

CIENCIA DE LOS MATERIALES

Julio Alberto Aguilar Schafer



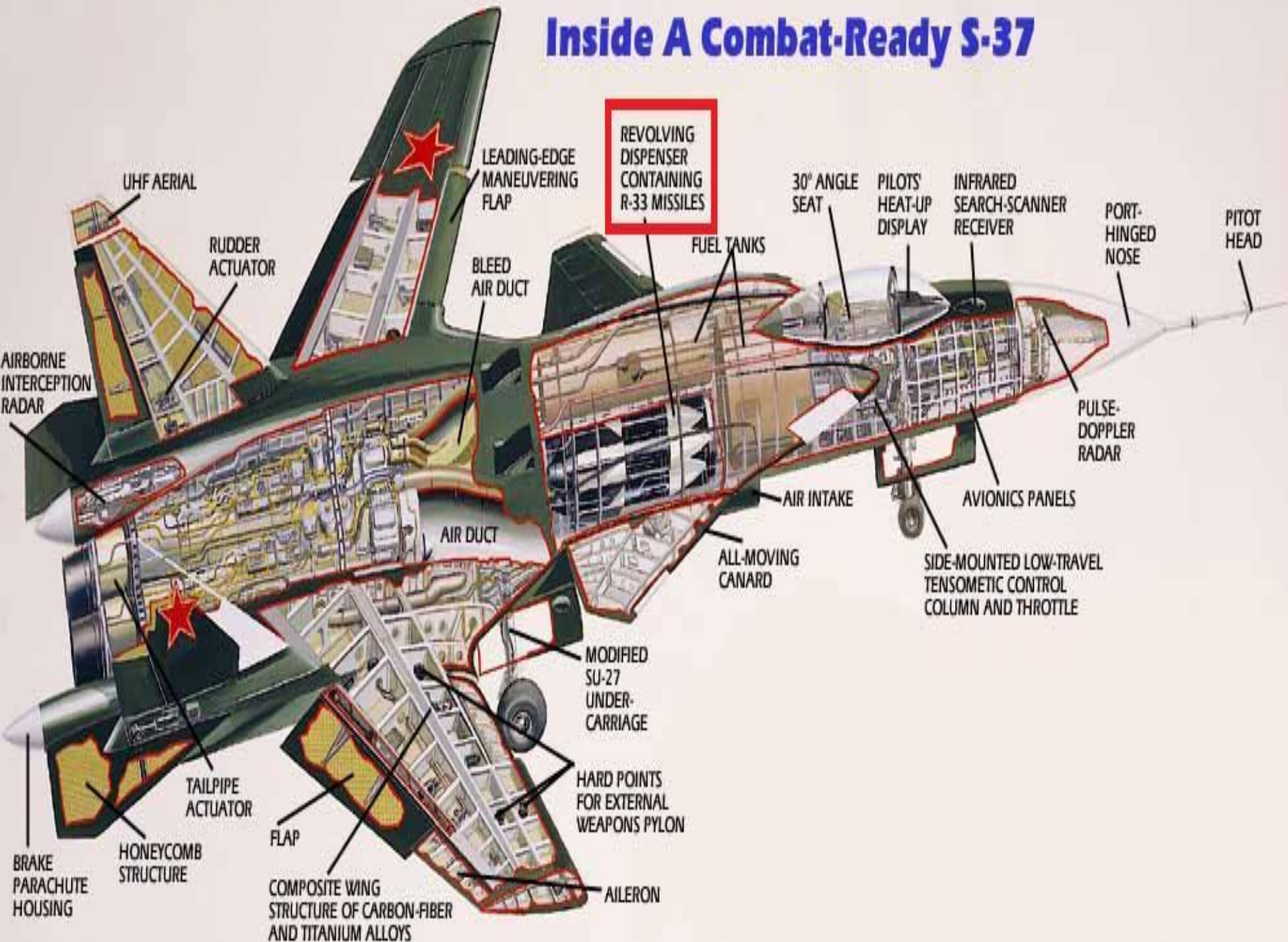
F-22

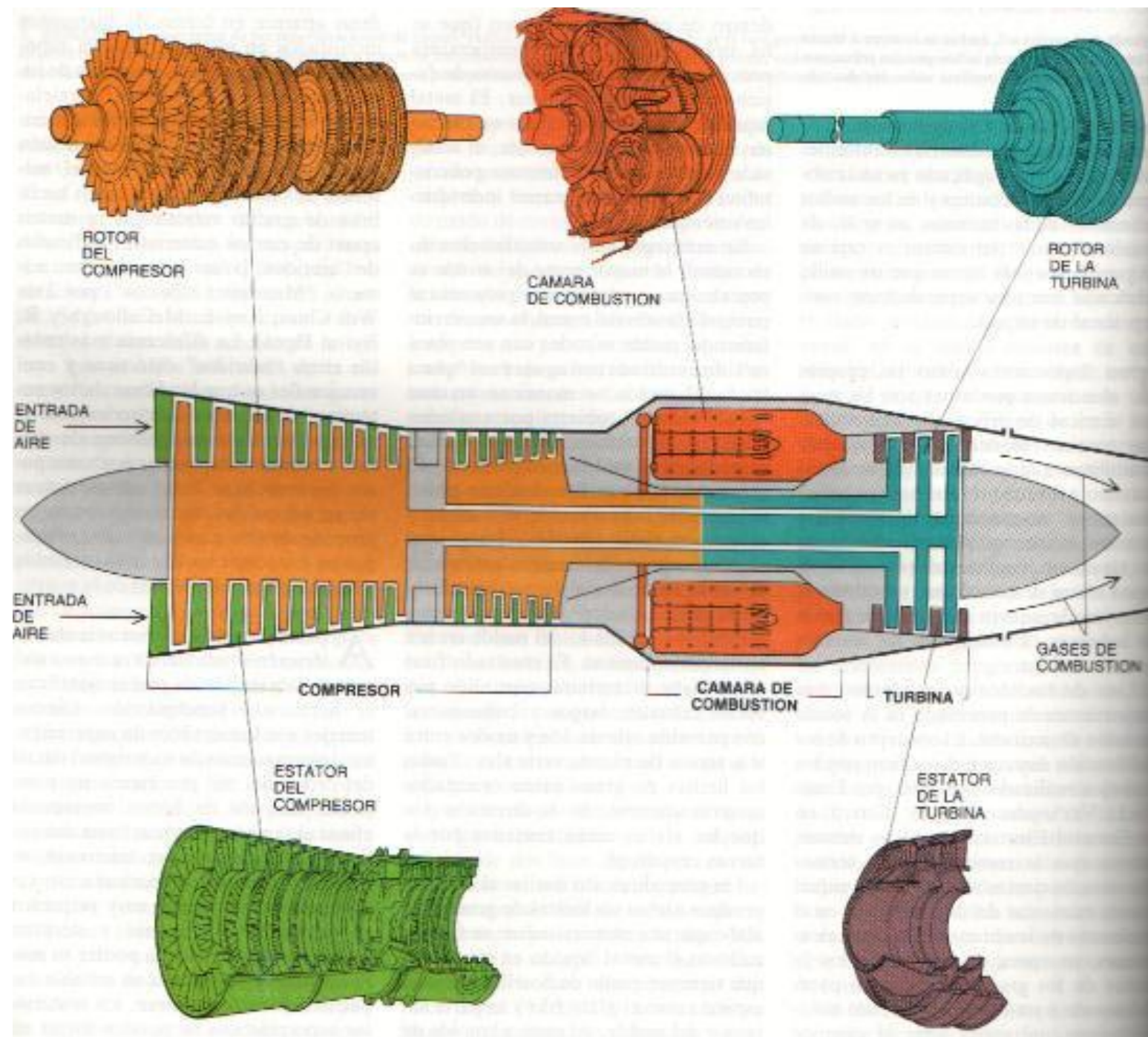






Inside A Combat-Ready S-37







© Jtashipphoto.dk



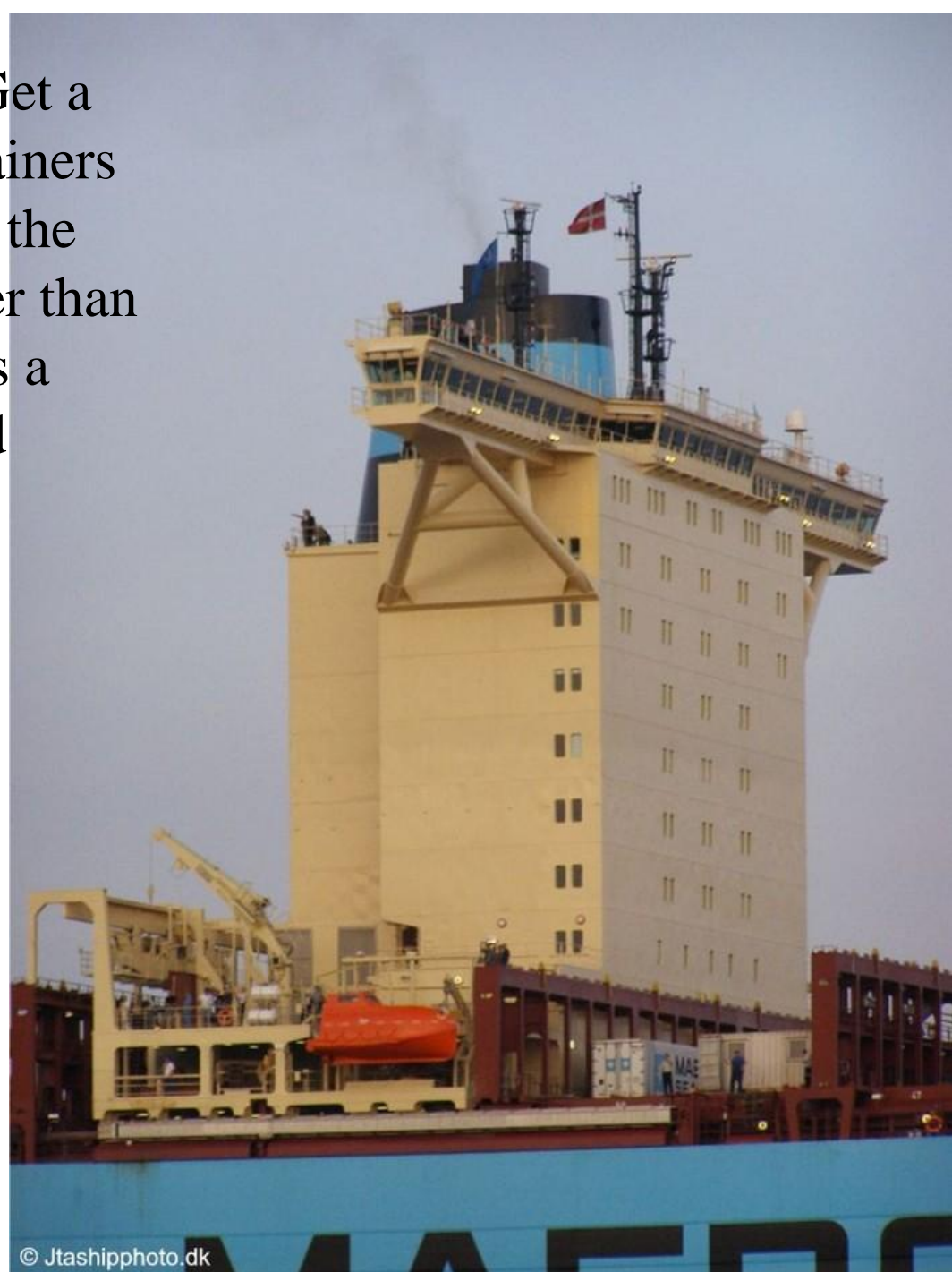
© Jtashipphoto.dk



© Jtashipphoto.dk

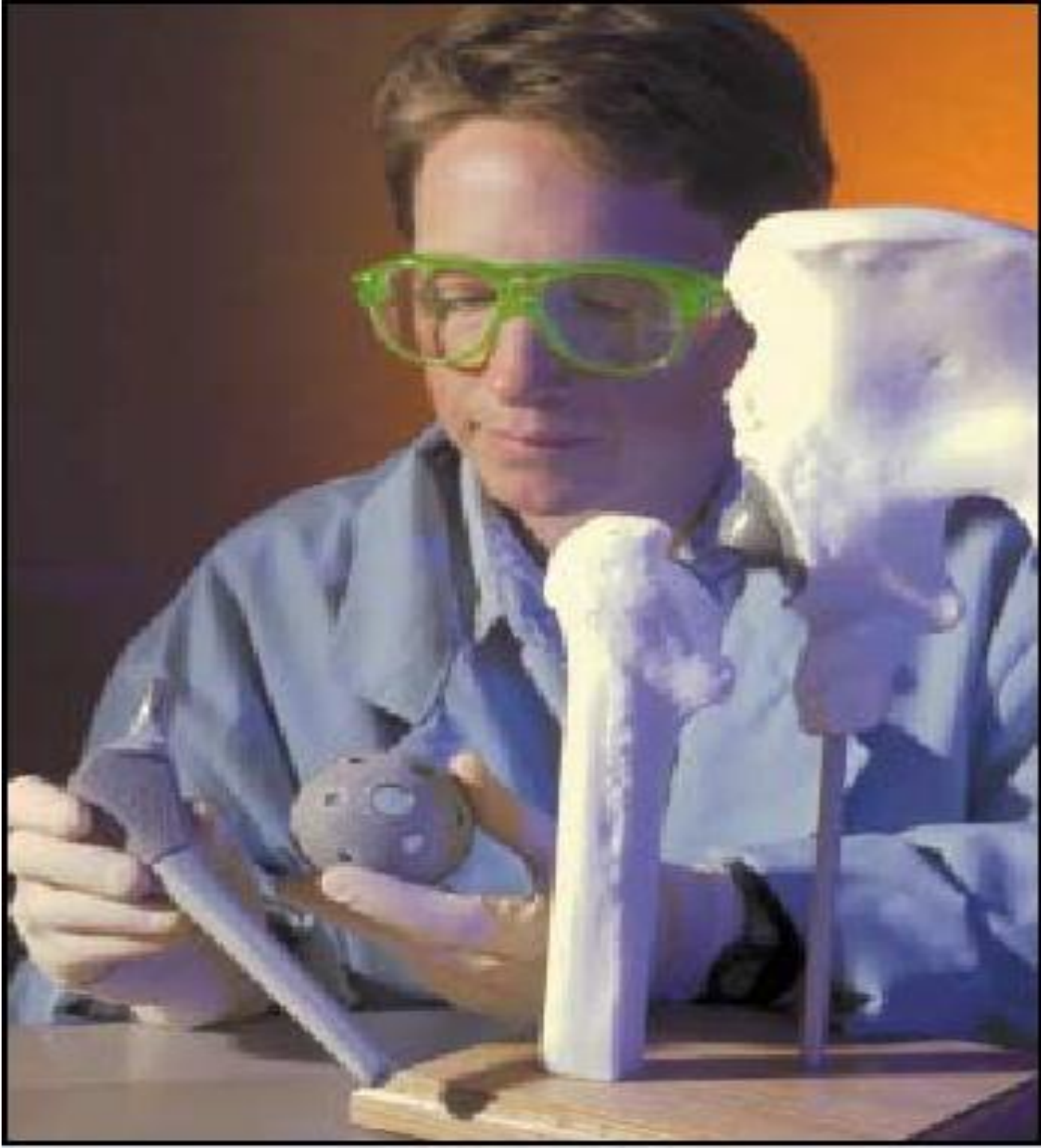


World's Largest Cargo Ship. Get a load of this ship! 15,000 containers
And a 207' beam. And look at the crew size (13) for a ship longer than a US aircraft carrier which has a complement of 5,000 men and officers.





