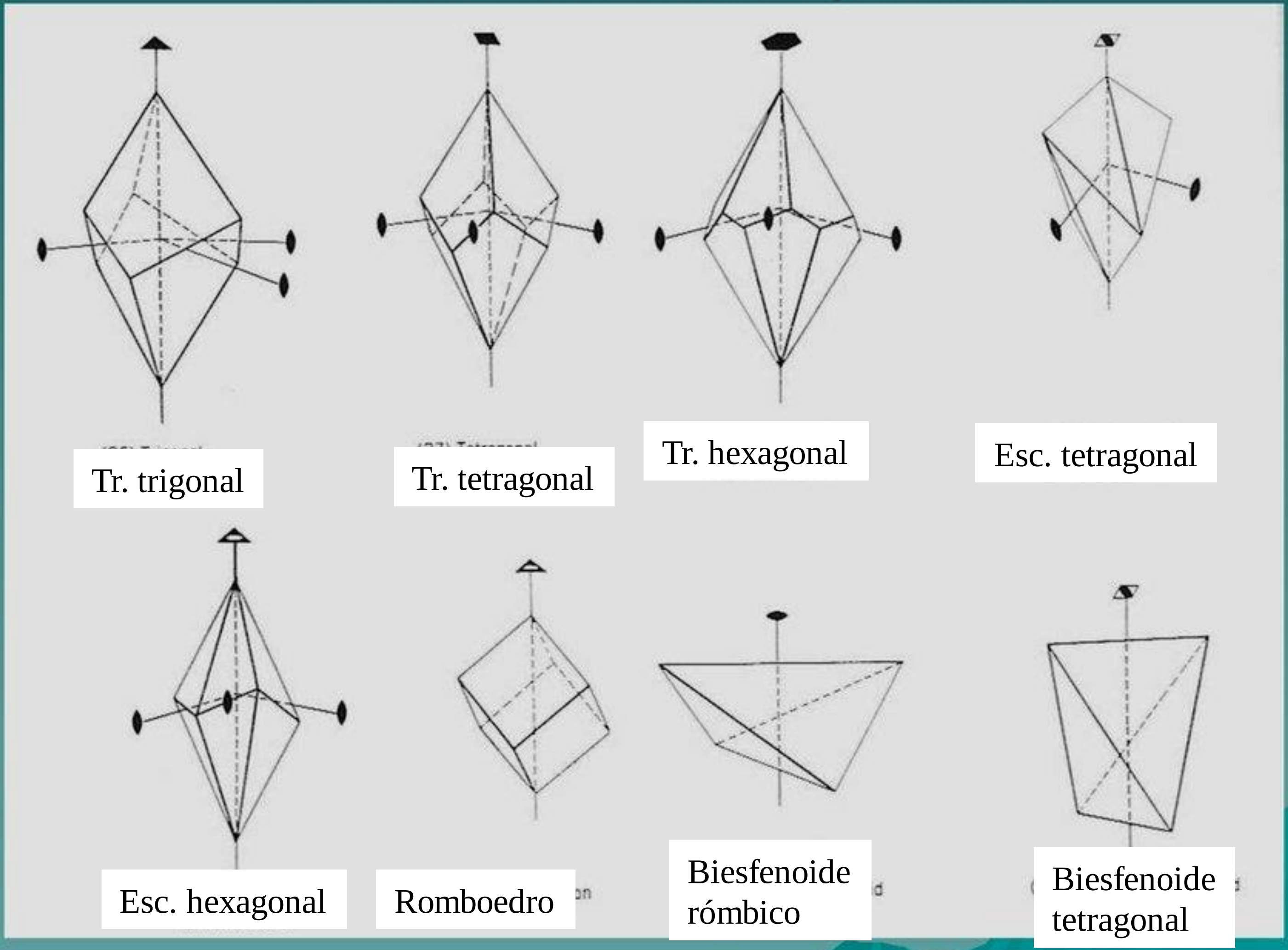
Refiere a un grupo de caras que presentan igual relación con los elementos de simetría. Sobre caras semejantes, los cristales de una misma especie mineral presentan idénticas propiedades físicas y químicas: reflejo del ordenamiento atómico interno.

La combinación completa de caras que resulta en la morfología externa de un cristal se denomina “hábito”.

