

Estructura de la Materia 2

Clase 1 - Teoría

Docentes

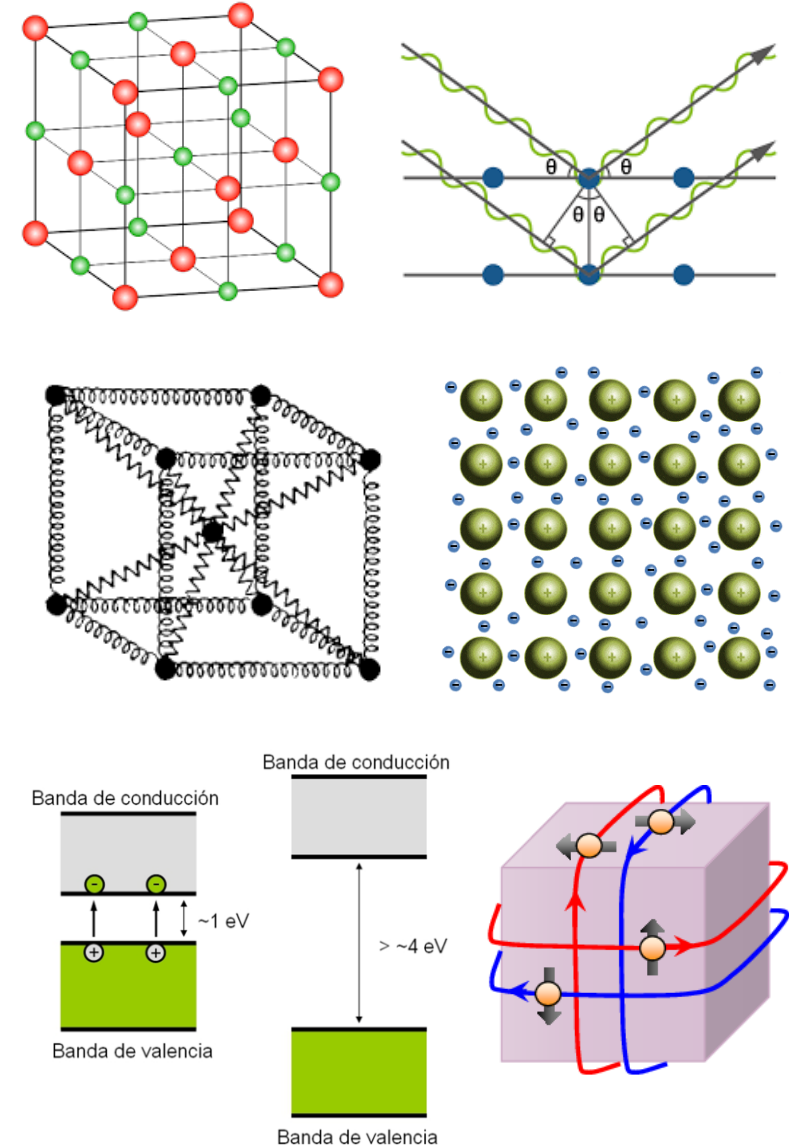
Gustavo Grinblat, Andrea Barral, Adán Garros

Departamento de Física, FCEN, UBA – Primer Cuatrimestre, 2025

Web: <https://asignaturas.df.uba.ar/edlm2-grinblat/>

Programa de la materia

- Red cristalina, red recíproca y difracción de rayos X
- Clasificación de los sólidos y energía de cohesión
- Vibraciones, fonones y propiedades térmicas
- Electrones en sólidos (potencial periódico)
- Semiconductores y juntura semiconductor
- Magnetismo en sólidos
- Introducción a los aisladores topológicos