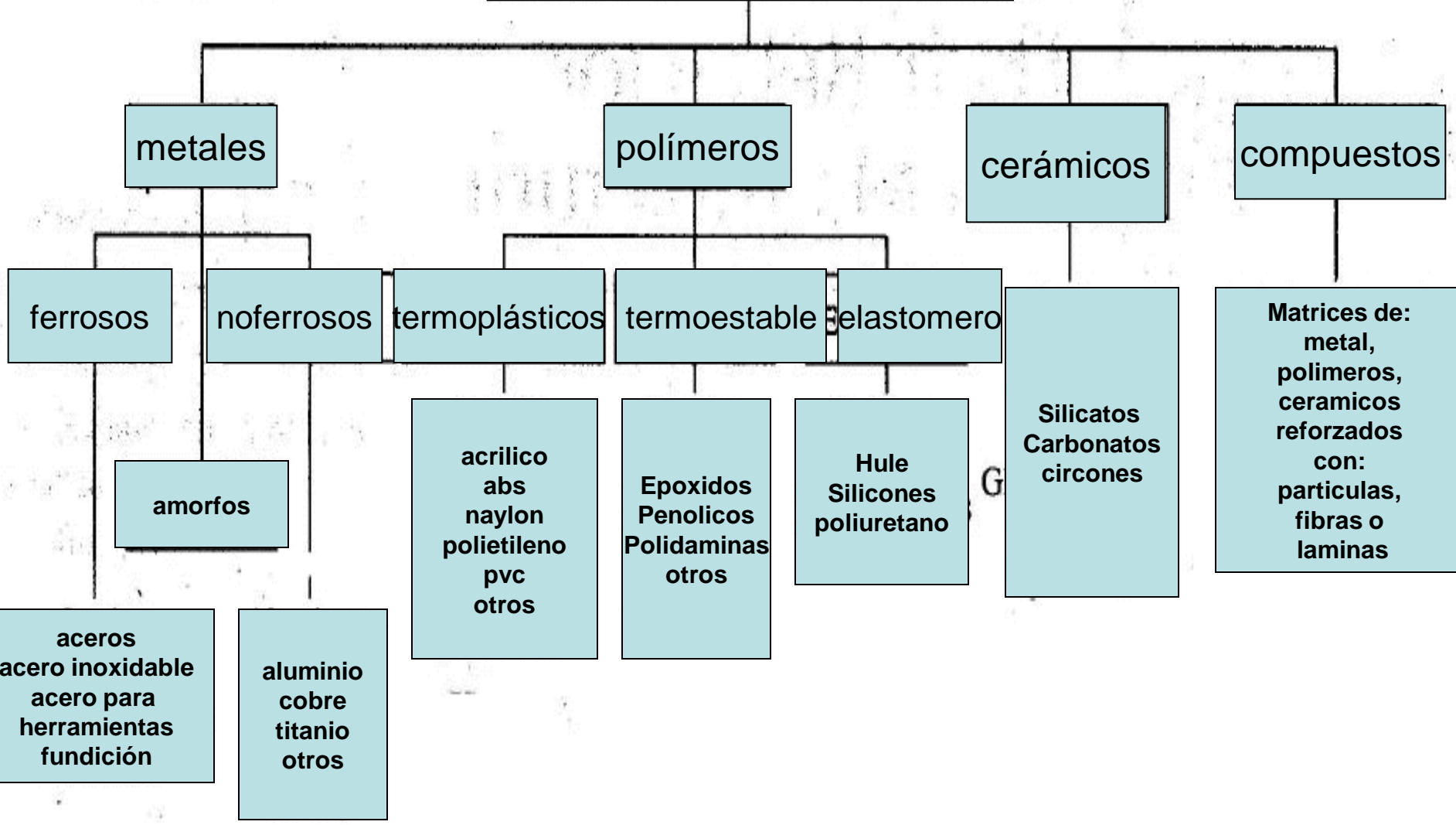




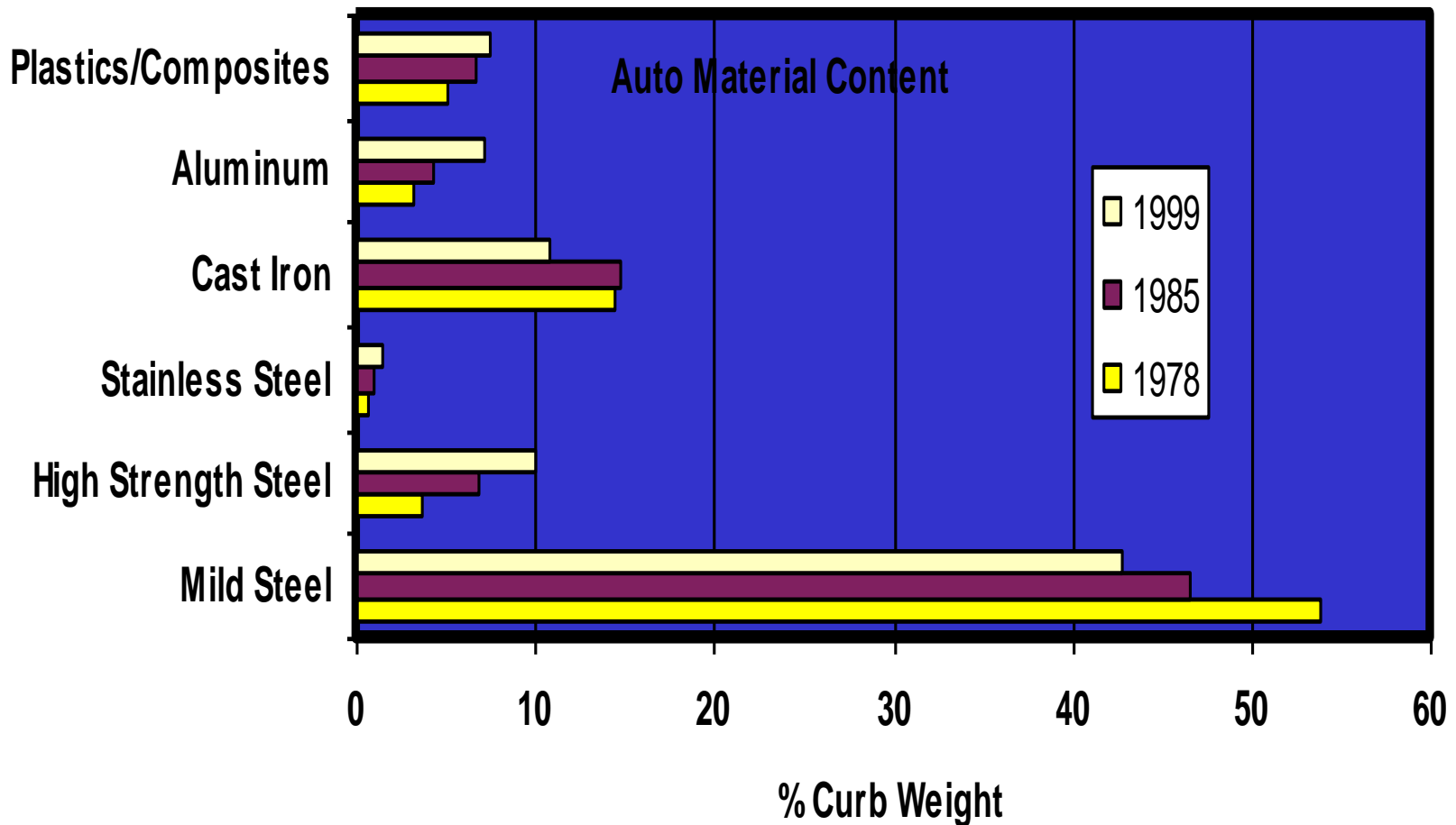


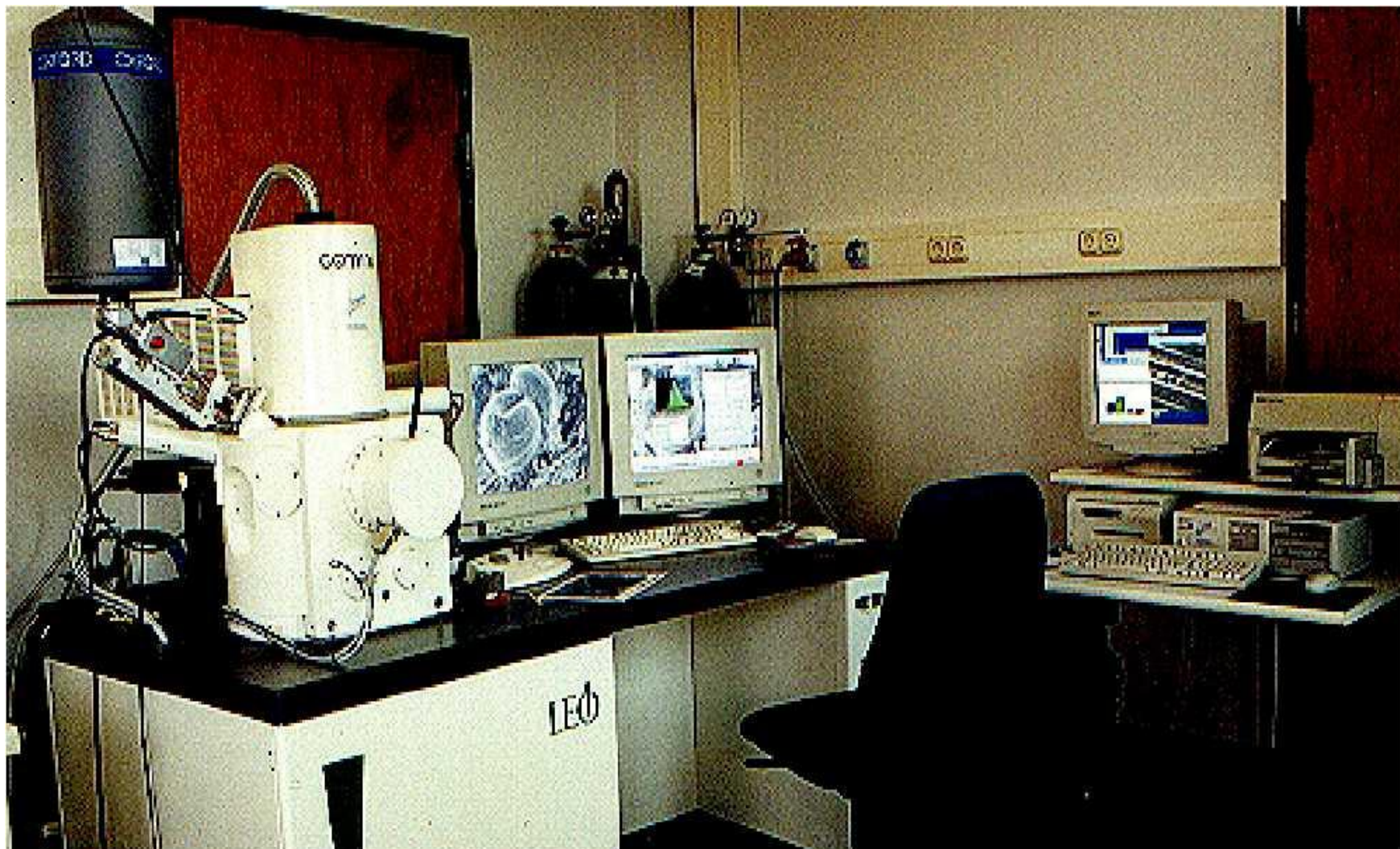


Materiales para ingenieria



Tipo y peso de materiales usados en un auto



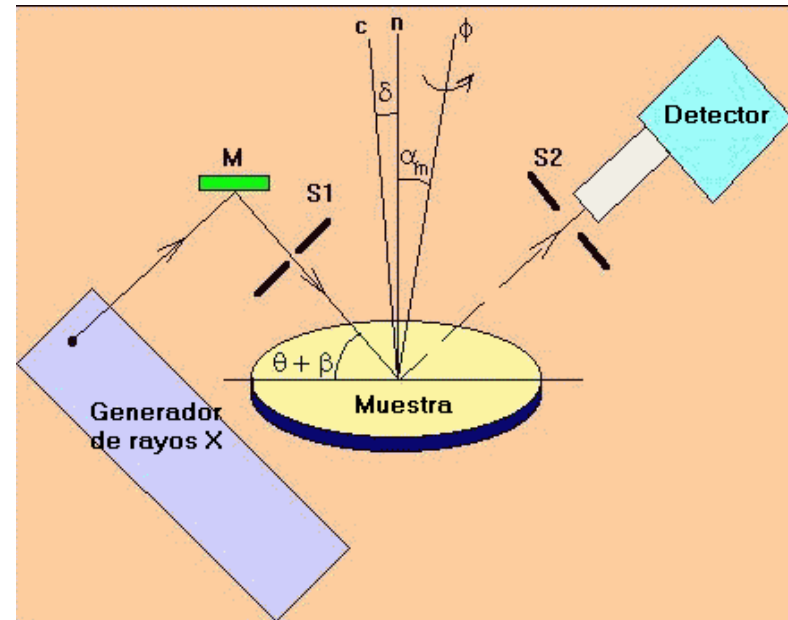


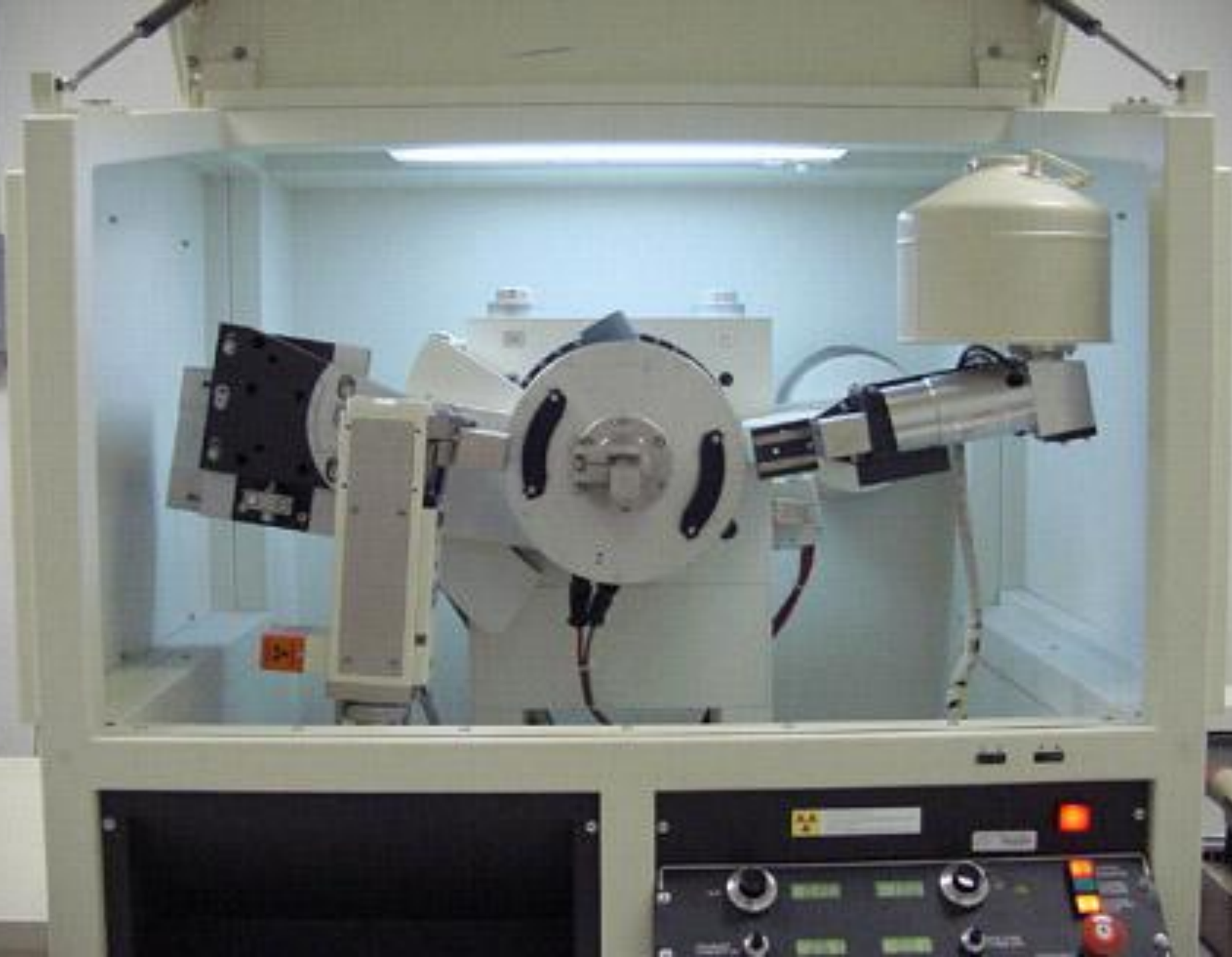
Microscopio electrónico



Difracción de rayos X

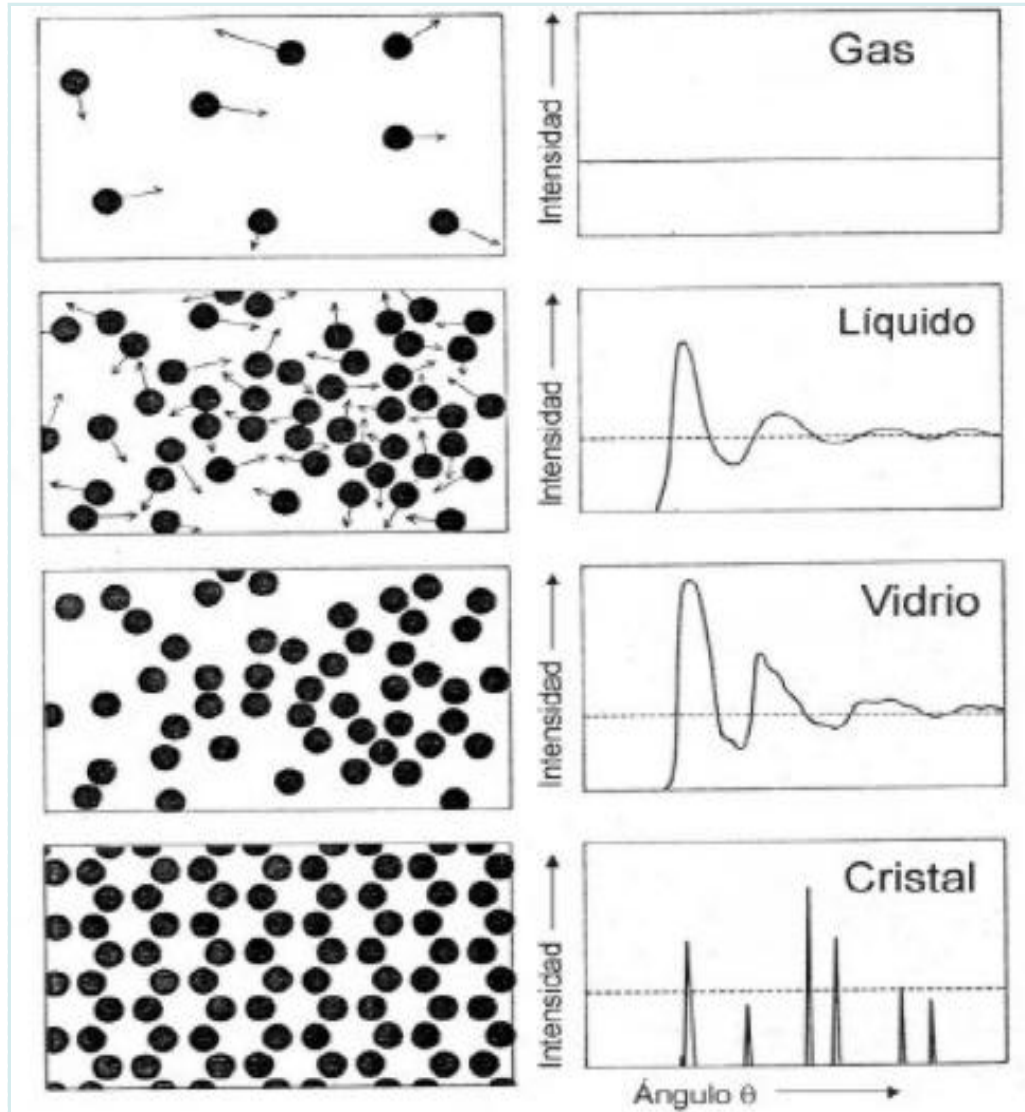
El fenómeno de difracción ocurre cuando una onda encuentra una serie de obstáculos espaciado regularmente, que: (1) son capaces de dispersar la onda y (2) el espaciado entre ellos es comparable en magnitud a la longitud de onda.