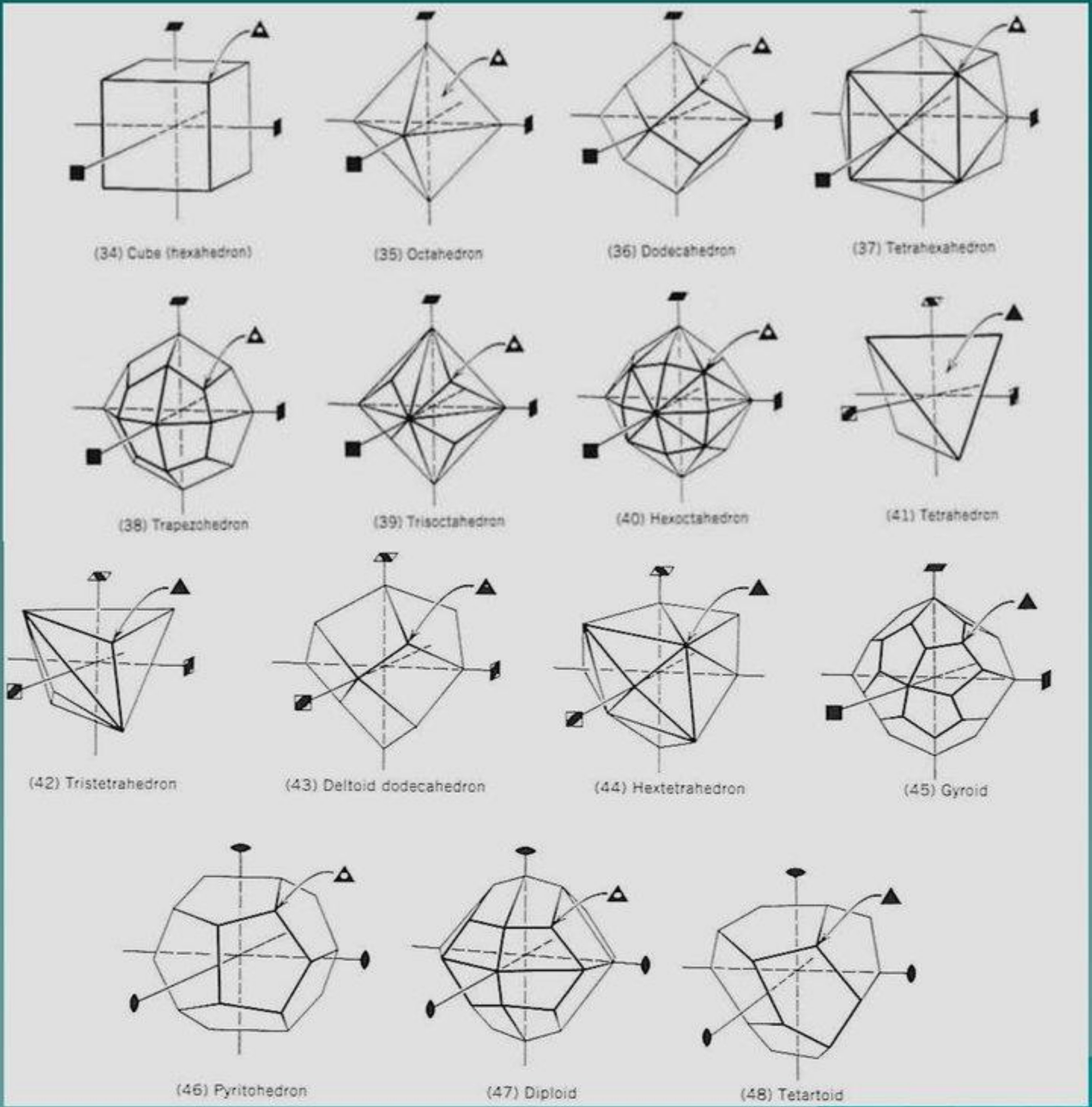
Las diversas formas



Trapezoedro, escalenoedro, romboedro y biesfenoides

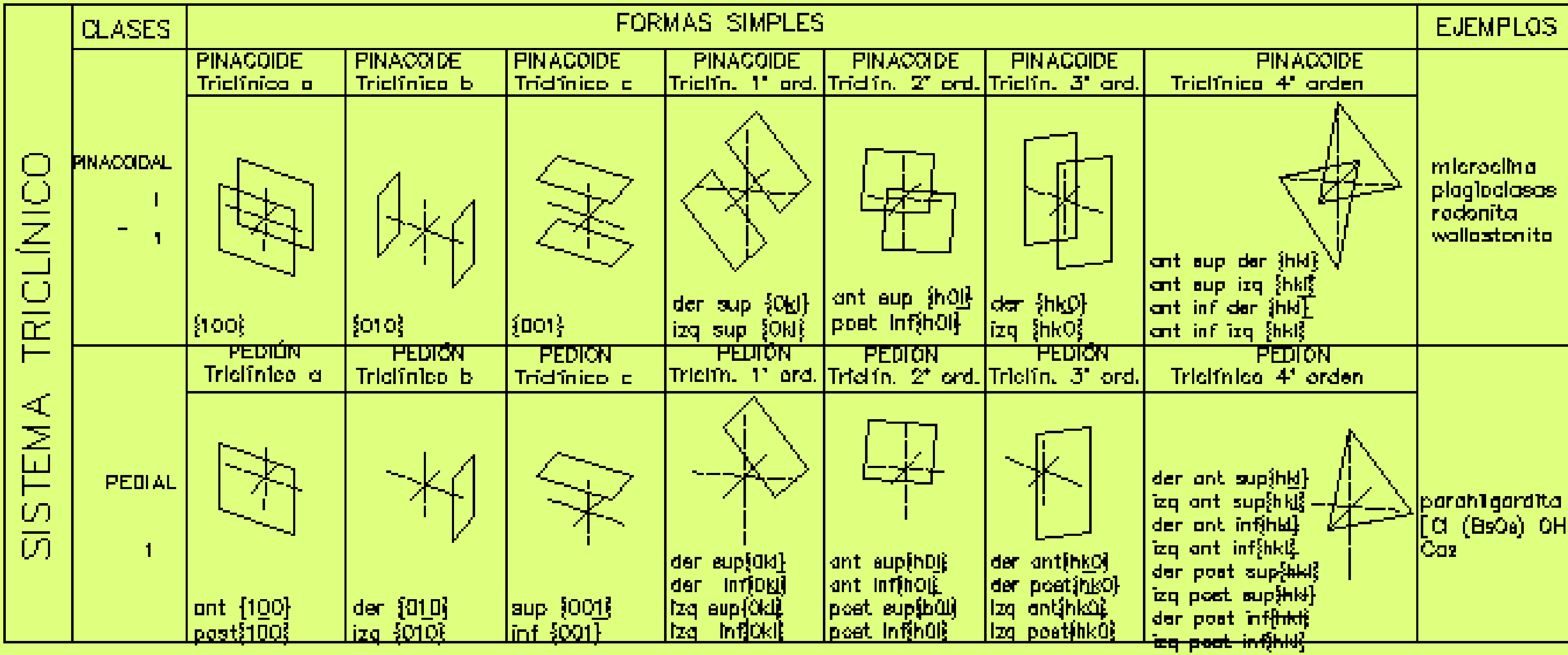


Formas isométricas



LA COMBINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPATIBLES CON TRASLACIONES PERIÓDICAS

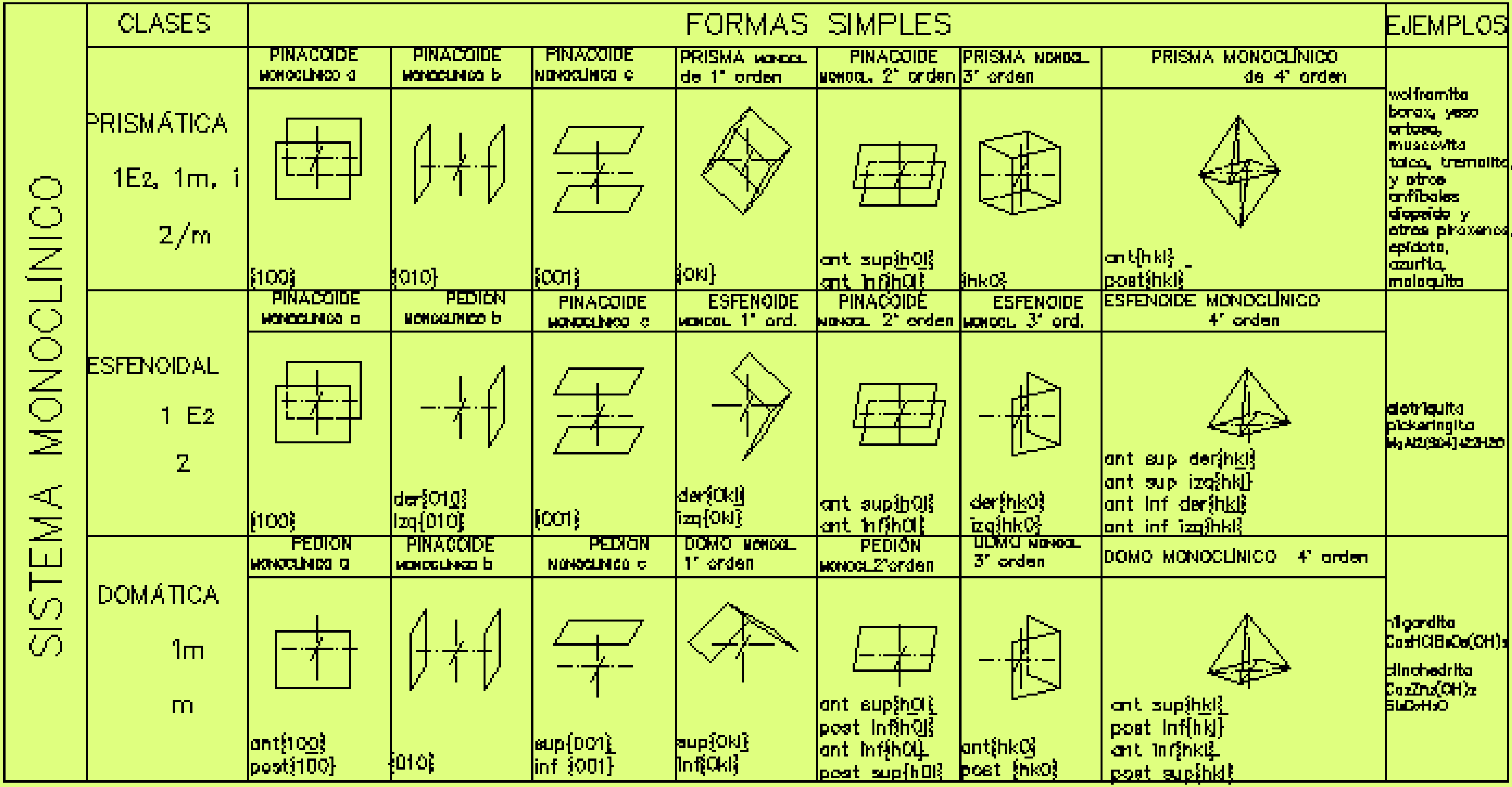
DEDUCCIÓN DE LOS 32 GRUPOS PUNTOS O CLASES DE SIMETRÍA



SISTEMA TRICLÍNICO	CLASES	FORMAS SIMPLES							EJEMPLOS
		PINACOIDE Triclínico a	PINACOIDE Triclínico b	PINACOIDE Triclínico c	PINACOIDE Triclín. 1° ord.	PINACOIDE Triclín. 2° ord.	PINACOIDE Triclín. 3° ord.	PINACOIDE Triclínico 4° orden	