Cronograma de la materia

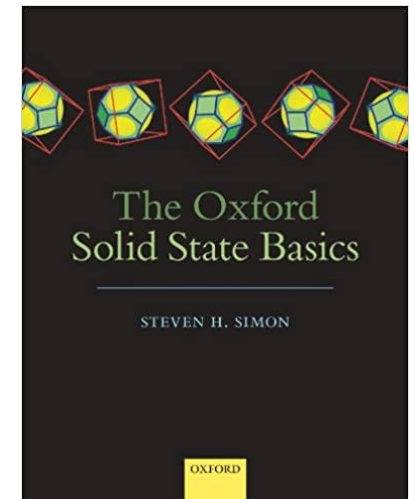
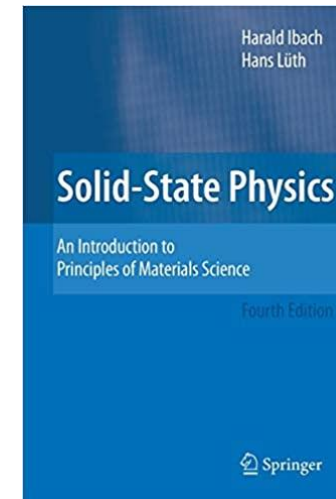
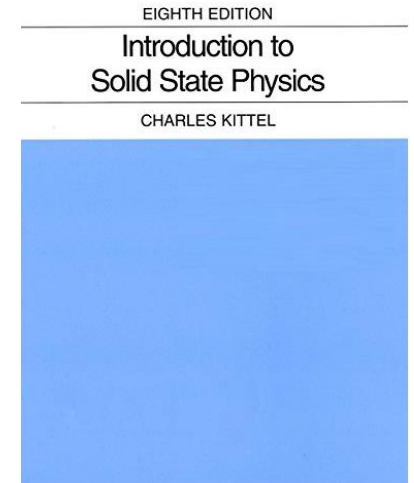
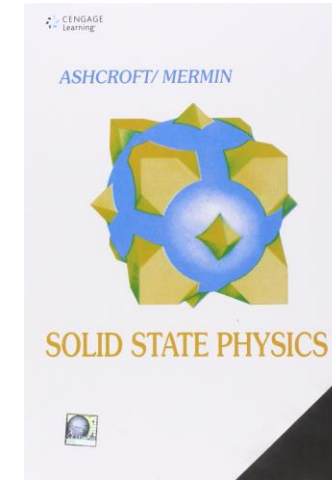
Semana	Teórica	Práctica
1 (17/03)	Redes cristalinas (J)	-
2 (24/03)	Red recíproca y difracción de rayos X (M)	Guía 1 (J)
3 (31/03)	Cohesión en sólidos (M)	Guía 1 (J)
4 (07/04)	Dinámica de redes (M)	Guía 2 (J)
5 (14/04)	Fonones y propiedades térmicas (M)	Guía 3 (J)
6 (21/04)	Electrones libres y electrones de Bloch (M)	Guía 3 (J)
7 (28/04)	Electrones en un potencial débil (M)	Feriado (J)
8 (05/05)	-	Guía 4 (M); Consulta (J)
9 (12/05)	Modelo de enlaces fuertes (J)	Primer Parcial (M)
10 (19/05)	Dinámica de electrones y Efecto Hall (M)	Guía 5 (J)
11 (26/05)	Semiconductor intrínseco y extrínseco (M)	Guía 6 (J)
	Semiconductor extrínseco y juntura	
12 (02/06)	semiconductora (M)	Guía 7 (J)
13 (09/06)	Juntura semiconductora (M)	Guía 7 (J)
	Magnetismo localizado (M);	
14 (16/06)	Dominios y magnetismo itinerante (J)	-
15 (23/06)	Aisladores topológicos (J)	Guía 8 (M)
16 (30/06)	-	Consulta (M); Segundo Parcial (J)
- (07/07)	-	Primer Recuperatorio (J)
- (14/07)	-	Segundo Recuperatorio (M)

Régimen de promoción:

Dos parciales con un recuperatorio cada uno al final del cuatrimestre. Examen final.

Literatura

- *Solid State Physics*, N. Ashcroft & N. Mermin
- *Introduction to solid state physics*, C. Kittel
- *The Oxford Solid State Basics*, S. Simon
- *Solid State Physics*, Ibach & Luth
- *Topological Insulators*, M. Franz & L. Molenkamp
- ...



Material digital

- Clases Prof. A. Camjayi, DF-UBA (1C 2021)

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLNbPNPgqTfs7CoMRDlxi2nLwuHbfaJ2PF>



- Edición previa del curso, DF-UBA (2C 2020)

https://www.youtube.com/playlist?list=PLNbPNPgqTfs5buwHWp8FtAsT7pyu2y_Lf



- Clases Prof. P. Tamborenea, DF-UBA (2C 2012)

<https://www.df.uba.ar/en/cursos-online/6629-estructura-de-la-materia-2-2do-cuatrimestre-2012>



- Clases Prof. S. Scandolo, ICTP (Italia)

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLZi2V5wYkgCIoOoFjHv8WooNGLokyto7p>



- Clases Prof. S. H. Simon, Oxford (Inglaterra)

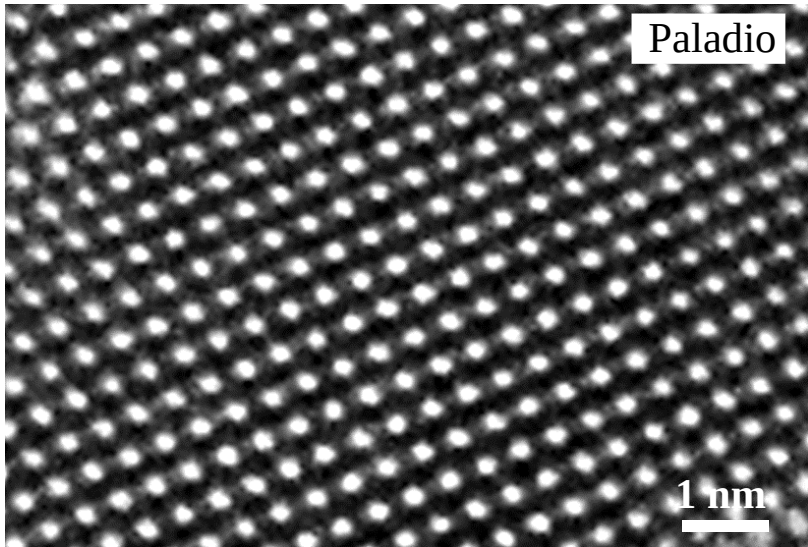
<http://podcasts.ox.ac.uk/series/oxford-solid-state-basics>



