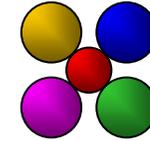


# CRISTALOGRAFÍA

# MOTIVO ESTRUCTURAL

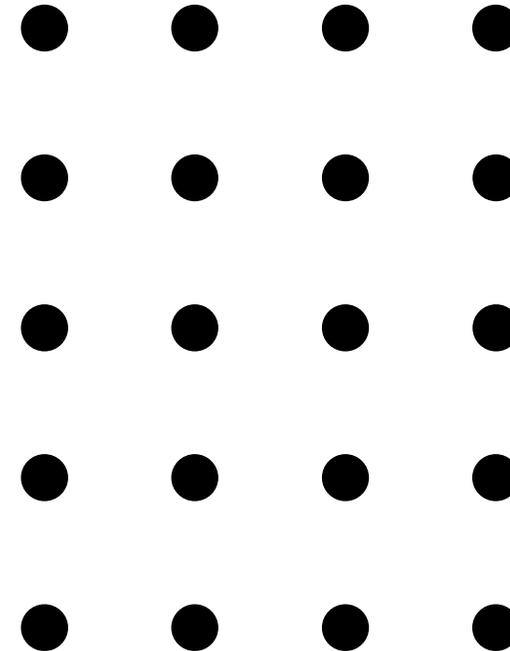
## MOTIVO

Unidad material que se repite periódicamente. En un cristal, conjunto de átomos o moléculas.



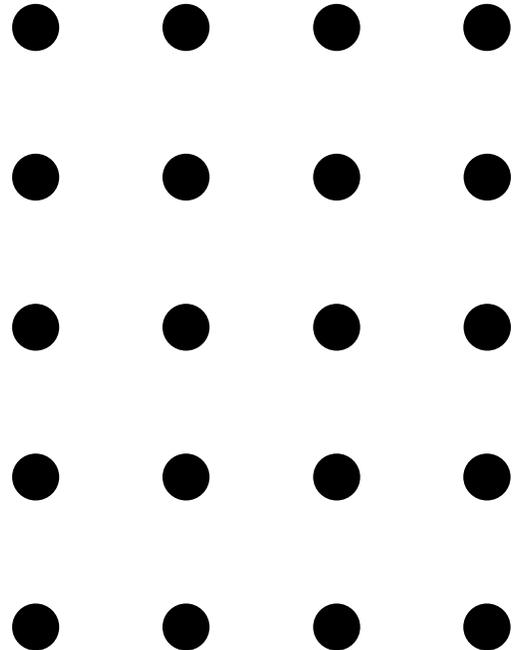
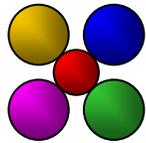
## RED

Patrón de repetición del motivo



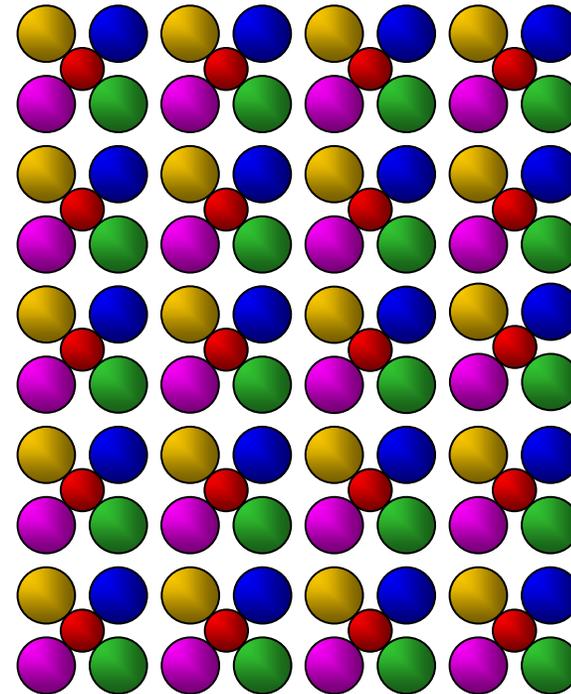
# MOTIVO ESTRUCTURAL

MOTIVO + RED = CRISTAL



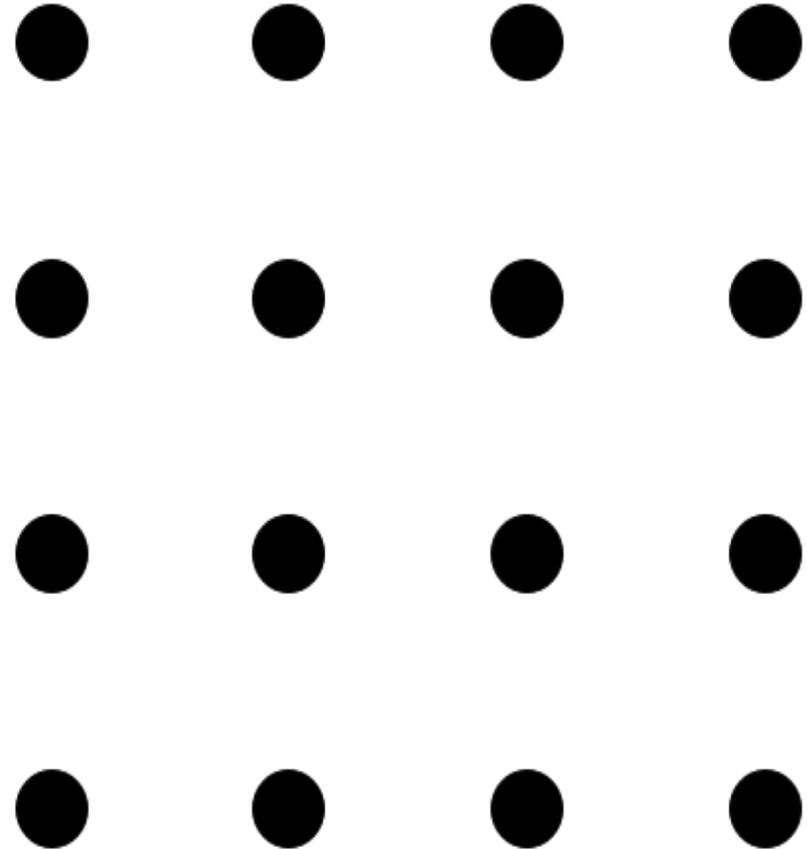
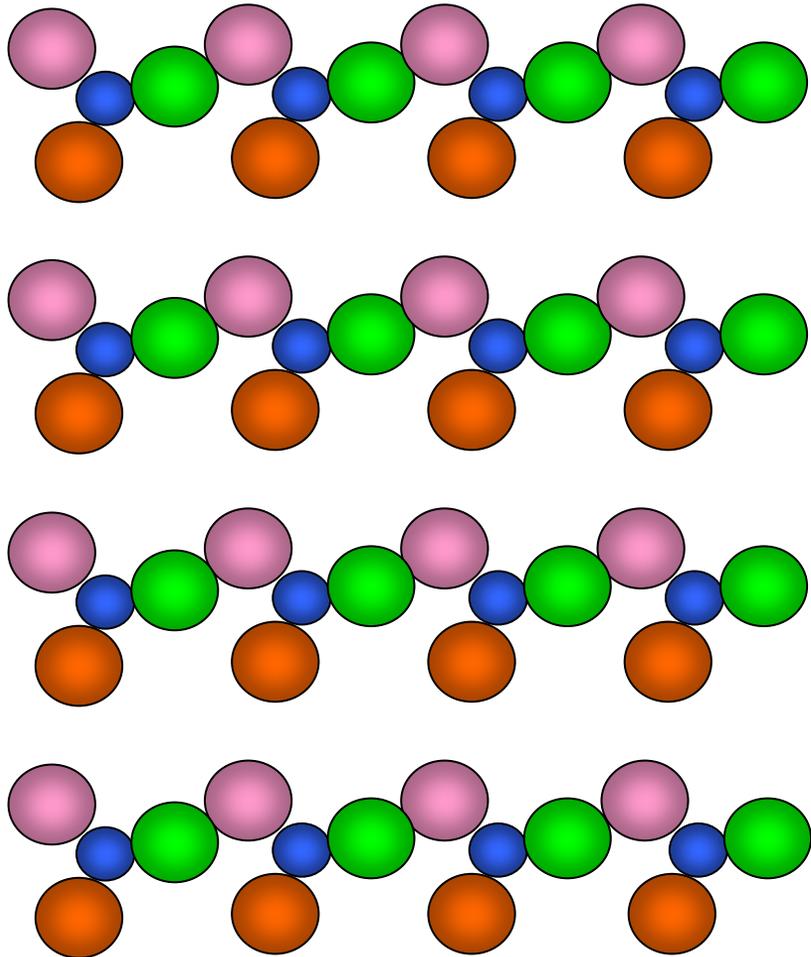
=