	PINACOIDAL $\bar{1}$	{100}	{010}	{001}	der sup {0kl} izq sup {0kl}	ant sup {h0l} post inf{h0l}	der {hk0} izq {hk0}	ant sup der {hkl} ant sup izq {hkl} ant inf der {hkl} ant inf izq {hkl}	microclina plagioclasas rodonita wollastonita
		PEDIÓN Triclínico a	PEDIÓN Triclínico b	PEDIÓN Triclínico c	PEDIÓN Triclín. 1° ord.	PEDIÓN Triclín. 2° ord.	PEDIÓN Triclín. 3° ord.	PEDIÓN Triclínico 4° orden	
	PEDIAL 1	ant {100} post{100}	der {010} izq {010}	sup {001} inf {001}	der sup{0kl} der inf{0kl} izq sup{0kl} izq inf{0kl}	ant sup{h0l} ant inf{h0l} post sup{h0l} post inf{h0l}	der ant{hk0} der post{hk0} izq ant{hk0} izq post{hk0}	der ant sup{hkl} izq ant sup{hkl} der ant inf{hkl} izq ant inf{hkl} der post sup{hkl} izq post sup{hkl} der post inf{hkl} izq post inf{hkl}	parahilgardita [Cl (B_9O_8) OH_2] Ca_2