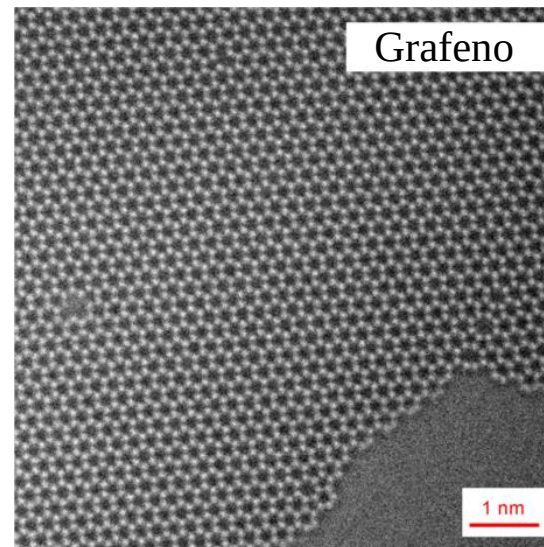
- ...

Redes cristalinas

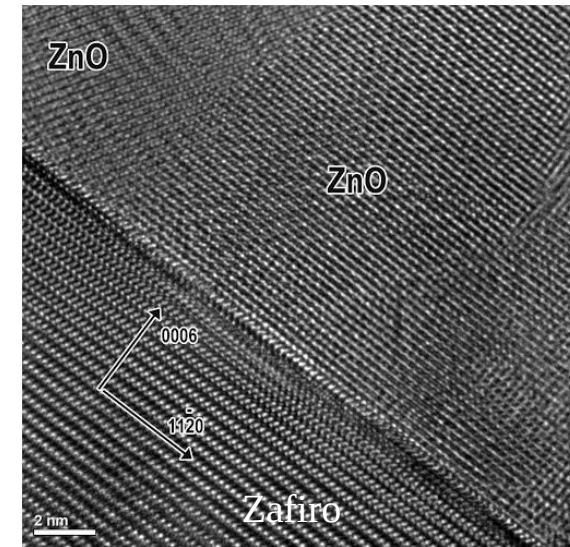
Imágenes de microscopía electrónica de alta resolución