CRISTAL



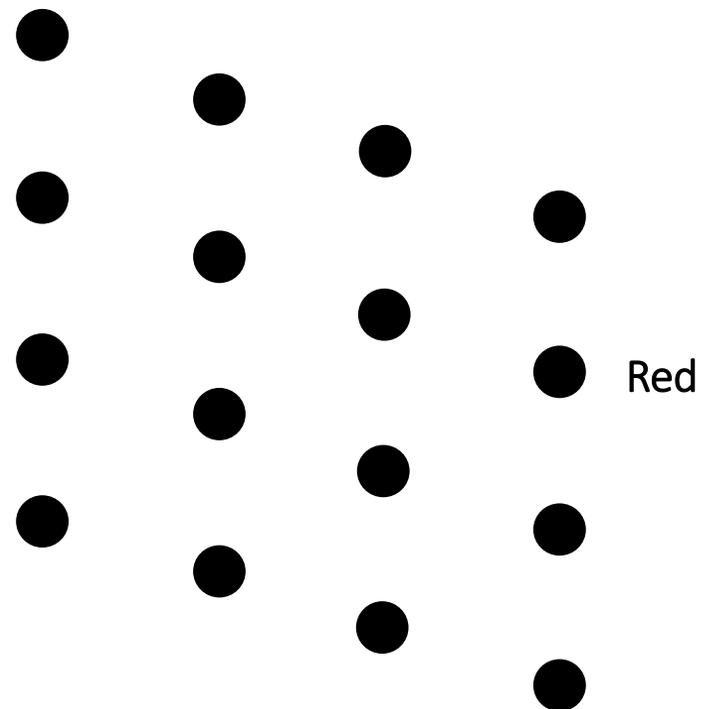
# MOTIVO ESTRUCTURAL

Un medio ordenado periódicamente puede ser representado por una red

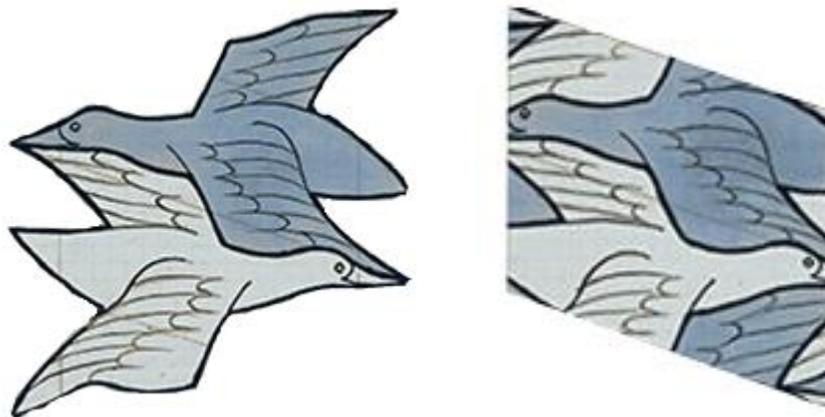


# MOTIVO ESTRUCTURAL

Medio ordenado



Motivos

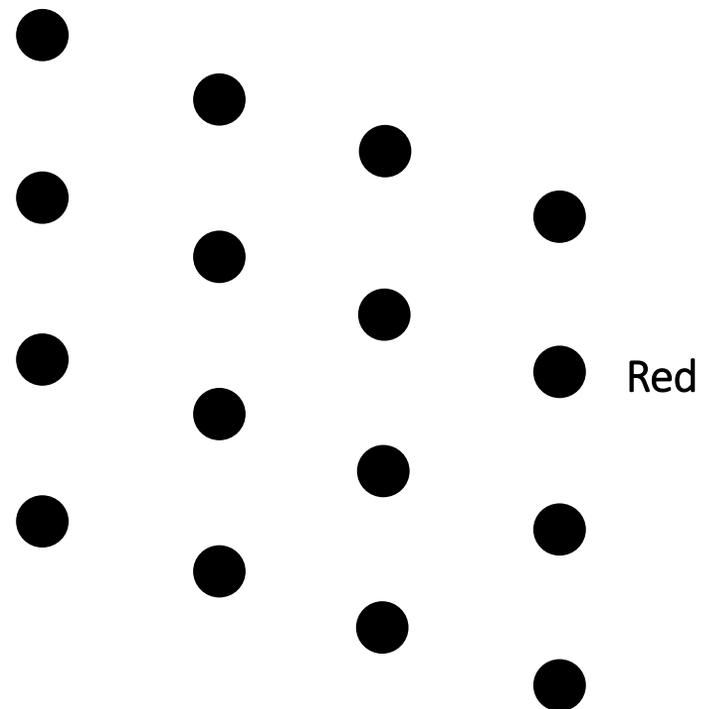
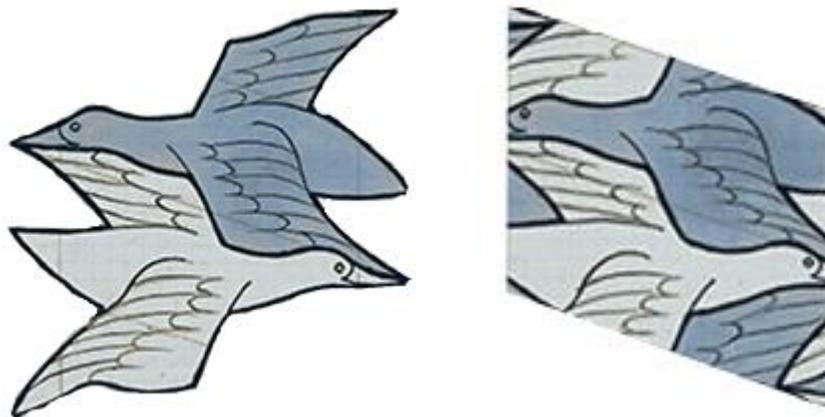


# MOTIVO ESTRUCTURAL

Medio ordenado



Motivos

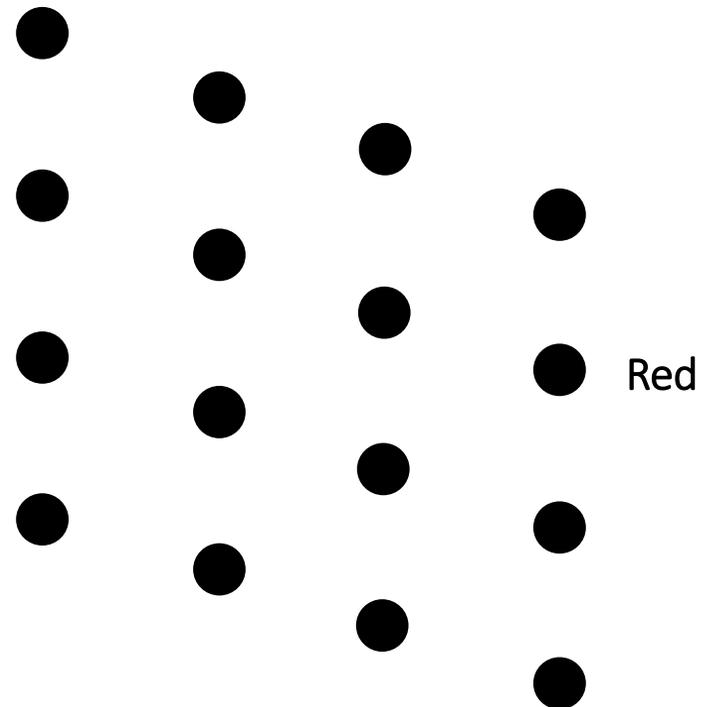
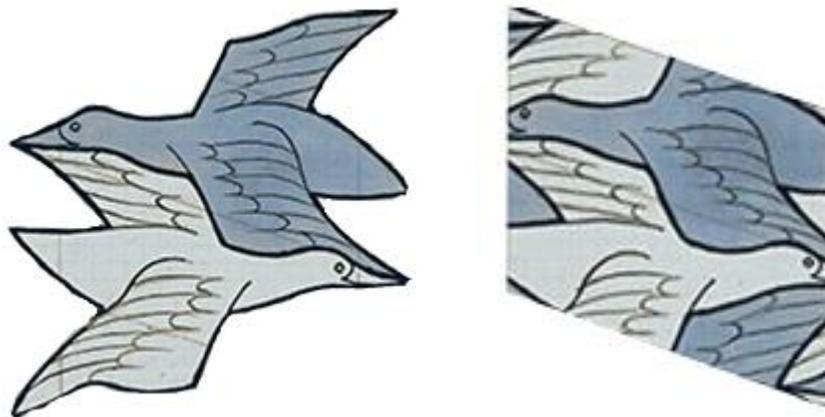


# MOTIVO ESTRUCTURAL

Medio ordenado

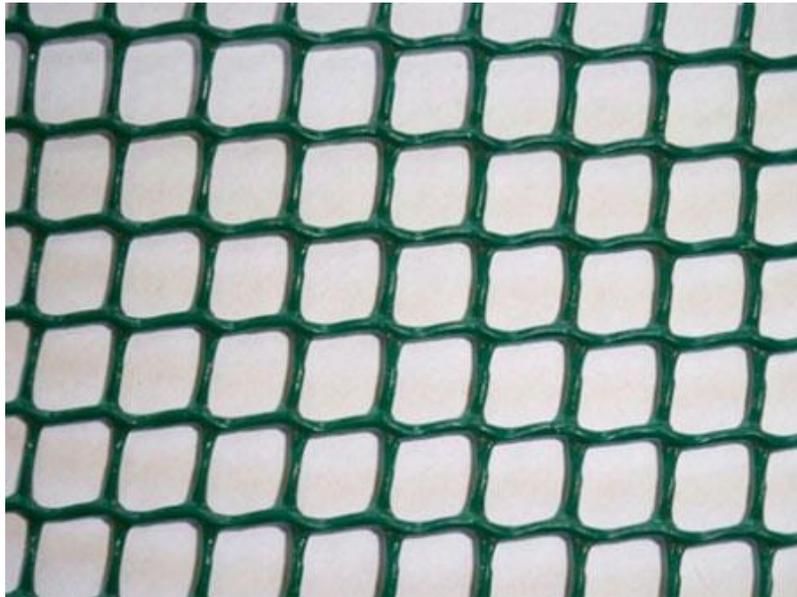


Motivos



# RED ESPACIAL

- Sistema infinito de paralelepípedos iguales ubicados paralelamente, ocupando un espacio sin intersticios.



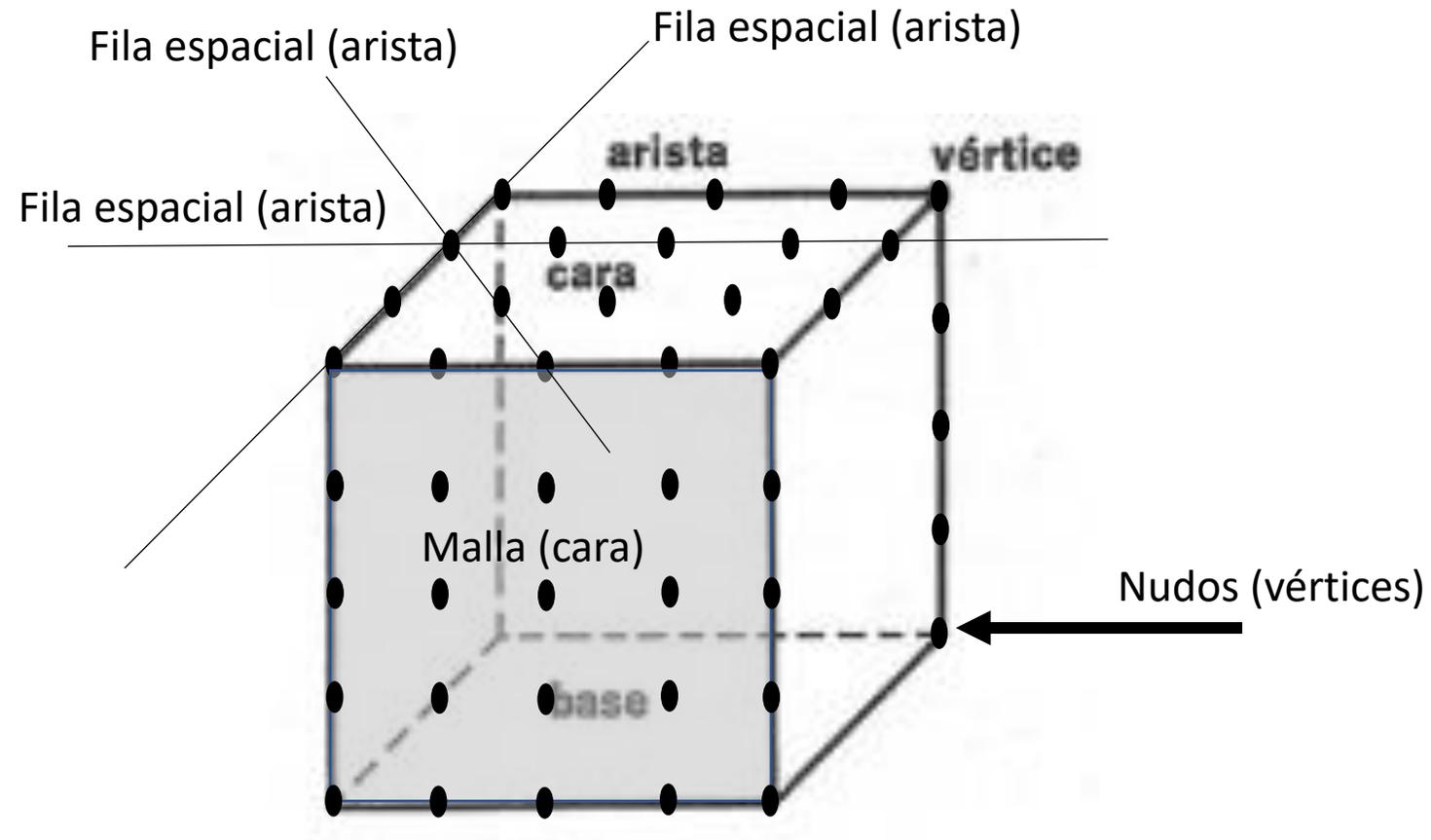
# RED ESPACIAL

Los elementos que componen una red espacial son:

- **Puntos o motivos:** Se llaman nudos o nodos
- **Filas espaciales:** Conjunto de nudos que pasan o yacen sobre una recta (equidistantes)
- **Mallas:** Conjunto de nudos que pasan o yacen sobre un plano

# RED ESPACIAL

Elementos que componen una red espacial



Nudos = vértices

Filas espaciales = aristas

Mallas = caras

# CELDA UNIDAD

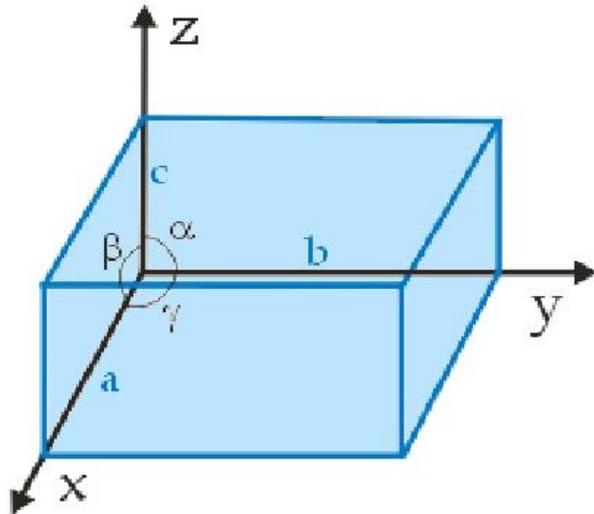
Es el paralelepípedo más pequeño cuya periodicidad (repetición en las tres direcciones espaciales) reproduce la red espacial. Se caracteriza por tener un volumen mínimo ya que se construye usando como base las traslaciones más pequeñas de la red ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ). Para que una celda unidad quede bien definida es necesario además precisar las direcciones a lo largo de la cual se miden  $a$ ,  $b$  y  $c$ . Para ello se toman los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  entre dichas direcciones.

*Otros nombres:* celda elemental

Es decir: la celda unidad es el motivo en una red espacial.