SISTEMA TRICLÍNICO: GRUPOS PUNTOS → 1 y $\bar{1}$

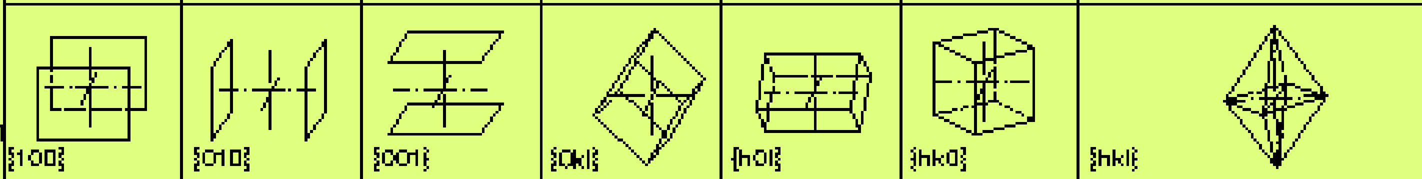
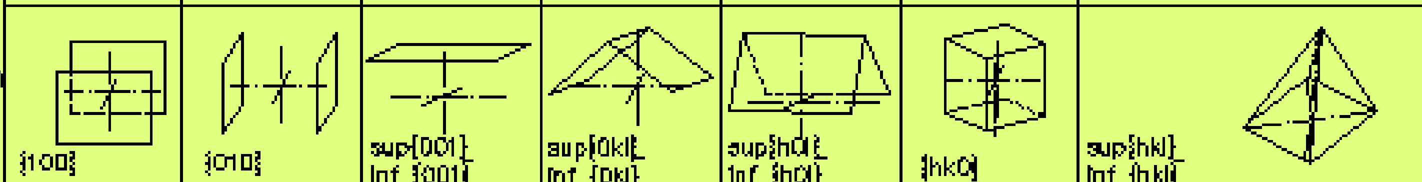
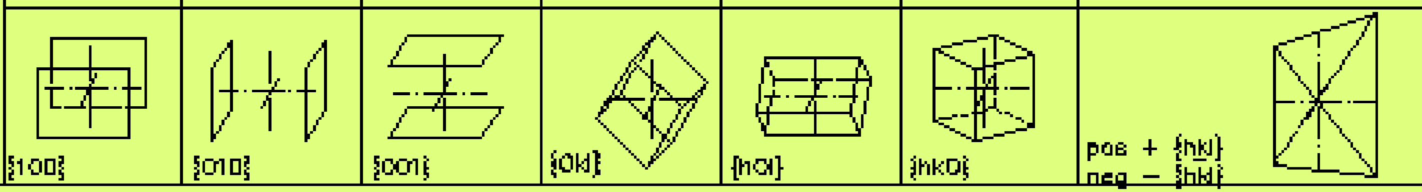
LA COMBINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPATIBLES CON TRASLACIONES PERIÓDICAS



SISTEMA	CLASES	FORMAS SIMPLES							EJEMPLOS
SISTEMA MONOCLÍNICO		PINACOIDE MONOCLÍNICO a	PINACOIDE MONOCLÍNICO b	PINACOIDE MONOCLÍNICO c	PRISMA MONOCL. de 1° orden	PINACOIDE MONOCL. 2° orden	PRISMA MONOCL. 3° orden	PRISMA MONOCLÍNICO de 4° orden	
	PRISMÁTICA 1E2, 1m, i 2/m	{100}	{010}	{001}	{0kl}	ant sup{h0l} ant inf{h0l}	{hk0}	ant{hkl} post{hkl}	wolframita borax, yeso ortosa, muscovita talco, tremolita, y otros anfíboles diopsido y otros piroxenos, epidota, azurita, maloquita
		PINACOIDE MONOCLÍNICO a	PEDIÓN MONOCLÍNICO b	PINACOIDE MONOCLÍNICO c	ESFENOIDE MONOCL. 1° ord.	PINACOIDE MONOCL. 2° orden	ESFENOIDE MONOCL. 3° ord.	ESFENOIDE MONOCLÍNICO 4° orden	
	ESFENOIDAL 1 E2 2	{100}	der{010} izq{010}	{001}	der{0kl} izq{0kl}	ant sup{h0l} ant inf{h0l}	der{hk0} izq{hk0}	ant sup der{hkl} ant sup izq{hkl} ant inf der{hkl} ant inf izq{hkl}	alotriquita pickeringita $MgAl_2(SO_4)_4 22H_2O$
		PEDIÓN MONOCLÍNICO a	PINACOIDE MONOCLÍNICO b	PEDIÓN MONOCLÍNICO c	DOMO MONOCL. 1° orden	PEDIÓN MONOCL. 2° orden	DOMO MONOCL. 3° orden	DOMO MONOCLÍNICO 4° orden	
	DOMÁTICA 1m m	ant{100} post{100}	{010}	sup{001} inf {001}	sup{0kl} inf{0kl}	ant sup{h0l} post inf{h0l} ant inf{h0l} post sup{h0l}	ant{hk0} post {hk0}	ant sup{hkl} post inf{hkl} ant inf{hkl} post sup{hkl}	hilgardita $Ca_2HClB_5O_8(OH)_2$ clinohedrita $Ca_2Zn_2(OH)_2 Si_2O_7H_2O$

SISTEMA MONOCLÍNICO: GRUPOS PUNTOS → **(2/m) (2) (m)**

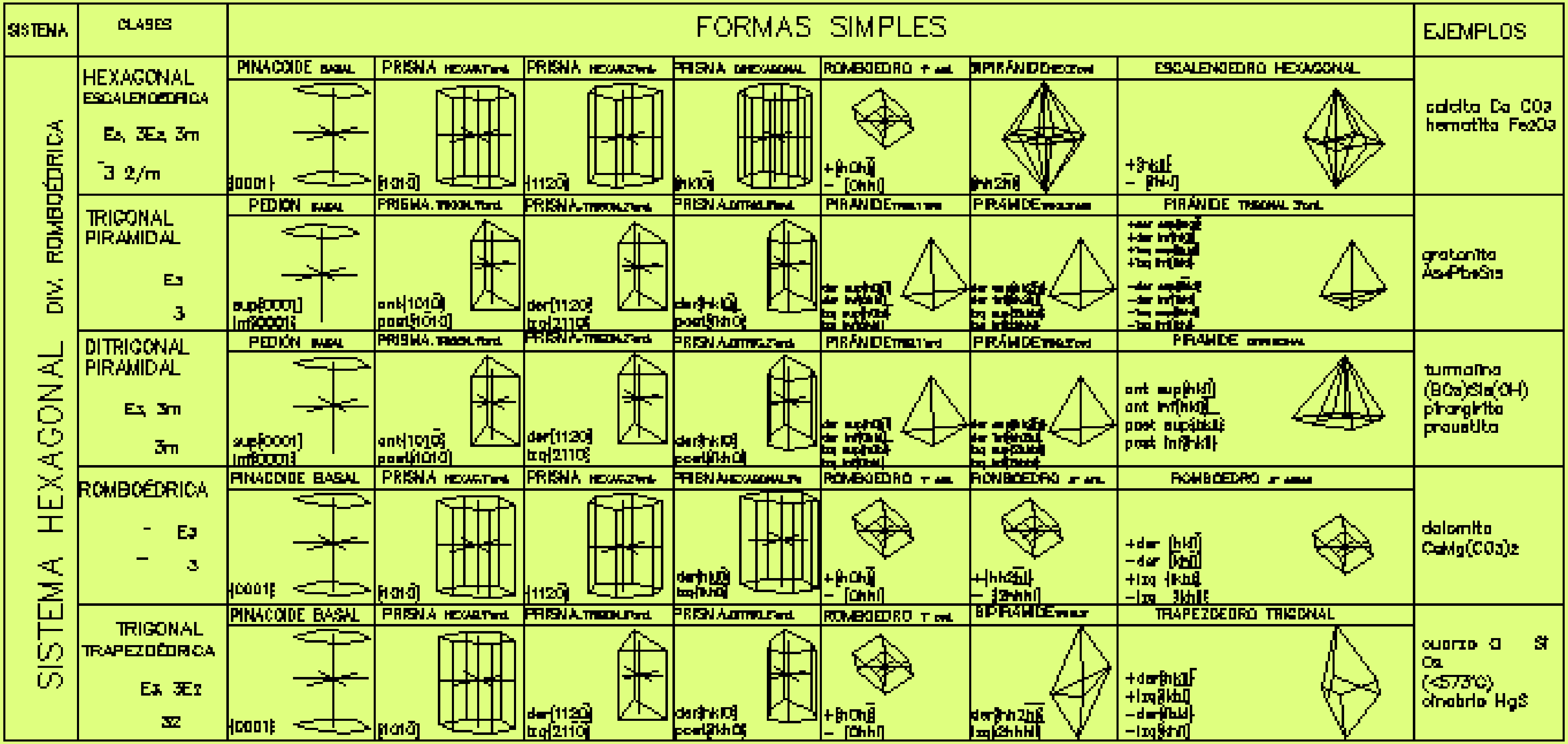
LA COMBINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPATIBLES CON TRASLACIONES PERIÓDICAS