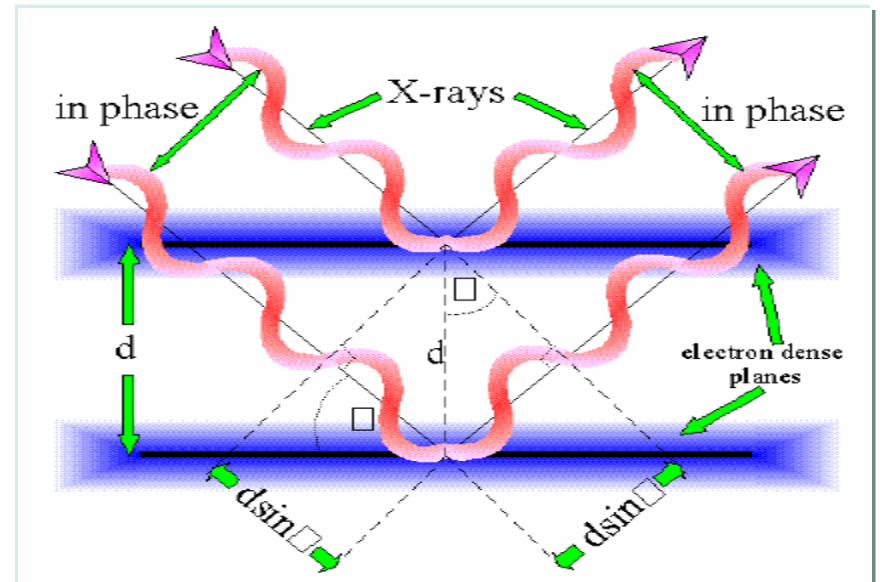
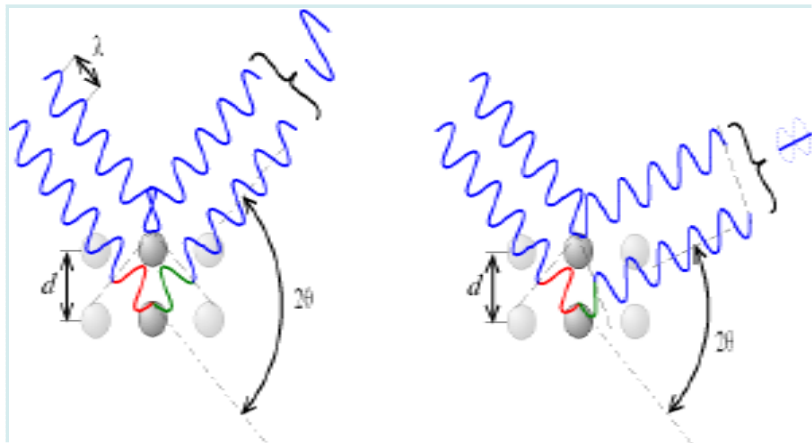
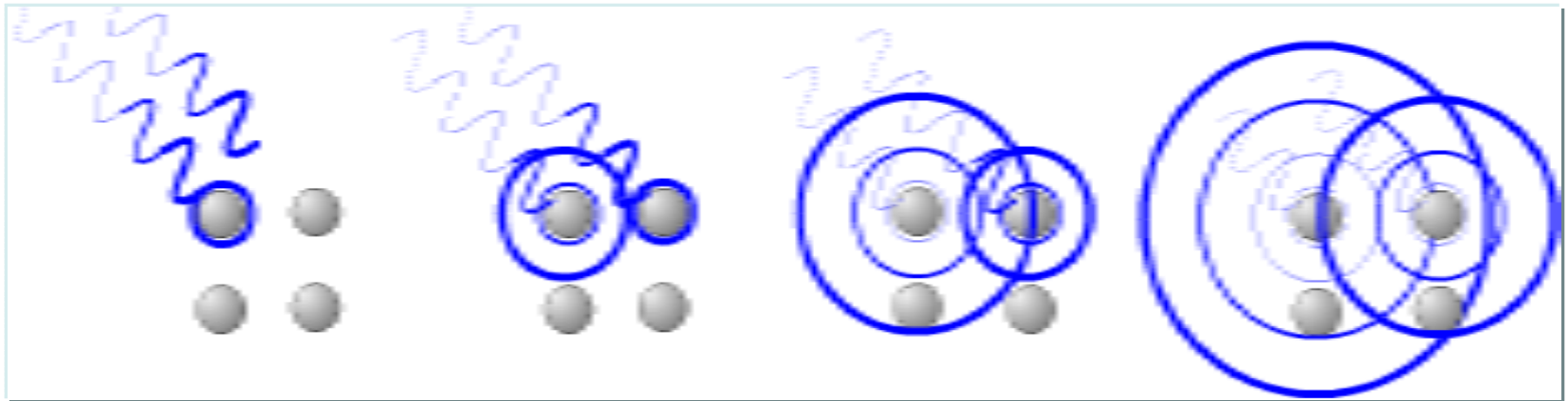
Difracción de rayos X

Patrón de difracción según orden de la materia

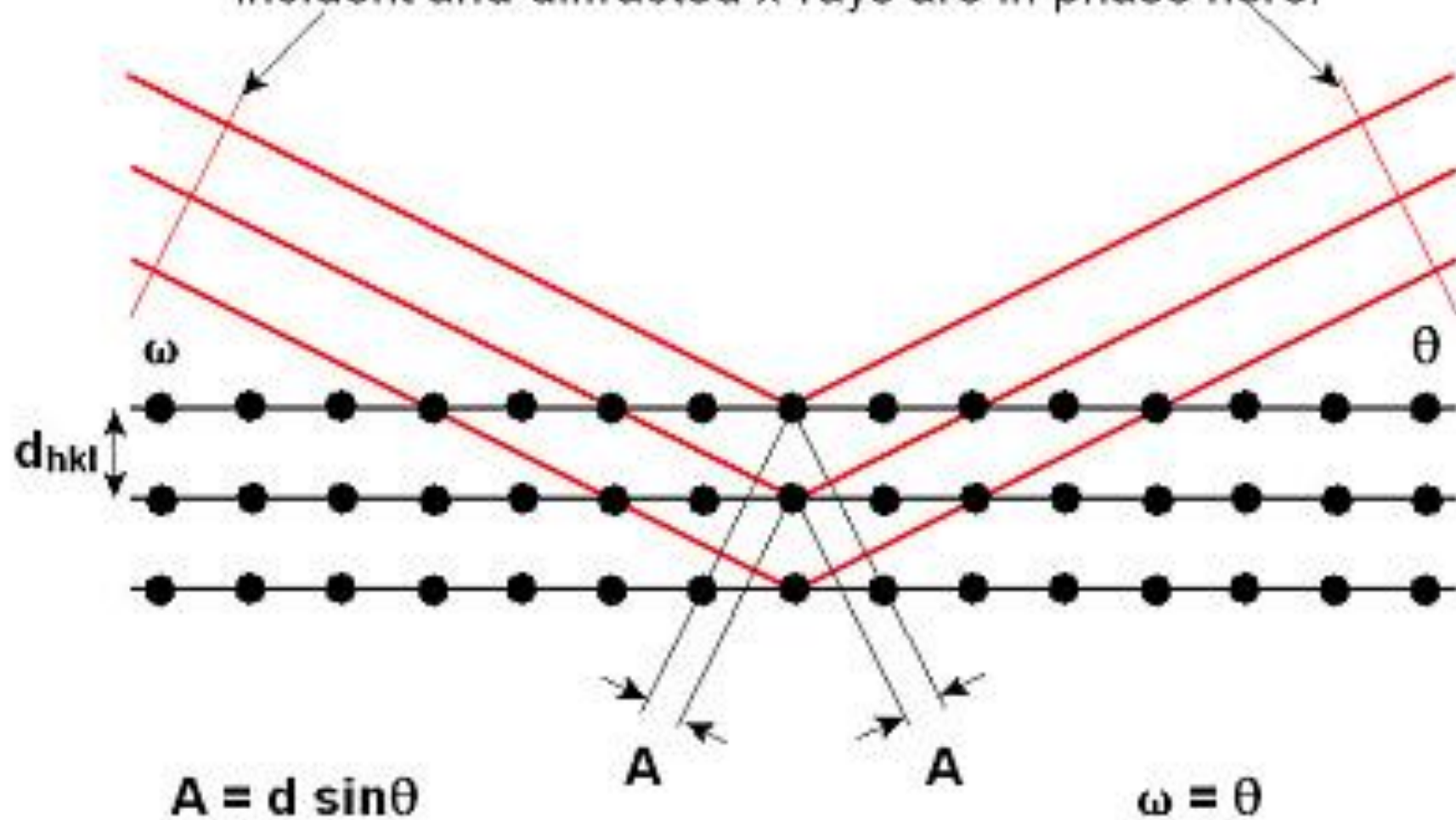


Difracción de rayos X

Interacción de rayos X con un grupo de átomo ordenado

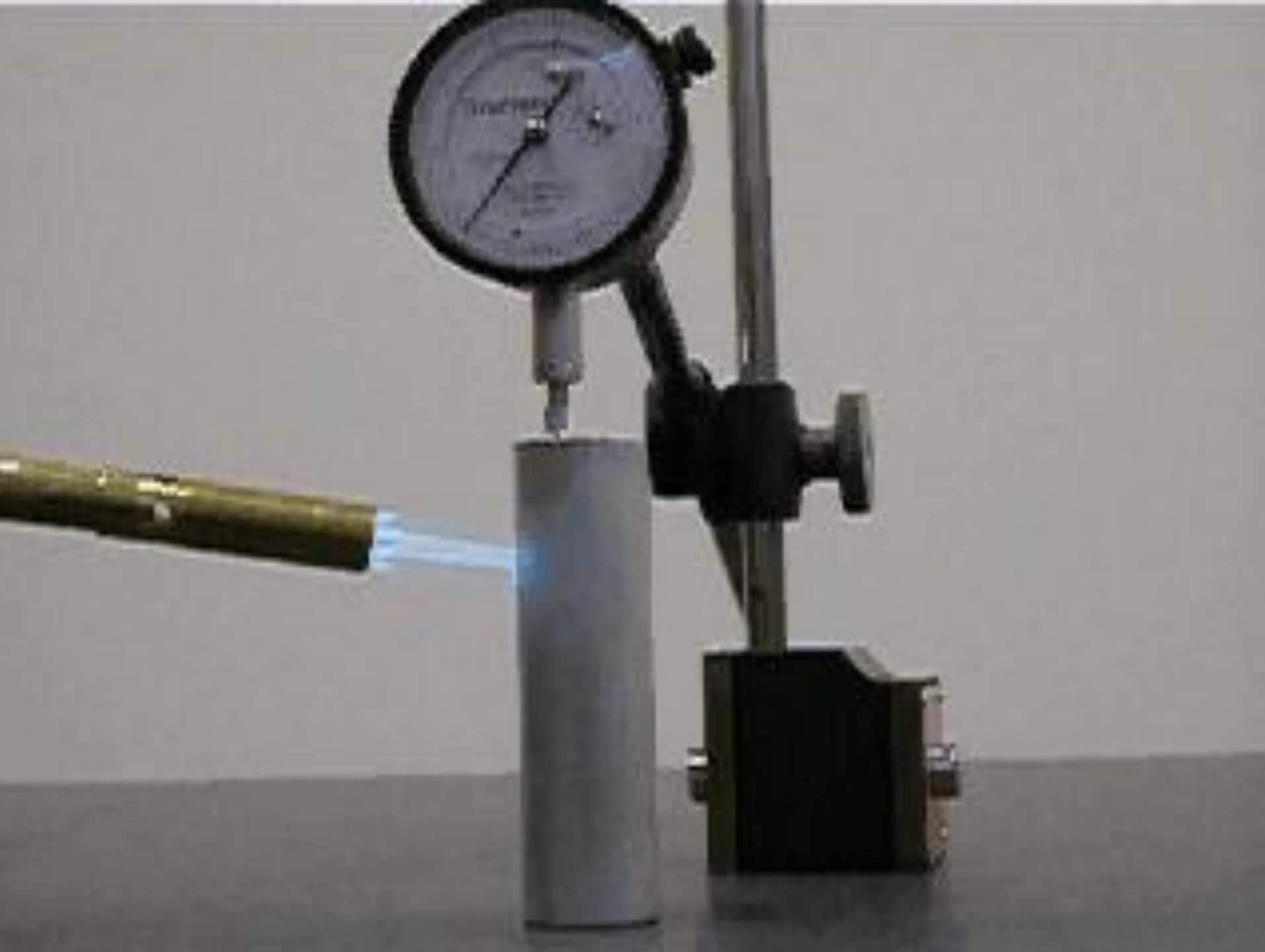


Incident and diffracted x-rays are in phase here.

