

# **MINERALOGÍA FÍSICA**

**POLIMORFISMO**

**ISOMORFISMO**

**MACLAS**

# POLIMORFISMO

Compuestos químicos de igual composición química que presentan diferentes estructuras cristalinas dependiendo de las condiciones de temperatura, presión y concentración de los elementos.

Las diferentes fases cristalinas de un mismo compuesto químico se llaman **FASES POLIMORFAS** y el fenómeno se conoce con el nombre de **POLIMORFISMO**

Una **transformación polimorfa**, entonces, es un cambio de fase debido a que cambian las condiciones físicas (P y T) del entorno mineral.

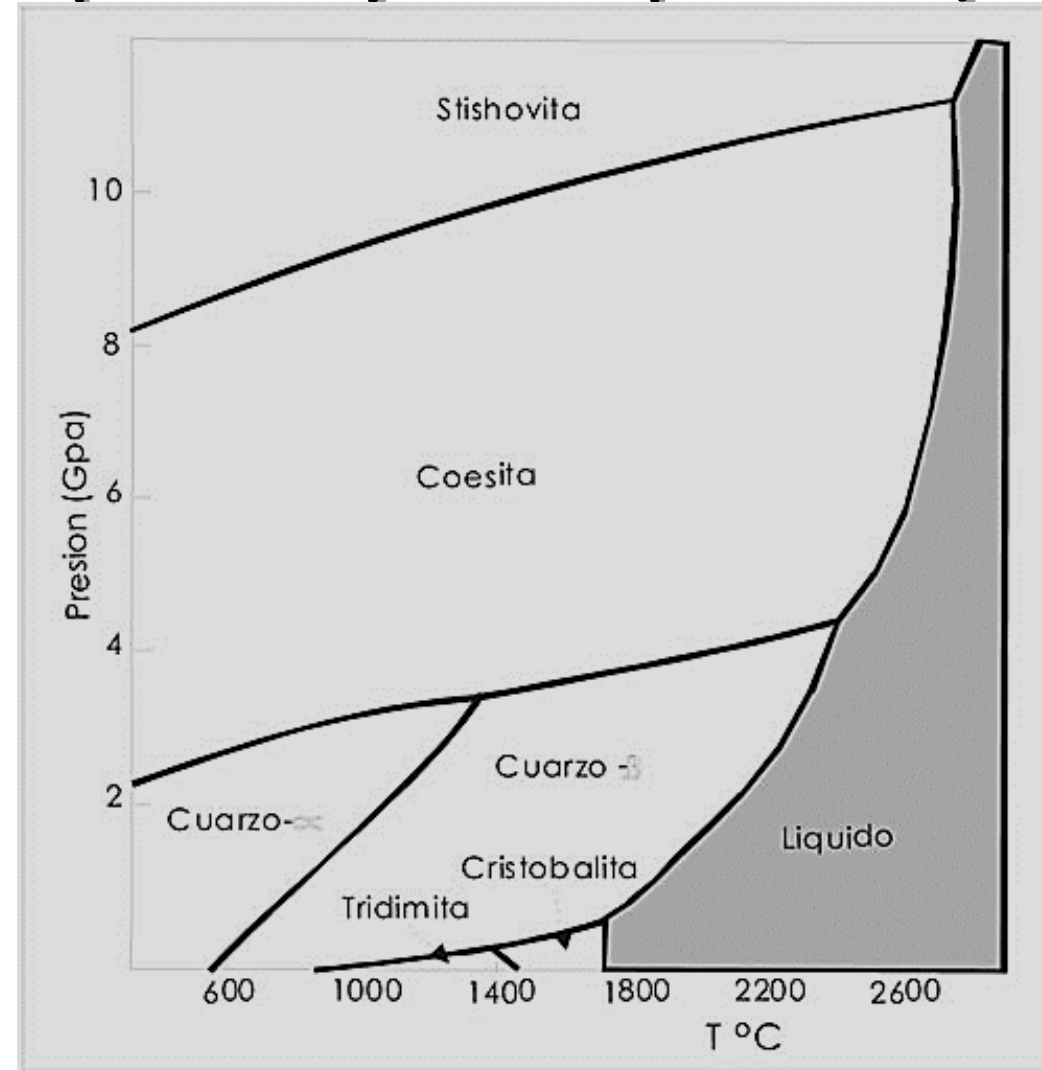
# POLIMORFISMO

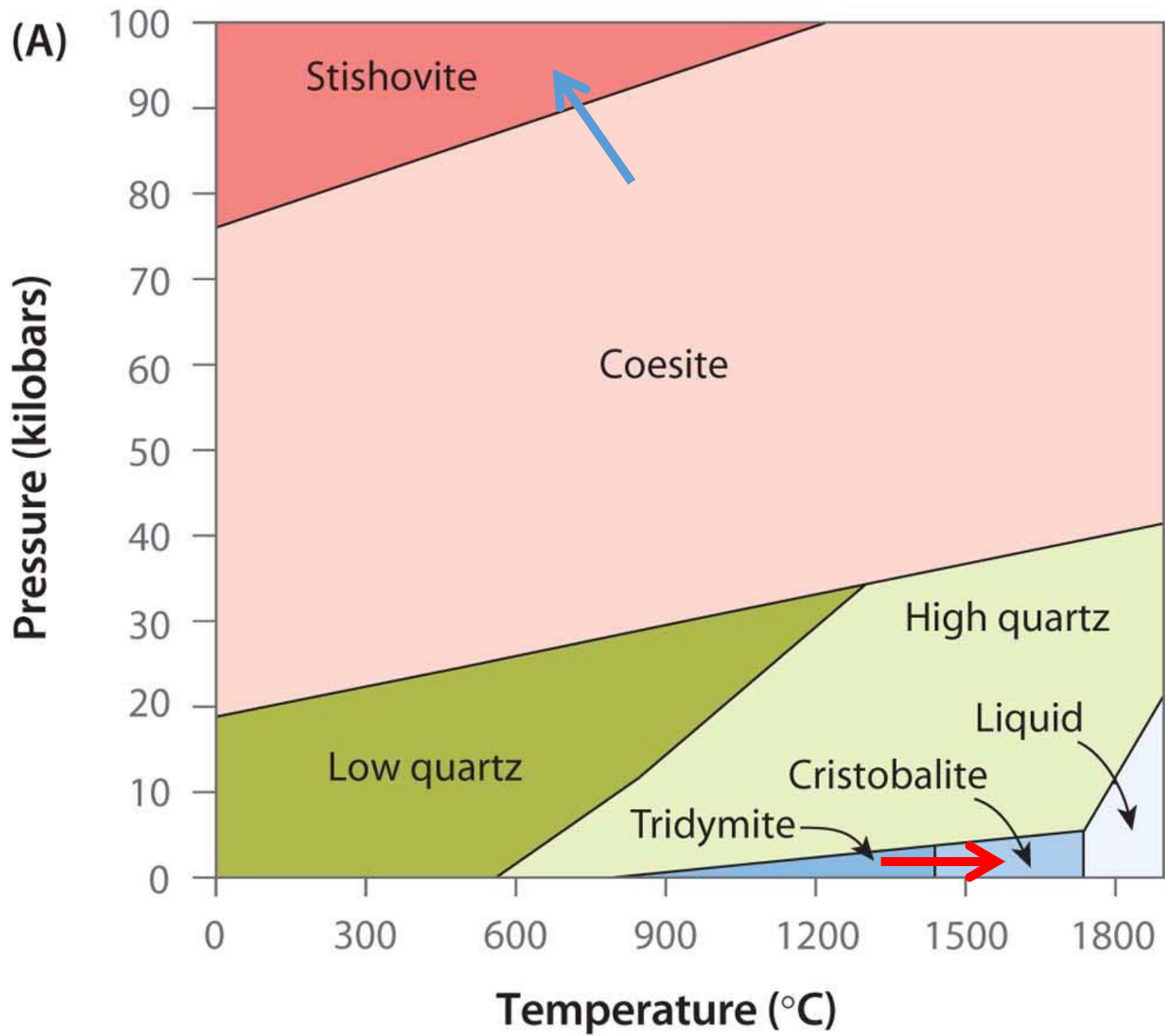
Capacidad de una sustancia química para cristalizar en más de un tipo de estructura cristalina (depende de la presión y la temperatura)

Cada estructura diferente de esta sustancia da lugar a un polimorfo que será un mineral distinto

*El compuesto  $\text{SiO}_2$  puede tener varias estructuras diferentes que serán minerales diferentes (cuarzo, tridimita, cristobalita, coesita ...)*

DIAGRAMA DE FASE DEL  $\text{SiO}_2$





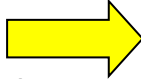
# MECANISMOS DE TRANSFORMACION POLIMÓRFICA