SISTEMA ORTORRÓMBICO	CLASES	FORMAS SIMPLES							EJEMPLOS
	RÓMBICA BIPIRAMIDAL 3E2, 3m, i 2/m2/m2/m	PINACOIDE RÓMBICO a {100}	PINACOIDE RÓMBICO b {010}	PINACOIDE RÓMBICO c {001}	PRISMA RÓMBICO 1°ord. {0kl}	PRISMA RÓMBICO 2°ord. {h0l}	PRISMA RÓMBICO 3°ord. {hk0}	BIPIRÁMIDE RÓMBICA {hkl}	azufre estaurolita topacio anglesita baritina celestina broquita andalucita antofilita aragonita marcasita olivino
									
	RÓMBICA PIRAMIDAL 1 E2, 2m mm2	PINACOIDE RÓMBICO a {100}	PINACOIDE RÓMBICO b {010}	PEDIÓN RÓMBICO c sup{001} inf {001̄}	DOMO RÓMBICO 1° orden sup{0kl} inf {0kl̄}	DOMO RÓMBICO 2° orden sup{h0l} inf {h0l̄}	PRISMA RÓMBICO 3°ord. {hk0}	PIRÁMIDE RÓMBICA sup{hkl} inf {hkl̄}	silimanita antimonita hemimorfita $Zn_4Si_2O_7(OH)_2$ H_2O bertrandita $Be_4Si_2O_7(OH)_2$
									
	RÓMBICA BIESFENO-IDICA 3E2 222	PINACOIDE RÓMBICO a {100}	PINACOIDE RÓMBICO b {010}	PINACOIDE RÓMBICO c {001}	PRISMA RÓMBICO 1°ord. {0kl}	PRISMA RÓMBICO 2°ord. {h0l}	PRISMA RÓMBICO 3°ord. {hk0}	BIESFENOIDE RÓMBICO pos + {hkl} neg − {hkl̄}	epsomita $MgSO_4 7H_2O$ olivenita $Cu_2AsO_4(OH)$
									

SISTEMA ORTORRÓMBICO: **(Símbolos de Herman y Mauguin)**

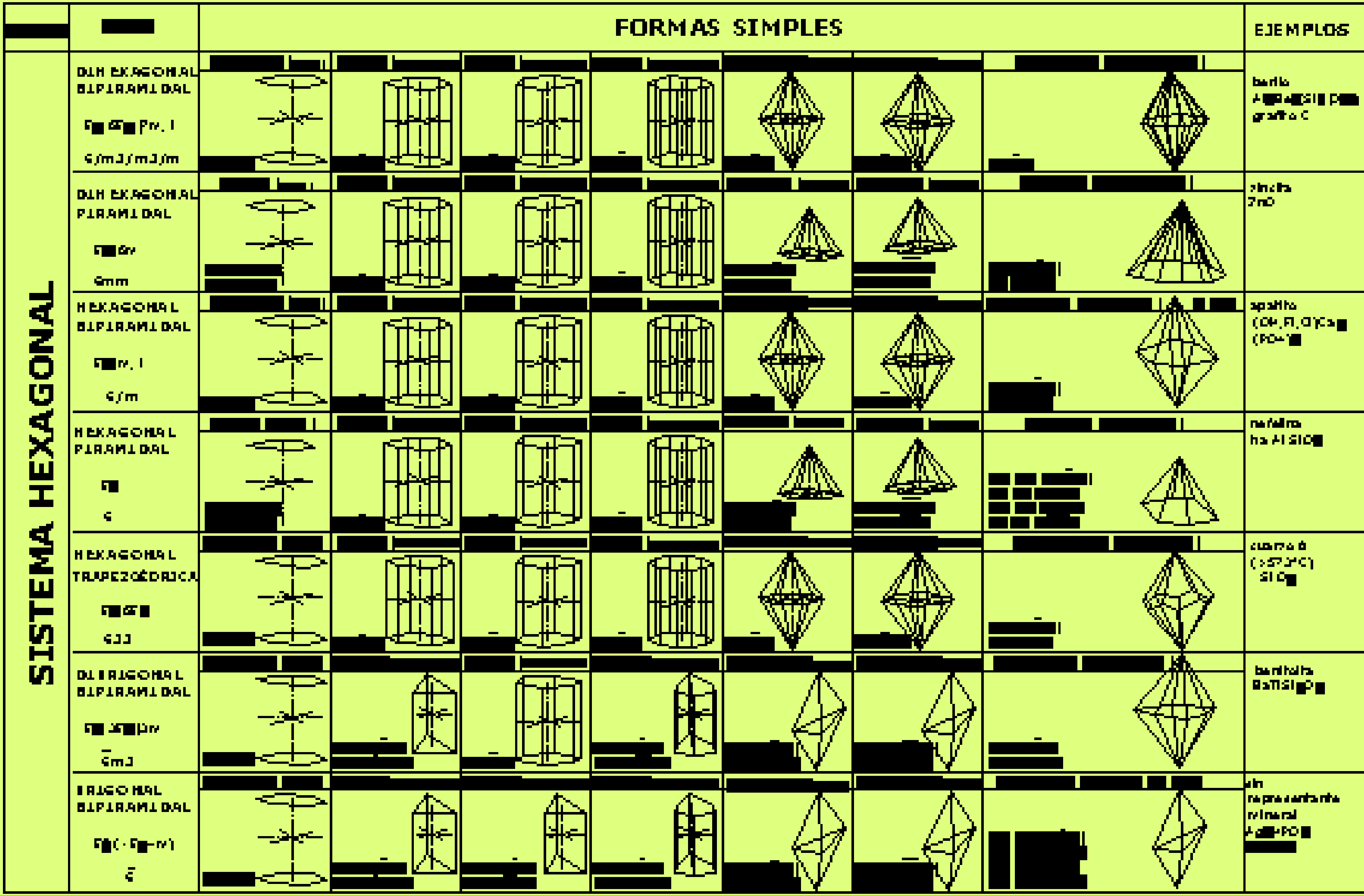
GRUPOS PUNTOS → **(2/m2/m2/m)** **(mm2)** **(222)**