<https://www.knmf.kit.edu/TEM.php>



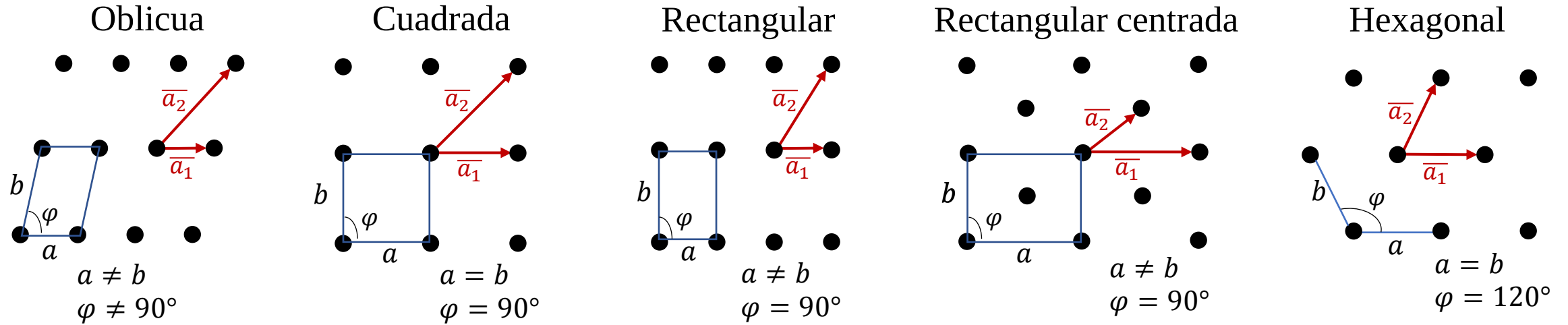
<https://www.salve-project.de/>



<http://www.microscopy.cz/>

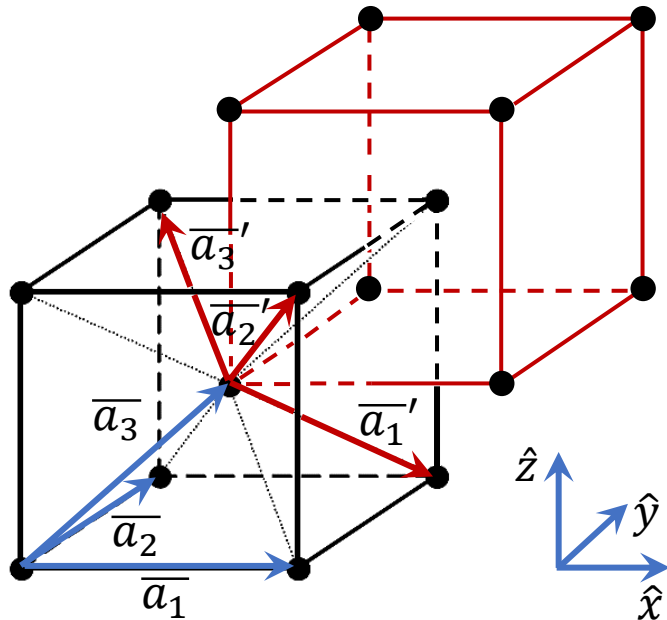
Redes cristalinas: Redes en 2D

Redes de Bravais en 2D



Redes cristalinas: Redes en 3D

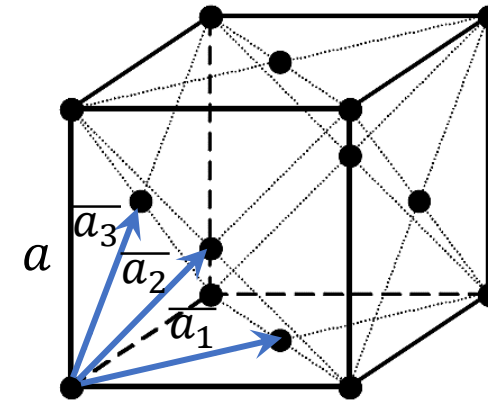
Otras redes de simetría cúbica



$$\begin{aligned}\overline{a_1}' &= (a/2)(\hat{x} + \hat{y} - \hat{z}) \\ \overline{a_2}' &= (a/2)(\hat{z} + \hat{x} - \hat{y}) \\ \overline{a_3}' &= (a/2)(\hat{y} + \hat{z} - \hat{x})\end{aligned}$$

Cúbica centrada en el cuerpo
(BCC, *body-centered cubic*)

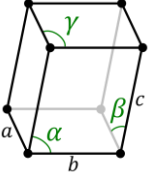
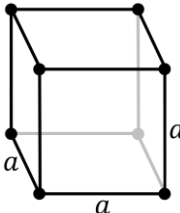
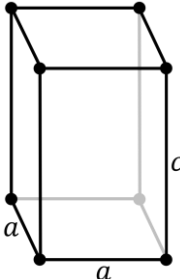
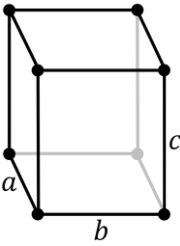
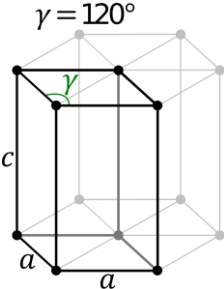
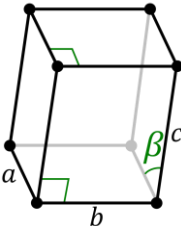
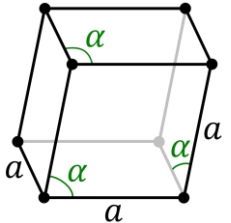
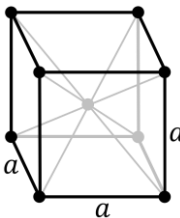
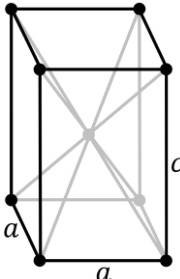
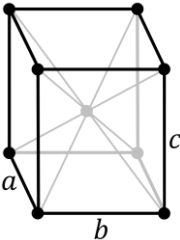
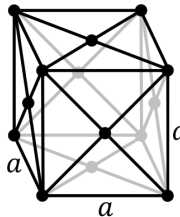
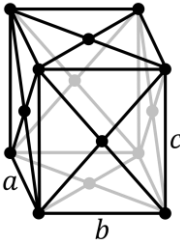
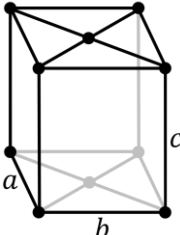
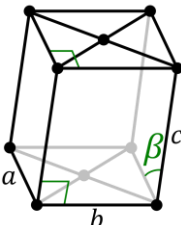
$$\begin{aligned}\overline{a_1} &= a\hat{x} \\ \overline{a_2} &= a\hat{y} \\ \overline{a_3} &= (a/2)(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})\end{aligned}$$



Cúbica centrada en las caras
(FCC, *face-centered cubic*)

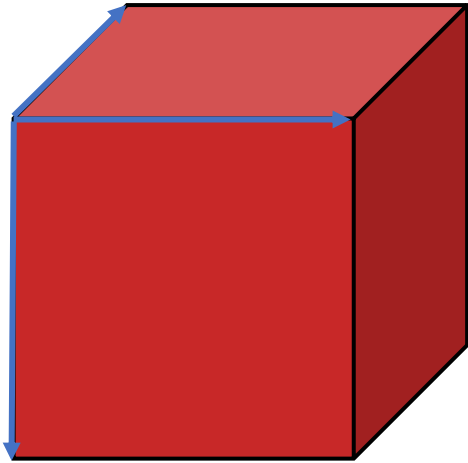
$$\begin{aligned}\overline{a_1} &= (a/2)(\hat{x} + \hat{y}) \\ \overline{a_2} &= (a/2)(\hat{x} + \hat{z}) \\ \overline{a_3} &= (a/2)(\hat{y} + \hat{z})\end{aligned}$$