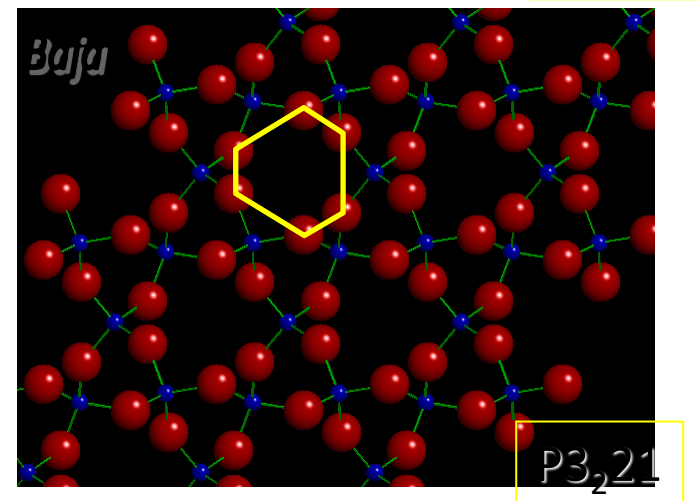
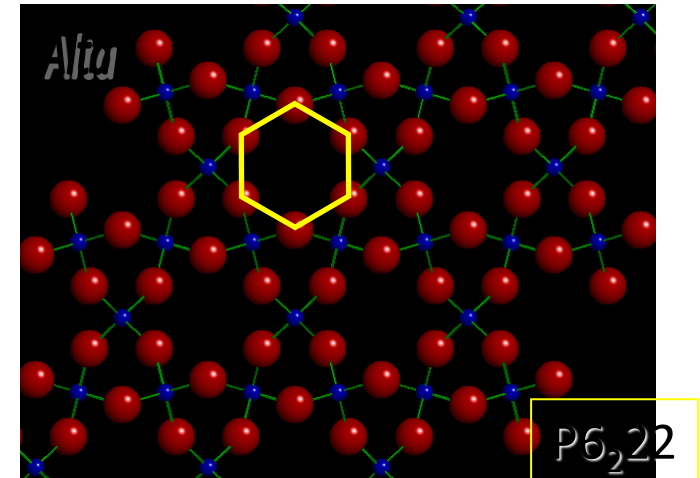
*En el cambio de una forma polimorfa a otra, hay dos tipos principales de mecanismos: **desplazamiento y reconstrucción***

## DESPLAZAMIENTO

*La transición encierra pequeños ajustes y no se producen rupturas de enlaces*

*La transición polimórfica es fácilmente reversible (baja barrera energética)*

*Cambio de cuarzo de alta a baja temperatura (573°) a presión atmosférica.  (Disminuye la simetría)*



# MECANISMOS DE TRANSFORMACION POLIMÓRFICA

## RECONSTRUCCIÓN

*La transición polimórfica encierra grandes ajustes incluyendo la ruptura y formación de nuevos enlaces.*

*Ejemplos: grafito-diamante, calcita-aragonito, sillimanita-cianita-andalucita*

*El cambio polimórfico tiene una alta barrera energética y no es fácilmente reversible*



Grafito

Carbono  
↔

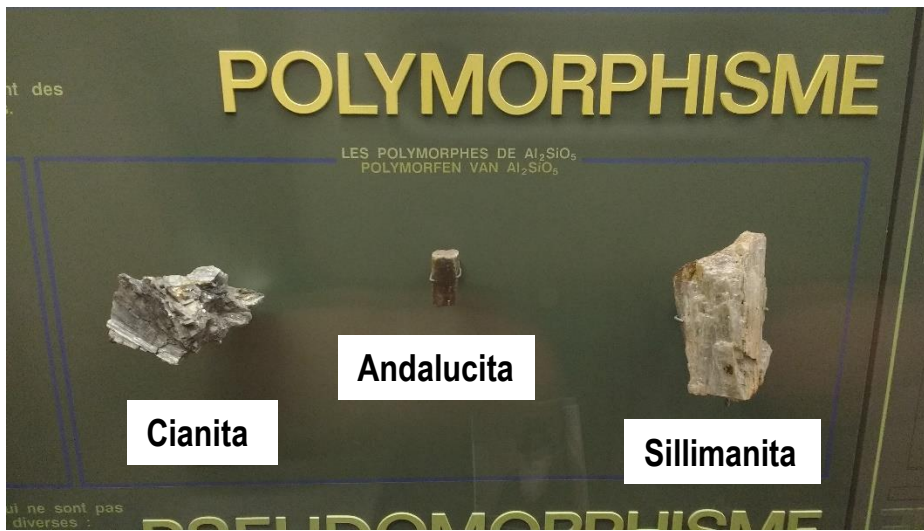


Diamante

**Table 5.4** Common polymorphous minerals.

Composition	Mineral Name	Crystal system and space group	G	Average refractive index
SiO <sub>2</sub>	Low ( $\alpha$ ) quartz	Hexagonal – $P3_221$ (or $P3_121$ )	2.65	1.55
	High ( $\beta$ ) quartz	Hexagonal – $P6_222$ (or $P6_422$ )	2.53	1.54
	Tridymite	Monoclinic – $Cc$	2.27	1.47
	Cristobalite	Tetragonal – $P4_12_12$	2.32	1.48
	Coesite	Monoclinic – $C2/c$	2.92	1.59
	Stishovite	Tetragonal – $P4_2/m2_1/n2/m$	4.29	1.81
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	Andalusite	Orthorhombic – $P2_1/n2_1/n2/m$	3.15	1.63
	Sillimanite	Orthorhombic – $P2_1/n2_1/m2_1/a$	3.24	1.66
	Kyanite	Triclinic – $P\bar{1}$	3.65	1.72
KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Microcline	Triclinic – $C\bar{1}$	2.58	1.52
	Orthoclase	Monoclinic – $C2/m$	2.57	1.52
	Sanidine	Monoclinic – $C2/m$	2.57	1.52
C	Diamond	Isometric – $F4_1/d\bar{3}2/m$	3.52	2.42
	Graphite	Hexagonal – $P6_3/m2/m2/c$	2.23	
CaCO <sub>3</sub>	Calcite	Hexagonal (rhombohedral) – $R\bar{3}2/c$	2.71	1.57
	Aragonite	Orthorhombic – $P2/m2/n2_1/a$	2.94	1.63
FeS <sub>2</sub>	Pyrite	Isometric – $P2_1/a\bar{3}$	5.02	
	Marcasite	Orthorhombic – $P2_1/n2_1/n2/m$	4.89	





## Minerales polimorfos



**Pirita**



**Marcasita**

# Carbonatos

Estos minerales contienen el anión carbonato  $CO_3^{2-}$ ,



**Calcita**



**Aragonito**



**Romboedro**



**Prisma hexagonal**

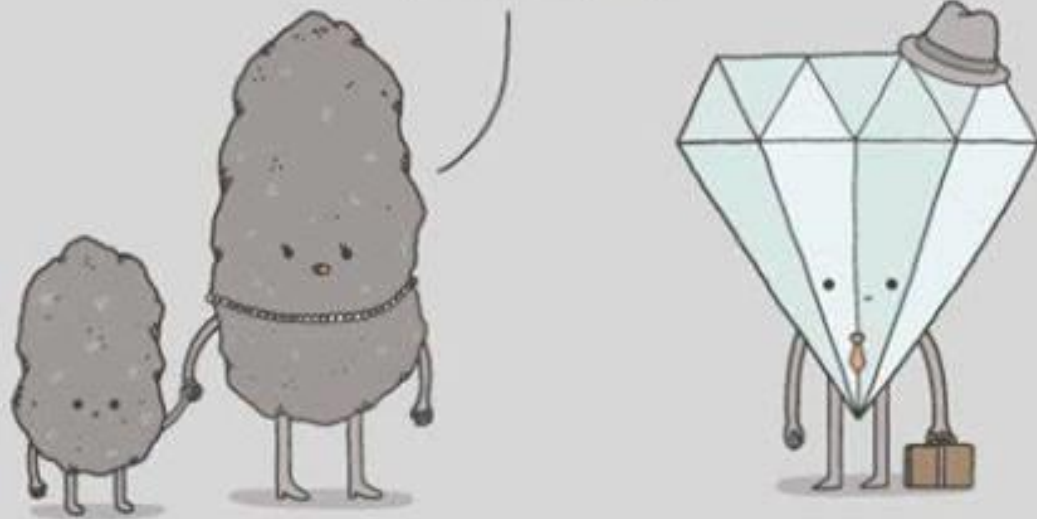
(carbonato de calcio)



Son un ejemplo de polimorfismo (misma composición pero distinta estructura cristalina)



YOUR DAD'S BEEN  
UNDER A LOT OF  
PRESSURE LATELY.



# PSEUDOMORFISMO

La existencia de un mineral con la forma externa de otra especie mineral.

(Un mineral cambia su estructura o la composición química pero la forma externa se mantiene ej. pirita-limonita)

El proceso puede tener lugar por: **Sustitución, incrustación, alteración**

**SUSTITUCIÓN:** Renovación gradual del material primario por reemplazamiento por otro sin reacción química.

Ejem. la  
madera  
petrificada  
(Bosques  
fósiles)



La silice  
sustituye  
las fibras  
de madera

# PSEUDOMORFISMO

**INCRUSTACIÓN:** Se deposita una costra de un mineral sobre los cristales de otro (ej. cuarzo sobre cubos de fluorita)

**ALTERACIÓN:** Adición solo parcial de material nuevo o renovación parcial del material primario.

(ej. anhidrita  $\text{SO}_4\text{Ca}$  - yeso  $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , o bien galena  $\text{SPb}$  - anglesita  $\text{SO}_4\text{Pb}$ )

Anhidrita



+ 2H<sub>2</sub>O



Yeso

# ISOMORFISMO

Se denomina **isomorfismo** en mineralogía y química al fenómeno por el que dos sustancias distintas, por el hecho de presentar la misma estructura, distribución de átomos y dimensiones en sus moléculas, son capaces de formar conjuntamente una sola red cristalina.

Sucede cuando en un mineral un elemento químico es sustituido por otro de similar radio iónico y semejante potencial de ionización.

Si, por ejemplo, dos sustancias tienen el mismo tipo de celda unidad pero éstas son de diferente tamaño, no puede haber isomorfismo.