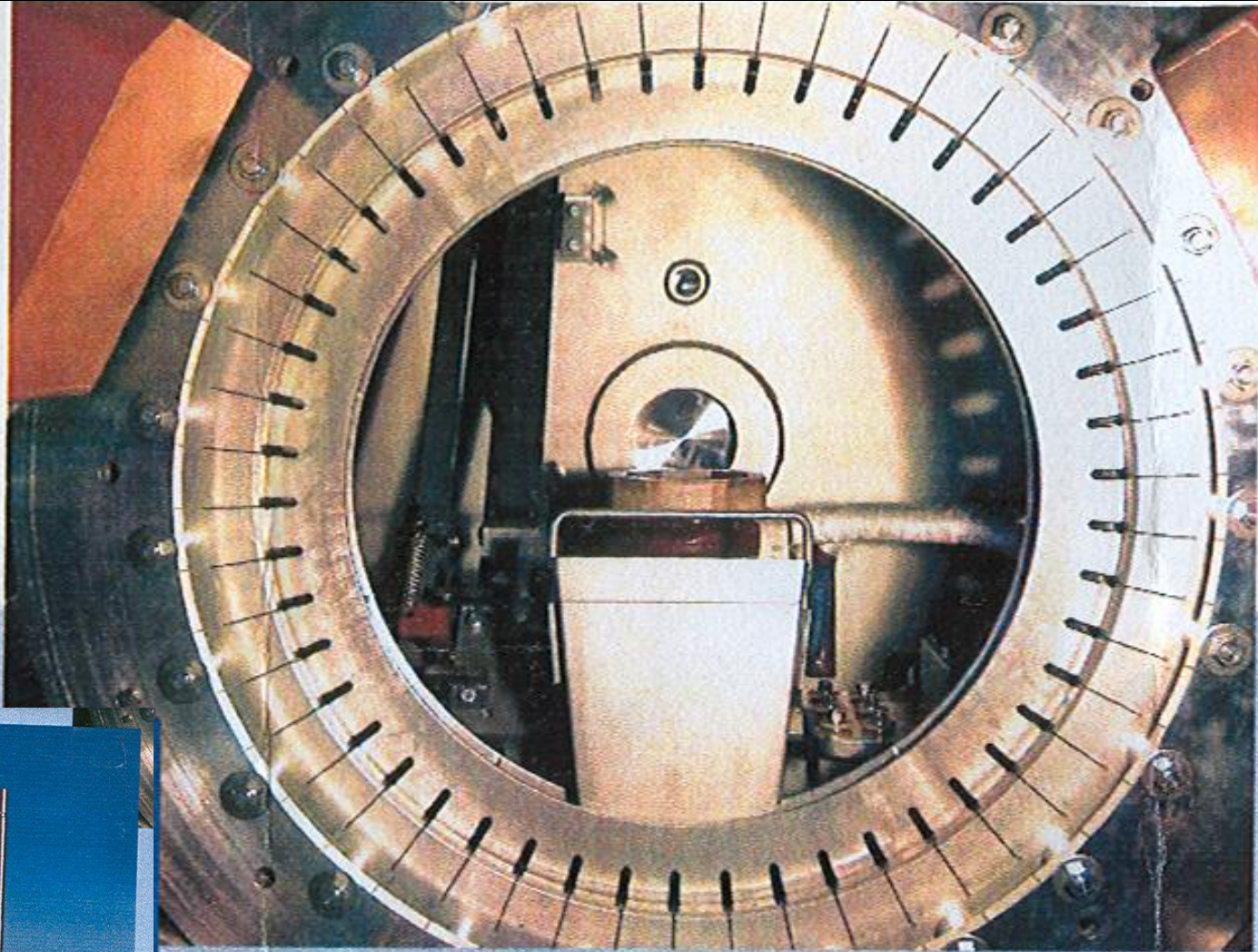


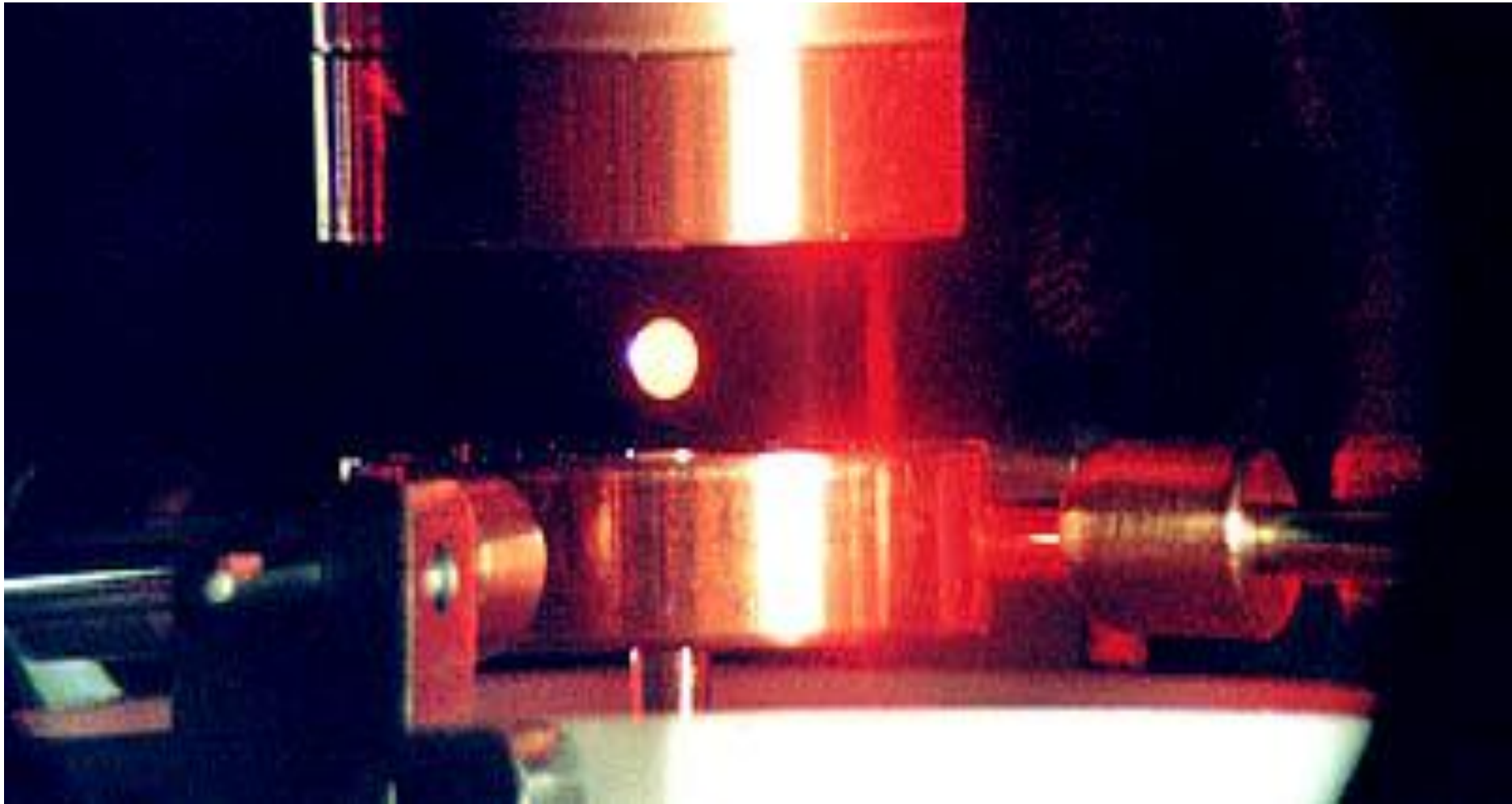
$$A = d \sin \theta$$

$$\omega = \theta$$

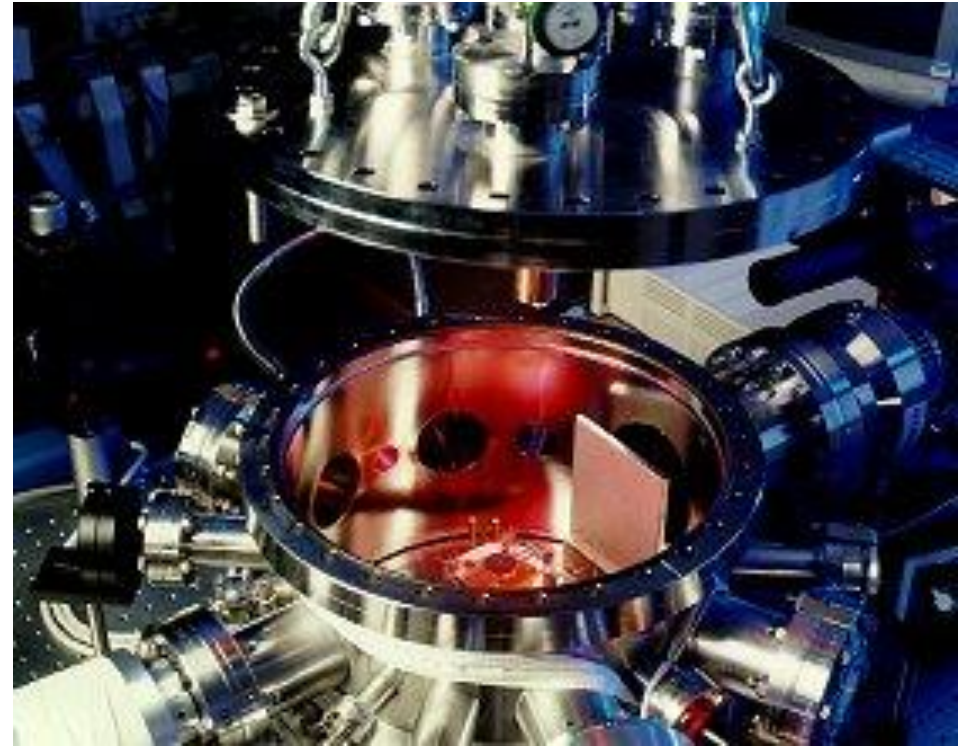
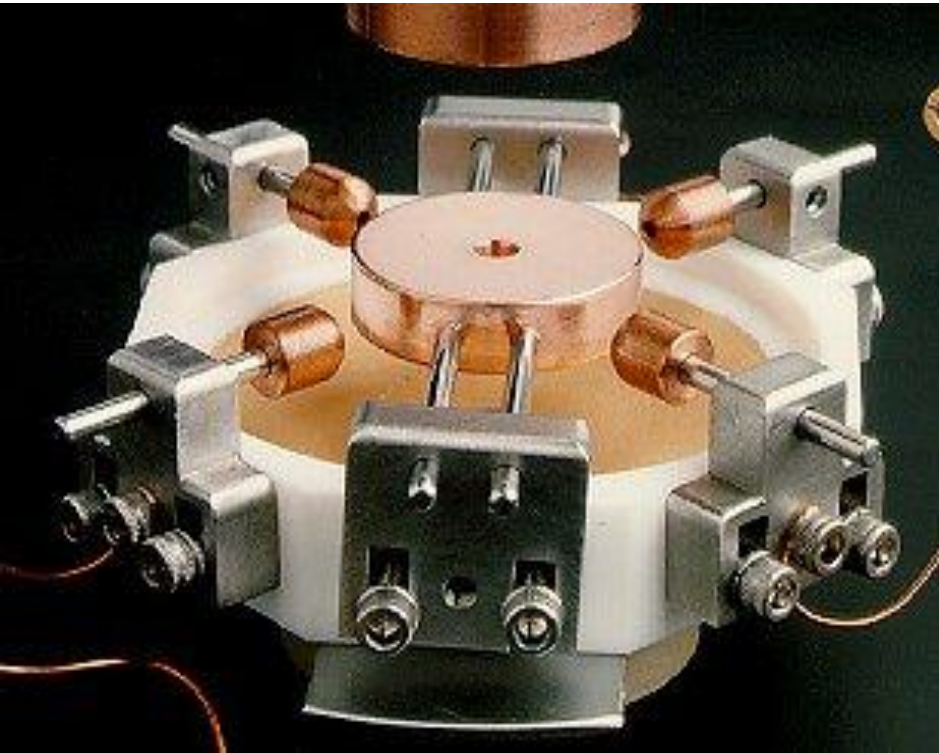


Valbulas de superaleación TiAl





Una gota de níquel-zirconio de 3 mm, calentada hasta su incandescencia, flota entre placas cargadas de electricidad y dentro de la cámara al vacío del Levitador Electrostático.



El componente principal del ESL es la cámara al vacío. **(derecha)** Esta contiene un par de placas electrostáticas y cuatro electrodos que colocan en posición la muestra en proceso **(izquierda)**. La posición de la muestra se determina por la sombra que proyecta sobre detectores mientras dos láseres envían rayos de luz en ángulo recto a través de la cámara al vacío y sobre la muestra.

Tabla periódica de los elementos químicos

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanoids		*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
**Actinoids		**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Table 4. PERIODIC TABLE OF ELEMENTS IN METALLIC MATERIALS

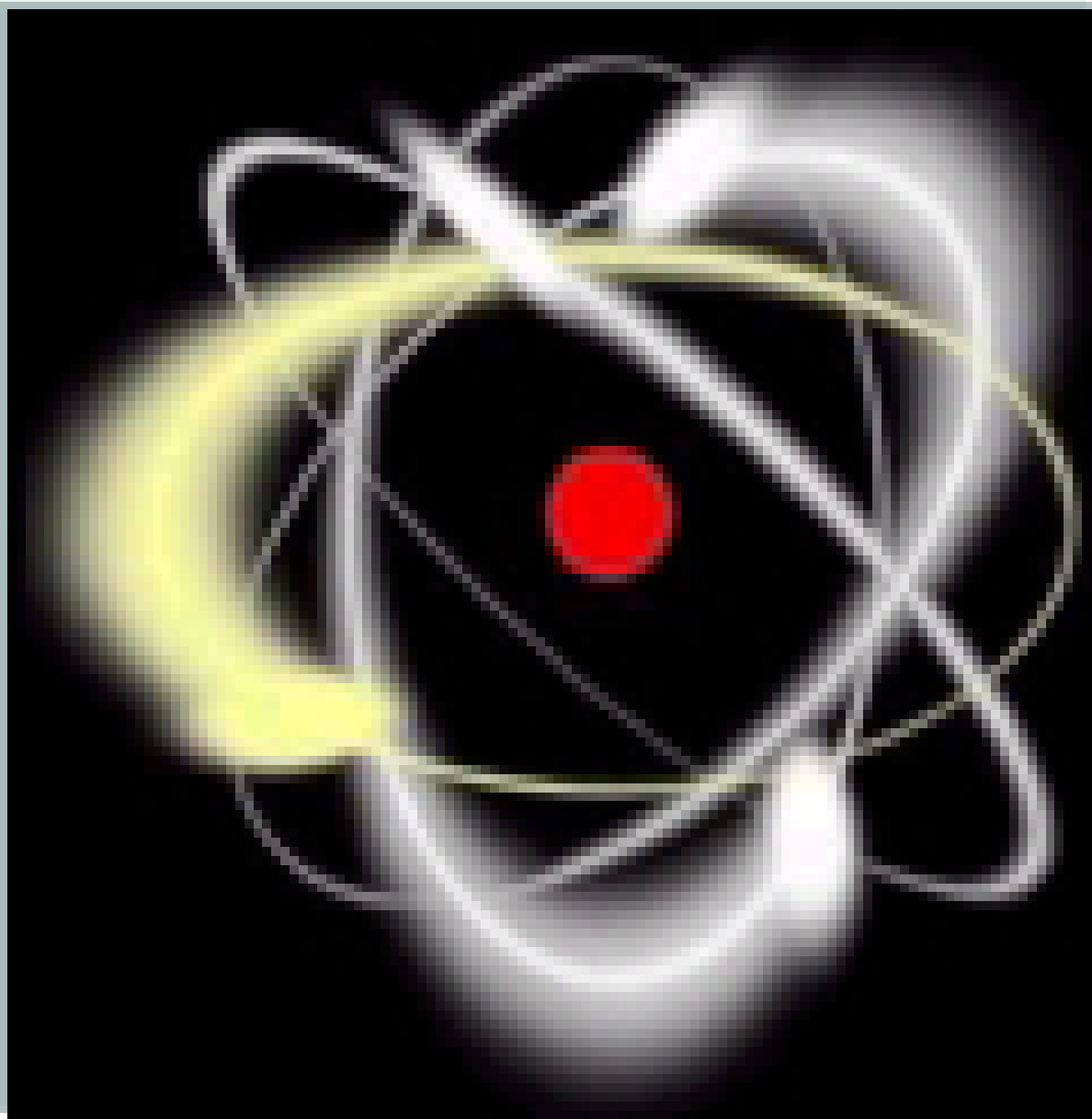
1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
3 Li	4 Be											5 B					
11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al					
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb			
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
87 Fr	88 Ra																

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

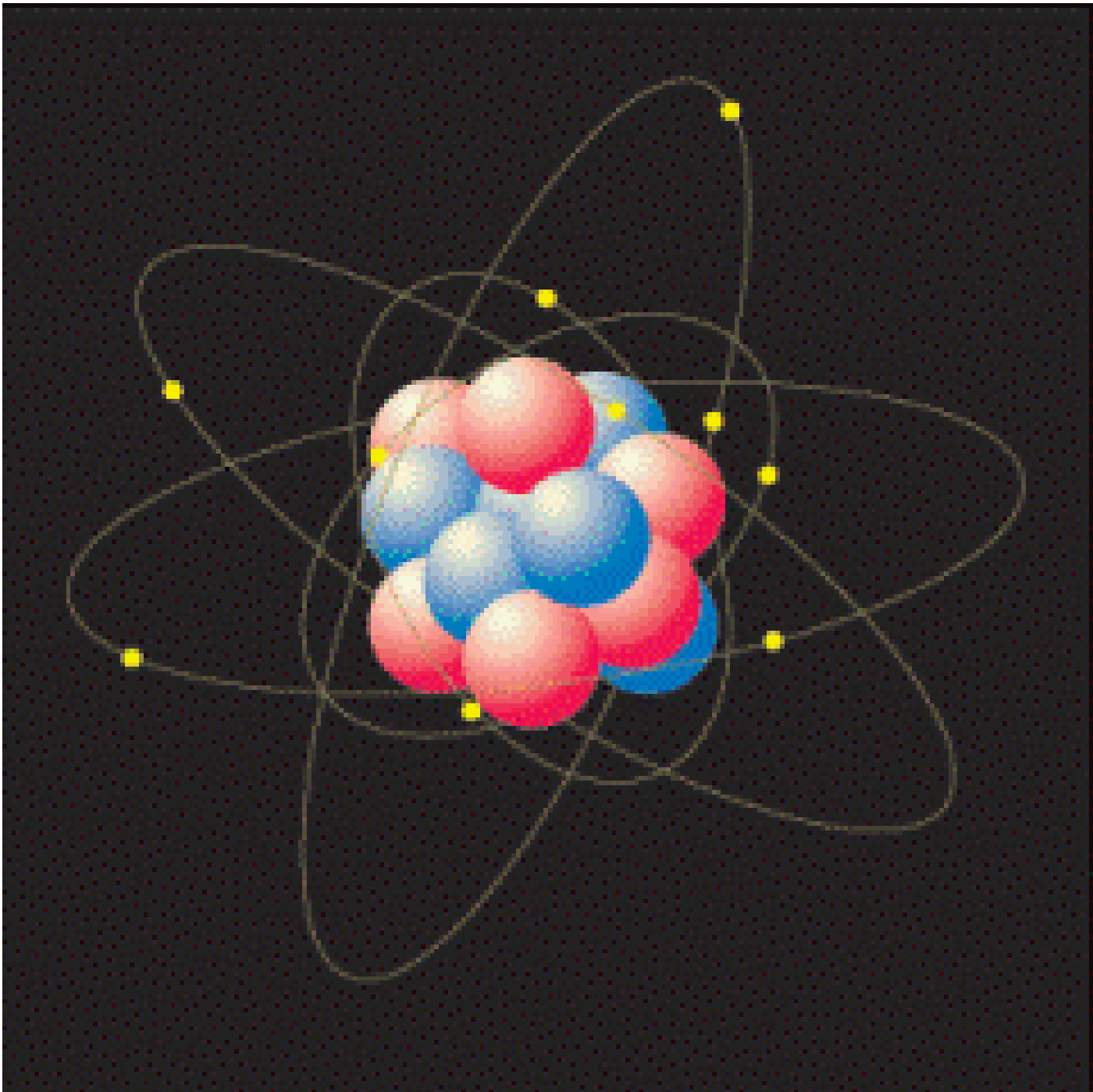
Table 5. PERIODIC TABLE OF ELEMENTS IN CERAMIC MATERIALS

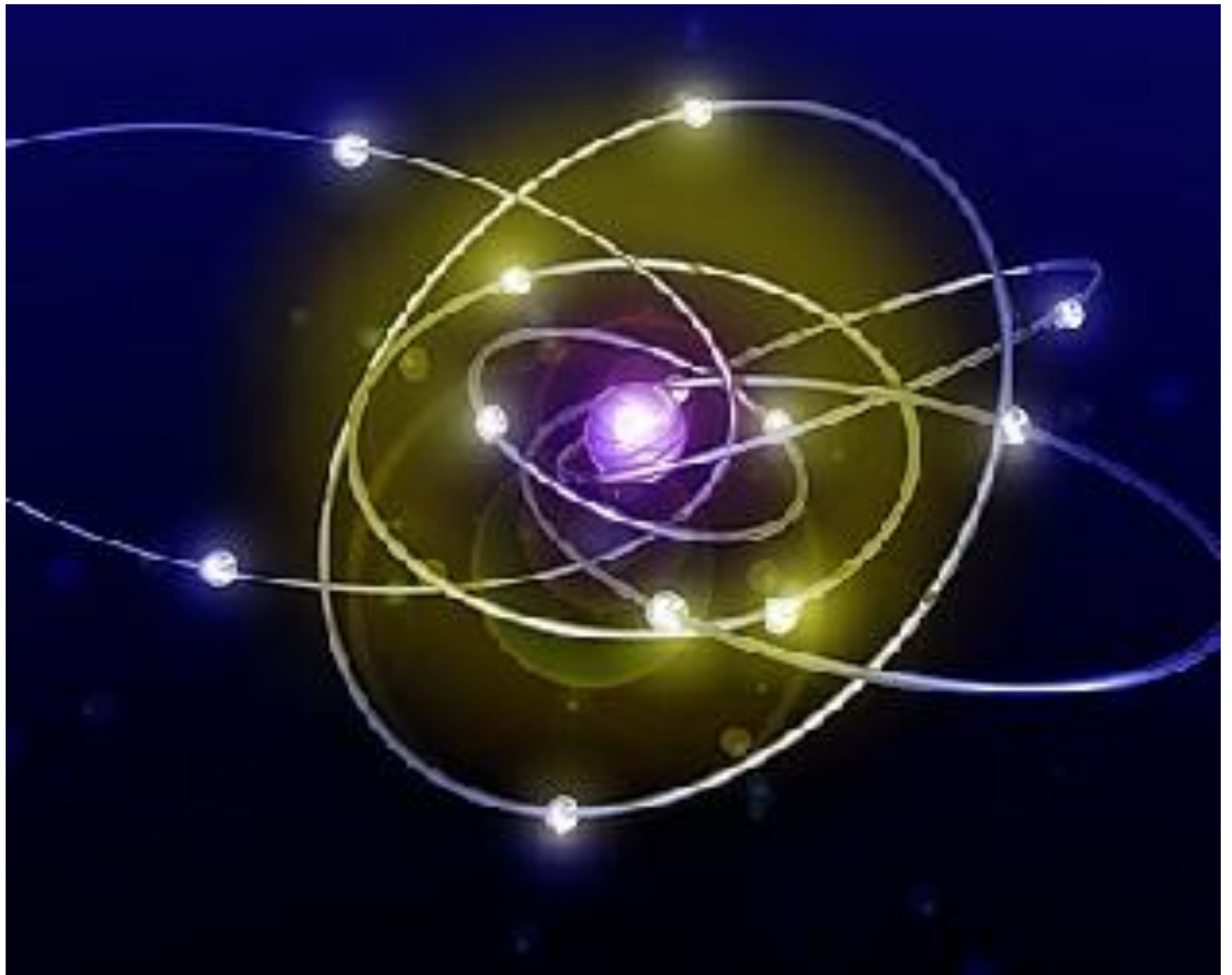
1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O		
11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al	14 Si	15 P	16 S		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb			
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
87 Fr	88 Ra																