Redes cristalinas: Redes de Bravais en 3D

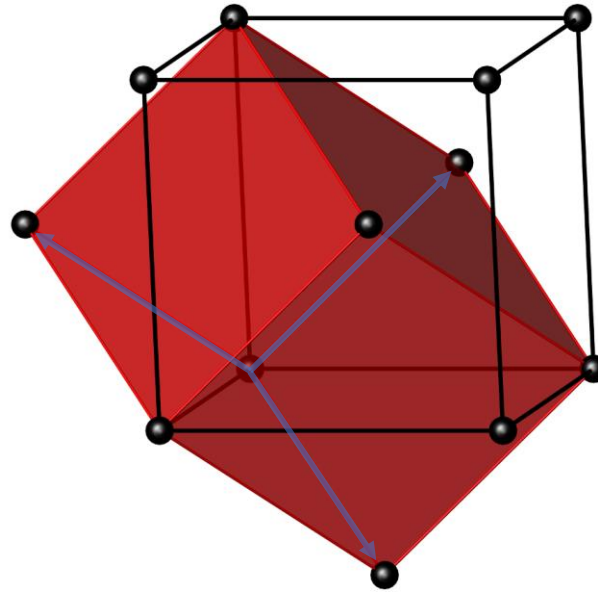
		Cúbica $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrómbica $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Monoclínica $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Trigonal $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ < 120^\circ$
Simple							
Centrada en el cuerpo							
Centrada en las caras			Equivale a una tetragonal centrada en el cuerpo				
Centrada en las bases		Equivale a una tetragonal simple	Equivale a una tetragonal simple				

Redes cristalinas: Celda primitiva

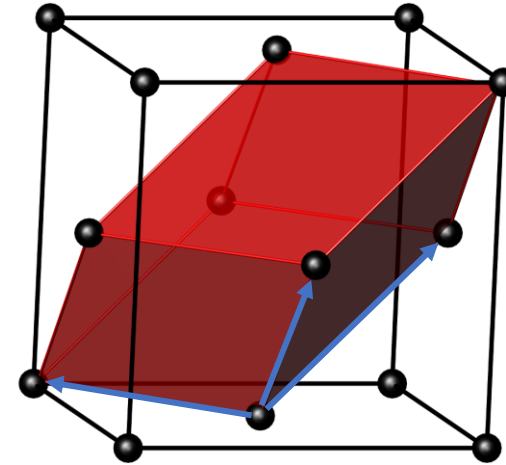
Celda primitiva (CP)