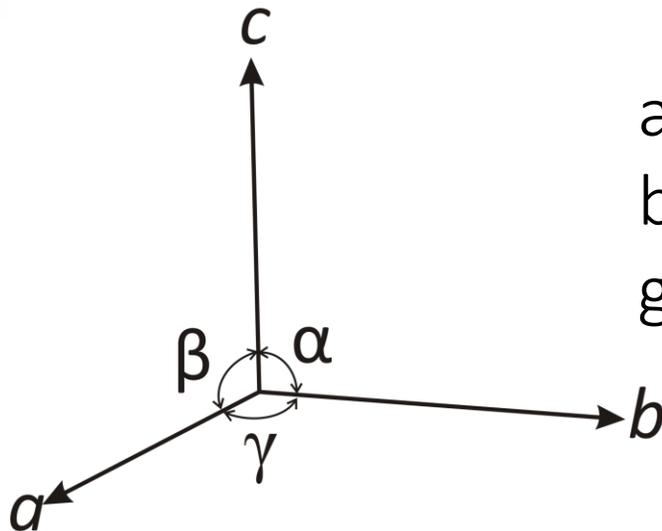
# CELDA UNIDAD

## Celda unidad



Los valores de a, b y c (**sinaxia**) y alpha, beta y gamma (**sinagonia**) determinan el tamaño y forma de la **CELDA UNIDAD**

Y por tanto la **FORMA** que tienen los cristales



a → ángulo entre b y c

b → ángulo entre a y c

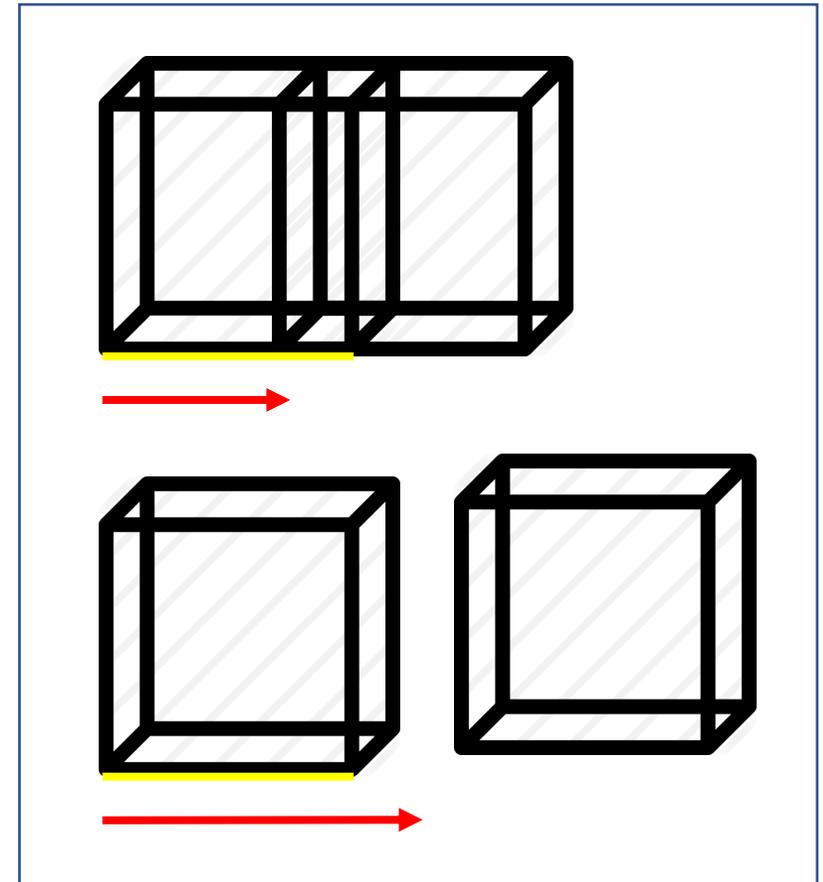
g → ángulo entre a y b

# CELDA UNIDAD

- El desplazamiento de la celda unidad a lo largo de los tres ejes X, Y y Z crea la red espacial. Por tanto, hay unos vectores de desplazamiento en cada dirección, cuya magnitud es el valor del desplazamiento.

- Si el desplazamiento es menor que la dimensión de la celda en esa dirección, hay solape.
- Si el desplazamiento es mayor, queda un hueco.
- Para que no haya solape ni hueco, la magnitud del vector de desplazamiento de la celda unidad debe ser igual a la dimensión de la celda en esa dirección.

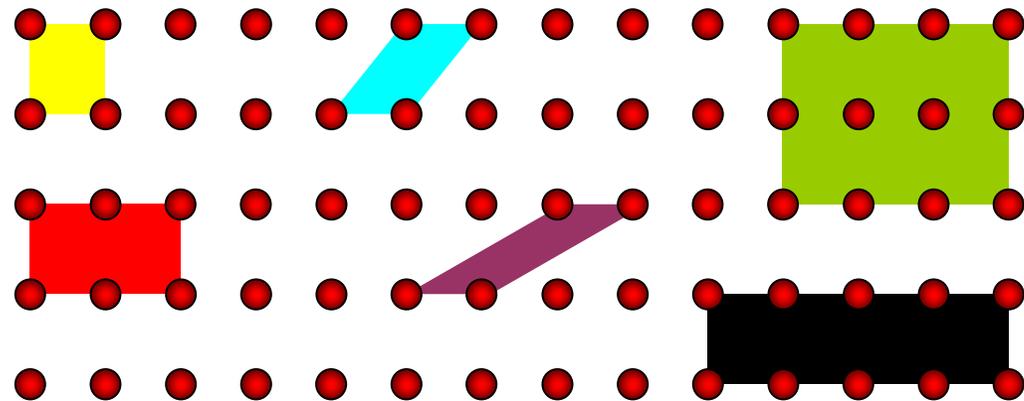
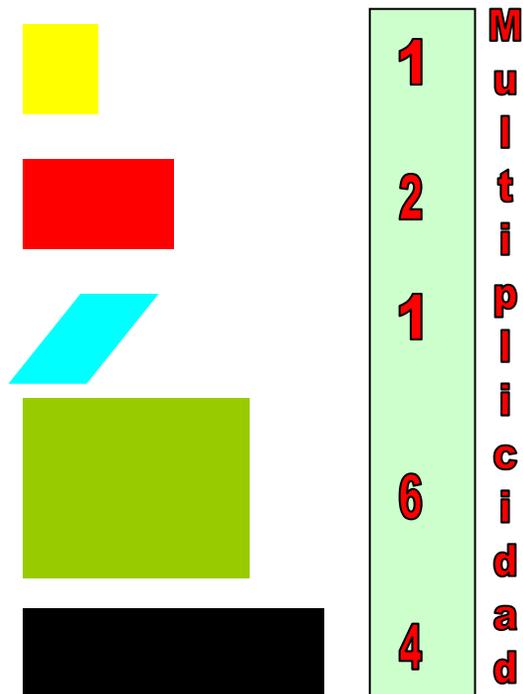
LAS DIMENSIONES DE LA CELDA UNIDAD Y SUS DIRECCIONES MARCAN LOS VECTORES DE DESPLAZAMIENTO.



# CELDA UNIDAD

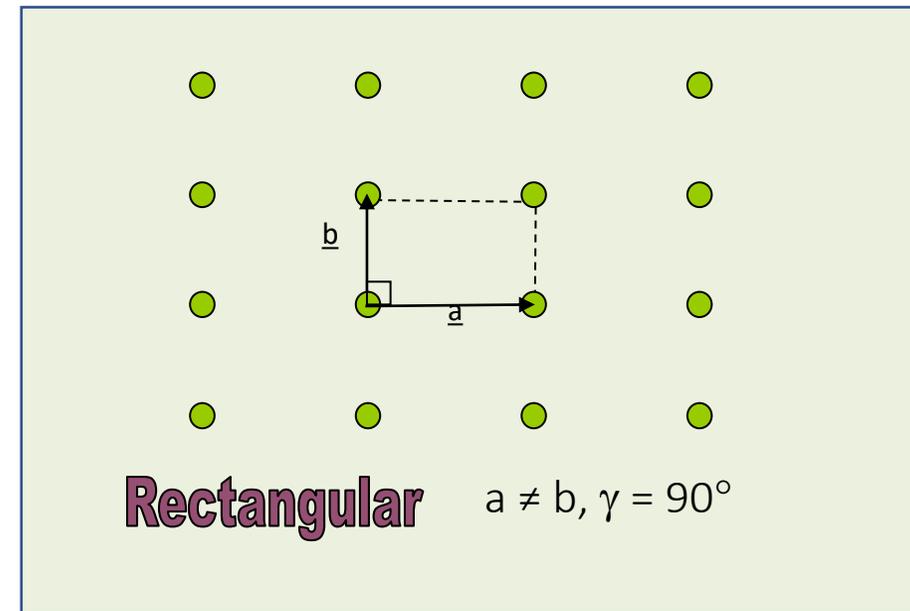
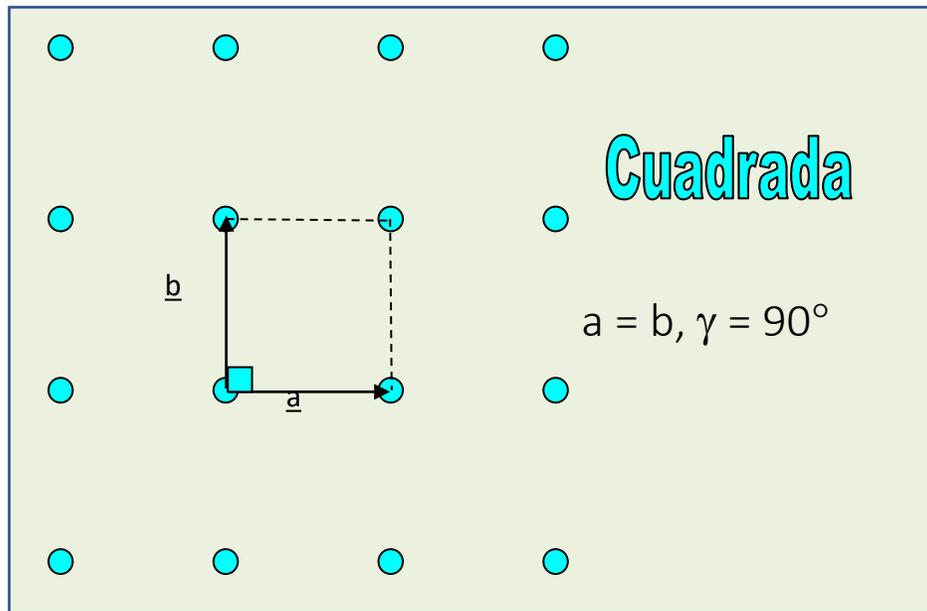
MULTIPLICIDAD: Es el número de puntos o nodos que hay en una celda elemental. Pueden ser de dos tipos:

- Primitiva: Un solo nodo
- Múltiple: Más de un nodo



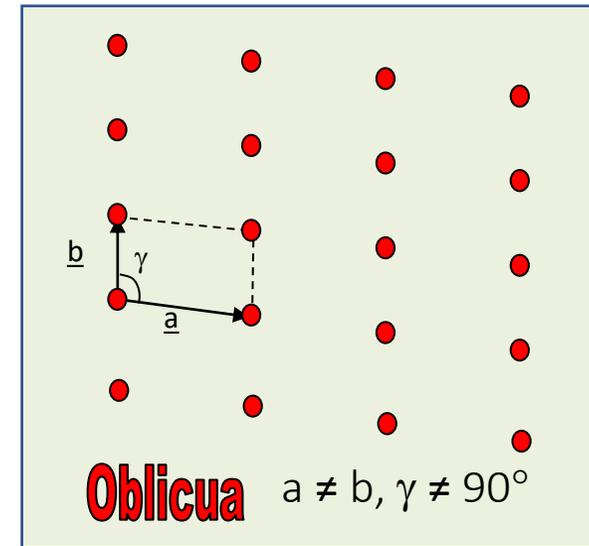
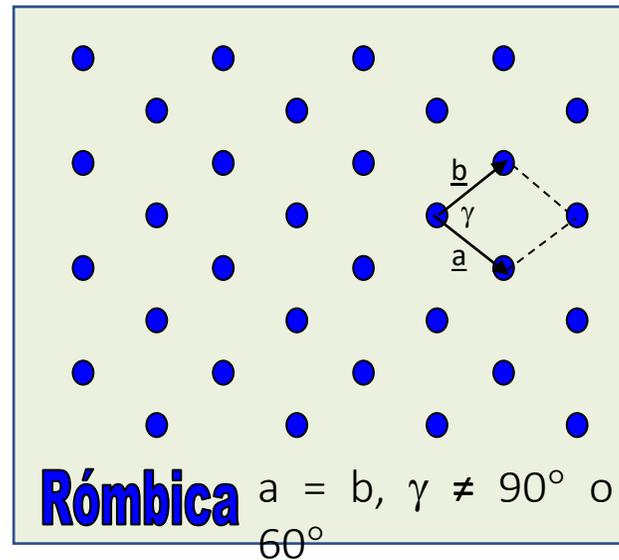
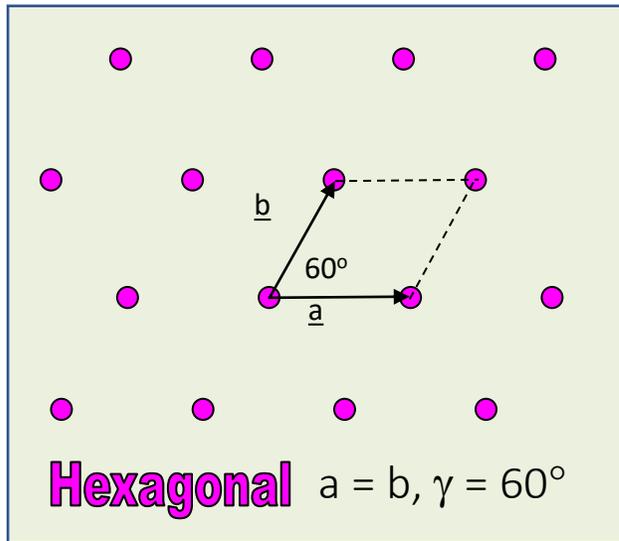
# REDES PLANAS O BIDIMENSIONALES

- Hay cinco tipos de redes planas o modos de distribución periódica de puntos en el espacio bidimensional.