# ISOMORFISMO

Para tener isomorfismo es necesario que:

- Los términos extremos e intermedios sean **isoestructurales** (Dos fases cristalinas son **isoestructurales** cuando presentan la misma estructura cristalina y distinta composición **química**).
- Los **radios** de los iones que se sustituyen en el mismo sitio sean **similares**
- Las sustituciones isomorfas mantengan el **balance de cargas**
- Los iones que se sustituyen tengan el **mismo comportamiento geoquímico**

# ISOMORFISMO

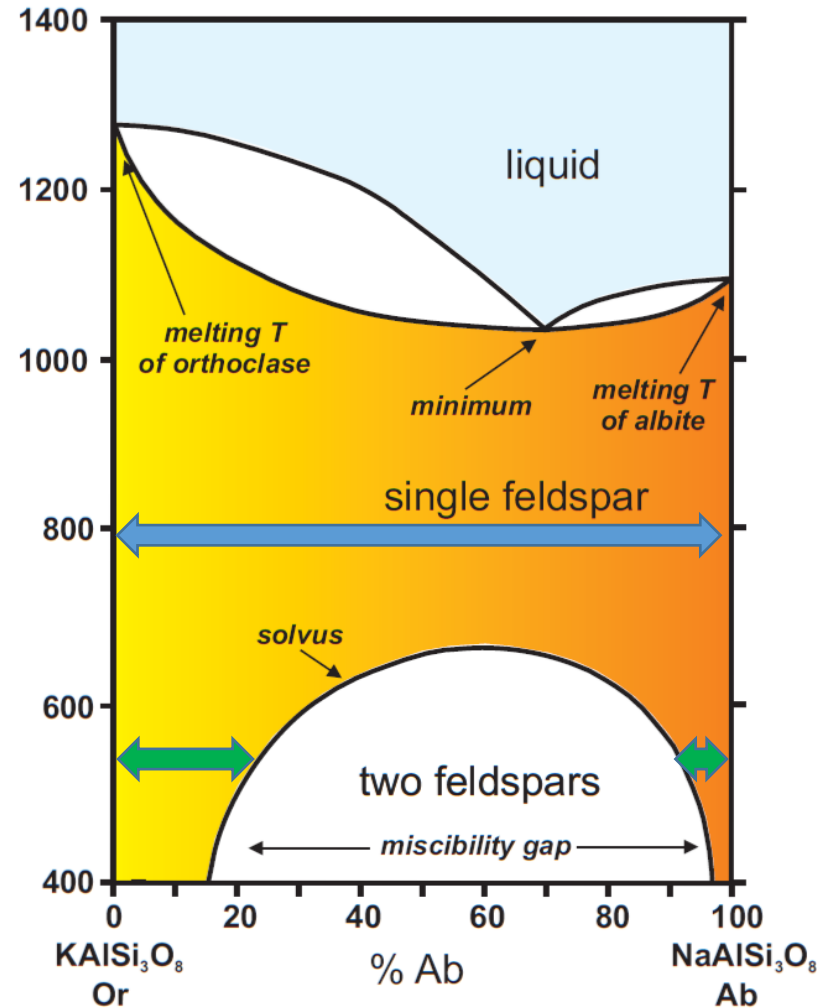
El isomorfismo es favorecido por altas temperaturas.

Soluciones sólidas parciales a baja temperaturas pueden devenir completas a alta temperatura (ej. Feldespatos alcalinos Na-K)

↔ Solución sólida completa

↔ Solución sólida incompleta

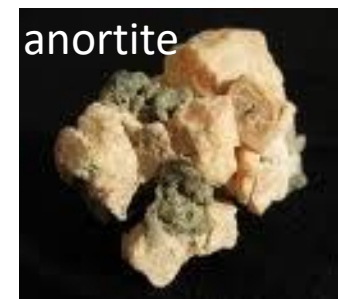
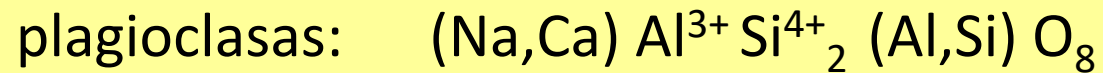
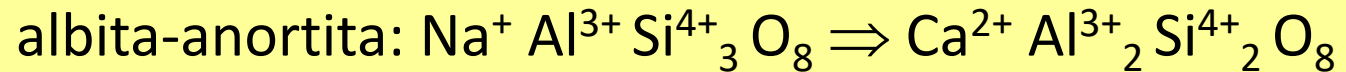
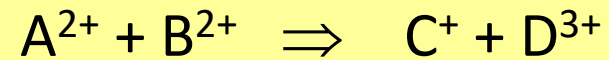
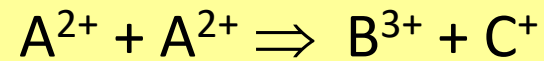
KAISi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> System at 0.1 Mpa (1 atm.)





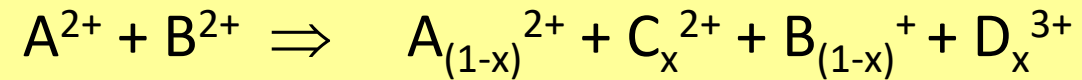
# ISOMORFISMO

Solución sólida sustitucional aparejada



# ISOMORFISMO

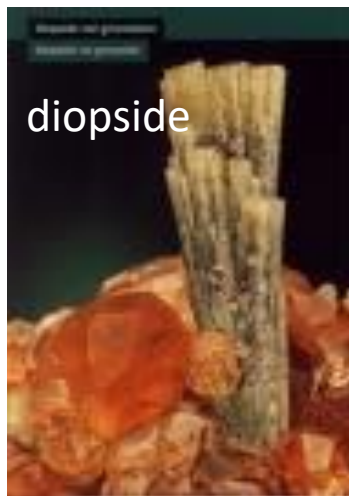
Solución sólida sustitucional parcial



(Cualquiera de los dos tipos anteriores, si no es completa)

diopsido:  $\text{Ca}^{2+} \text{Mg}^{2+} \text{Si}_2\text{O}_6$ ; jadeita:  $\text{Na}^+ \text{Al}^{3+} \text{Si}_2\text{O}_6$

onfacita:  $(\text{Ca}^{2+}_{0.7} \text{Na}^+_{0.3}) (\text{Mg}^{2+}_{0.7} \text{Al}^{3+}_{0.3}) \text{Si}_2\text{O}_6$  (max)



# DESMEZCLAS

Este término se refiere al proceso según el cual un mineral homogéneo, una vez cristalizado a partir de un fundido, **se separa en dos o más minerales cristalinos distintos**, sin la adición o eliminación de nuevas sustancias al sólido cristalizado.

La desmezcla tiene lugar generalmente por enfriamiento en estado sólido debido a un proceso de difusión.

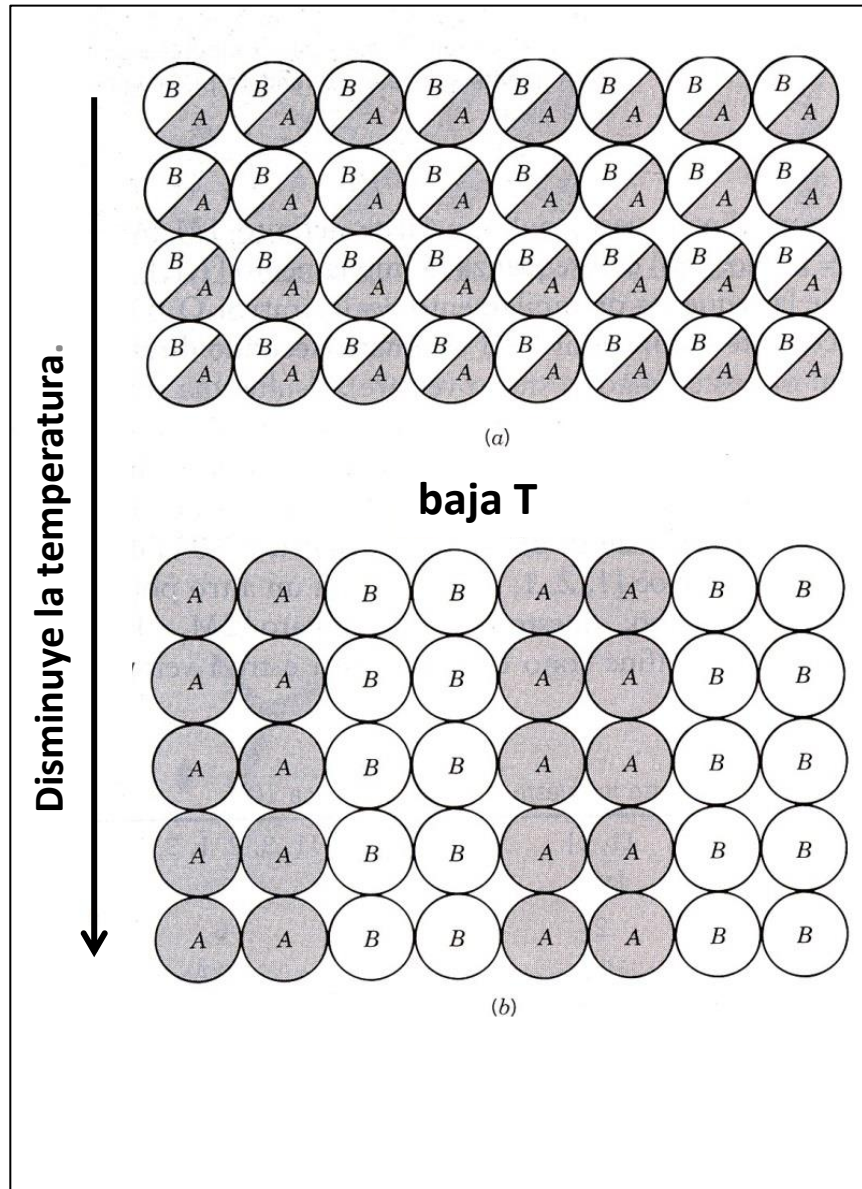
# DESMEZCLAS

La desmezcla se produce generalmente en soluciones sólidas donde varios cationes con una gran diferencia de tamaño comparten el mismo hueco cristalino.