CP de una SC



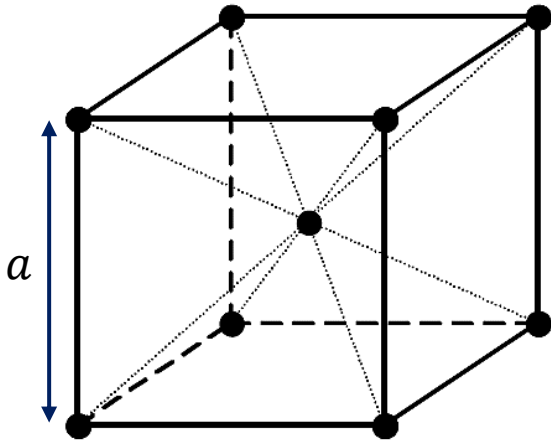
CP de una BCC



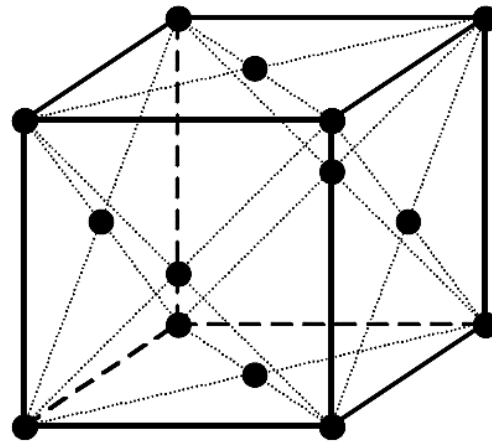
CP de una FCC

Redes cristalinas: Celda unidad

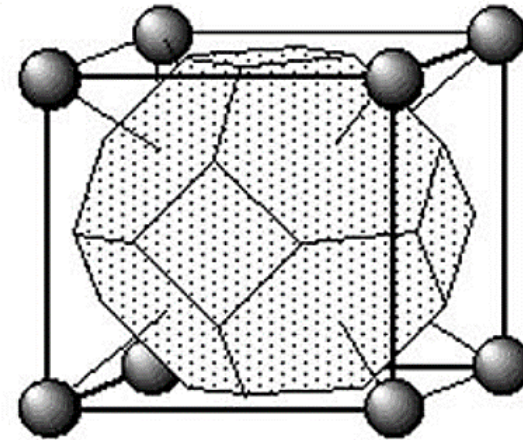
Celda unidad no-primitiva



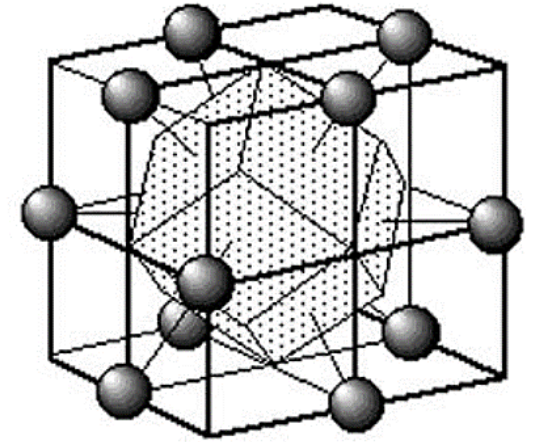
CU cúbica de una BCC



CU cúbica de una FCC



Celda de WZ de una BCC

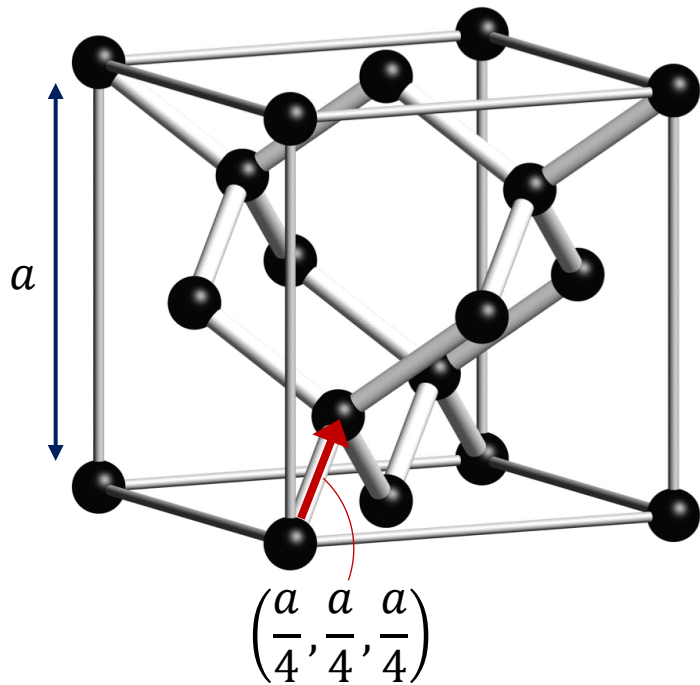


Celda de WZ de una FCC

Redes cristalinas: Red con una base

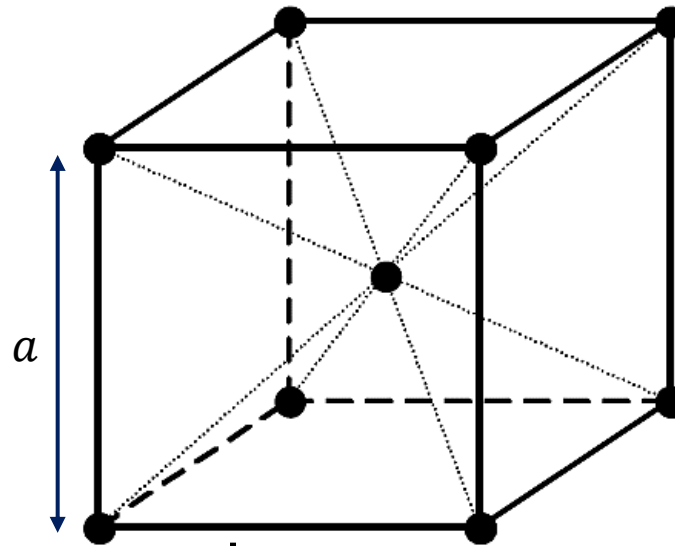
Estructura cristalina; Red con una base

Ejemplos en 3D. El concepto se puede utilizar también para enfatizar la simetría de una RB.

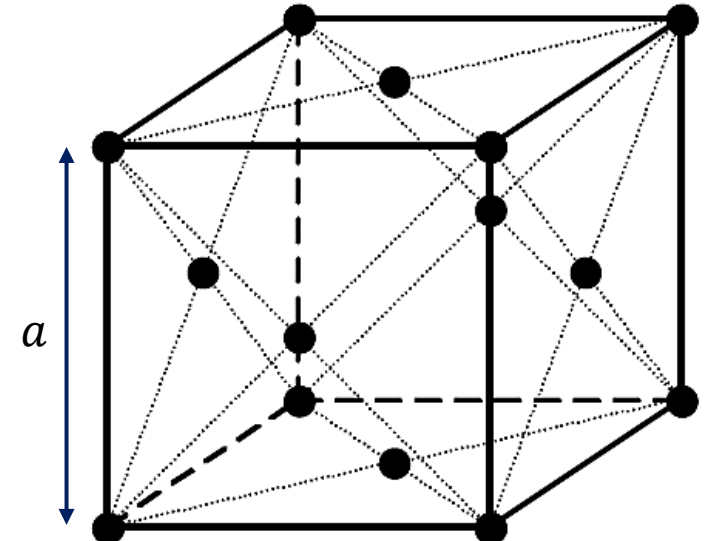


Diamante: 2 FCC interpenetradas.