# REDES PLANAS O BIDIMENSIONALES

- Hay cinco tipos de redes planas o modos de distribución periódica de puntos en el espacio bidimensional.



# SIMETRÍA

- Se dice que dos figuras son simétricas entre sí **cuando ambas se pueden hacer coincidir**. Todos los cristales presentan una **simetría** definida por la disposición de sus caras, lo que permite agruparlos en diferentes clases.
- Las diversas operaciones que pueden realizarse sobre un cristal con el resultado de hacerlo coincidir con la posición inicial se conocen como **Operaciones de Simetría**.

# OPERACIONES DE SIMETRÍA

## **Simple:**

- Traslación
- Rotación o giro
- Reflexión
- Inversión

## **Complejas:**

- Traslación-reflexión.
- Rotación-reflexión
- Rotación-inversión (rotación impropia).
- Rotación-traslación (o rotación helicoidal)

\*Las operaciones complejas son dos operaciones simples que se aplican a la vez

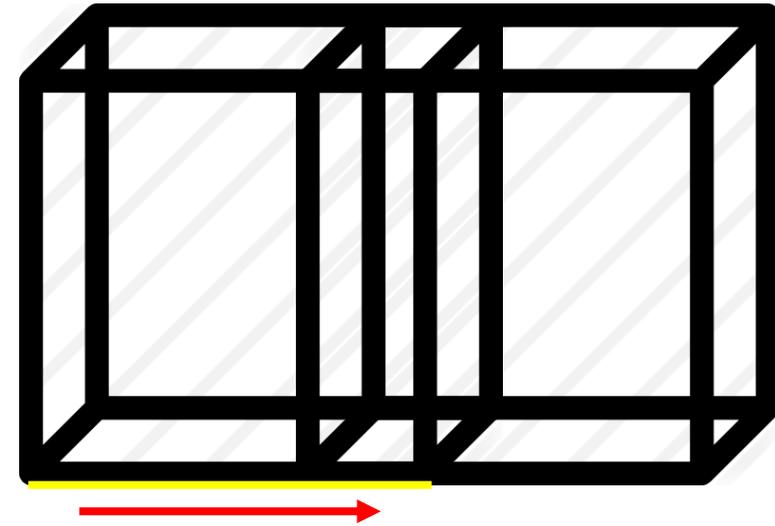
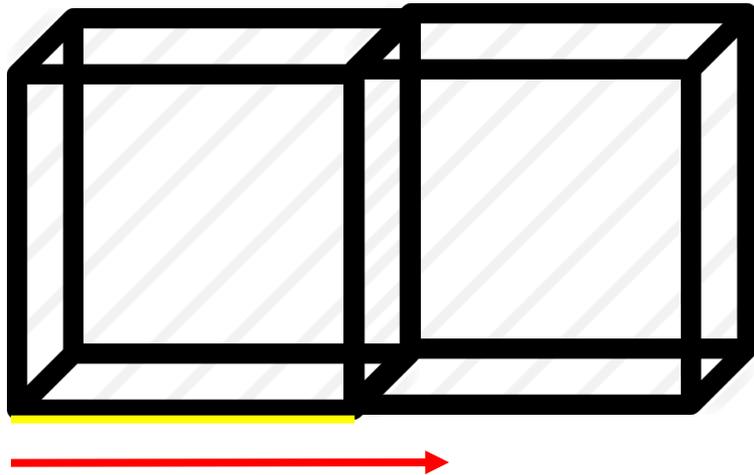
# OPERACIONES DE SIMETRÍA

Cada operación de simetría tiene un su propio elemento de simetría.

<u>Operación:</u>	<u>Elemento:</u>
• Traslación	Vector
• Rotación o giro	Eje de rotación
• Reflexión	Plano de reflexión
• Inversión	Centro de inversión
• Traslación-reflexión	Vector+plano
• Rotación-reflexión	Eje+plano (eje de giro reflejo)
• Rotación-inversión	Eje de rotoinversión
• Rotación helicoidal	Eje+vector (eje helicoidal)

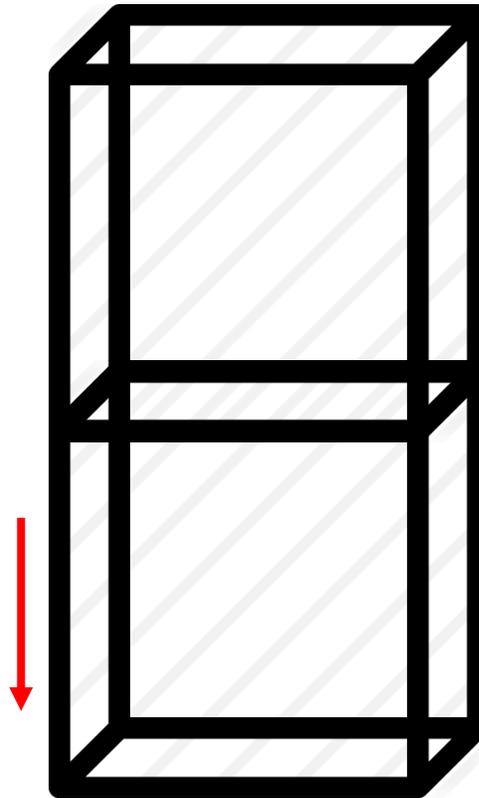
# OPERACIONES DE SIMETRÍA. TRASLACIÓN

- TRASLACIÓN: El motivo de repetición se desplaza en una dirección. Se representa por un vector de desplazamiento.



# OPERACIONES DE SIMETRÍA. TRASLACIÓN

La traslación se puede producir en más de una dirección. Por tanto, hay más de un vector, y cada uno puede tener una magnitud diferente.

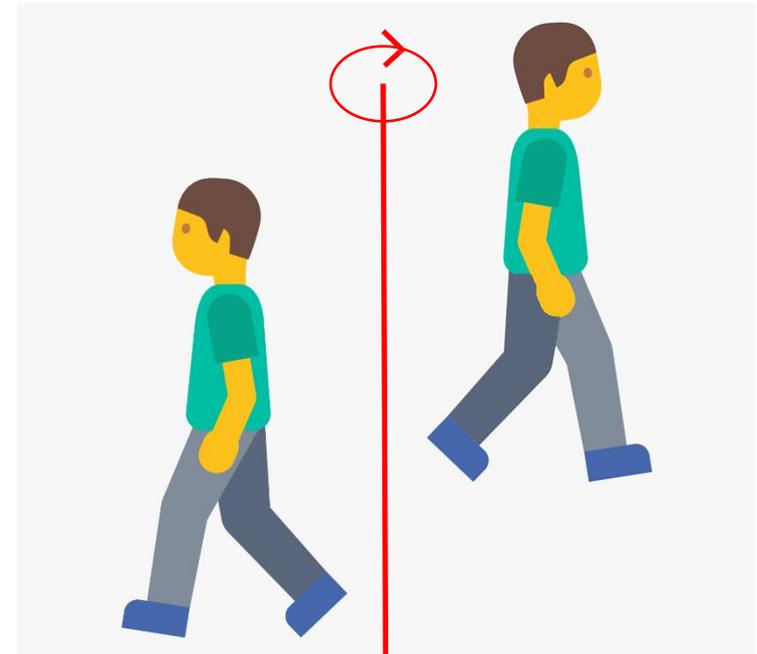


# OPERACIONES DE SIMETRÍA. ROTACIÓN

ROTACIÓN: En una operación de rotación o giro se logra la coincidencia de una figura con otra a través de un **eje de simetría o eje de rotación**.

## Eje de simetría

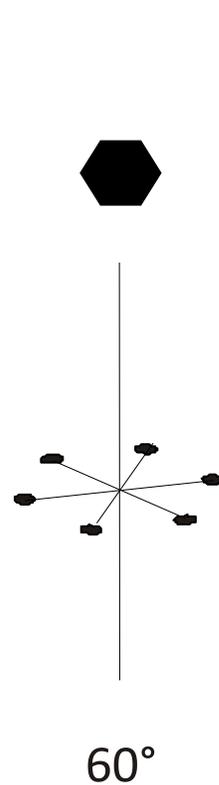
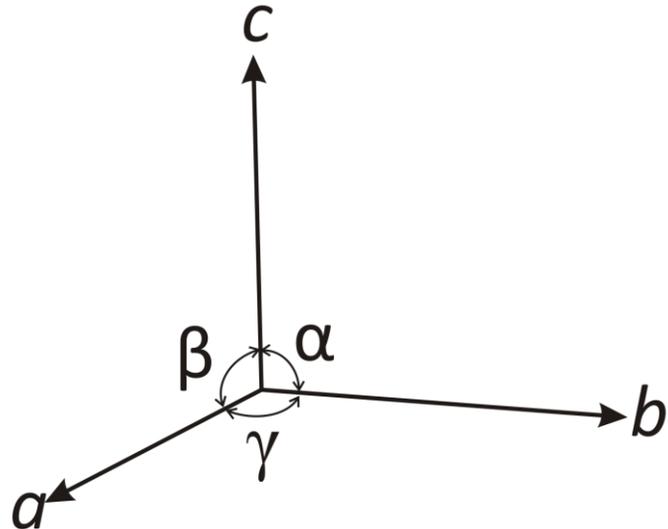
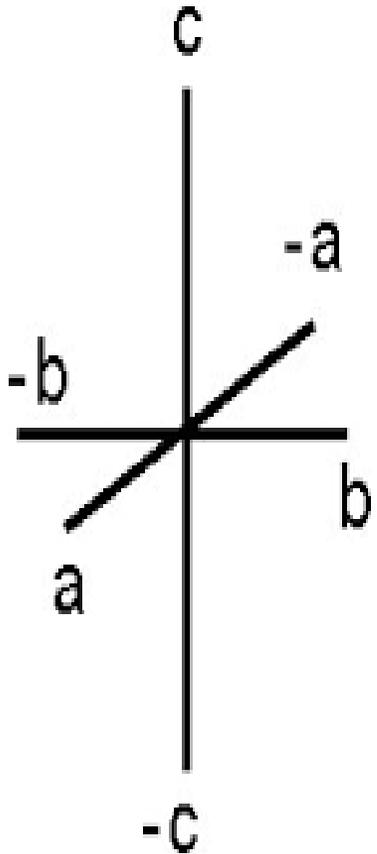
Es una línea imaginaria a través del cristal, alrededor del cual puede hacerse girar el cristal y repetir su aspecto 2 o más veces durante una revolución completa.