LA COMBINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPATIBLES CON TRASLACIONES PERIÓDICAS



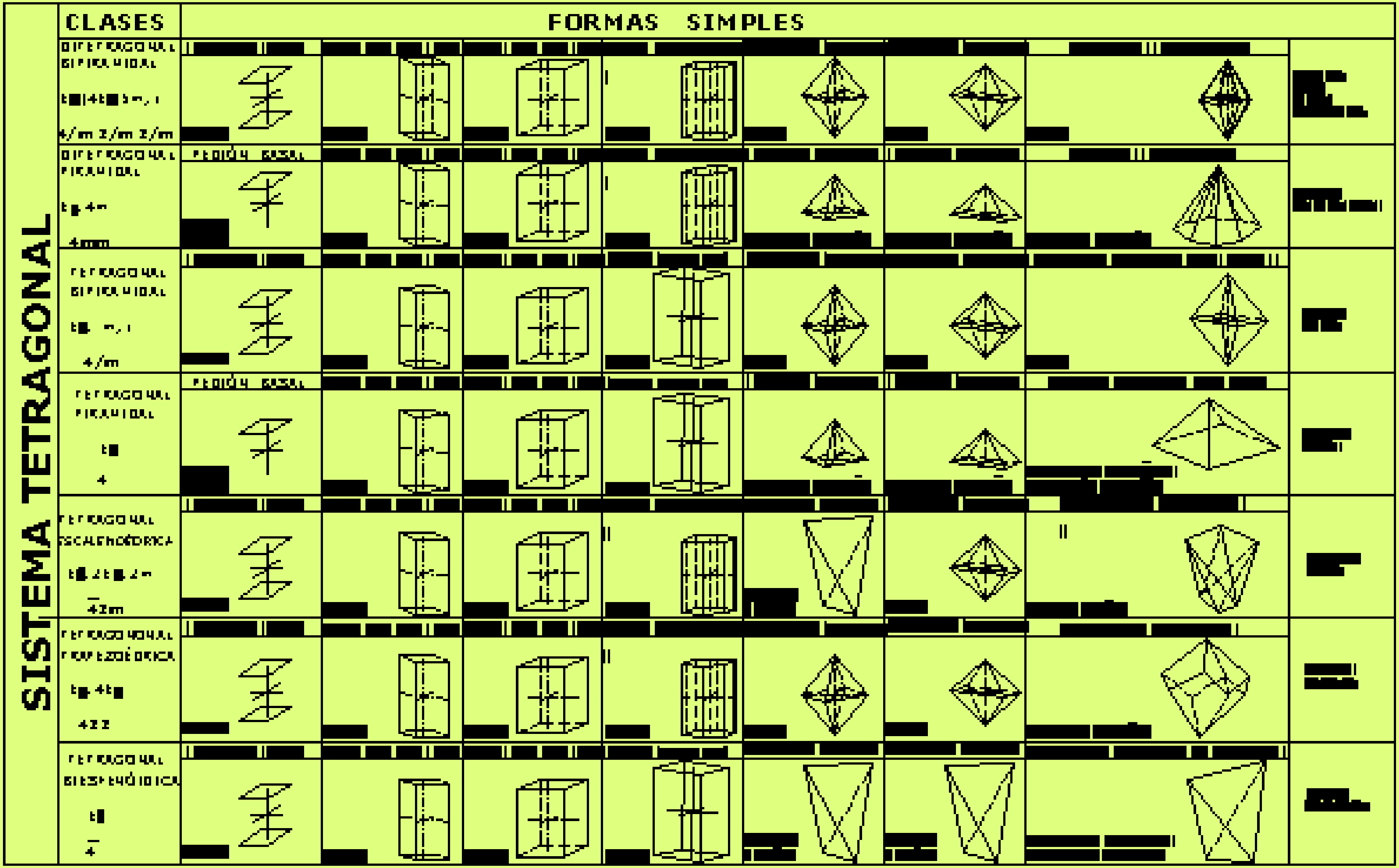
SISTEMA HEXAGONAL - DIV. ROMBOÉDRICA: (Símbolos de Herman y Mauguin)

GRUPOS PUNTOS → **($\bar{3}$2/m) (3) (3m) ($\bar{3}$) (32)**



SISTEMA HEXAGONAL - DIV. HEXAGONAL: (Símbolos de Hermann Maugin)