A alta temperatura, el tamaño de los huecos es grande porque está dilatado. La estructura se mantiene abierta y ambos cationes, grande y pequeño, pueden ocupar el hueco. Cuando la temperatura baja, la estructura se contrae. Si hay un átomo grande, la estructura se mantiene grande, pero si hay un átomo pequeño, la estructura se encoge.

La alternancia de átomos grandes y pequeños causa deformación en la estructura, por lo que es inestable. Se incrementa la estabilidad si los átomos grandes se agrupan en un lado y los pequeños en otro, porque la estructura no queda deformada. Un cristal con una composición homogénea y uniforme ha pasado a convertirse en dos cristales de composición diferente. Ha habido **desmezcla**.

# DESMEZCLAS



Si una solución sólida de un cierto compuesto químico se forma solo en condiciones de alta temperatura, cuando la temperatura disminuye se verifica la desmezcla de dos fases cristalinas distintas.

## PROCESO DE DESMEZCLA

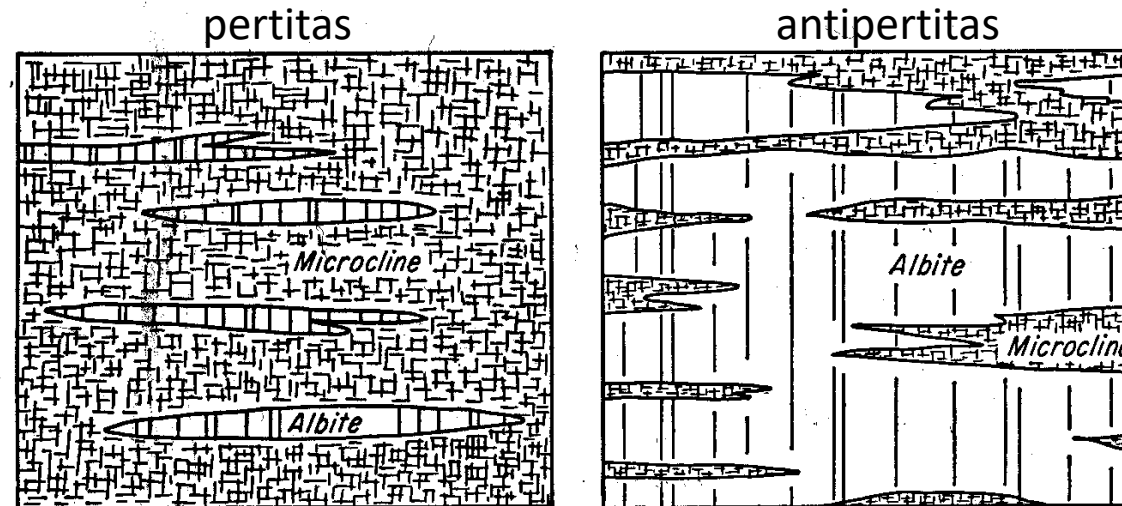
Ejemplos:

- Feldespatos (albita-microclina)
- Piroxenos (clino-orto)
- Anfíboles (hornblenda-grunerita)

# DESMEZCLAS

La presencia de exsoluciones (intercrecimiento de dos feldespatos de composiciones químicas diferentes, por el movimiento de iones) de plagioclasas dentro de feldespato potásico se conocen como **pertitas**.

Si son exsoluciones de feldespato potásico dentro de cristales de albita se conoce como **antipertitas**.





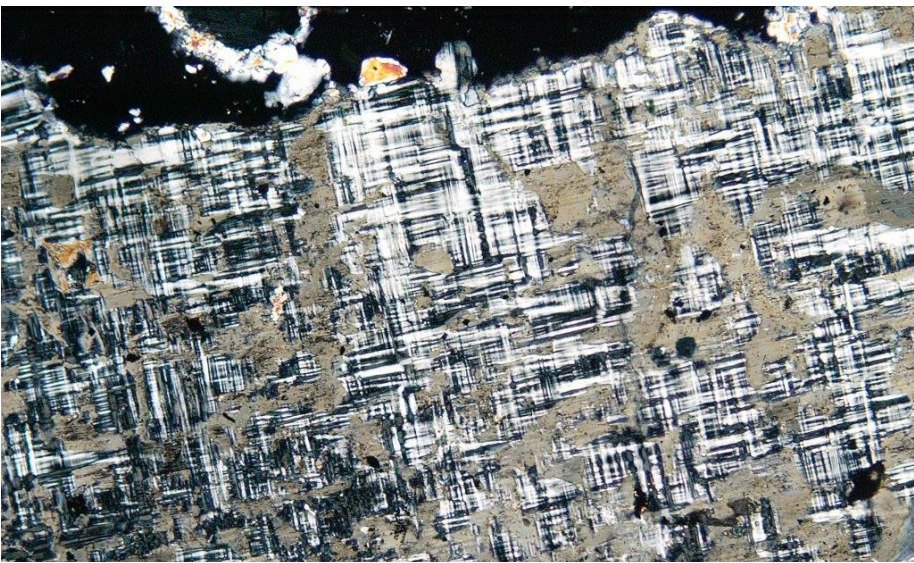
# DESMEZCLAS

**PLAGIOCLASA** CON MACLAS POLISINTÉTICAS

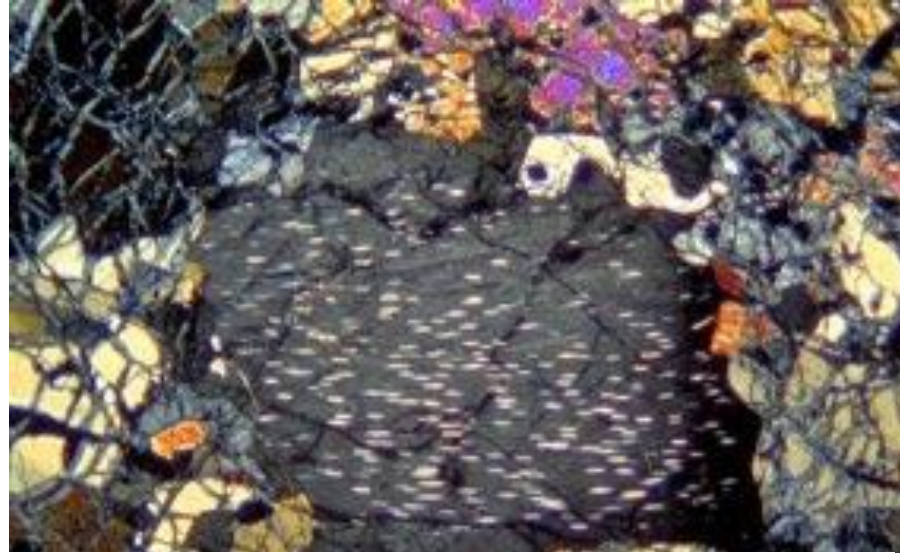


**MICROCLINA** CON MACLAS TIPO TARTÁN

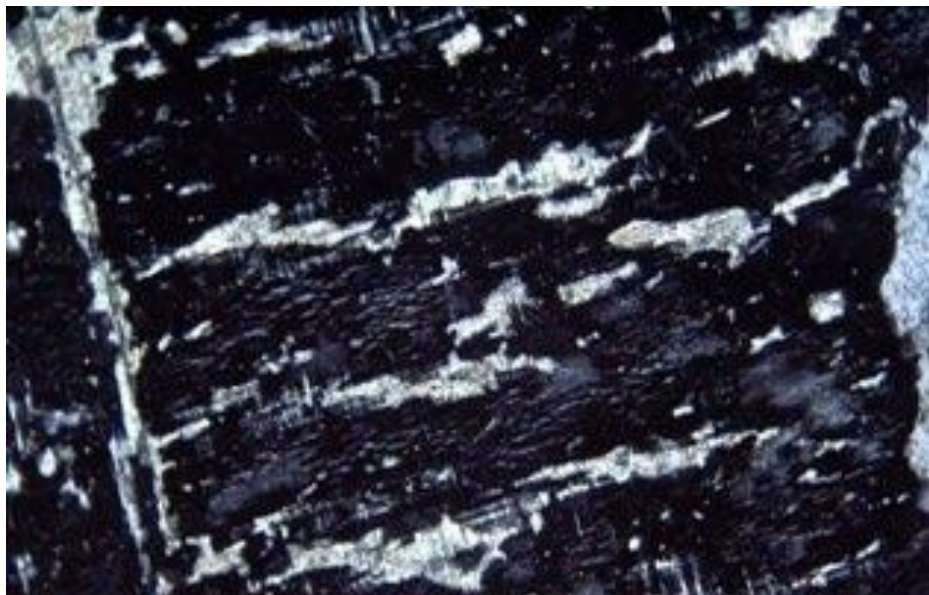




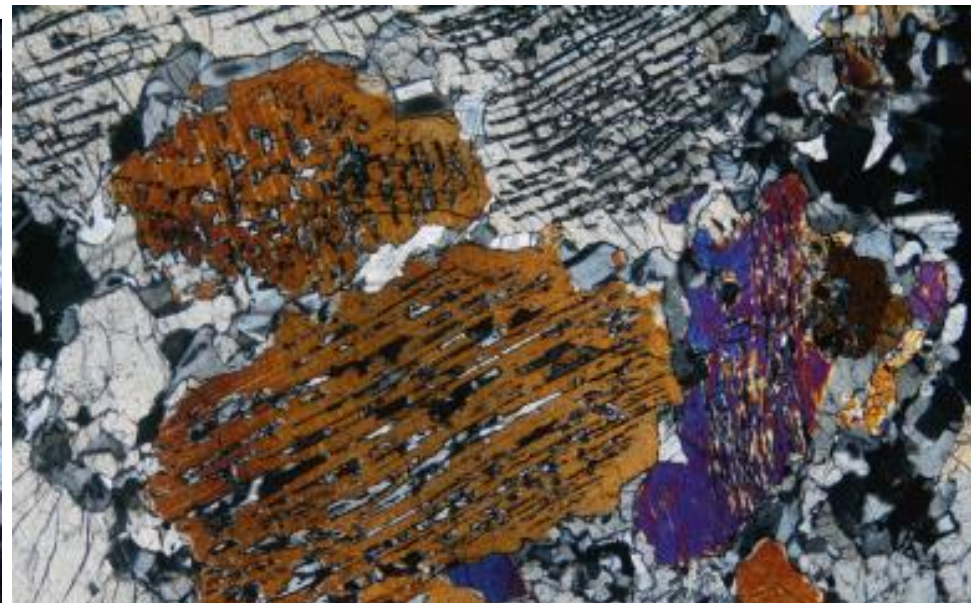
Exsolución de albita dentro de feldespato potásico. Antipertita.