# EJES DE SIMETRÍA

Ejes de simetría cristalográficos

$\alpha$  → ángulo entre  $b$  y  $c$   
 $\beta$  → ángulo entre  $a$  y  $c$   
 $\gamma$  → ángulo entre  $a$  y  $b$



Berilo  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$

# EJES DE SIMETRÍA

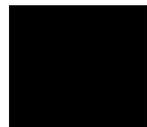
Eje de simetría A1 o monario ( $360^\circ$ )



Eje de simetría A2 o binario ( $180^\circ$ )



Eje de simetría A3 o ternario ( $120^\circ$ )



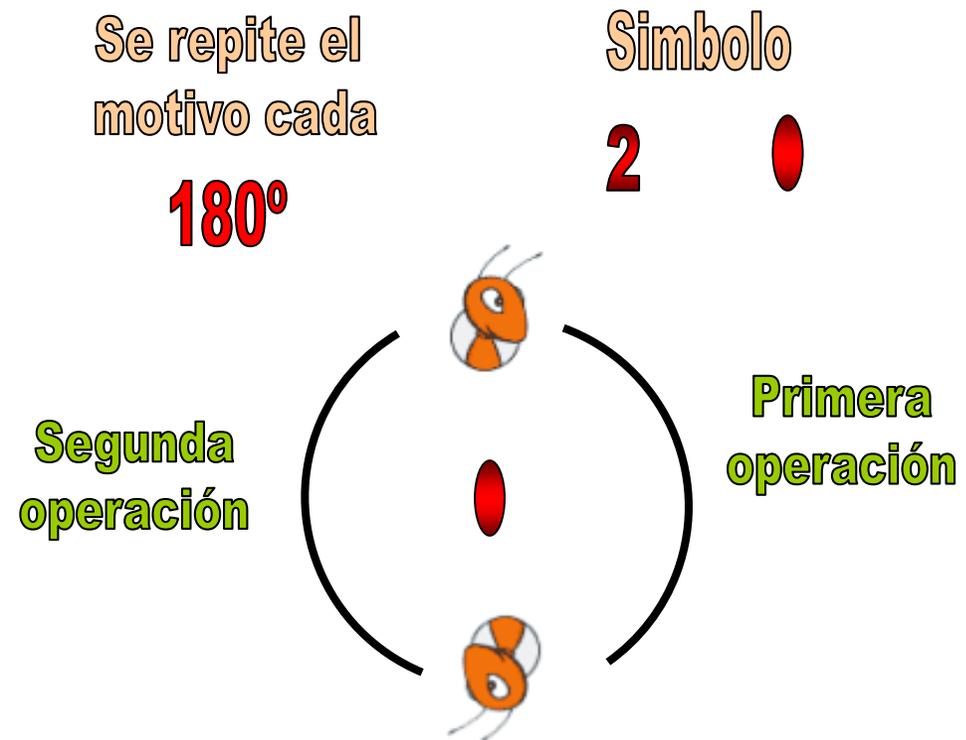
Eje de simetría A4 o cuaternario ( $90^\circ$ )



Eje de simetría A6 o senario ( $60^\circ$ )

# EJES DE SIMETRÍA

## EJE DE ROTACIÓN BINARIO



# EJES DE SIMETRÍA

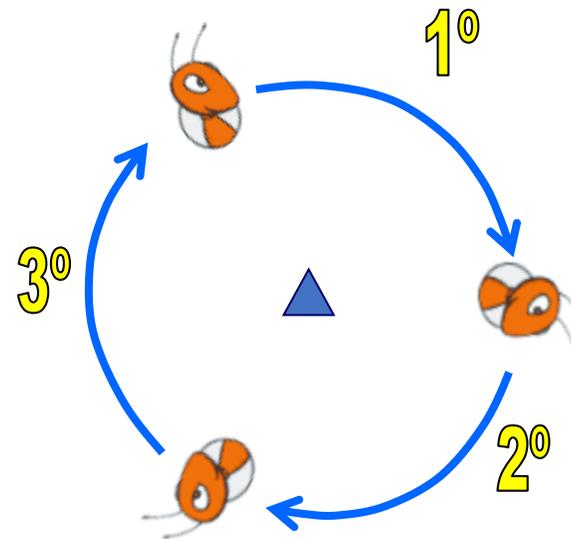
## EJE DE ROTACIÓN TERNARIO

Se repite el  
motivo cada

**120°**

Simbolo

**3** ▲

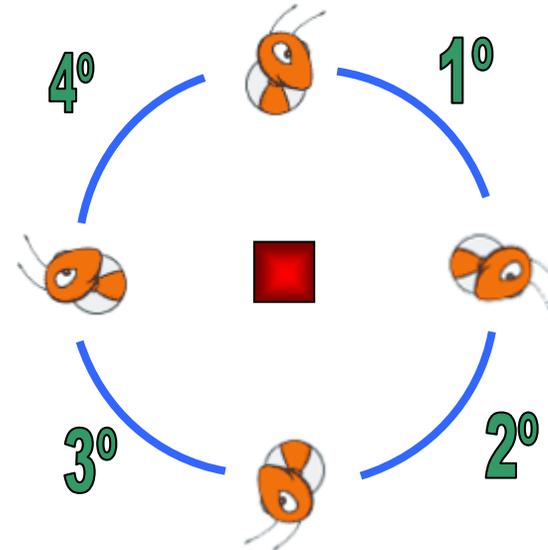


# EJES DE SIMETRÍA

## EJE DE ROTACIÓN CUATERNARIO

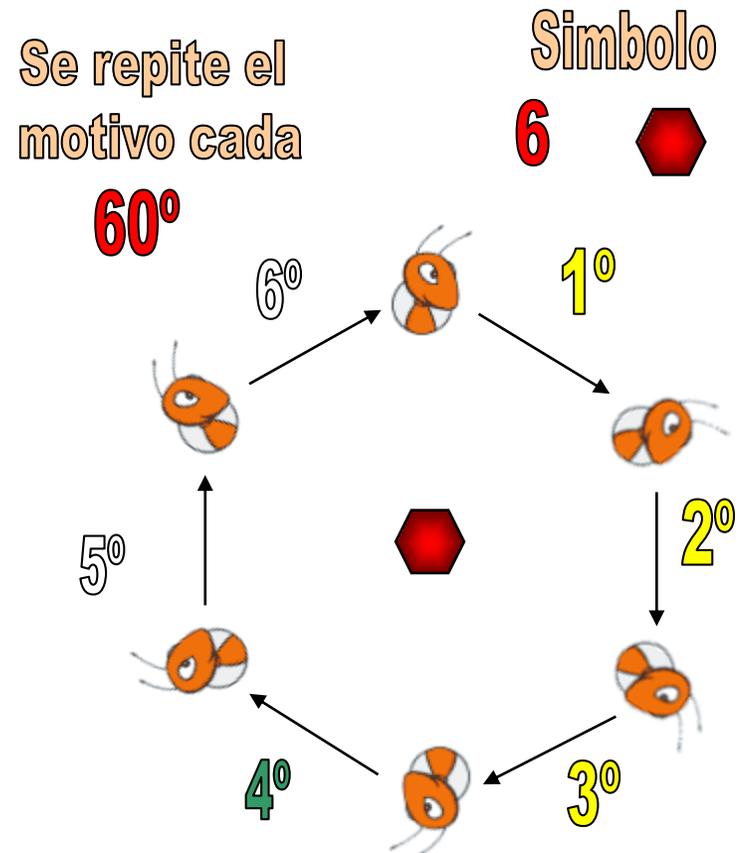
Se repite el  
motivo cada  
**90°**

Simbolo  
**4** 



# EJES DE SIMETRÍA

## EJE DE ROTACIÓN SENARIO

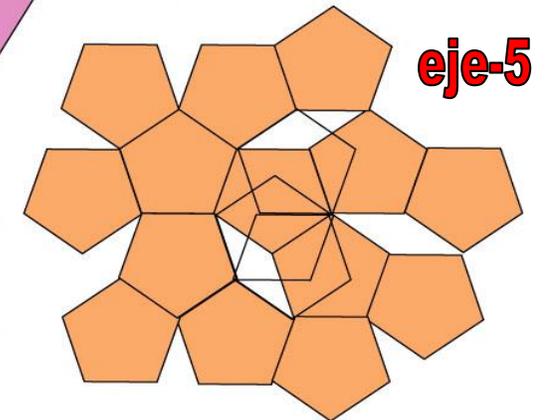
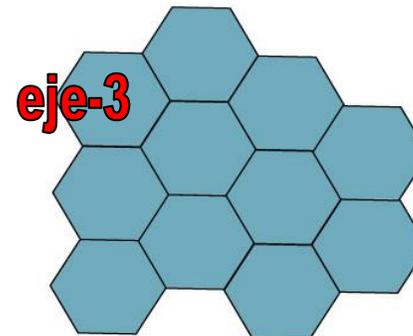
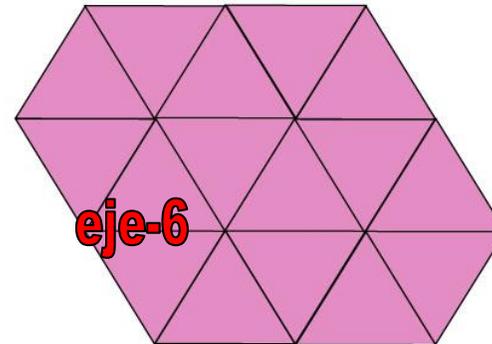
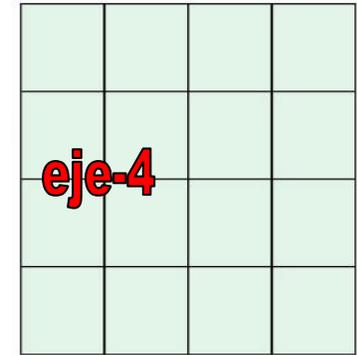


# EJES DE SIMETRÍA

## EJE DE ROTACIÓN DE ORDEN 5?

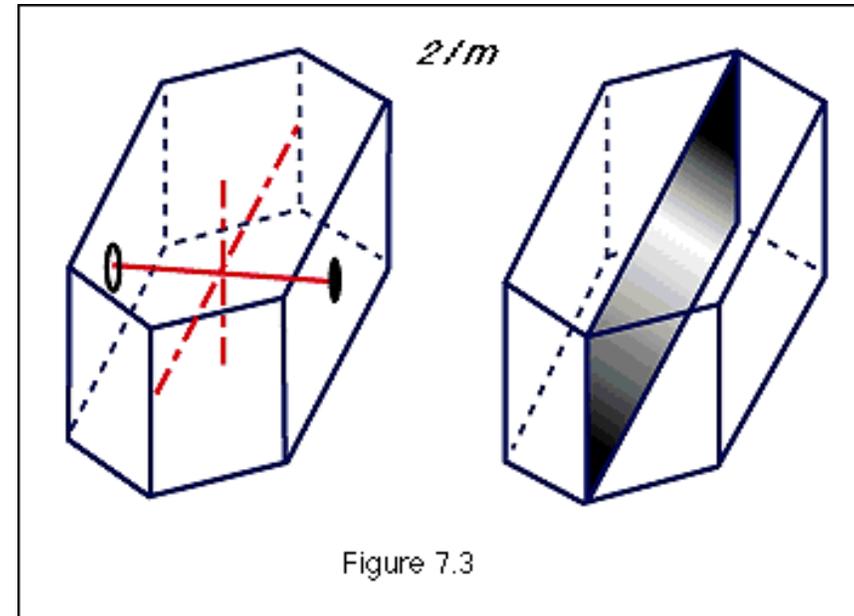
Debe cumplir con periodicidad: no debe haber solapes, no debe haber huecos, debe haber una sola celda unidad.

Ejes de orden 5 no pueden llenar el espacio físico; la estructura de los cristales es continua. No se cumple la periodicidad.



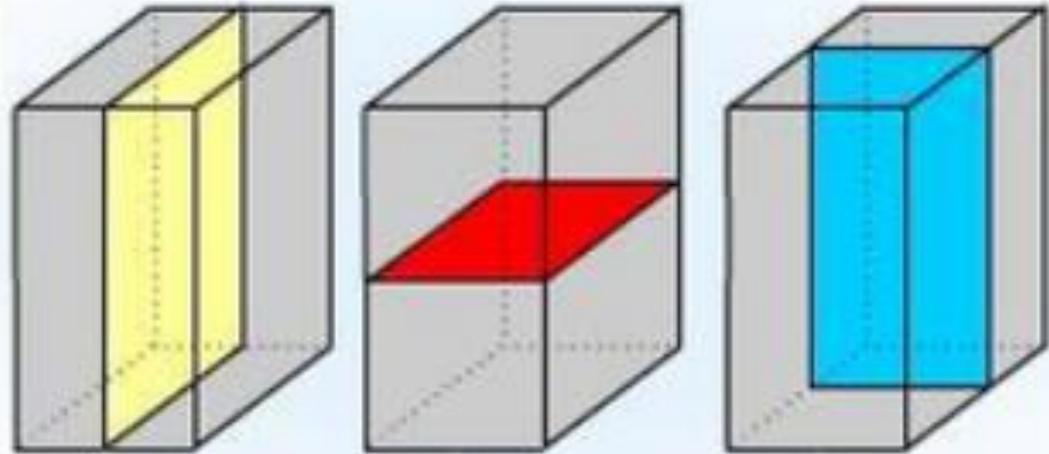
# OPERACIONES DE SIMETRÍA. REFLEXIÓN

- REFLEXIÓN: El **plano de simetría,  $m$** , o de reflexión, refleja partes idénticos del objeto a través de un plano.