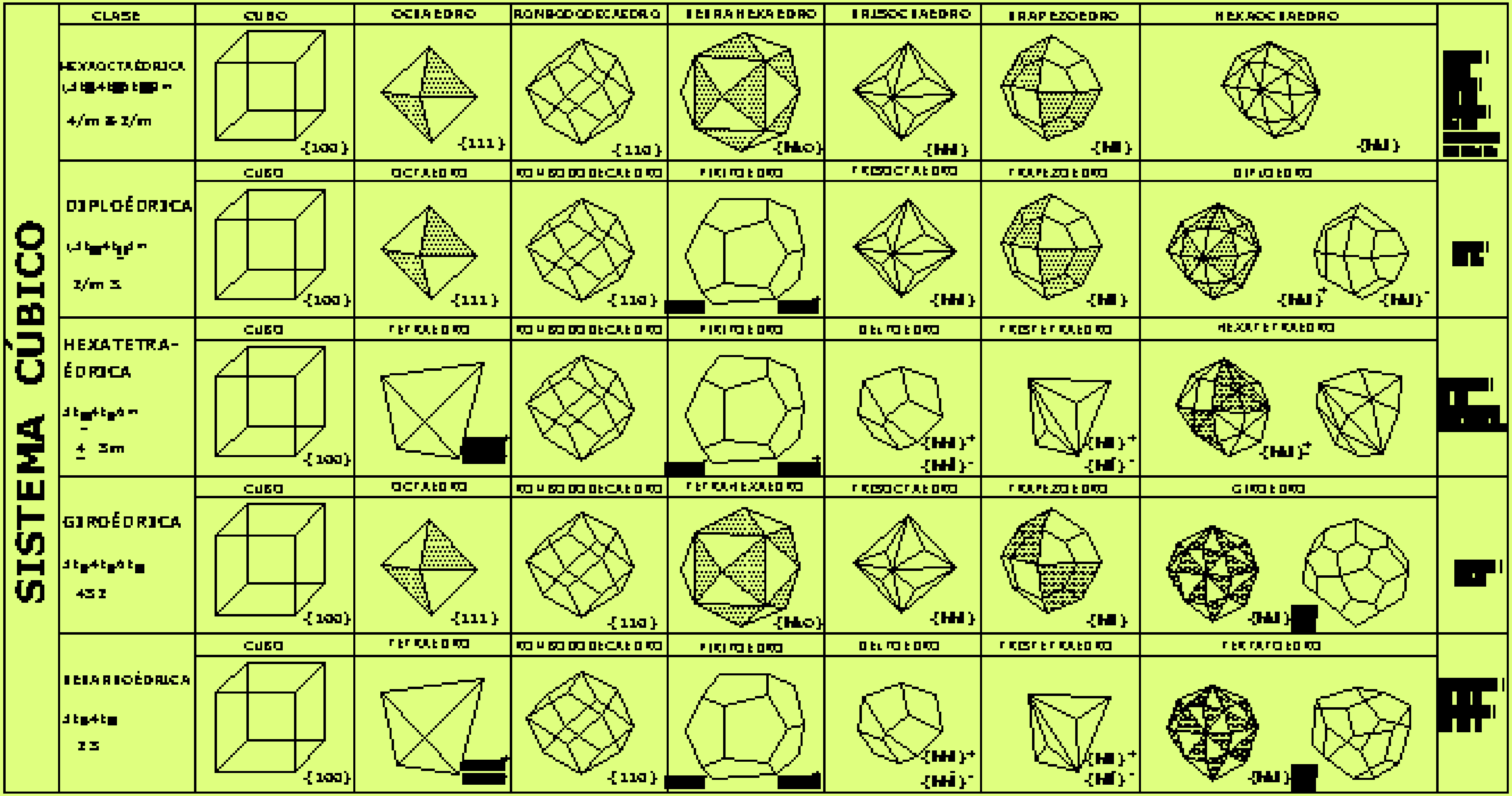
GRUPOS PUNTOS: (6/m2/m2/m) (6mm) (6/m) (6) (622) ($\bar{6}$m2) ($\bar{6}$)



SISTEMA TETRAGONAL: **Símbolos de Hermann Mauguin**

GRUPOS PUNTO → (4/m2/m2/m)(4mm)(4/m)(4)($\bar{4}$2m)(422)($\bar{4}$)

LA COMBINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SIMETRÍA COMPATIBLES CON TRASLACIONES PERIÓDICAS



SISTEMA CÚBICO: **(Símbolos de Herman y Mauguin)**

GRUPOS PUNTOS: (4/m $\bar{3}$ 2/m) (2/m $\bar{3}$)($\bar{4}$3m) (432)(23)

LOS SISTEMAS CRISTALINOS

Agrupando las distintas formas por su simetría y refiriéndolas a diferentes configuraciones de ejes de referencia surgen los 6 sistemas cristalinos (para algunos autores son 7, OJO!)

Ejes cristalográficos

Son líneas imaginarias definidas por la simetría de cada clase. Se usan para ubicar espacialmente la cara de un cristal y determinar su posición e inclinación angular.

$a \neq b \neq c \,/\, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90º$ Triclínico

$a \neq b \neq c \,/\, \alpha = \gamma = 90º \neq \beta > 90º$ Monoclínico

$a \neq b \neq c \,/\, \alpha = \beta = \gamma = 90º$ Ortorrómbico

$a_1 = a_2 = a_3 \neq c \,/\, \gamma = 90º \neq \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 120º$ Hexagonal

$a_1 = a_2 \neq c \,/\, \alpha = \beta = \gamma = 90º$ Tetragonal

$a_1 = a_2 = a_3 \,/\, \alpha = \beta = \gamma = 90º$ Cúbico

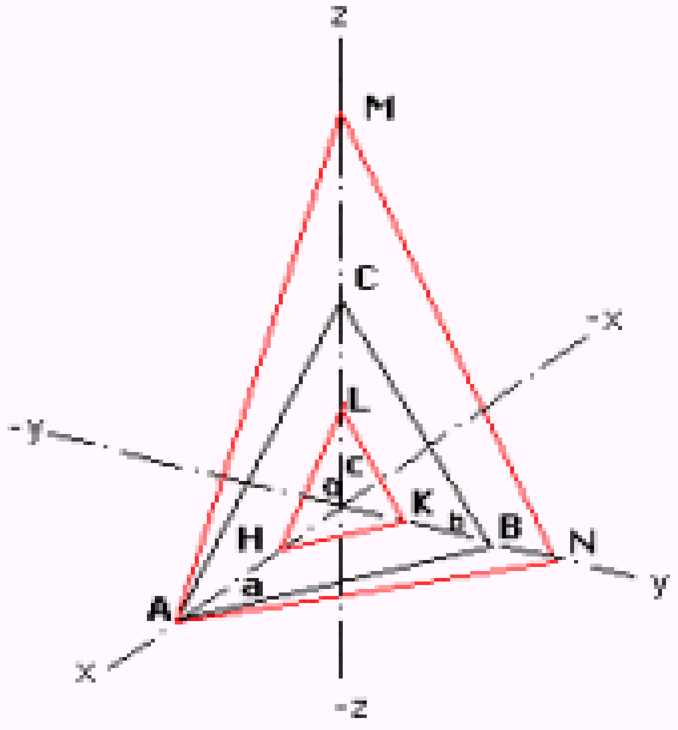
Cruz axial: Se llama así al conjunto de relaciones angulares y de longitud que guardan entre sí los ejes cristalográficos en los distintos sistemas.