Exsolución de un clinopiroxeno (blanco) dentro de un ortopiroxeno.



Maclas polisintéticas en las exsoluciones de albita y macla de enrejado de la microclina.



Lamelas de exsolución de un ortopiroxeno (gris) dentro de un clinopiroxeno.



# AMAZONITA



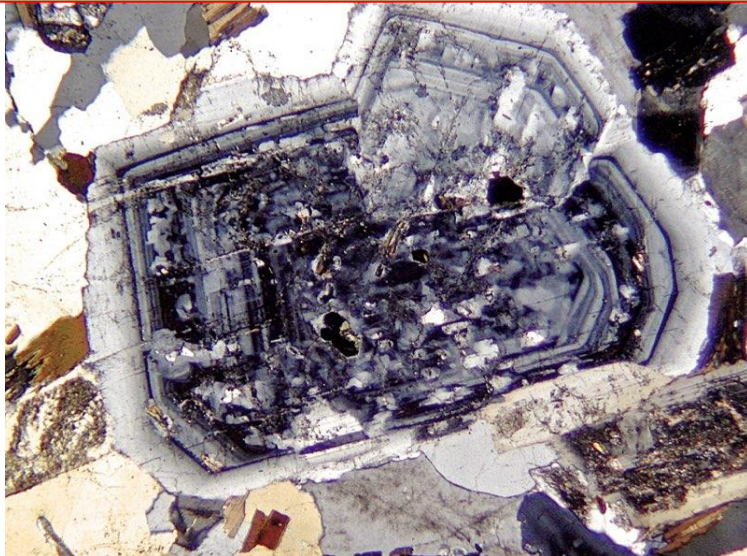
**Microclina  
(K – feldspato)**

**Albita (Na – feldspato)**

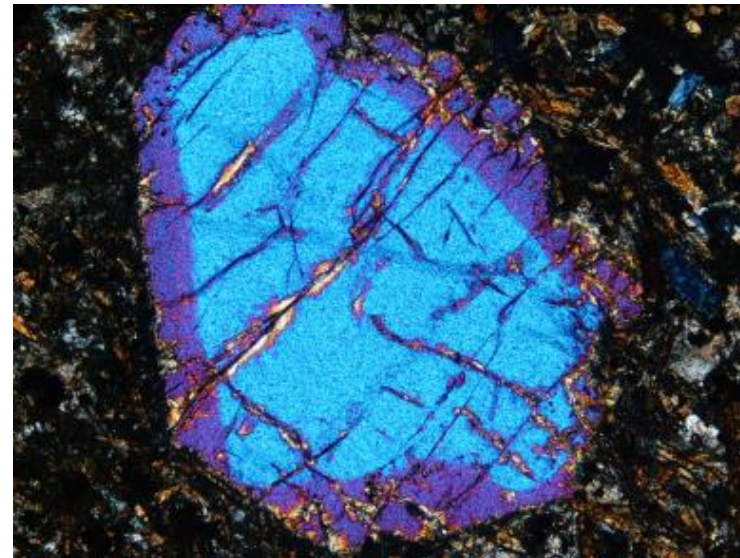
# ZONADO EN LOS MINERALES

**ZONADO CRISTALINO.** En ocasiones, minerales de solución sólida durante su crecimiento, por problemas de difusión dentro del cristal, es incapaz de homogeneizarse, por lo que exhiben partes con una composición y partes con otra. Es la **zonación** o **zonado**.

El zonado se visualiza por la presencia de bandas o zonas más o menos concéntricas o por sectores en un mismo cristal, con límites señalados por inclusiones alineadas (zonado de crecimiento) o cambios abruptos o continuos en la composición química de la solución sólida.



Zonado en una plagioclasa (zonado normal). Las bandas siguen el orden de la cristalización (mas ricas en Na en el centro que en los bordes).



Zonado en una augita (mas rico en titanio en el borde

# MACLAS

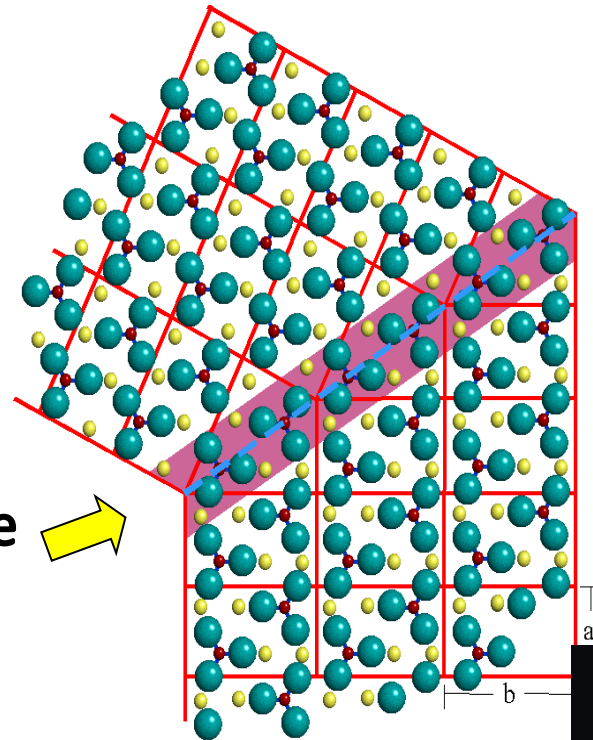
Una macla es un crecimiento conjunto de dos o más cristales de la misma sustancia.

*Los individuos que forman la macla están relacionados por un elemento de simetría*

## Macla del Aragonito

Aunque el aragonito es ortorrómbico, la macla parece hexagonal debido al ángulo de  $120^\circ$  en el grupo  $CO_3$

Plano de macla



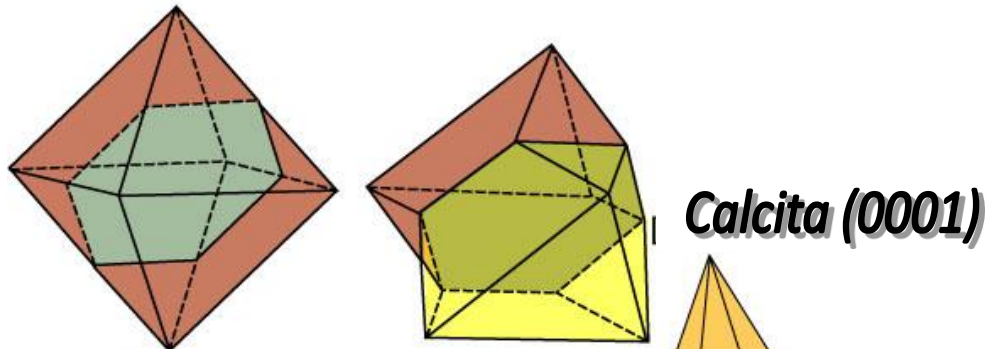


# TIPOS DE MACLAS

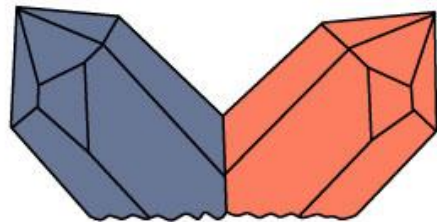
## *Maclas de contacto y de penetración*

(Estan compuestas solamente por dos individuos)