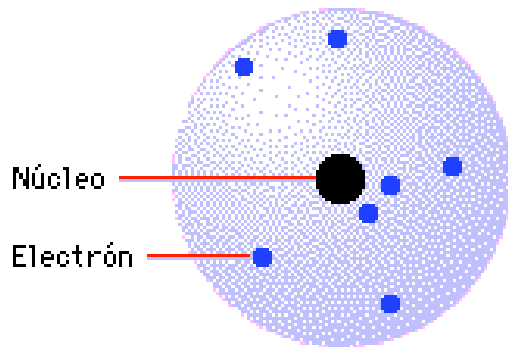
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw



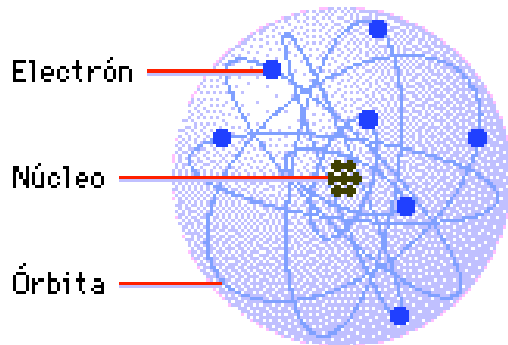
Átomo (distribución de electrones)



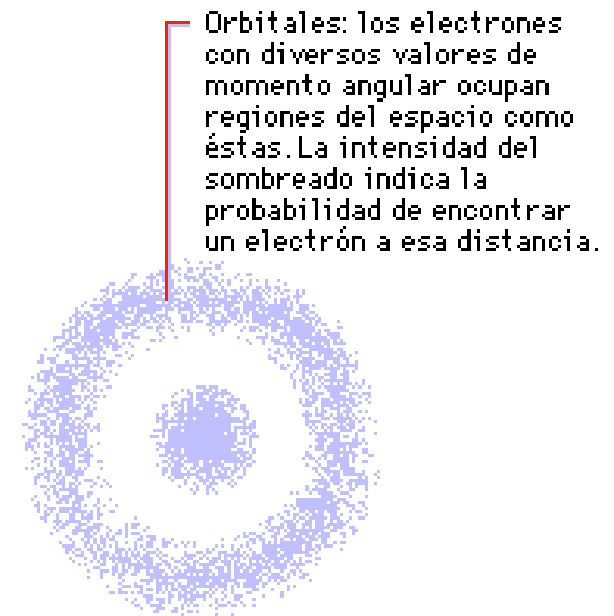




El modelo de Rutherford representaba el átomo como un sistema solar en miniatura en el que los electrones se movían como planetas alrededor del núcleo.



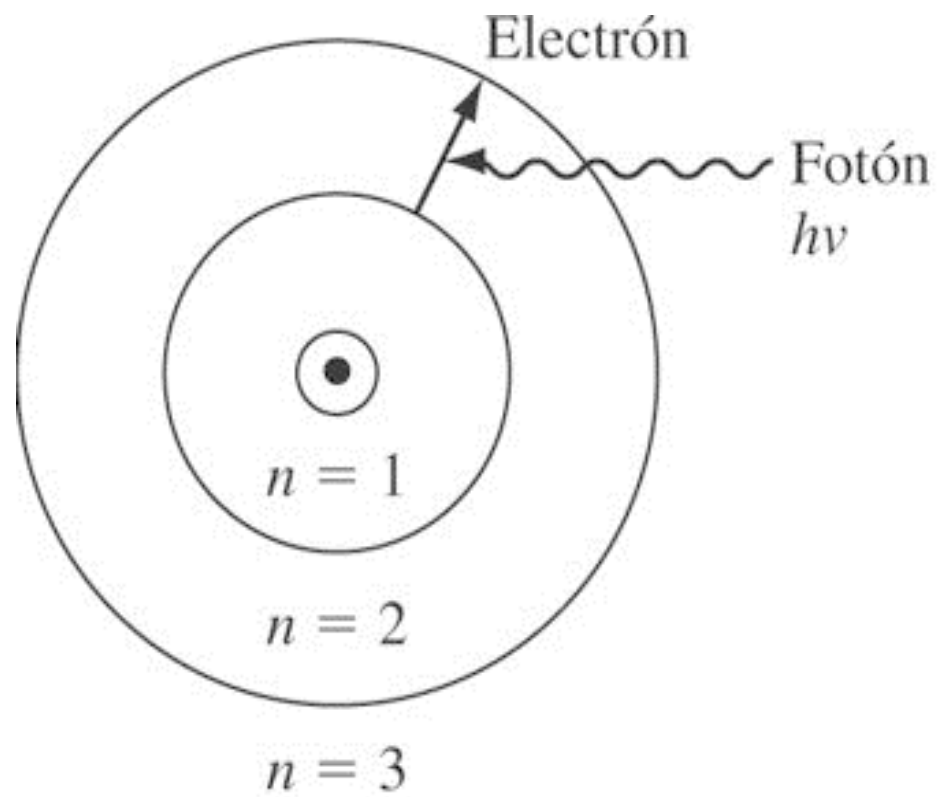
El modelo de Bohr 'cuantizaba' las órbitas para explicar la estabilidad del átomo.



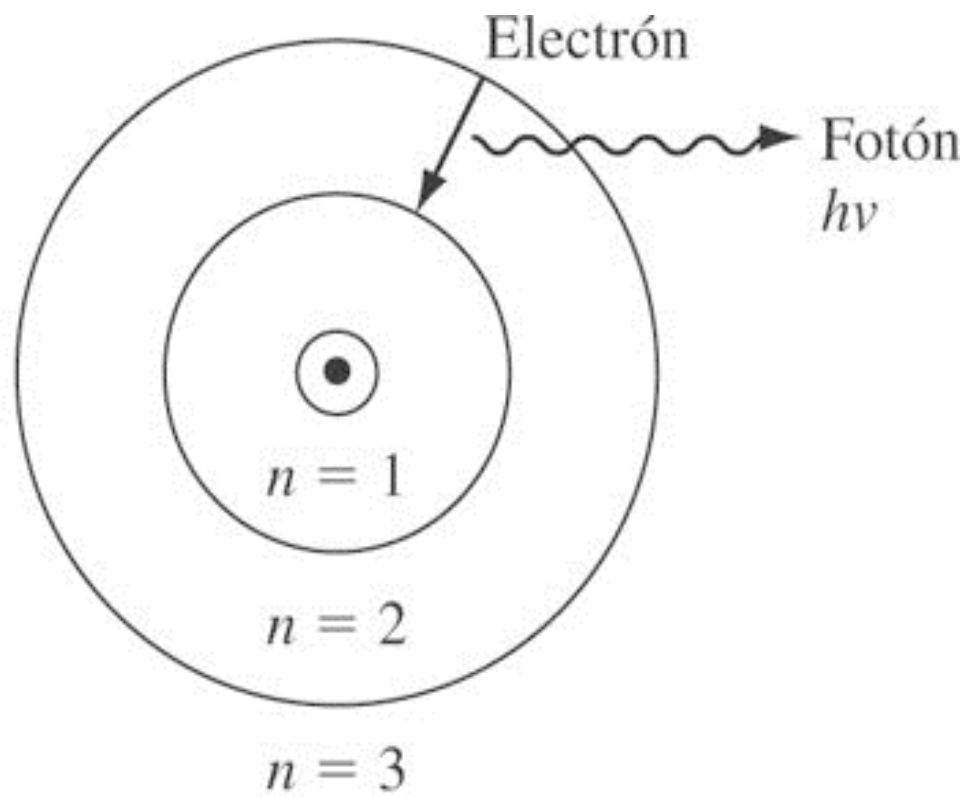
Orbitales: los electrones con diversos valores de momento angular ocupan regiones del espacio como éstas. La intensidad del sombreado indica la probabilidad de encontrar un electrón a esa distancia.

El modelo de Schrödinger abandonó la idea de órbitas precisas y las sustituyó por descripciones de las regiones del espacio (llamadas orbitales) donde es más probable que se encuentren los electrones.

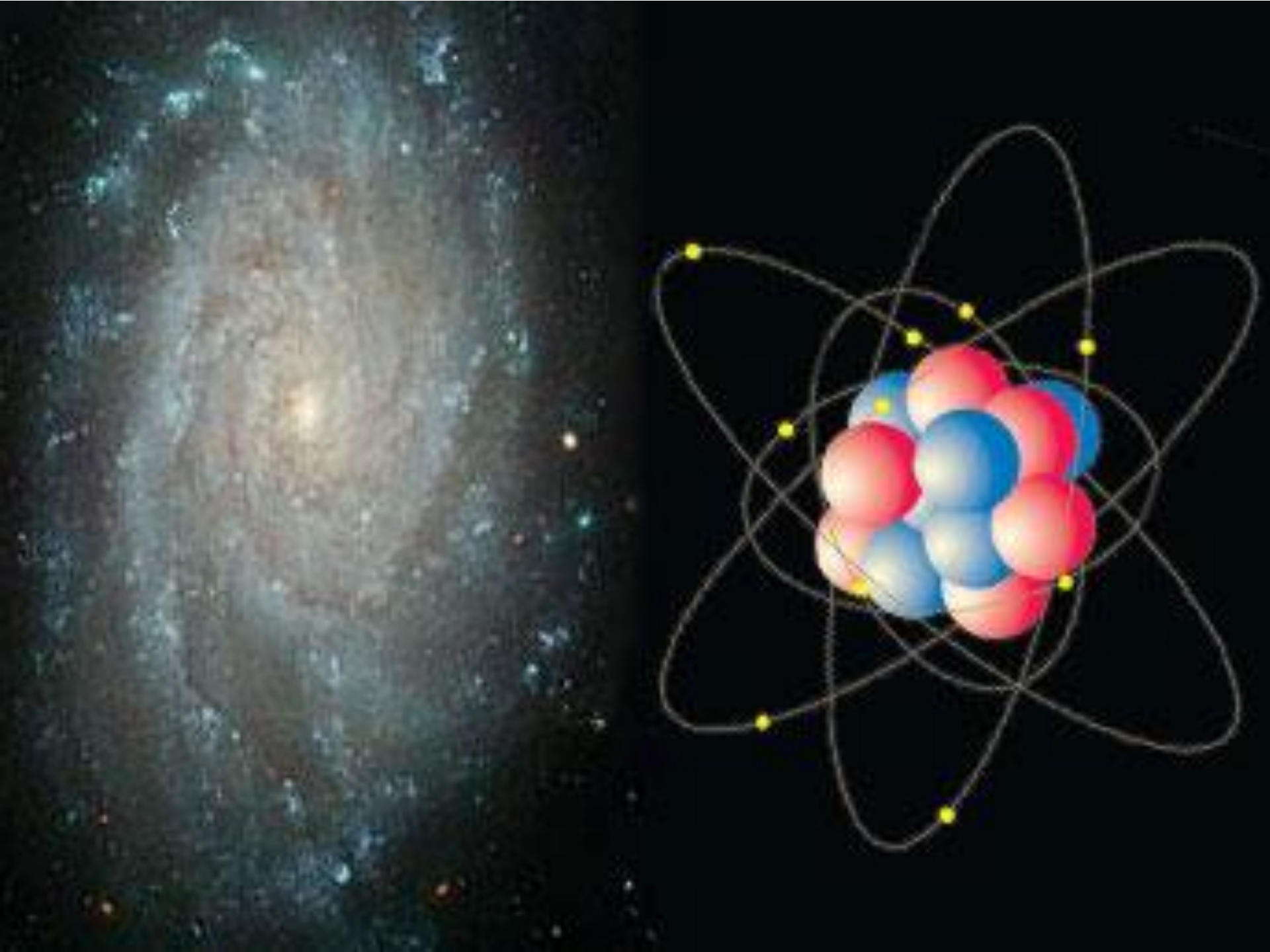




a) Energía absorbida



b) Energía emitida



Plasma, el cuarto estado de la materia

¿Como cuarto estado? ¿Es que no existen tres estados? Existe el gas, el líquido y el sólido...¿existen mas estados? Pues si que existen, y además uno de ellos es el estado mas abundante en el universo: **el plasma**. Existe todavía un quinto, un sexto, y.... estados de la materia:, predichos por Bose y Einstein en 1924, realizados en el laboratorio durante el año 1995 por Eric Cornell, Wolfgang Ketterle y Carl Wieman. Ganadores éstos del Nobel en el 2001, pudieron enfriar átomos hasta casi dejarlos inmóviles. Éste nuevo estado poseen propiedades que otros estados no poseen como la superconductividad y la superfluidez



Hablamos todos los días de televisores de plasma, pero **¿que es el plasma?**

El plasma es gas que debido a una corriente eléctrica elevada o a mucha temperatura ha sido capaz de perder un electrón, formándose a la vez una especie cargada positivamente o catión. Entonces, ¿porque no se le llama gas cargado, simplemente? porque posee propiedades físicas diferentes, por ejemplo conduce la electricidad de una manera espectacular