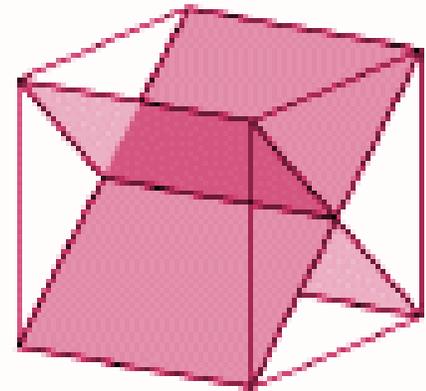
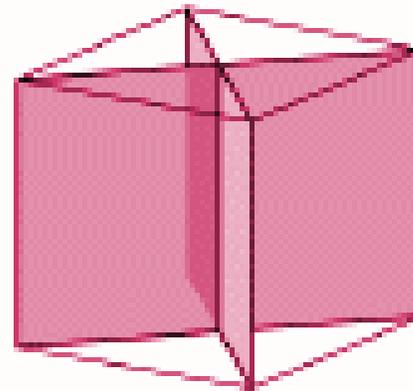
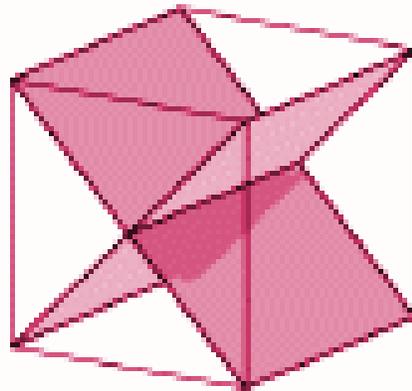
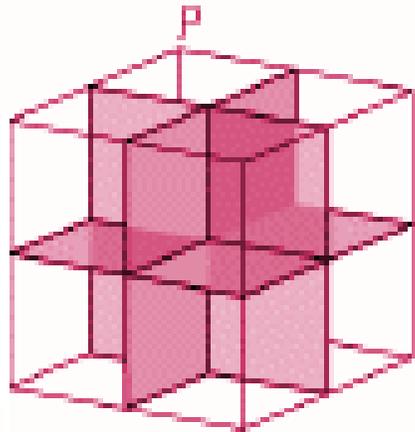
# OPERACIONES DE SIMETRÍA. REFLEXIÓN

- **Plano de simetría:** Es un plano imaginario que divide un cristal en 2 mitades iguales, es decir, cada una de las cuales es la imagen especular de la otra. A cada arista, cara, o vértice de un lado del plano corresponde una cara, arista, vértice en una posición similar al otro lado del plano de simetría.



# OPERACIONES DE SIMETRÍA. REFLEXIÓN

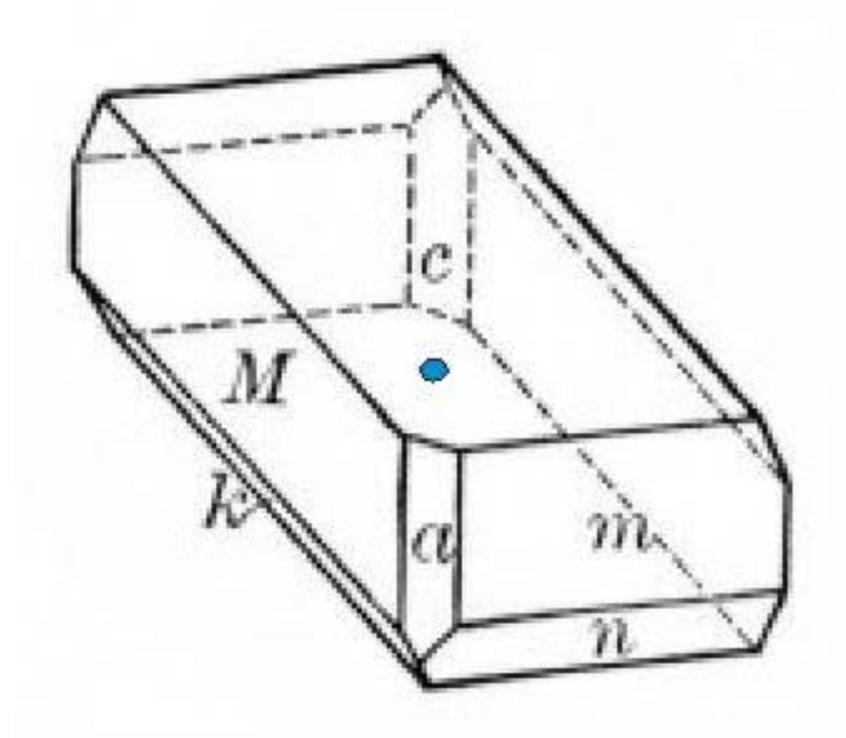
Un cristal puede tener más de un plano de reflexión con buzamientos diferentes dirección de buzamiento.



Todos los planos de reflexión de un cristal pasan por el centro geométrico del mismo.

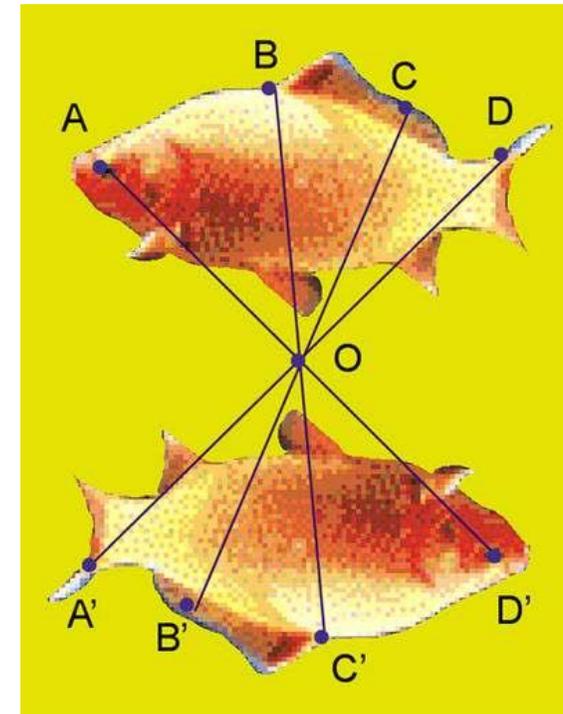
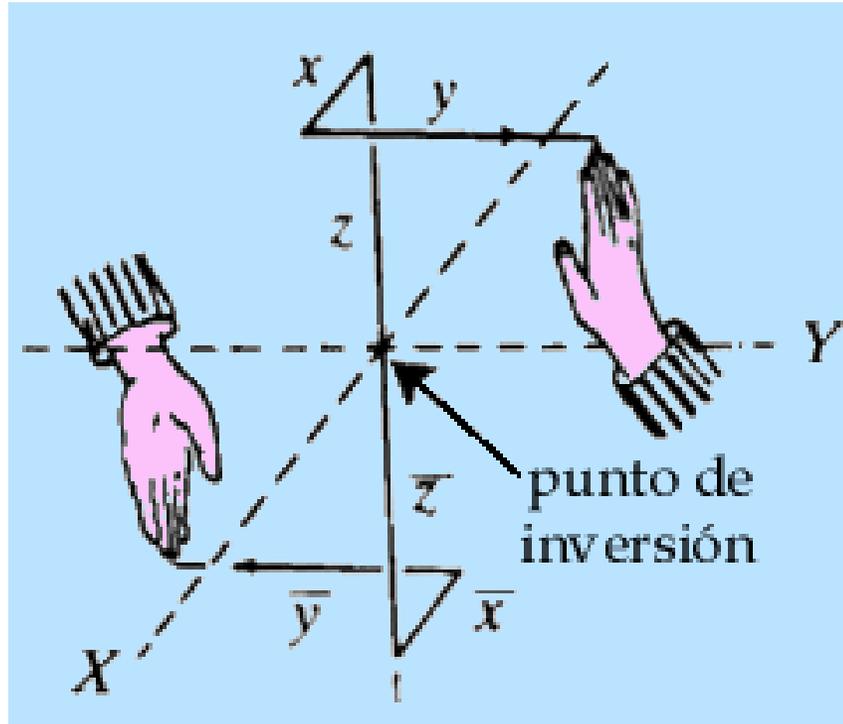
# OPERACIONES DE SIMETRÍA. INVERSIÓN

- INVERSIÓN: Un cristal que posee centro de simetría, para una cara cualquiera deberá existir otra al otro lado del sólido, paralela a ella, geoméricamente idéntica y puesta en posición opuesta.



# OPERACIONES DE SIMETRÍA. INVERSIÓN

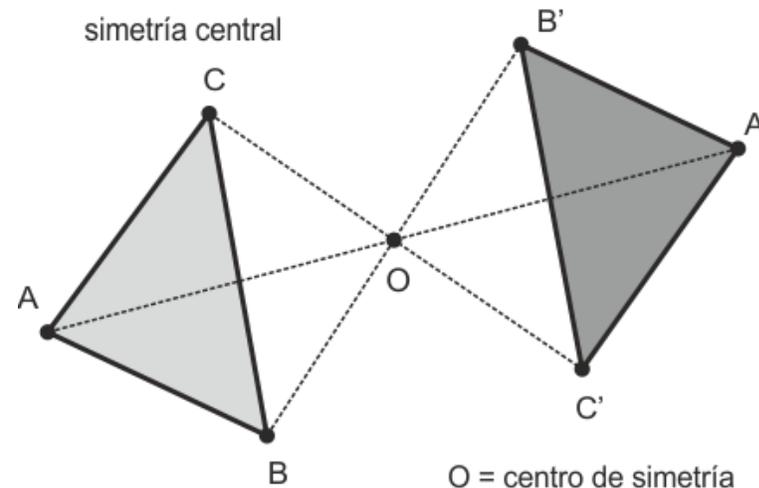
- Es una operación de simetría análoga a la reflexión. La diferencia consiste en que la reflexión se produce en un plano especular, mientras que la inversión se produce en un punto, **el centro de simetría**



# OPERACIONES DE SIMETRÍA. INVERSIÓN

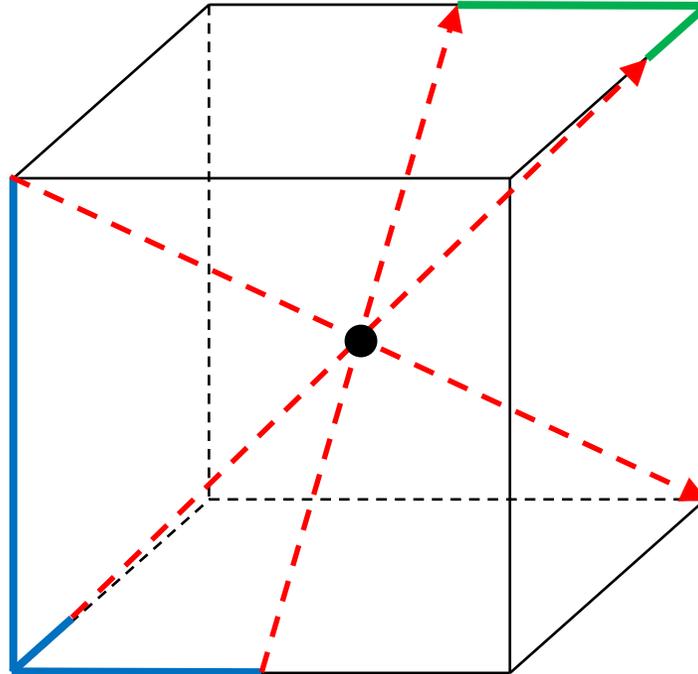
- **Centro de simetría**

Se dice que un cristal tiene centro de simetría cuando una recta imaginaria trazada desde un punto cualquiera de su superficie, a través del centro del cristal, se halla o encuentra sobre dicha línea, y a una distancia igual, más allá del centro, otro punto similar al primero. Es decir, se encuentra al lado opuesto del sólido (cristal) un punto equivalente.



# OPERACIONES DE SIMETRÍA. INVERSIÓN

Centro de inversión tridimensional se encuentra siempre en el centro geométrico del cristal. Los cristales pueden tener máximo un centro de simetría.