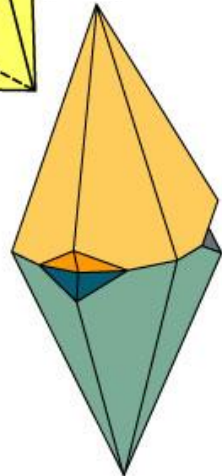
### Maclas de contacto



***Macla octaédrica (111)  
en la Espinela***



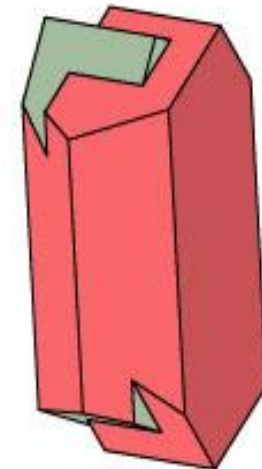
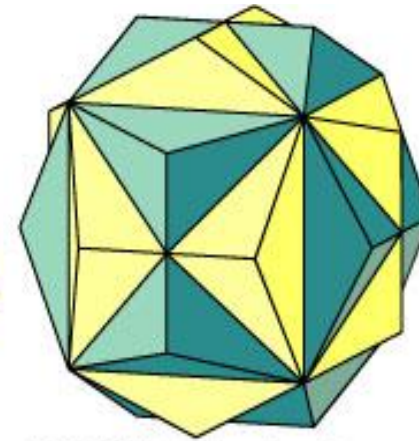
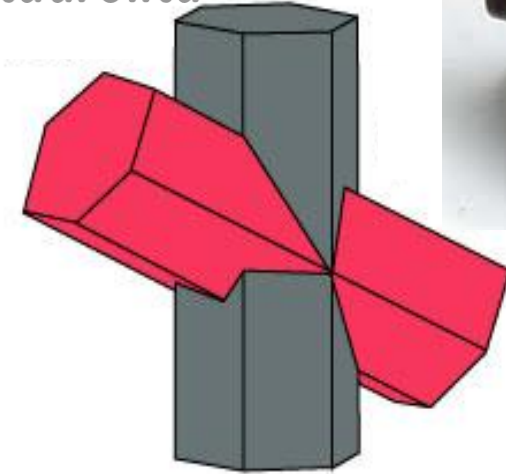
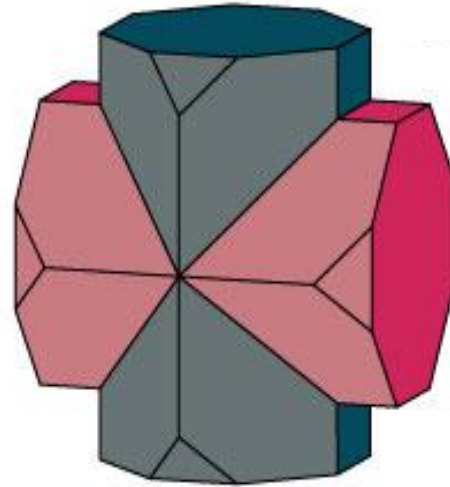
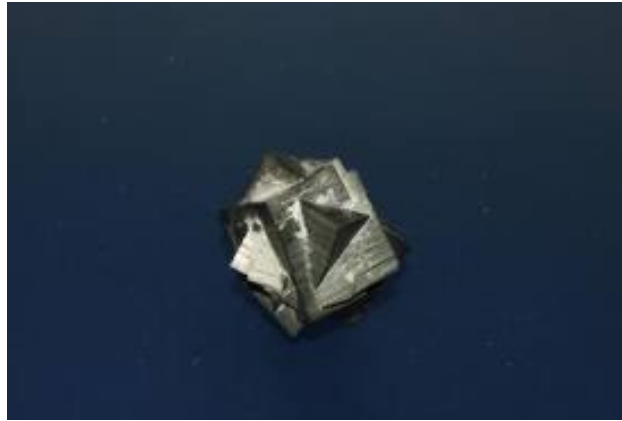
***Macla de Japon  
del cuarzo***





# Maclas de penetración

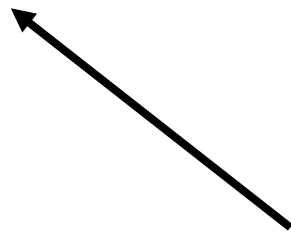
## Maclas de la estauroлита



**Fluorita [111]**

**Piritoedro [001]**

**Macla de Carlsbad [001]**

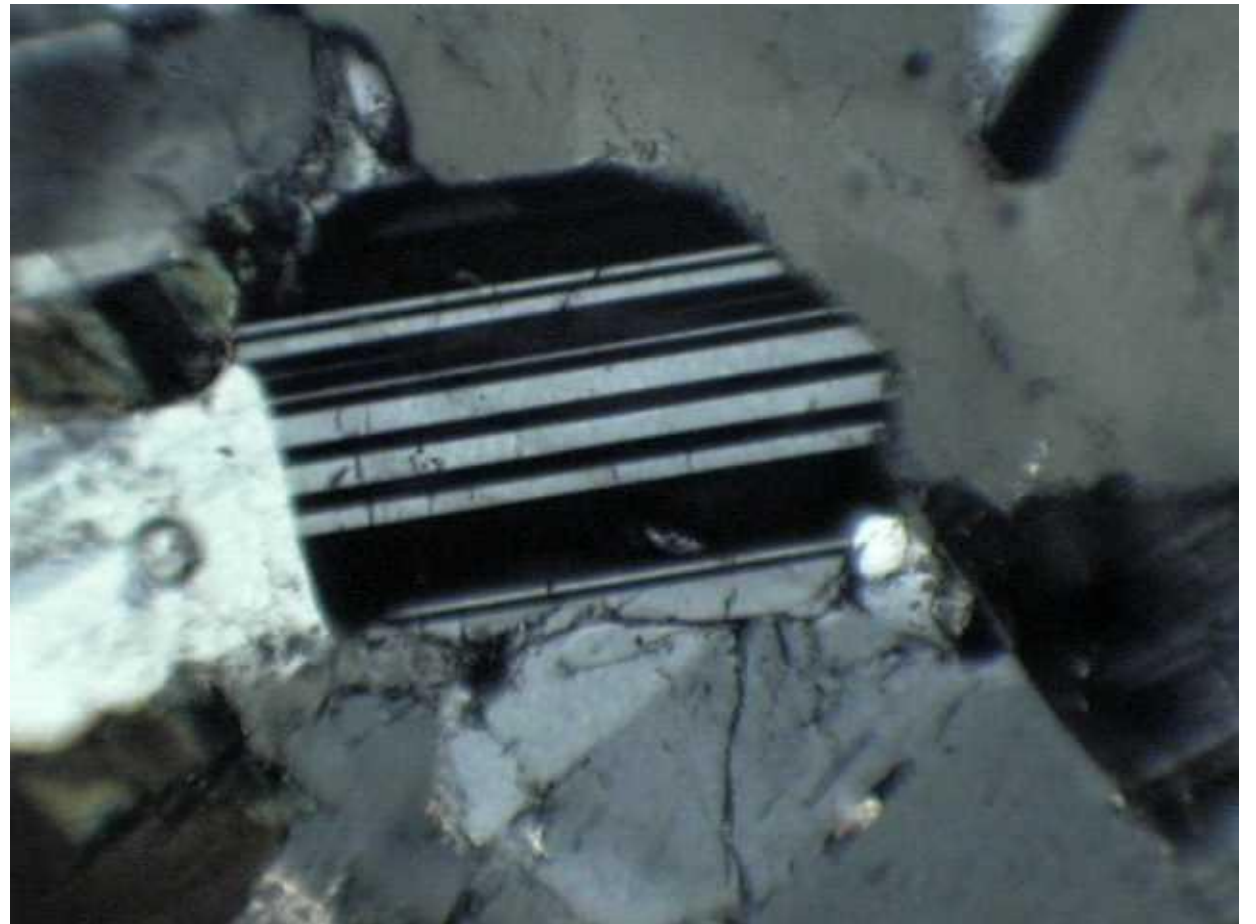
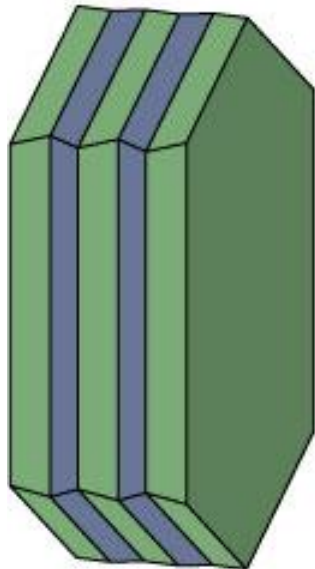


# TIPOS DE MACLAS

Maclas multiples (mas de dos orientaciones y varios individuos)

## *Maclas polisintéticas (paralelas)*

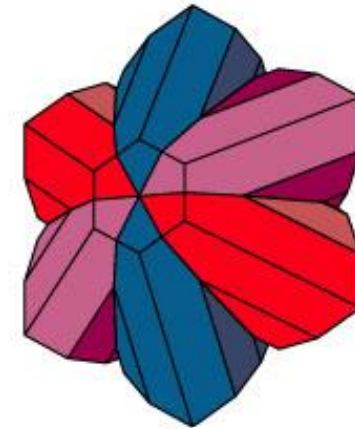
*Maclas polisintéticas  
de la albita*



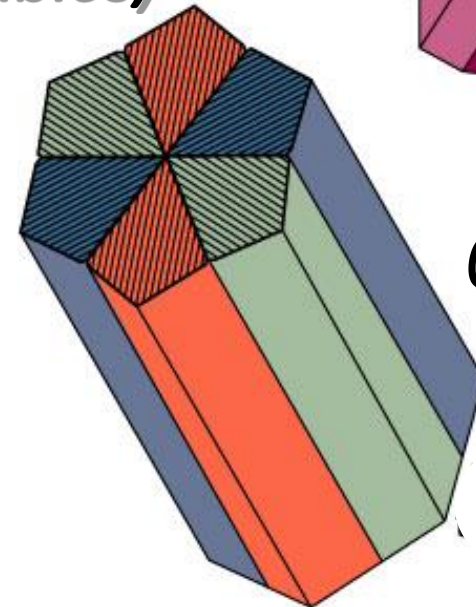
# Maclas cíclicas

(individuos con planos no paralelos)