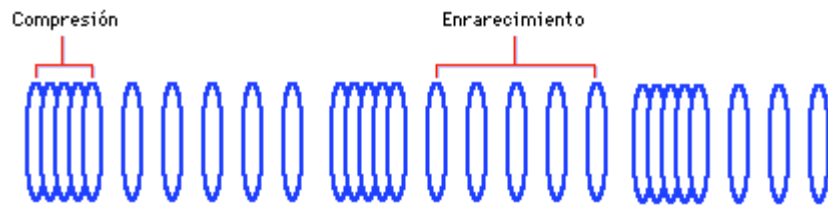
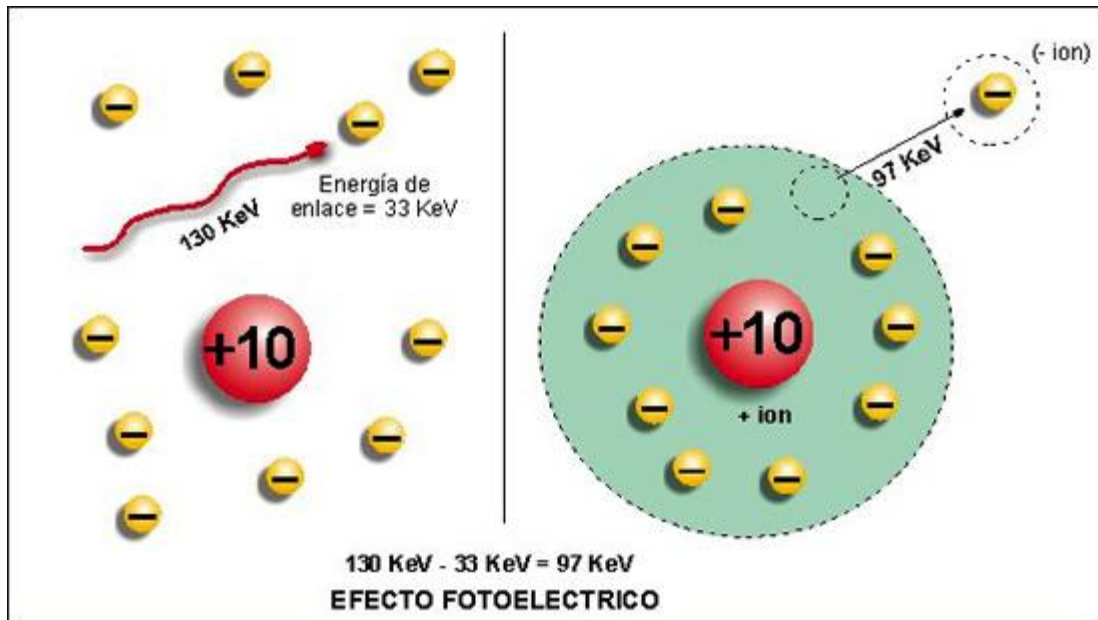
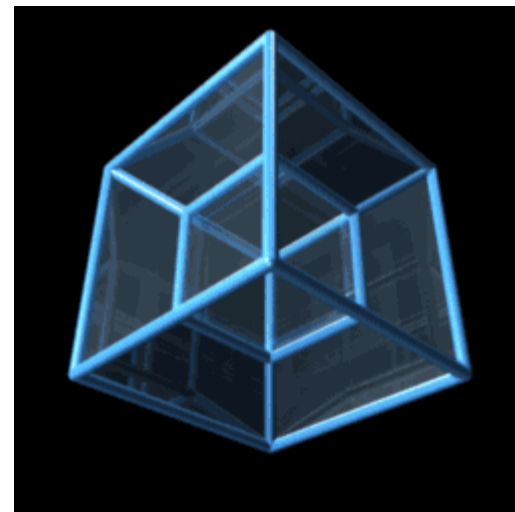
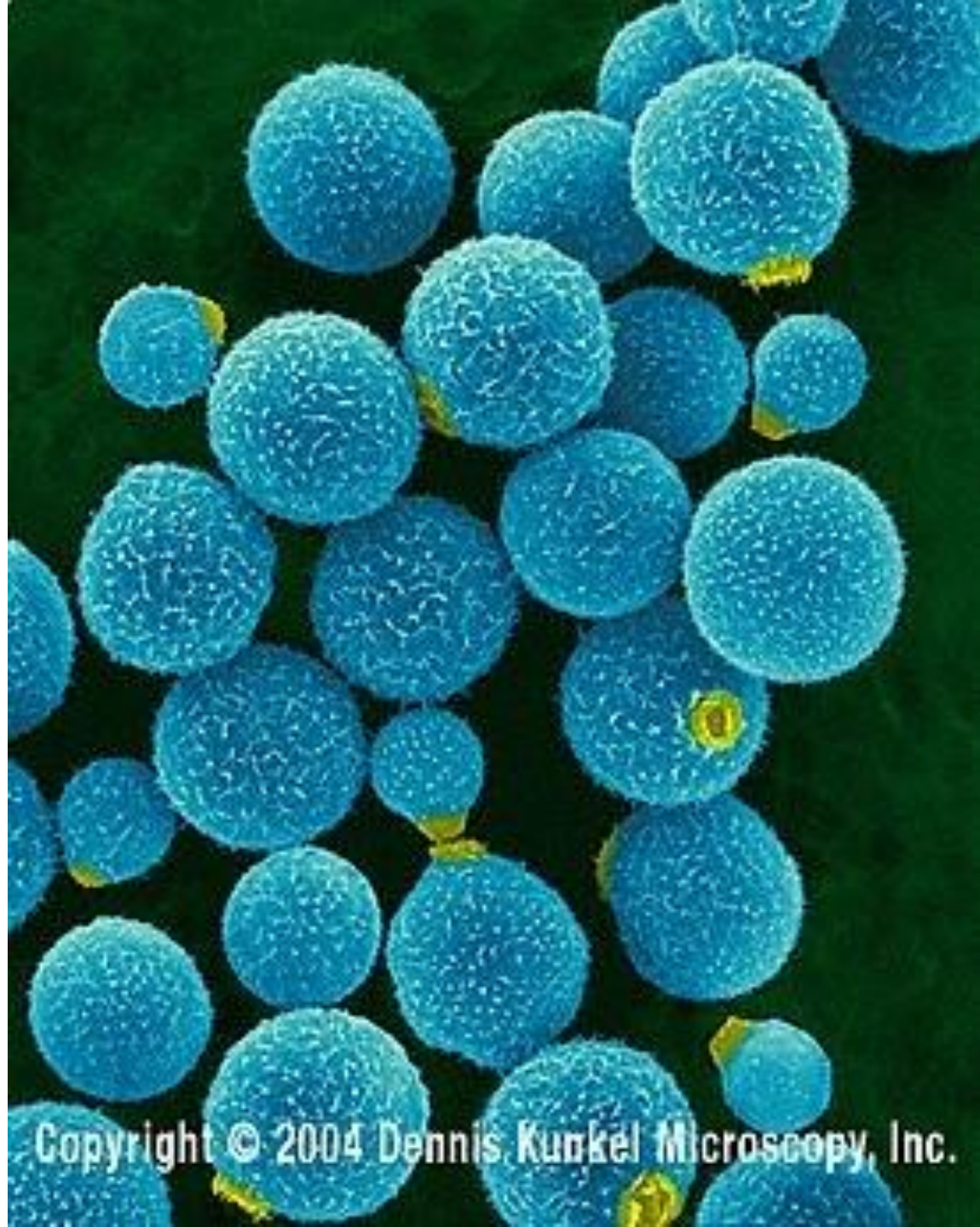


Figura 1: onda longitudinal



Figura 2: onda transversal

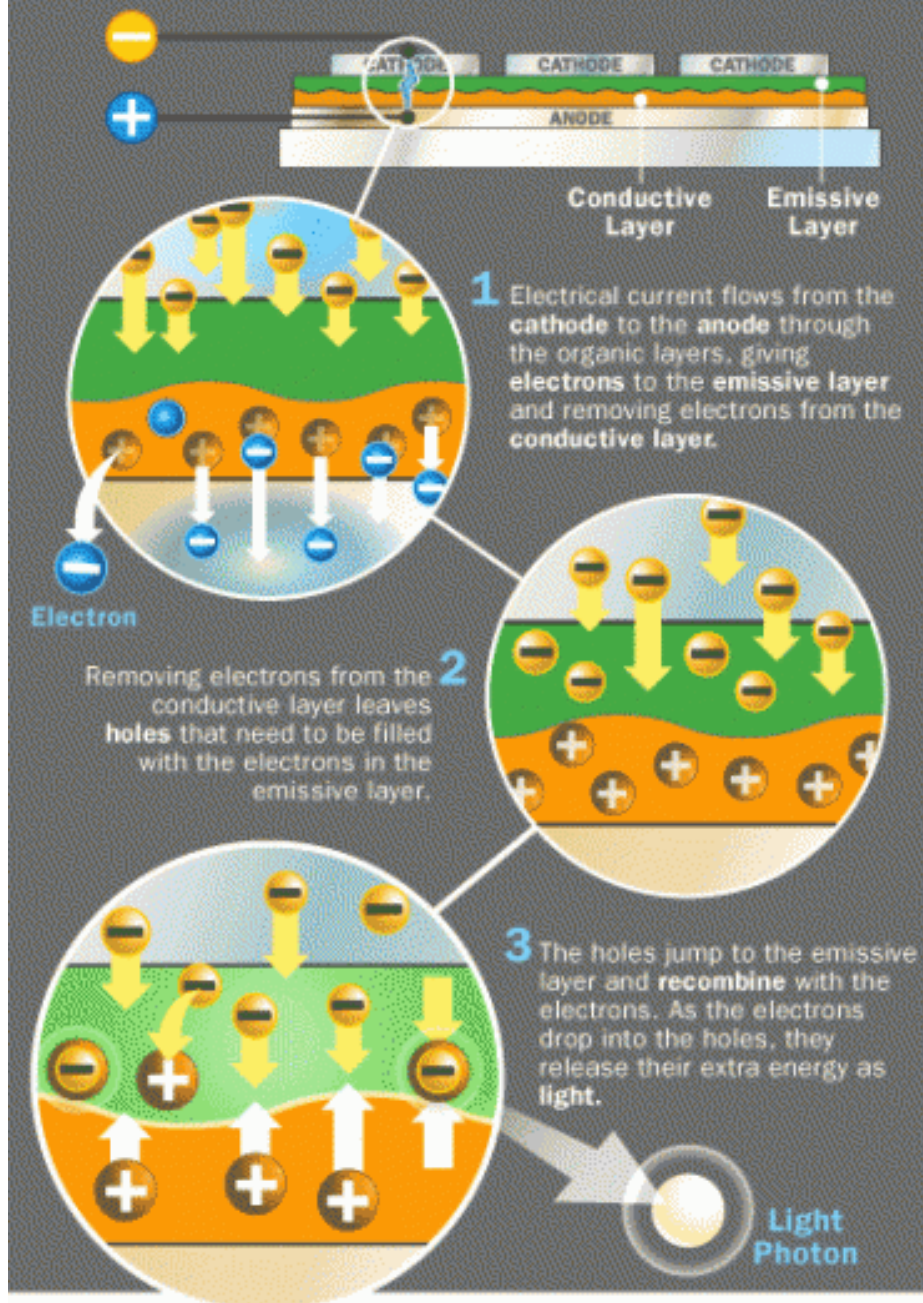




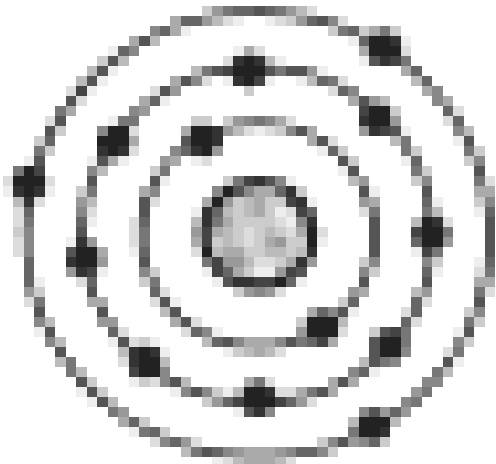
Copyright © 2004 Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

OLED Creating Light

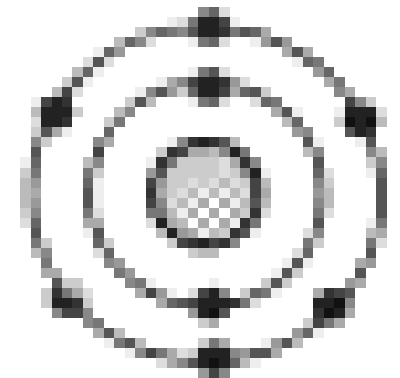
©2005 Hewlett-Packard



Estructura de los átomos



Aluminum atom
valence of 3

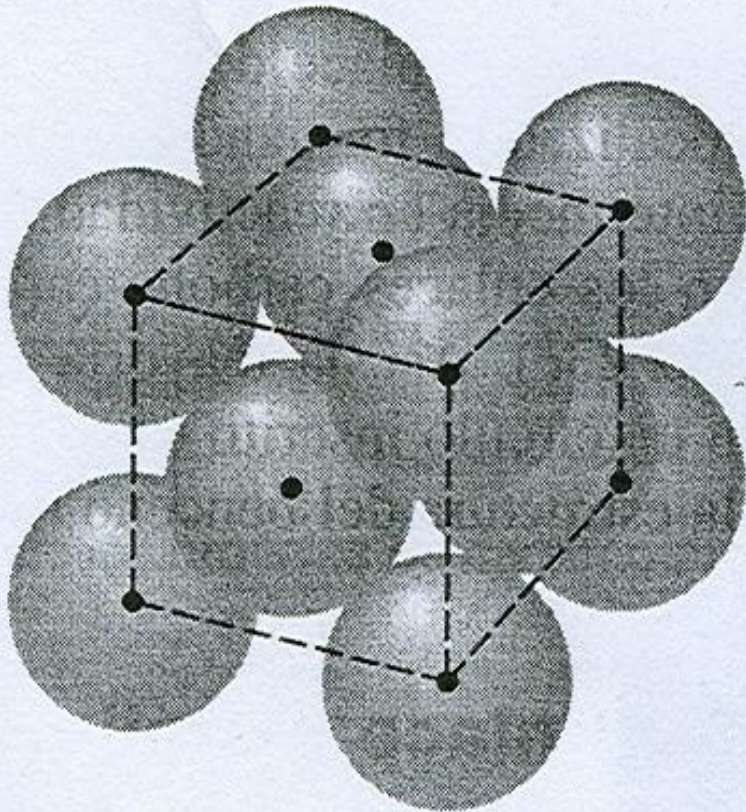


Oxygen atom
valence of 6

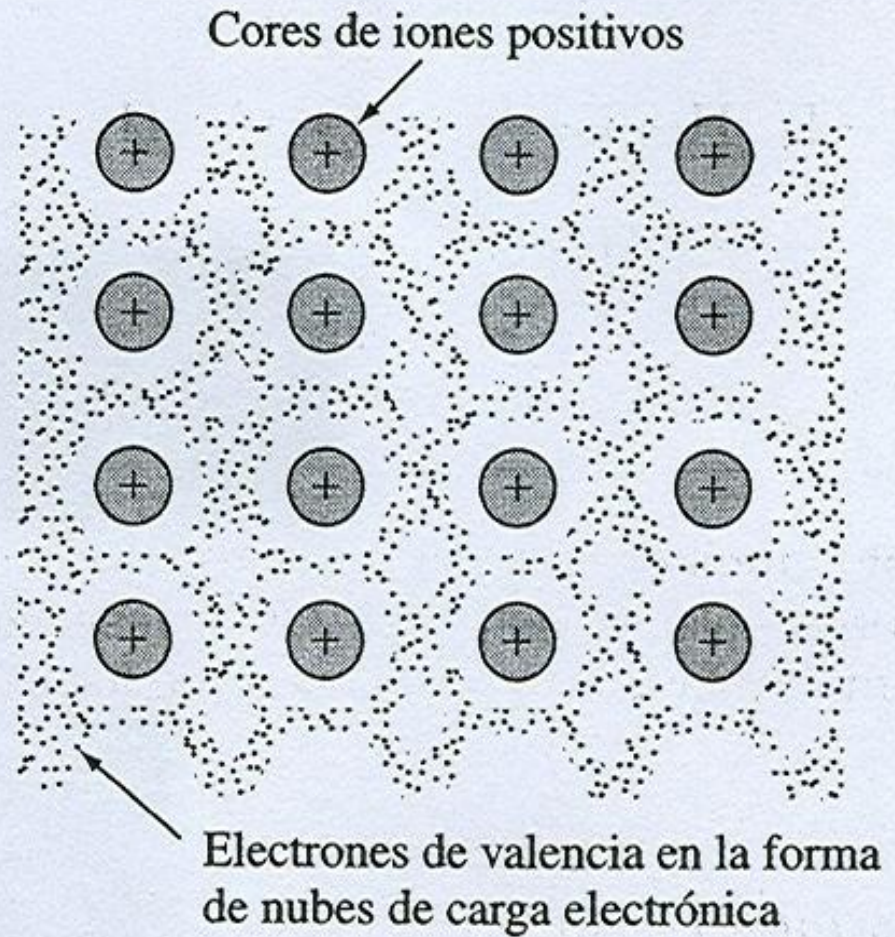
Uniones de los átomos

- **Uniones primarias:**
 - Metálicas
 - Iónicas
 - Covalentes
- **Uniones secundarias:**
 - Fuerzas de Van der Waals (uniones eléctricas o polares)

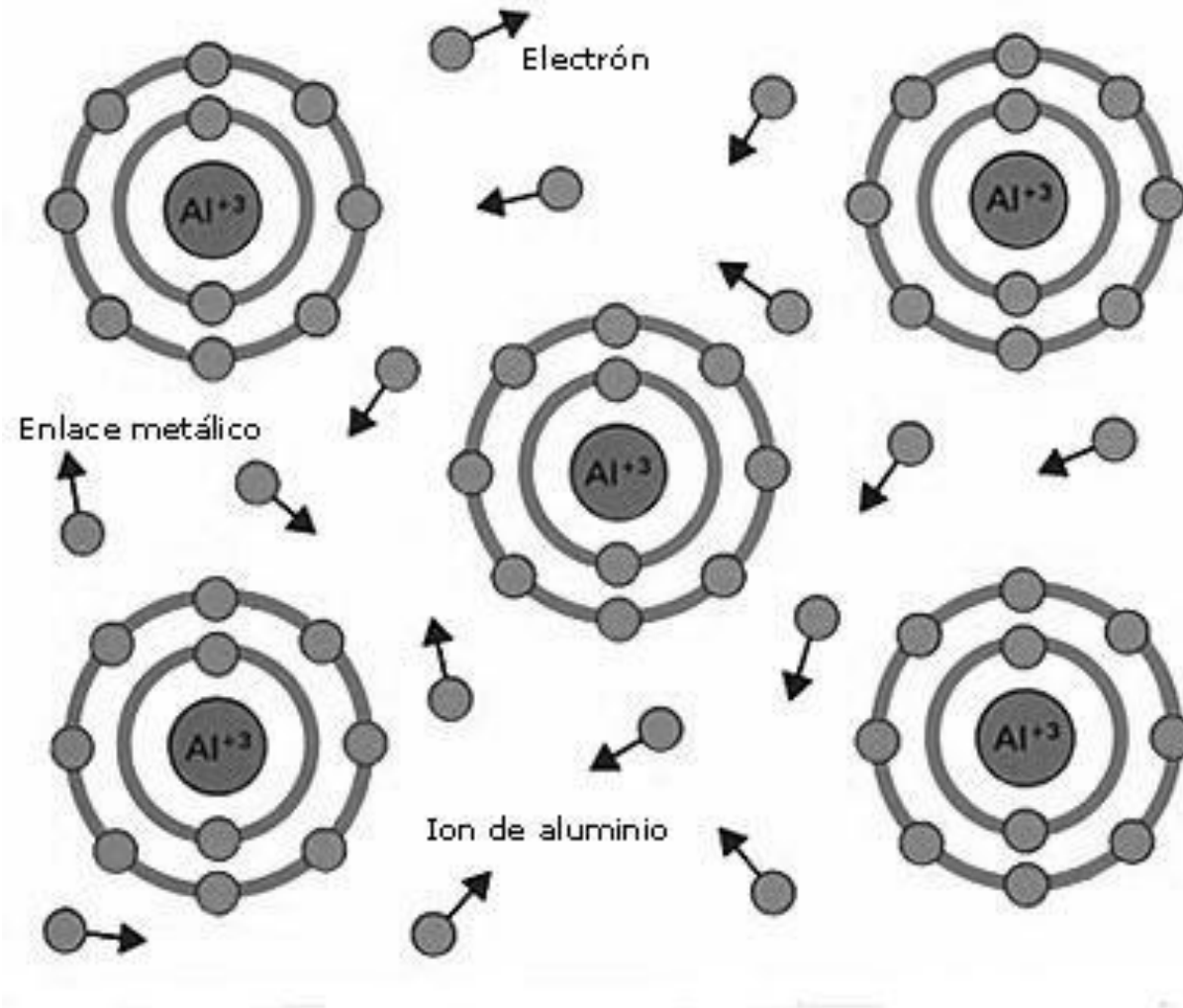
Uniones atómicas metálicas



a)