# OPERACIONES DE SIMETRÍA. INVERSIÓN

Para que un cristal tenga centro de simetría se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Toda cara debe tener una paralela.
- La cara paralela debe tener la misma forma y tamaño que la cara original.
- Si la cara original apunta hacia arriba, a la derecha y adelante, la cara inversa debe apuntar hacia abajo, a la izquierda y hacia atrás.

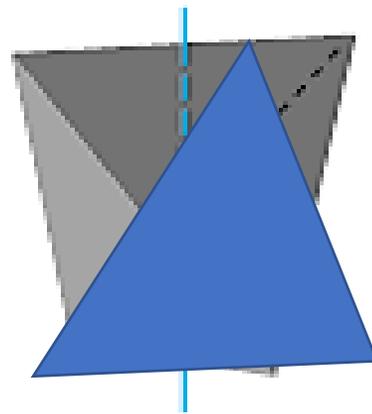
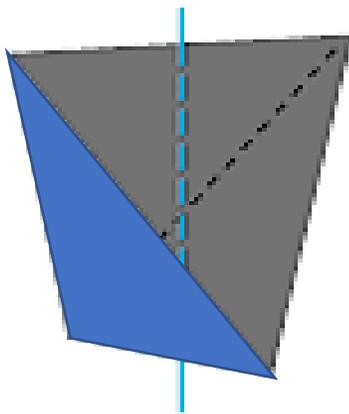
# OPERACIONES DE SIMETRÍA. TRASLACIÓN-REFLEXIÓN

- TRASLACIÓN-REFLEXIÓN



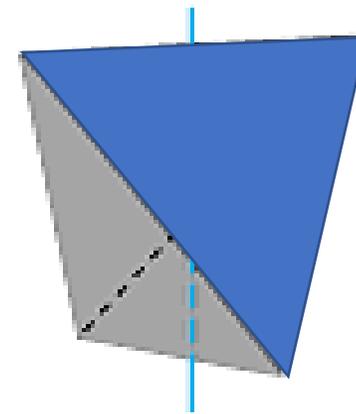
# OPERACIONES DE SIMETRÍA. ROTACIÓN REFLEXIÓN

- ROTACIÓN-REFLEXIÓN: La rotoreflexión esta íntimamente asociada con la rotoinversión, ya ambos son ejes de rotación impropia. Un eje de ROTOREFLEXIÓN combina una rotación de  $2\pi/n$ , con reflexión en un punto normal al eje. El símbolo es ( $\bar{n}$ ). El punto donde el plano de simetría intersecta al eje de rotación, en una operación de rotoreflexión es el centro de simetría (i).



Rotación (90°)

(no coincide con ninguna cara)



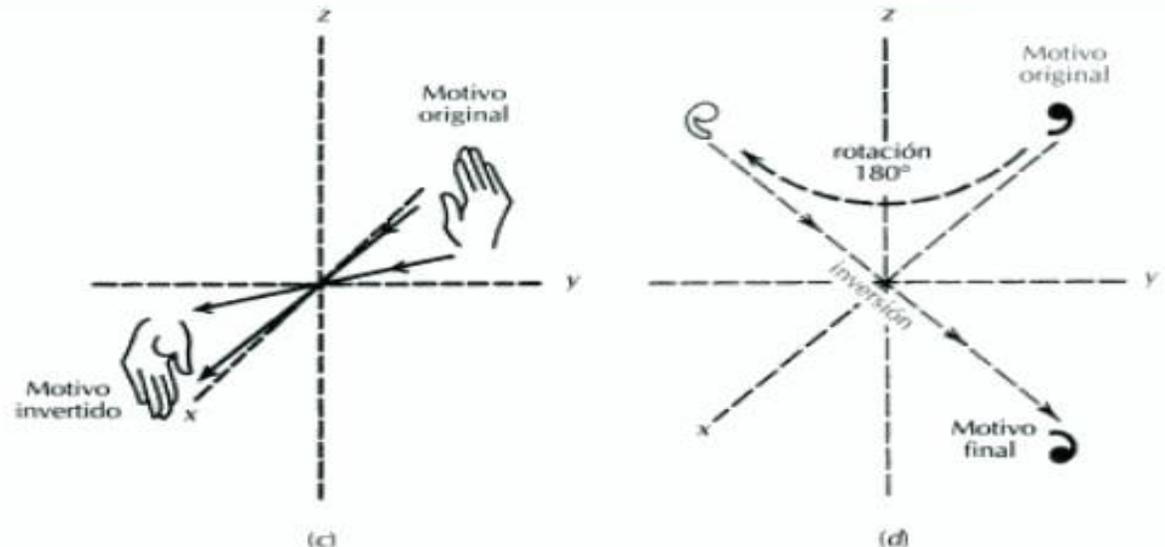
Reflexión

# OPERACIONES DE SIMETRÍA. ROTACIÓN INVERSIÓN

- ROTACIÓN-INVERSIÓN (ROTACIÓN IMPROPIA)

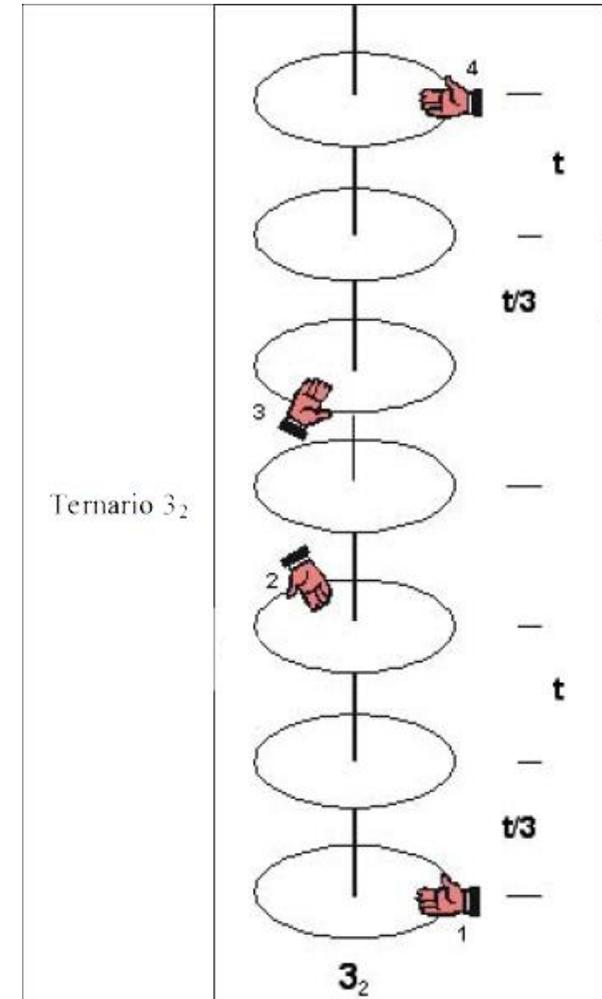
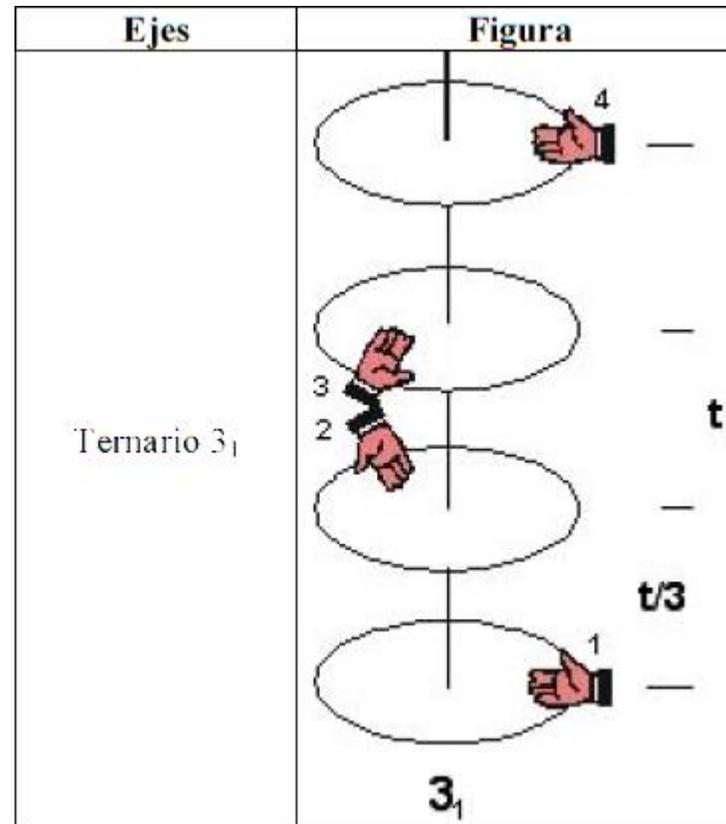
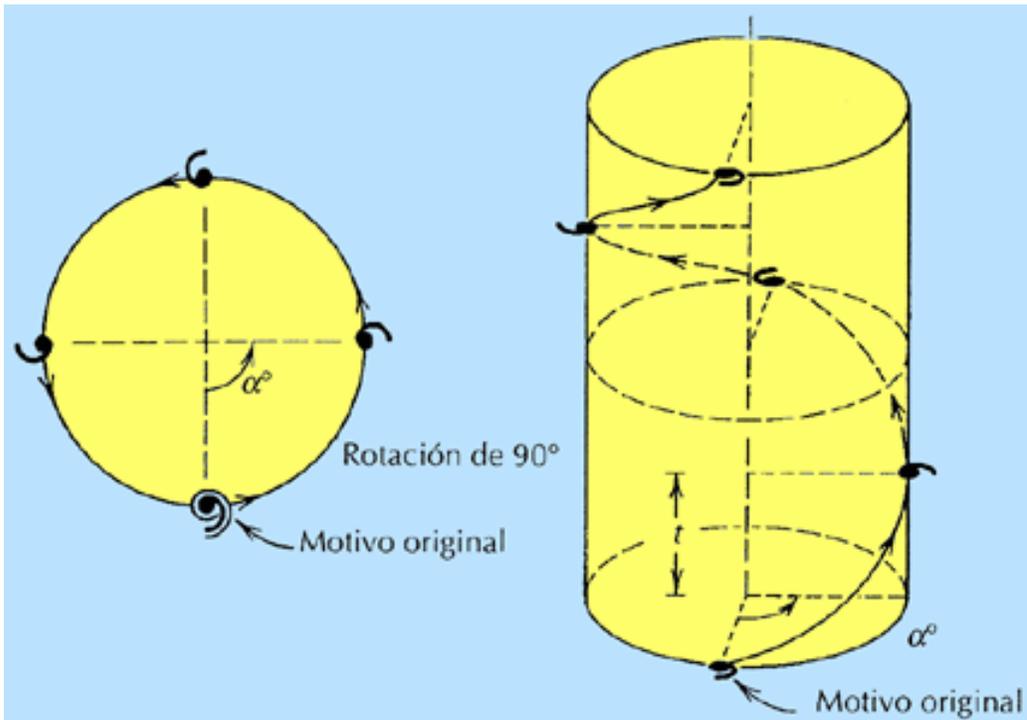
Este elemento de simetría compuesto combina una rotación alrededor de un eje con inversión sobre un centro. Ambas operaciones deben completarse antes de que se obtenga la nueva posición.

**FIGURA 2.6** (a) Generación de un diagrama por rotación de un motivo a través de un ángulo de  $180^\circ$ . (b) Motivos derecho e izquierdo relacionados por la reflexión en un plano. (c) Motivos relacionados por inversión a través de un centro. (d) Motivos relacionados por una rotación de  $180^\circ$  y por la subsiguiente inversión; esta última operación se llama también *rotación-inversión*. (Véase también Fig. 2.12a.)