**Macla  
pseudo-hexagonal  
del Aragonito  
(ortorrómbico)**



**Crisoberilo**

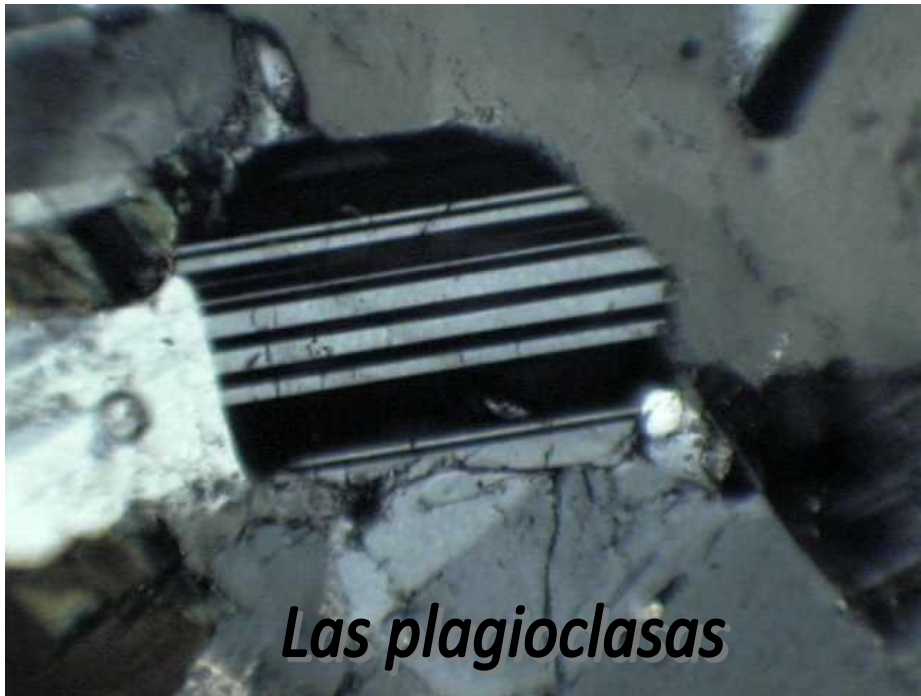




# MECANISMOS DE FORMACIÓN DE LAS MACLAS

Tres principales mecanismos:  
Crecimiento cristalino. Transformación. Deformación

*Crecimiento cristalino.*



*Se forma un nuevo individuo sobre la superficie de otro que crece conservando una especial relación cristalográfica (epitaxia)*

# MECANISMOS DE FORMACIÓN DE LAS MACLAS

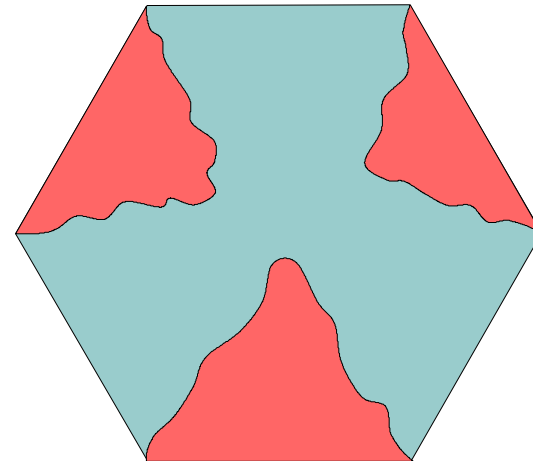
Tres principales mecanismos:  
Crecimiento cristalino. Transformación. Deformación

## Transformación

*Al cambiar la condiciones iniciales se producen cambios de fase.*

*ej. Cuarzo de alta temperatura se transforma en cuarzo de baja temperatura y en la transformación se generan maclas.*

*Macla ciclica en cuarzo de baja temperatura invertido.*



# MECANISMOS DE FORMACION DE LAS MACLAS

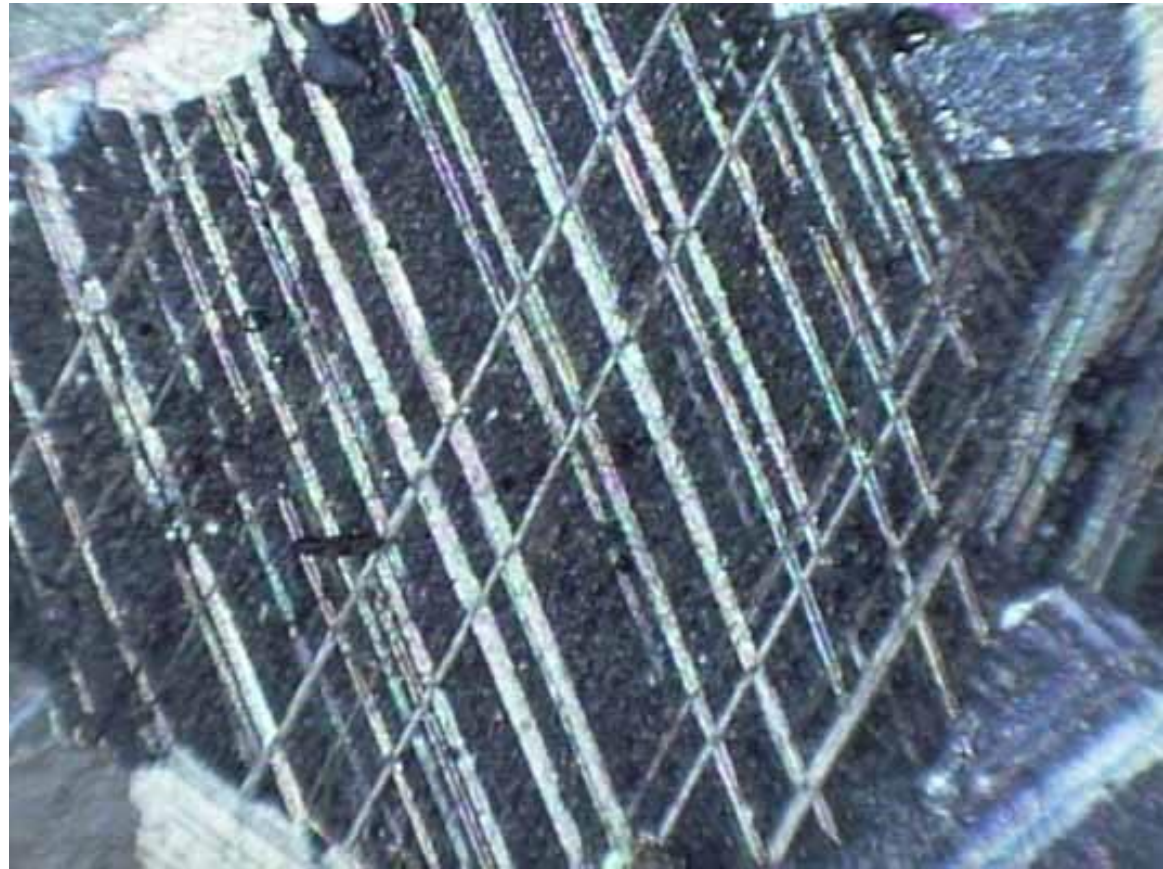
Tres principales mecanismos:  
Crecimiento cristalino. Transformación. Deformación

Deformación

*Por cizallamiento debido a la  
presion ejercida por el medio.*



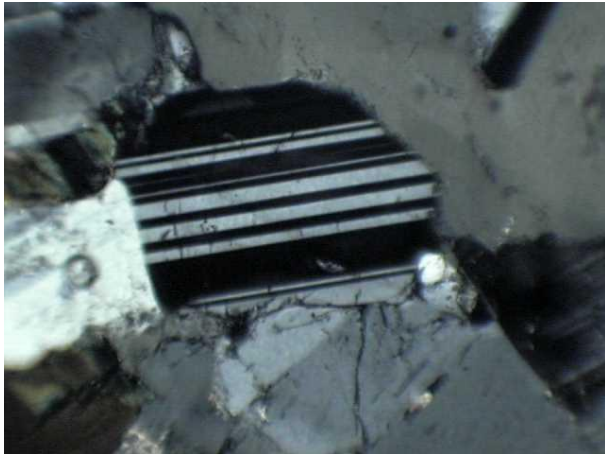
Maclas en la calcita



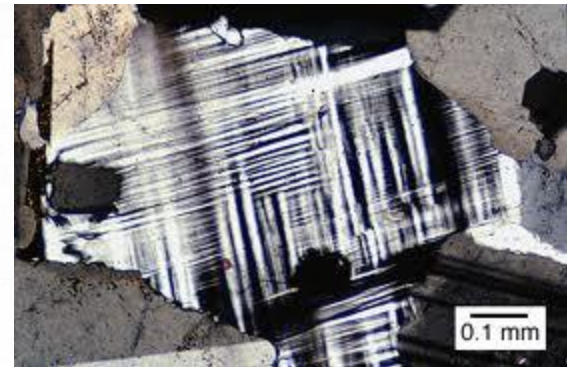
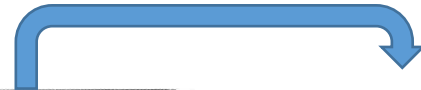
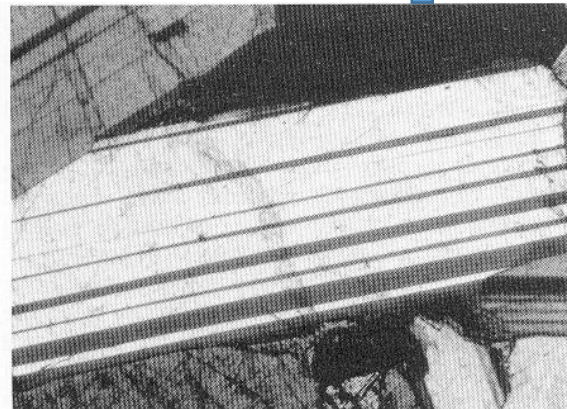


## ➤ SISTEMA TRICLINICO

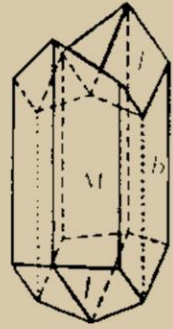
Los Feldespatos son los mejores ejemplos de maclas en el sistema triclinico. Están casi siempre maclados según la *Ley de la Albita*, con Plano de Macla {010}. Otro importante tipo de macla en los Feldespatos triclinicos es la que se da según la *Ley de Periclina*, con el eje de macla [010]. Cuando las maclas de Albita y Periclina están intimamente mezcladas, se forma una macla que se conoce como *TARTÁN*.