$$\text{FCC} + \left\{ \mathbf{0}; \frac{a}{4} (\hat{x} + \hat{y} + \hat{z}) \right\}$$



$$\text{BCC: SC} + \left\{ \mathbf{0}; \frac{a}{2} (\hat{x} + \hat{y} + \hat{z}) \right\}$$

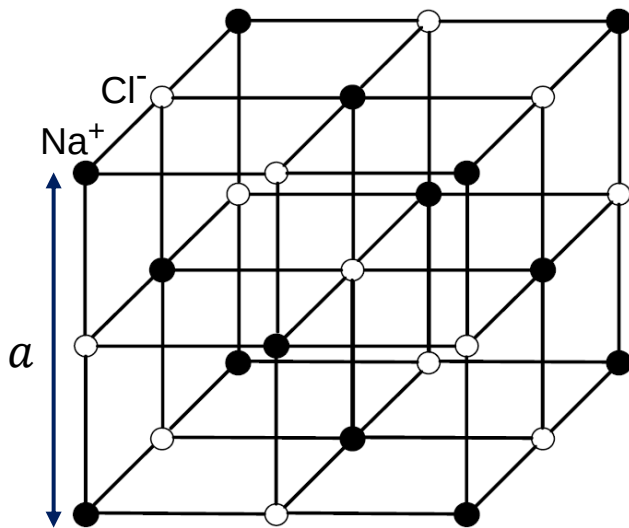


$$\text{FCC: SC} + \left\{ \mathbf{0}; \frac{a}{2} (\hat{x} + \hat{y}); \frac{a}{2} (\hat{y} + \hat{z}); \frac{a}{2} (\hat{z} + \hat{x}) \right\}$$

Redes cristalinas: Red con una base

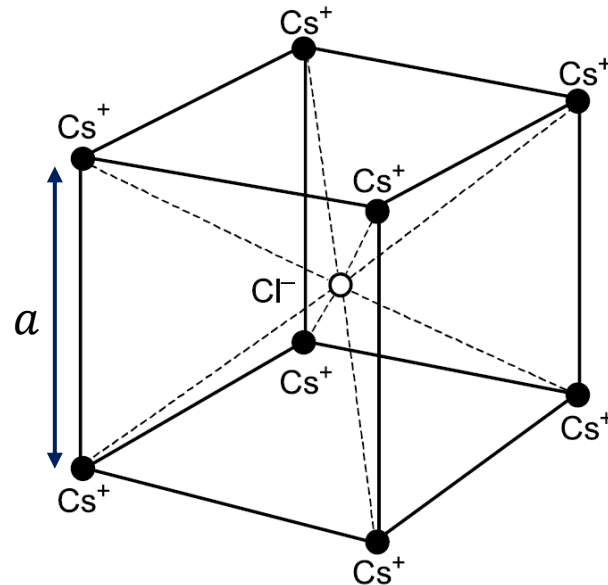
Estructura cristalina; Red con una base

Ejemplos de estructuras diatómicas.



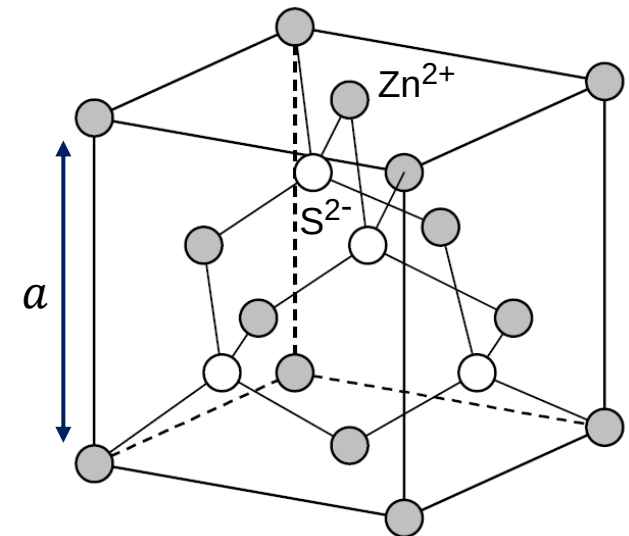
Cloruro de Sodio

$$\text{FCC} + \{\text{Na}^+: \mathbf{0}, \text{Cl}^-: \frac{a}{2}(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})\}$$



Cloruro de Cesio

$$\text{SC} + \{\text{Cs}^+: \mathbf{0}, \text{Cl}^-: \frac{a}{2}(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})\}$$