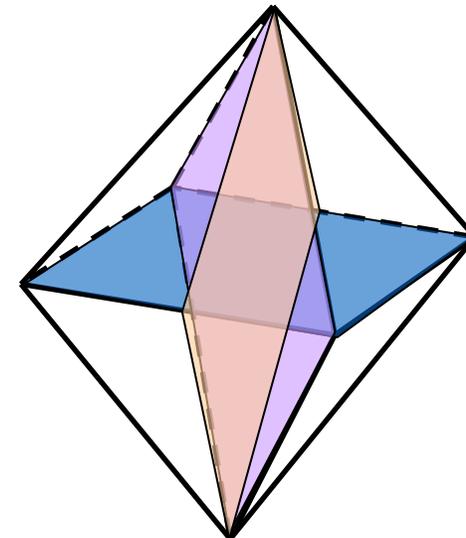
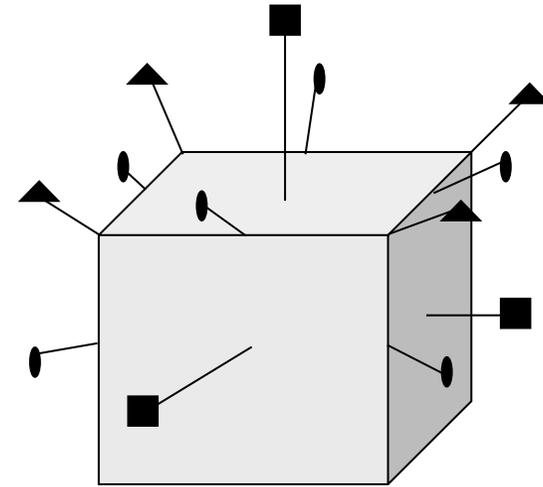
# OPERACIONES DE SIMETRÍA

- ROTACIÓN HELICOIDAL (ROTACIÓN-TRASLACIÓN)

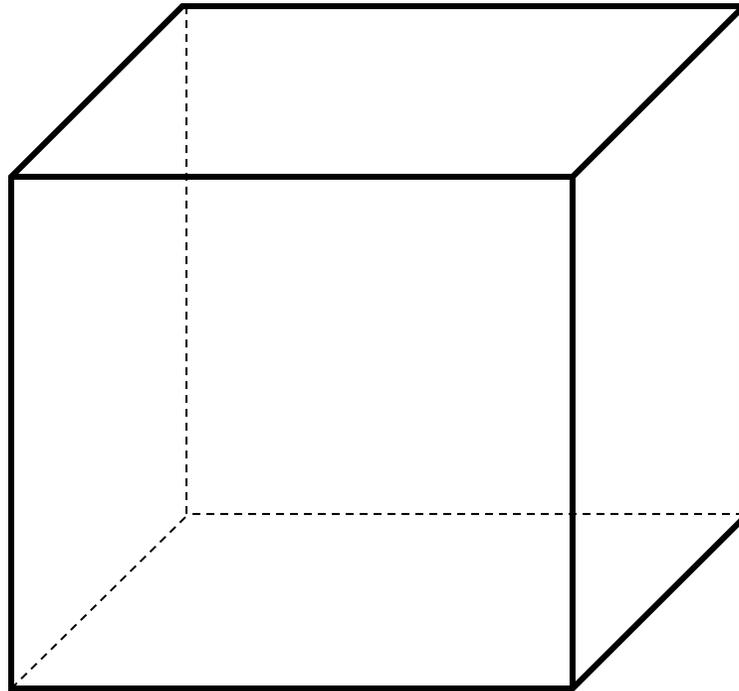


# ELEMENTOS DE SIMETRÍA DE UN CRISTAL

- **Ejes de simetría:**
  - Perpendiculares a las caras, pasando por el centro de las mismas.
  - Perpendiculares a las aristas, pasando por el centro de las mismas.
  - Pasando por los vértices.
- **Planos de simetría:**
  - Perpendiculares a las caras y las aristas, pasando por el centro de las mismas.
  - Conteniendo las aristas.
- **Centro de simetría:**
  - En el centro geométrico del poliedro.

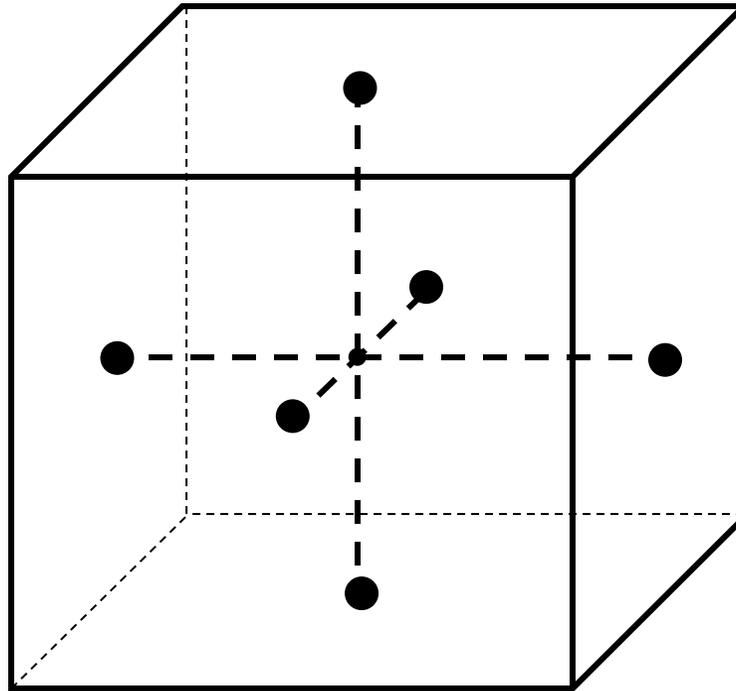


# ELEMENTOS DE SIMETRÍA DE UN CRISTAL



¿Cuáles y cuántos  
elementos de simetría tiene  
un cubo?

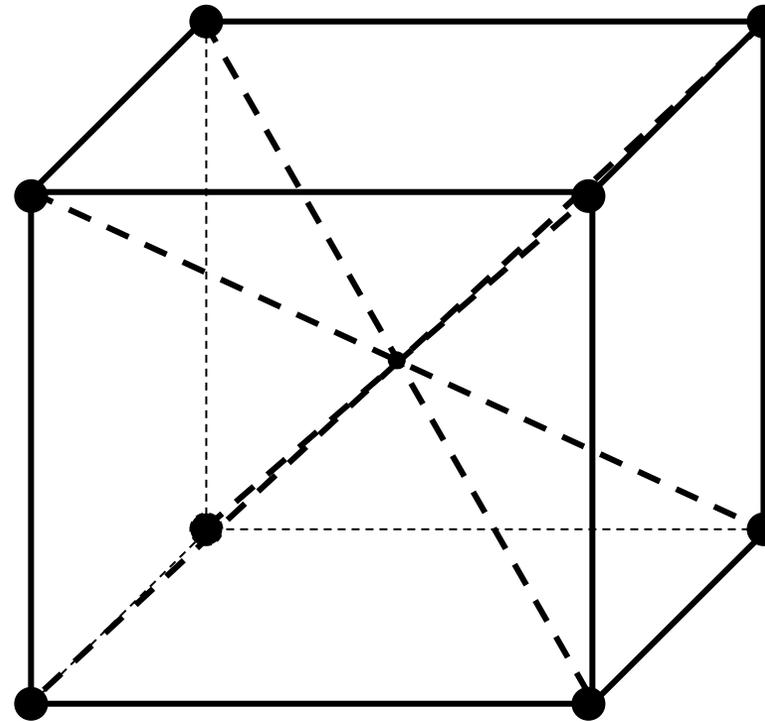
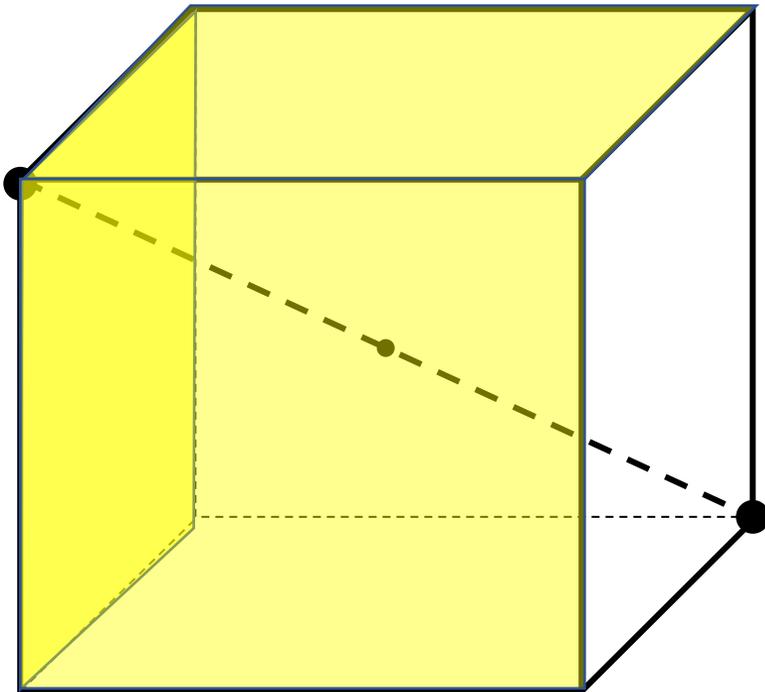
# ELEMENTOS DE SIMETRÍA DE UN CRISTAL



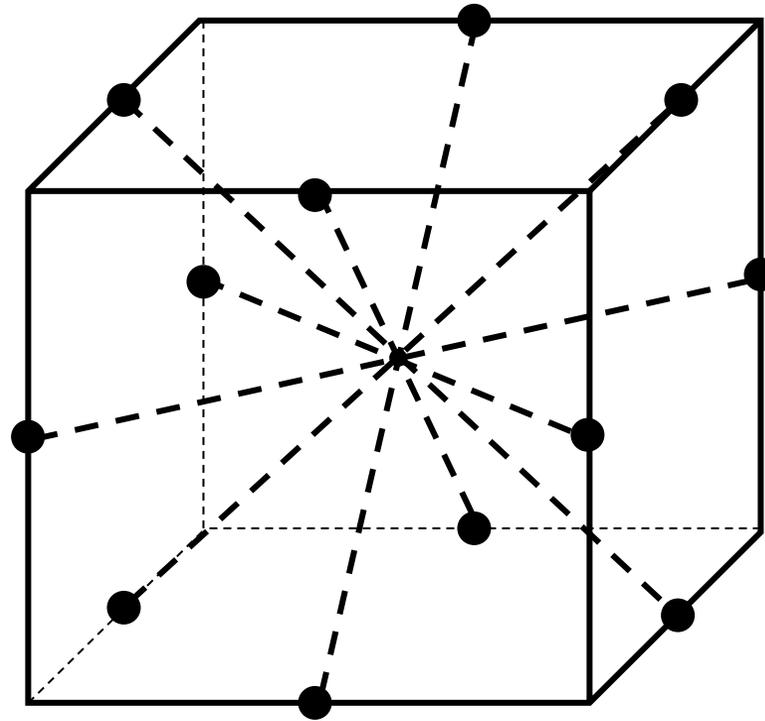
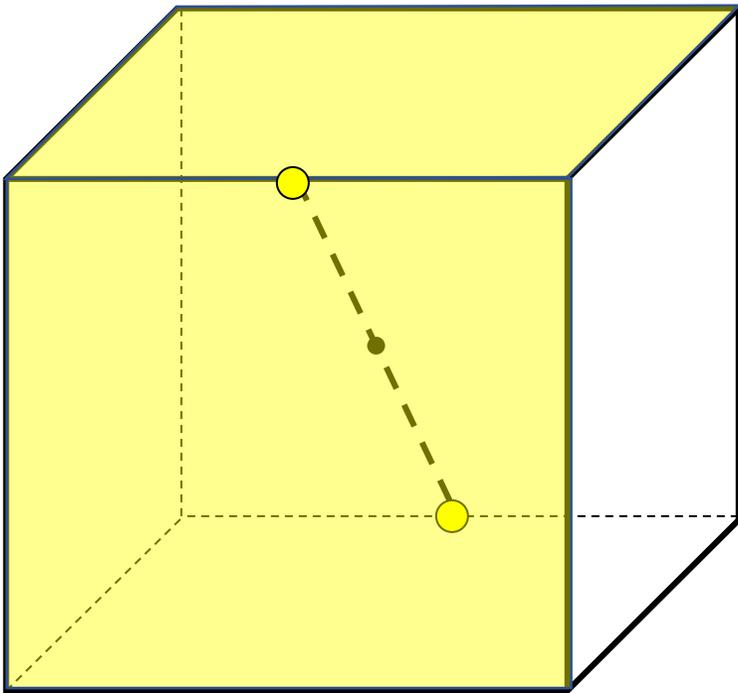
Las perpendiculares a  
parejas de caras paralelas en  
un cubo son ejes de orden 4  
(3 ejes cuaternarios)

# ELEMENTOS DE SIMETRÍA DE UN CRISTAL

las diagonales de un cubo (por los vertices) son  
ejes de orden 4 (4 ejes ternarios)



# ELEMENTOS DE SIMETRÍA DE UN CRISTAL



Las perpendiculares a  
parejas de aristas  
paralelos en un cubo  
son ejes de orden 2  
(6 ejes binarios)