+

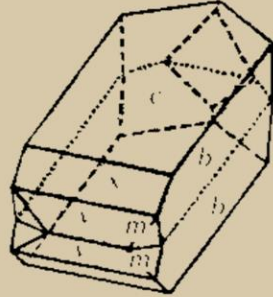


# Maclas monoclinicas



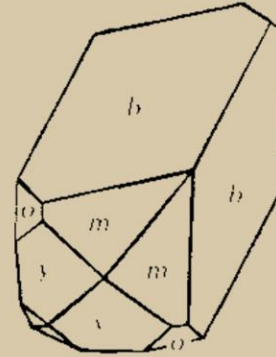
Yeso de macla {100}

Macla de cola de golondrina



Plano de macla {001}

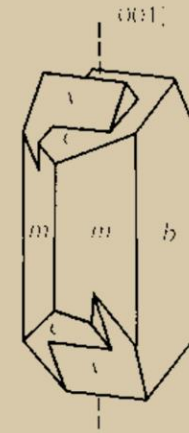
Macla de Manebach



Plano de macla {021}

Ortoclasa

Macla de Baveno

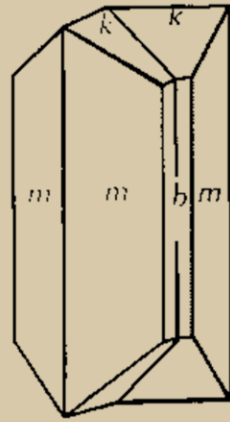


Lije de macla {001}

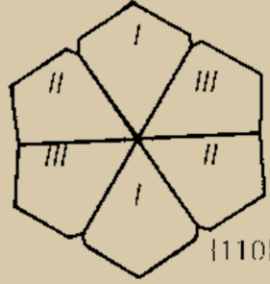
Macla de interpenetración de Carlsbad



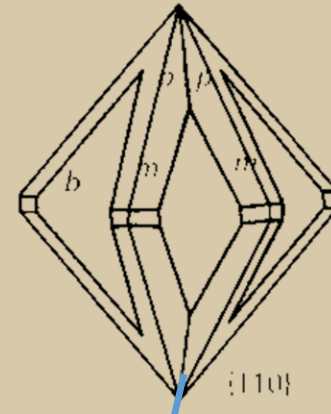
# Maclas ortorrómbicas



{110}



{110}



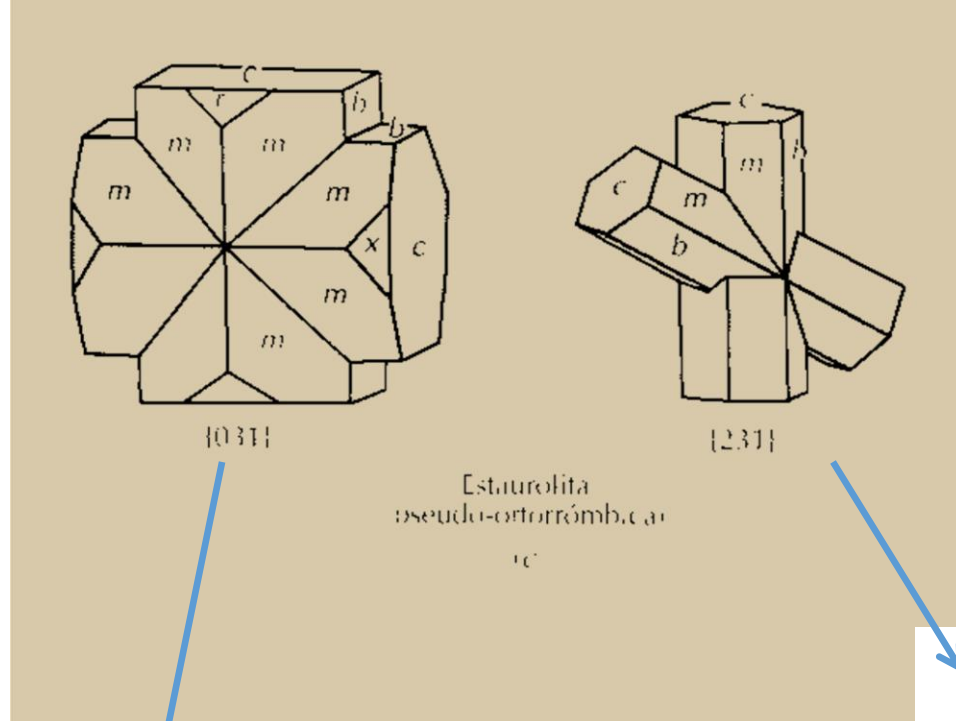
{110}

Aragonito  
α

Cerusita  
β



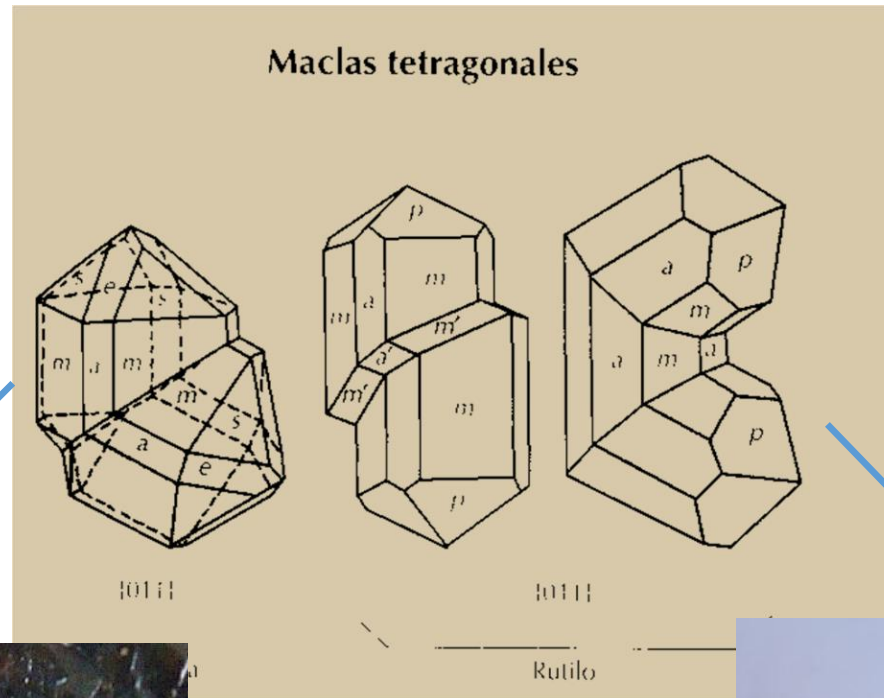






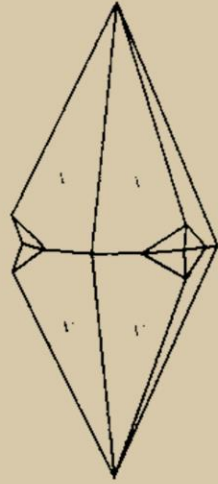
## ➤ SISTEMA TETRAGONAL

El tipo de macla mas común tiene como plano de macla (011). Los minerales que tienen esta ley son: La Casiterita y el Rutilo.

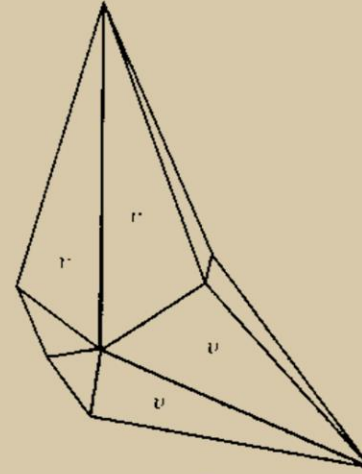
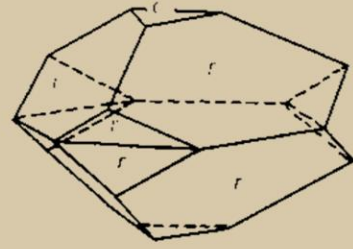


## Maclas hexagonales

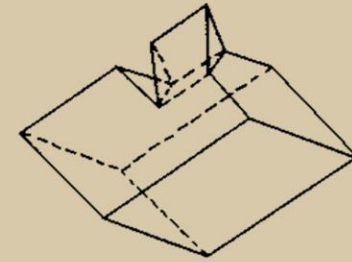
Calcita



$\{0001\}$   
*ac*



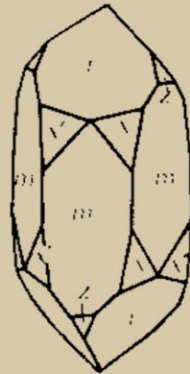
$\{01\bar{1}2\}$



*ab*

$\{01\bar{1}2\}$

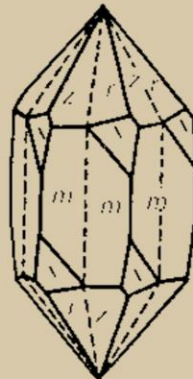
Cuarzo



$\{11\bar{2}0\}$

Macla del Brasil

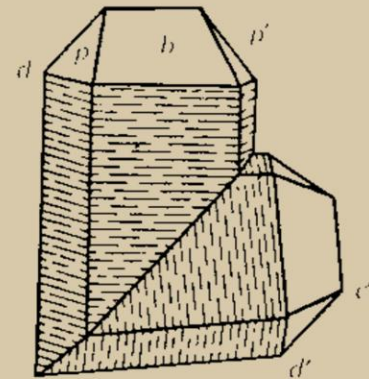
*ac*



$\{0001\}$

Macla del Delinado

*ab*



$\{11\bar{2}2\}$

Macla del Japón