α: entre b y c

β: entre a y c

γ: entre a y b

PARÁMETROS: Los parámetros de una cara consisten en una serie de valores numéricos que expresan las distancias a las que esta cara (o su prolongación) corta a los ejes cristalográficos.



OX
OY
OZ
Representan a los ejes cristagráficos

OA
OB
OC
Son las unidades de medidas sobre cada uno de los ejes cristalográficos y están representados por las letras a, b y c.

ABC : 1a, 1b, 1c cara unidad
Unidad de medida de la cara

El plano ABC: 1a; 1b; 1c. El plano HKL: 1/4a; 1/3b; 1/2c. El plano ANM: 1a; 4/3b; 2c. Son los índices de Weiss

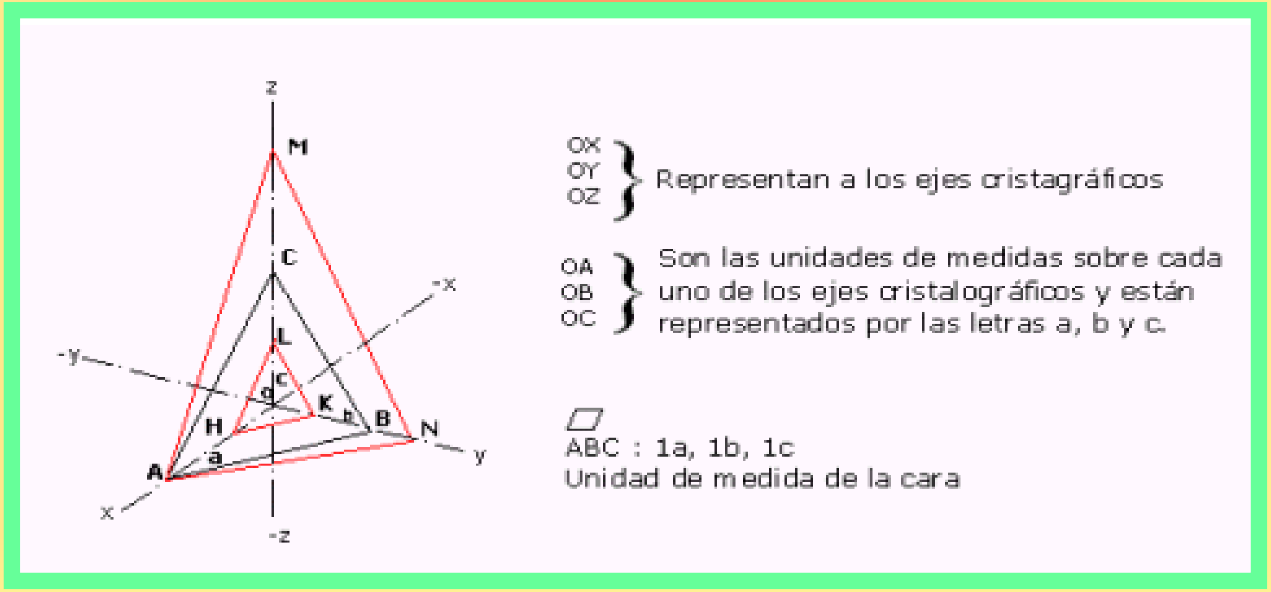
Índices de Miller

Para el cálculo cristalográfico conviene trabajar con números enteros.

Los índices de Miller se obtienen a partir de la inversa de los parámetros (o índices de Weiss) y eliminando las fracciones, si es necesario.

Por ejemplo, para el caso anterior tendremos:
HKL: 1/4a; 1/3b; 1/2c. La inversa es 4a; 3b; 2c. Que es igual a (432).
ANM: 1a; 4/3b; 2c. La inversa es 1a; 3/4b; 1/2c. Eliminando fracciones es: 4a; 3b; 2c ó (432)
Las letras que indican los distintos ejes se omiten y los índices en este caso se escriben sencillamente (432)

Si una cara es paralela a uno de los ejes lo corta en ∞
Cuál es el índice de Miller correspondiente ??



Una expresión general para índices que pertenecen a cualquier sistema de tres ejes es (h k l) y para el sistema hexagonal $(h\ k\ \bar{i}\ l)$

PARÁMETROS Y RELACIONES ANGULARES

Sistema cristalino	Cruz axial	Agrupación de simetrías
Triclínico	**a#b#c** **α#β#γ#90°**	Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Un eje de orden 1 (de inversión o de identidad)
Monoclínico:	**a#b#c** **α=γ=90°#β**	Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Un eje de orden 2 y/o un plano m.
Ortorrómbico:	**a#b#c** **α=β=γ=90°**	Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Ejes de orden 2 planos m.
Tetragonal:	**$a_1=a_2$#c** **α=β=γ=90°**	Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Un eje de orden 4
Hexagonal: División Romboédrica:	**$a_1= a_2= a_3$#c** **$\alpha_1= \alpha_2 = \alpha_3 = 120°$** **# γ=90°**	Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Un eje de orden 3 o $\bar{3}$
Hexagonal: División Hexagonal:		Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Un eje de orden 6 o $\bar{6}$
Cúbico o Isométrico:	**$a_1= a_2= a_3$** **α=β=γ=90°**	Agrupa a todas las clases de simetría que posean: Cuatro ejes de orden $\bar{3}$ con una inclinación de 54º 44' de los ejes cristalográficos

PARÁMETROS Y RELACIONES ANGULARES → 6 SISTEMAS CRISTALINOS