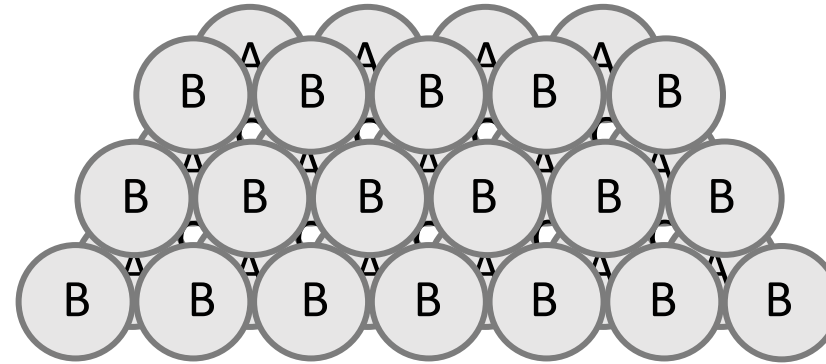
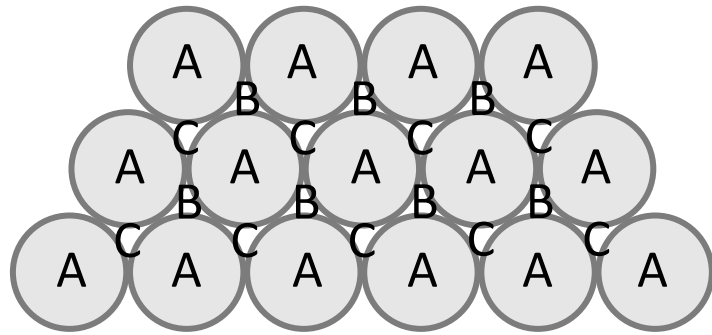
Sulfuro de Zinc (Zinc blenda)

$$\text{FCC} + \{\text{Zn}^{2+}: \mathbf{0}, \text{S}^{2-}: \frac{a}{4}(\hat{x} + \hat{y} + \hat{z})\}$$

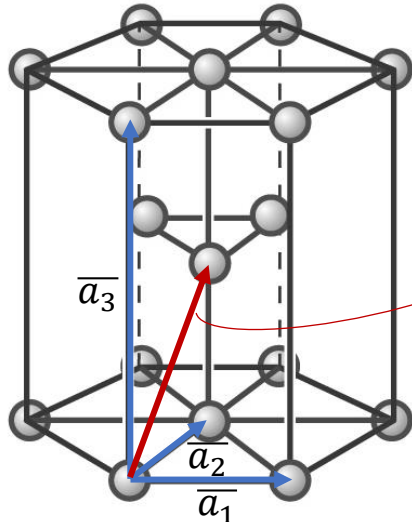
Redes cristalinas: Empaquetamiento

Empaquetamiento compacto

Apilamos pequeñas esferas rígidas (“átomos”) que se atraen e intentan acercarse lo máximo posible.



Continuamos apilando a las esferas → ...ABCABC... (FCC) ó ...ABABAB... (HCP).



Hexagonal compacta (HCP, *hexagonal close-packed*)
Hexagonal simple + base de 2 átomos.

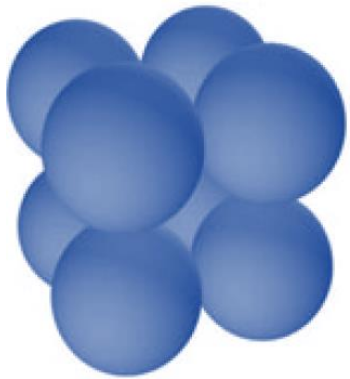
$$\frac{1}{3}\overline{a_1} + \frac{1}{3}\overline{a_2} + \frac{1}{2}\overline{a_3}$$

Unos 30 elementos cristalizan en esta estructura: Cd, Co, Mg, Nd, Ti, Zn, etc.

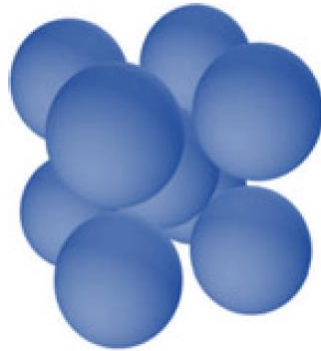
Redes cristalinas: Empaquetamiento

Empaquetamiento compacto

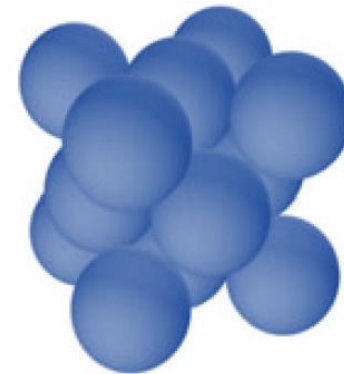
Comparemos el apilamiento de una SC, BCC, y FCC.



SC



BCC



FCC



¡La SC es la menos compacta de las estructuras!

Resumen

- Redes de Bravais
- Celda primitiva, celda de Wigner-Seitz
- Celda unidad o celda convencional
- Red con una base, estructura cristalina
- Empaquetamiento compacto