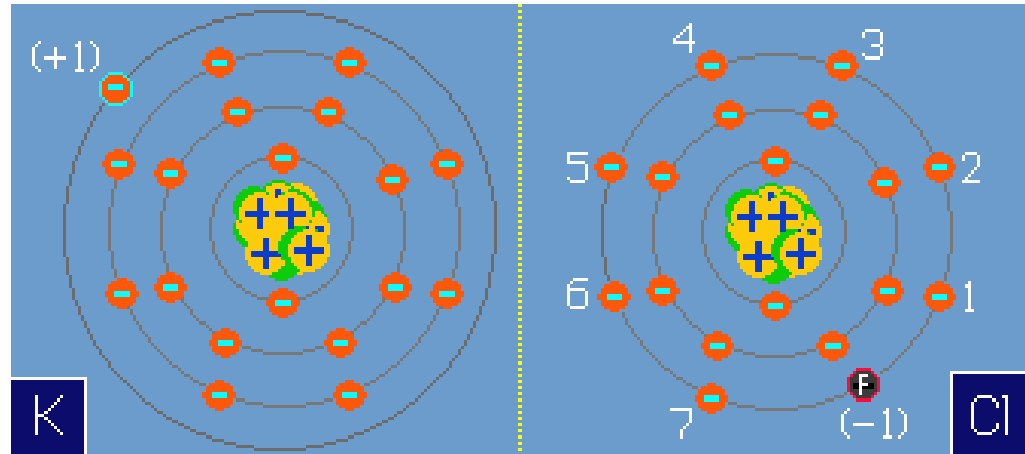
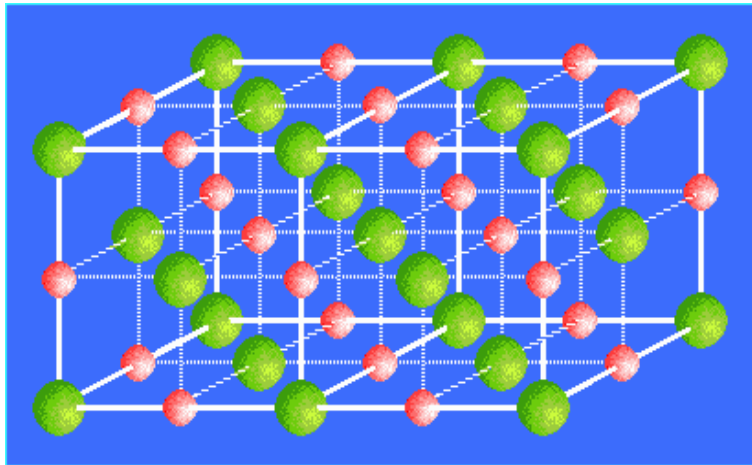
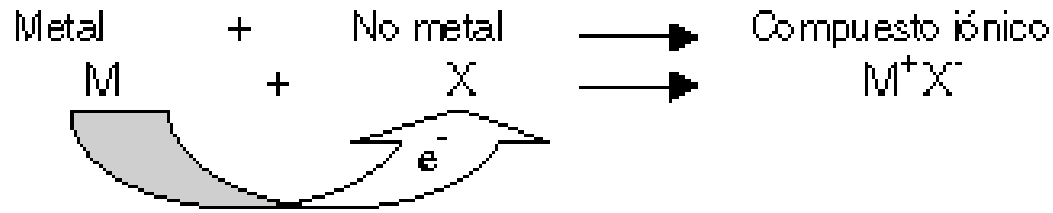


b)

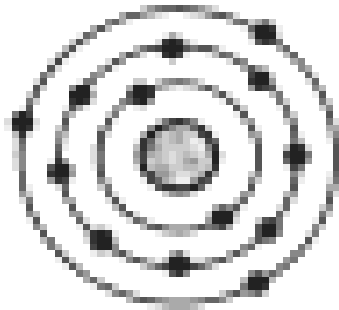


Modelo descriptivo del enlace metálico. Los iones positivos del metal forman una red que se mantiene unida gracias a la nube de electrones que los envuelven.

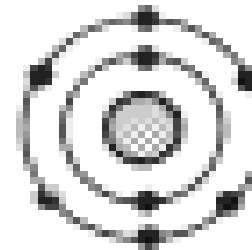
Uniones iónicas



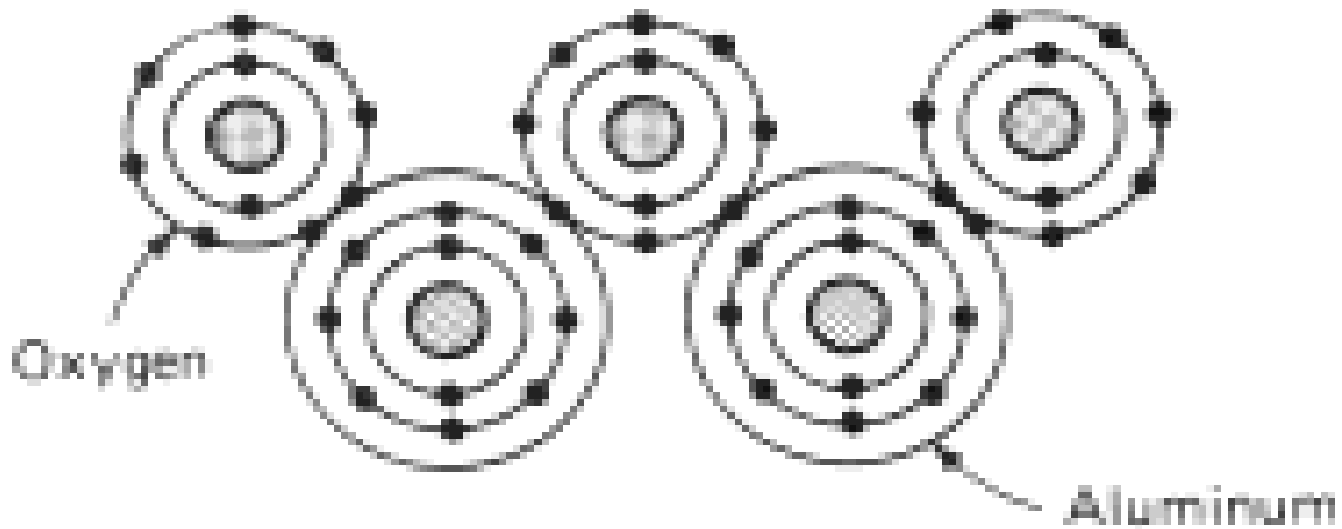
Unión iónica/covalente de la alumina (Al_2O_3)

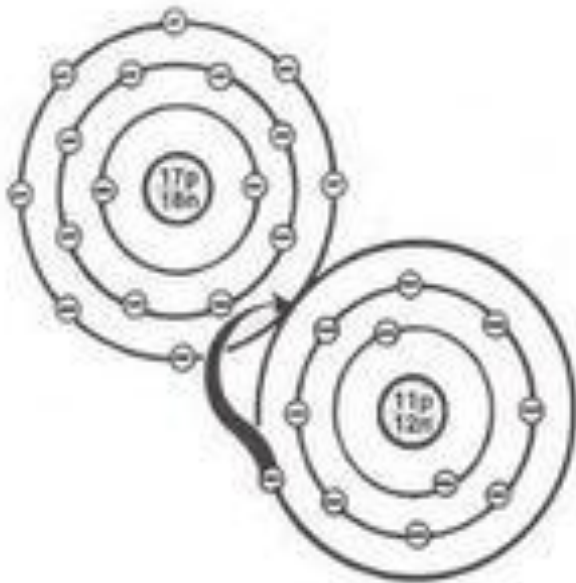


Aluminum atom
valence of 3

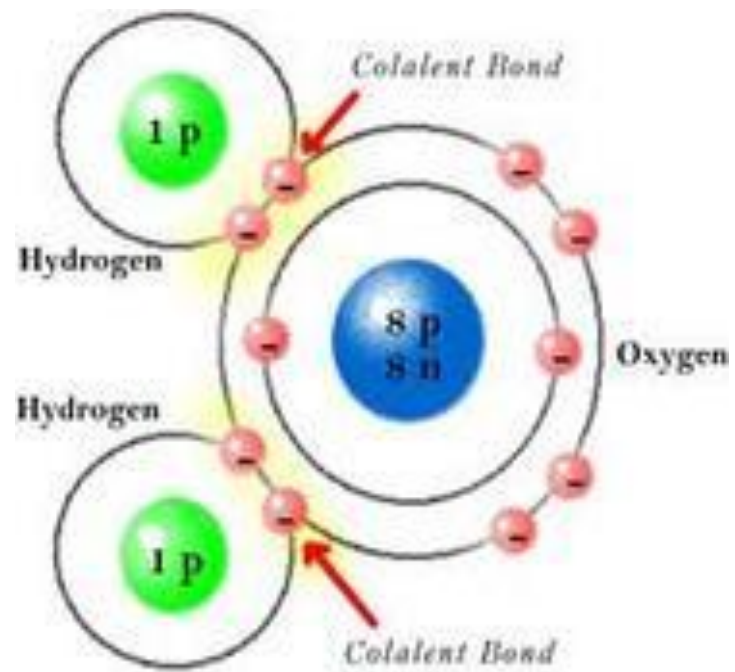


Oxygen atom
valence of 6

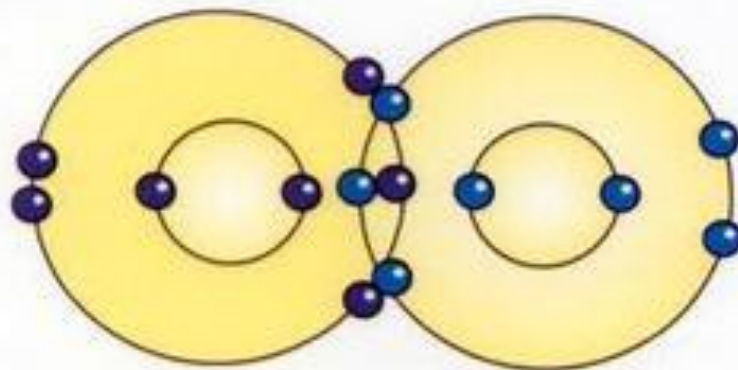




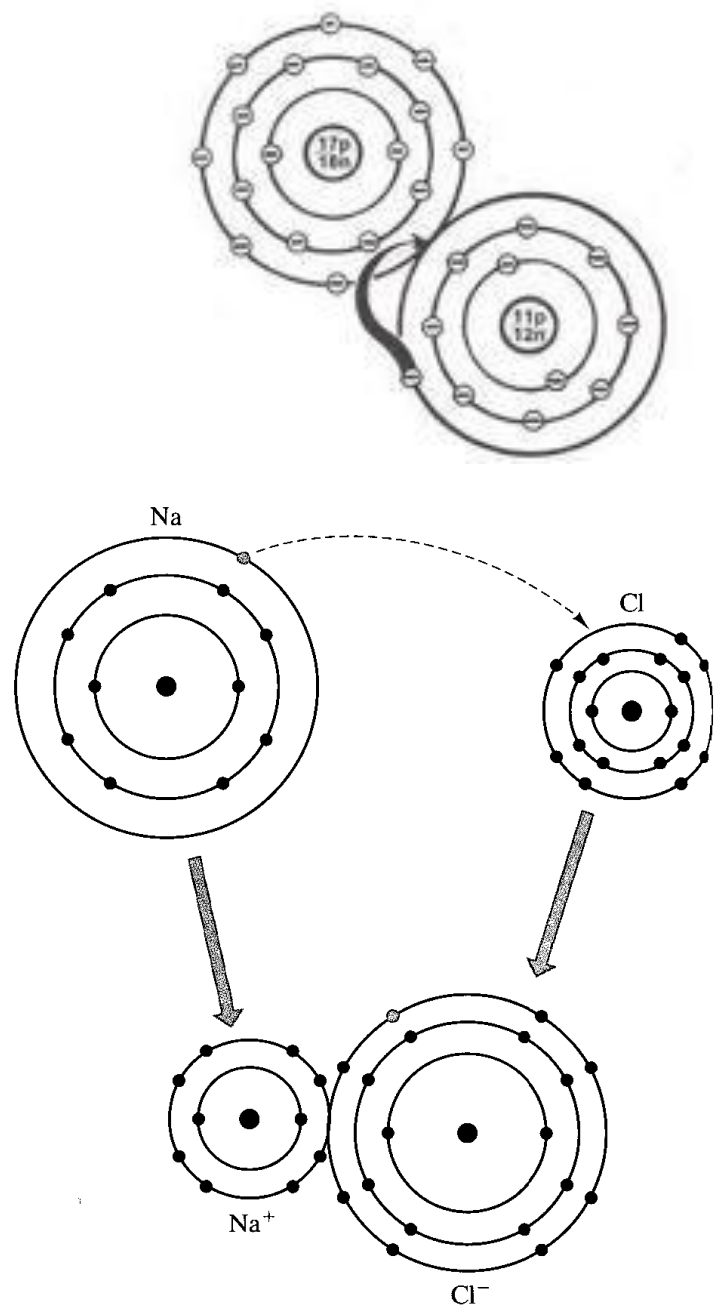
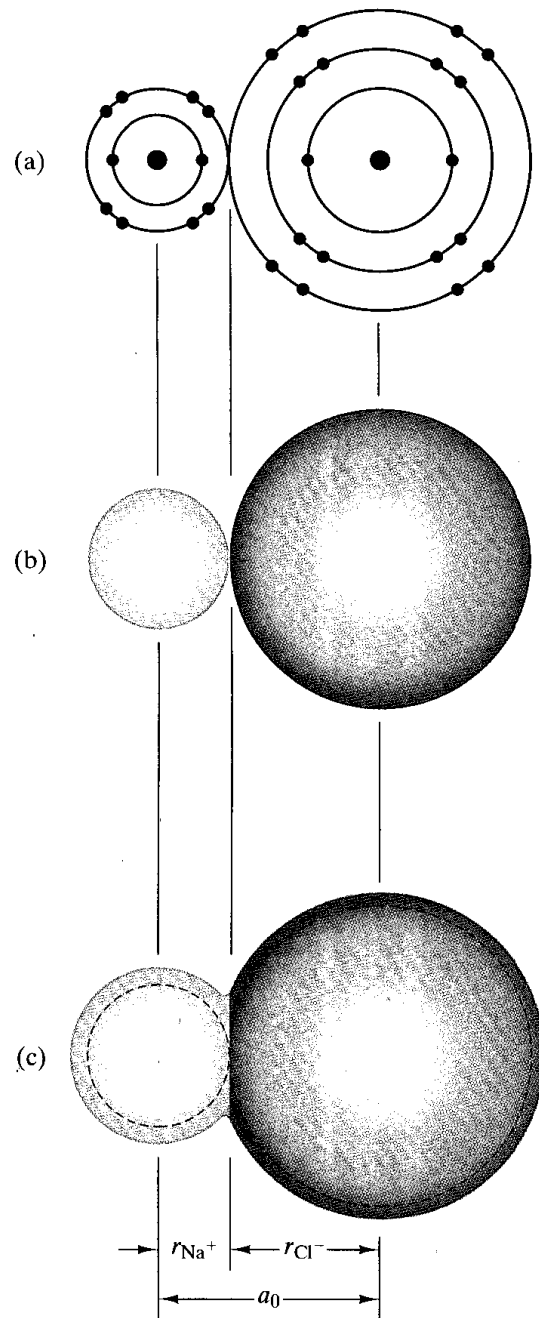
cedencia de
electrones en la
ultima orbita



Bohr Model of H_2O

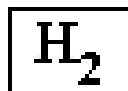


compartimiento de electrones

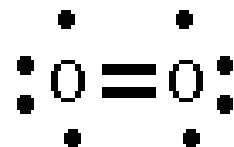
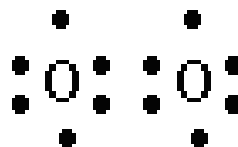


Tipos de Enlaces Covalentes:

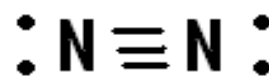
Enlace covalente simple



Enlace covalente doble:



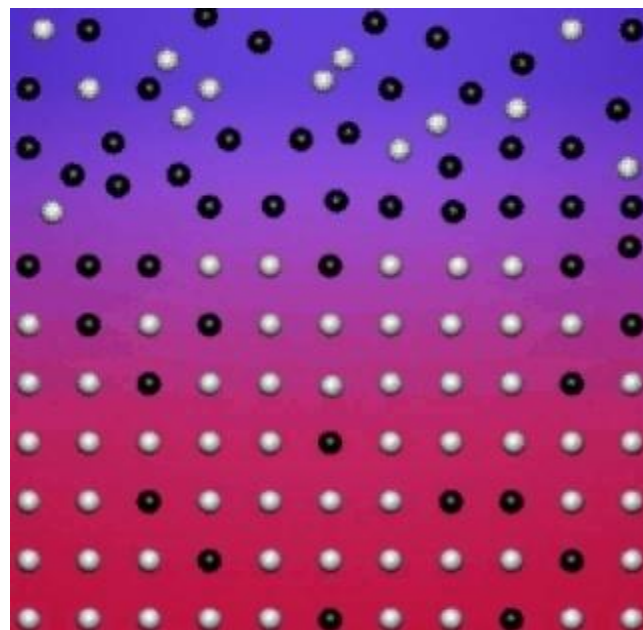
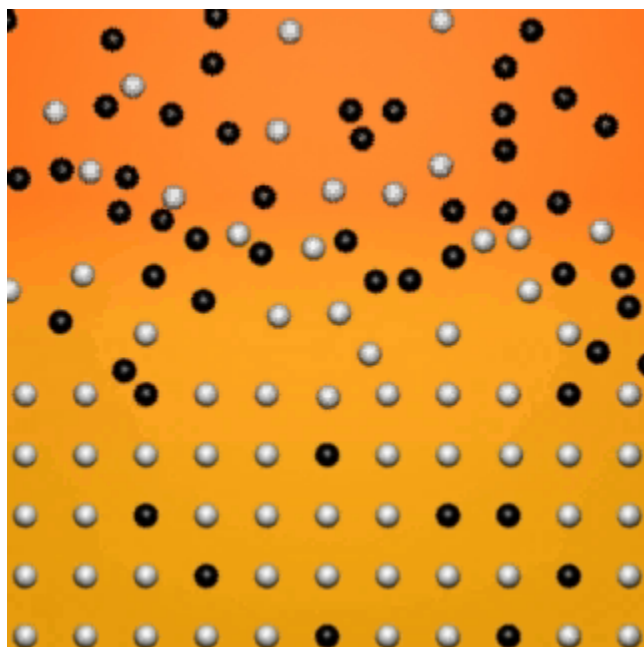
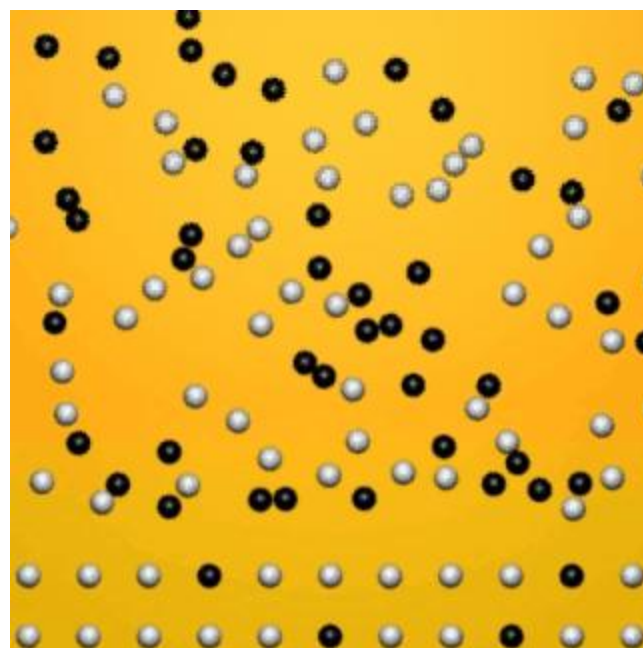
Enlace covalente triple:



METALES

Julio Aguilar

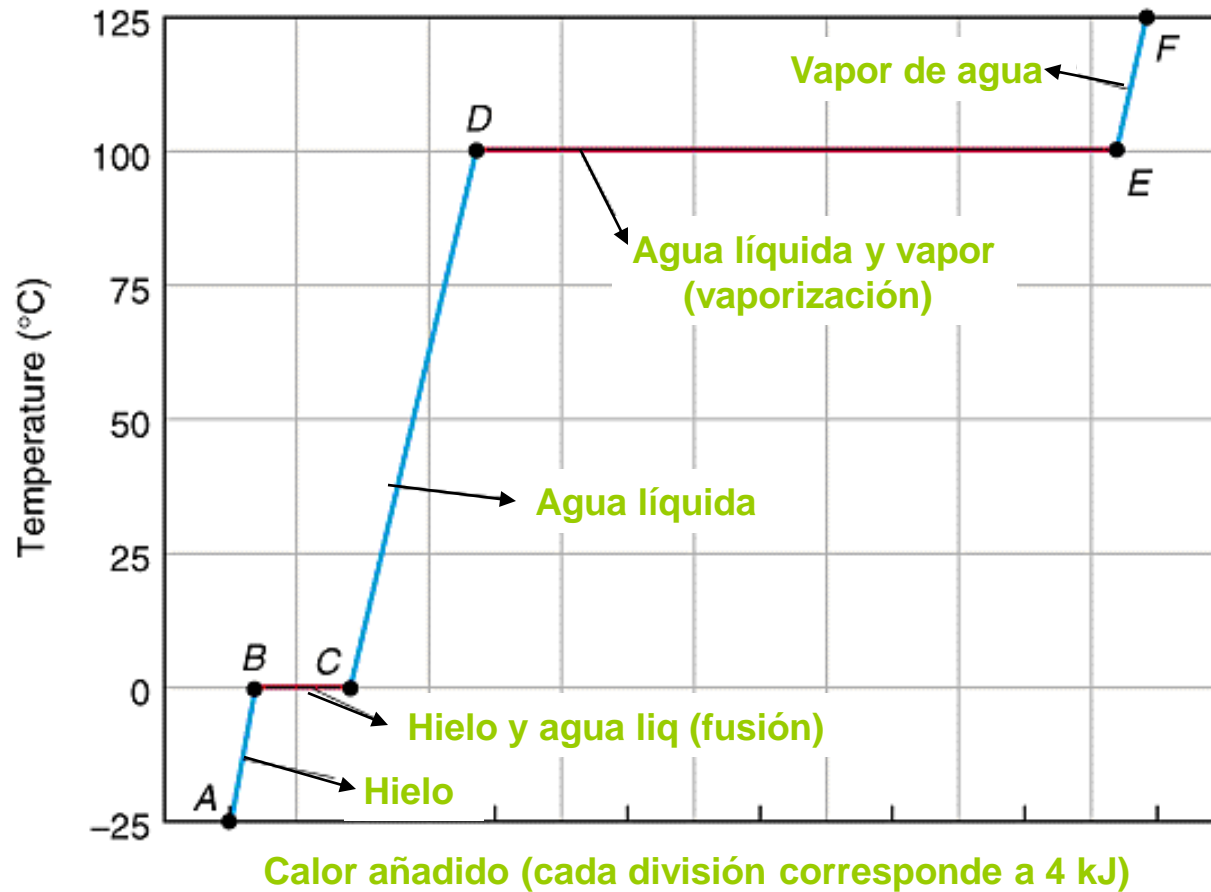
Modelo del paso del estado líquido al estado sólido de los metales



Diagramas de fases

CURVA DE CALENTAMIENTO

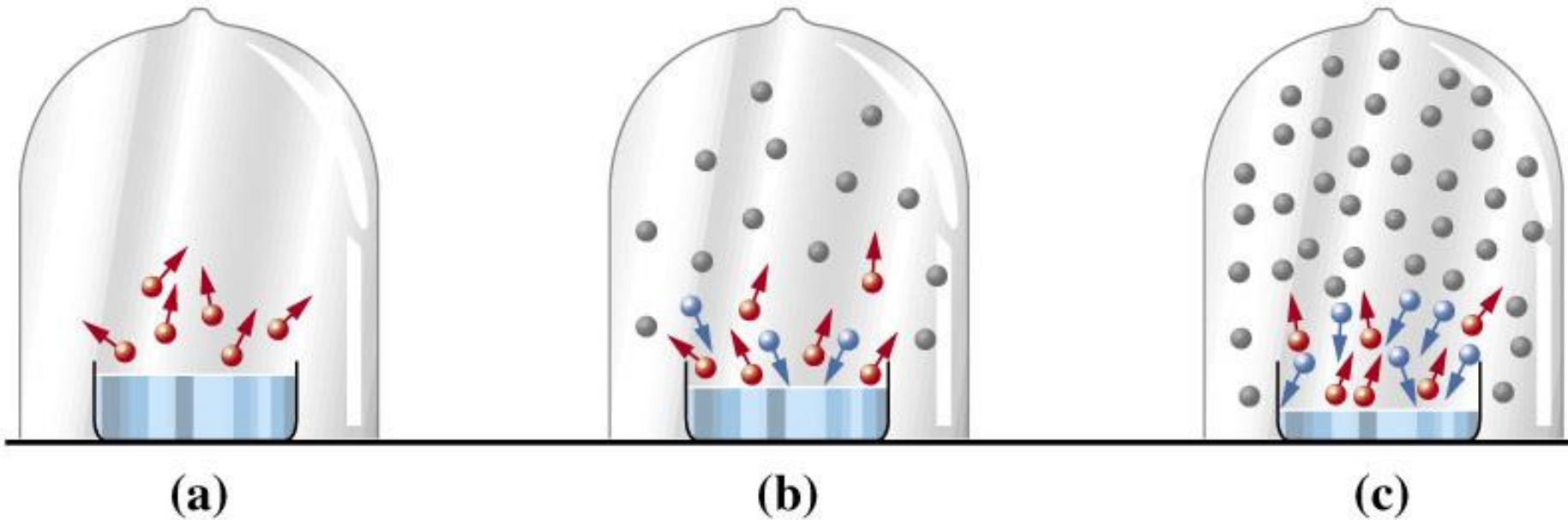
Es un representación del cambio de T^a frente al calor añadido



Equilibrio líquido-vapor

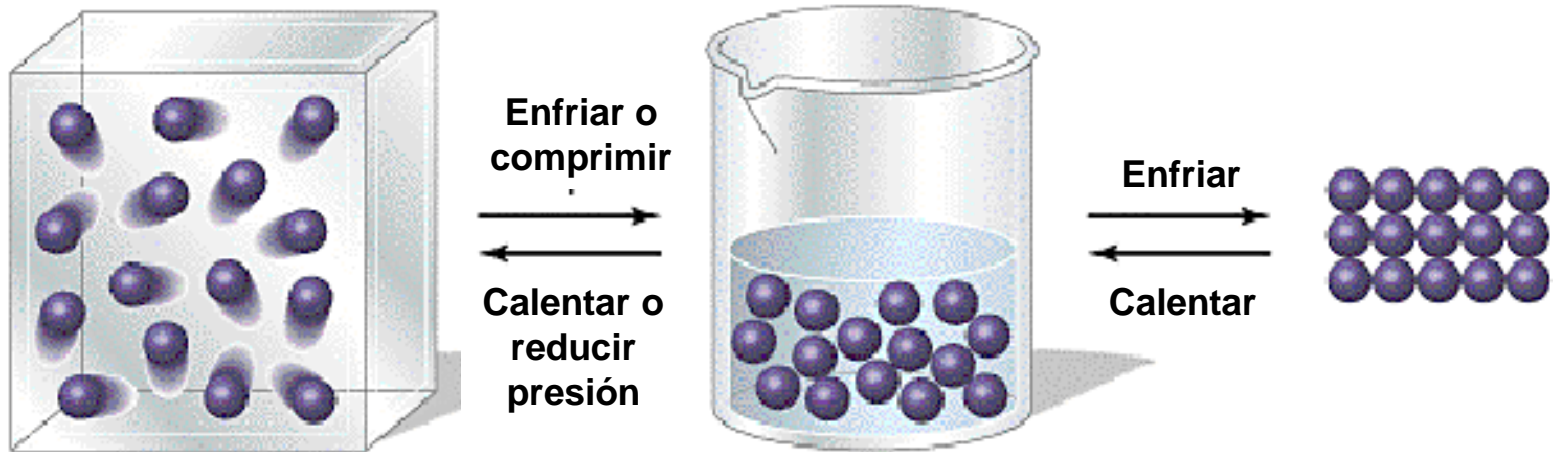
Presión de vapor

- Moléculas en estado vapor
- Moléculas que pasan a vapor (se vaporizan)
- ← Moléculas que pasan al líquido (se condensan)



Propiedades de los líquidos

Comparación molecular entre sólidos y líquidos



GASES

- Desorden total
- Partículas tienen completa libertad de movimiento.
- Partículas tienden a estar alejadas entre sí
- Forma y volumen indeterminado.

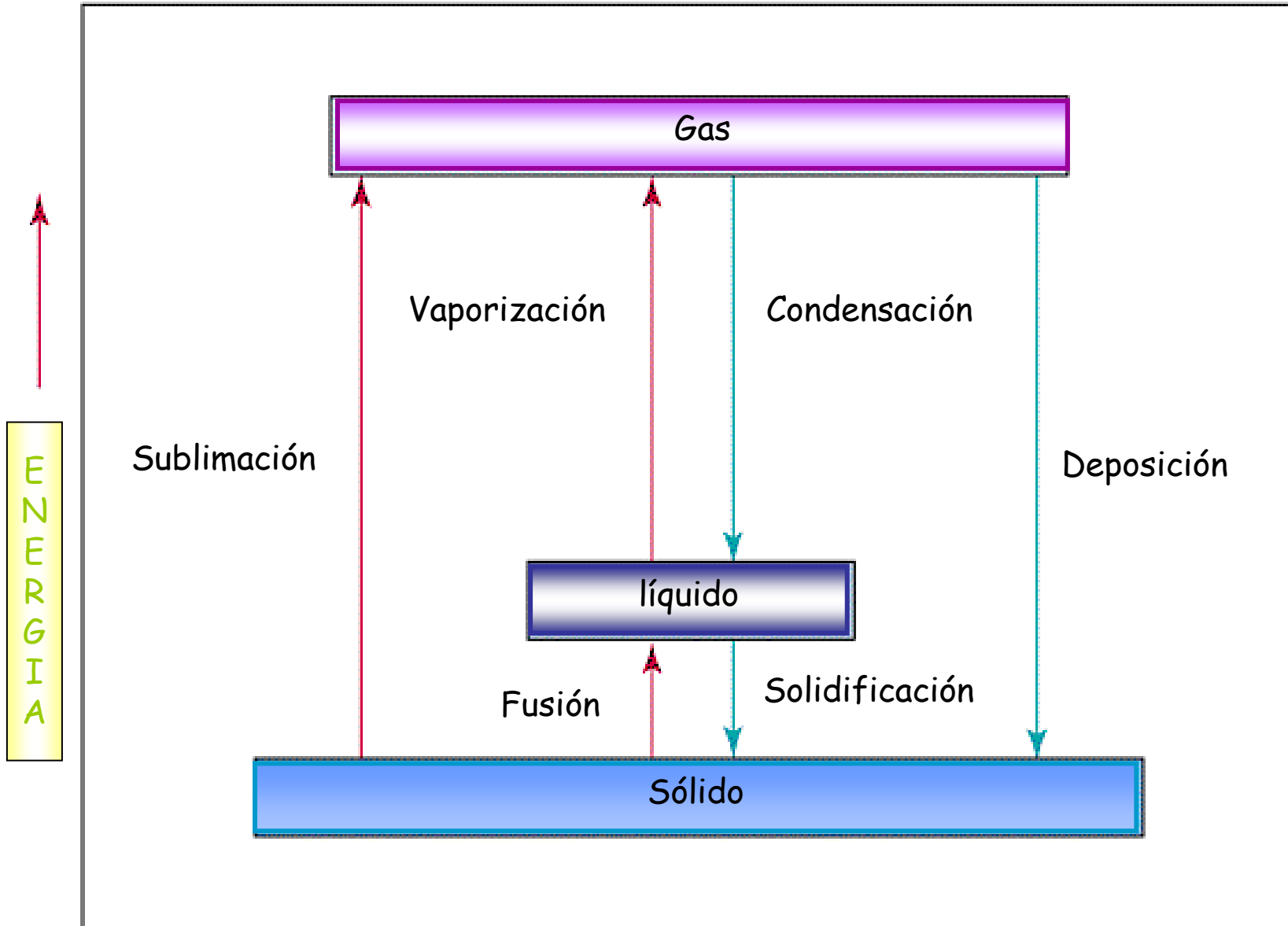
LÍQUIDOS

- Menor desorden
- Partículas tienen movimiento relativo entre sí
- Partículas tienen mayor cohesión (juntas)
- Forma determinada al recipiente que los contiene

SÓLIDOS

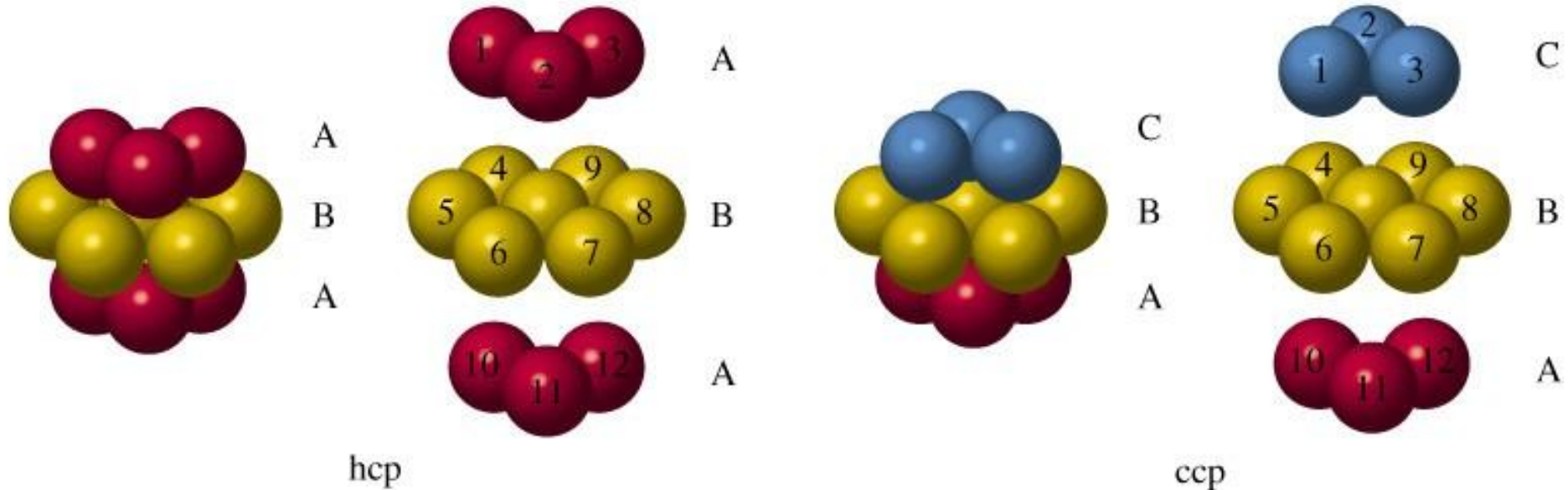
- Orden
- Partículas fijas en una posición determinada.
- Partículas unidas entre sí
- Forma y volumen determinado

Cambios de fases



Estructuras cristalinas

Nº de coordinación

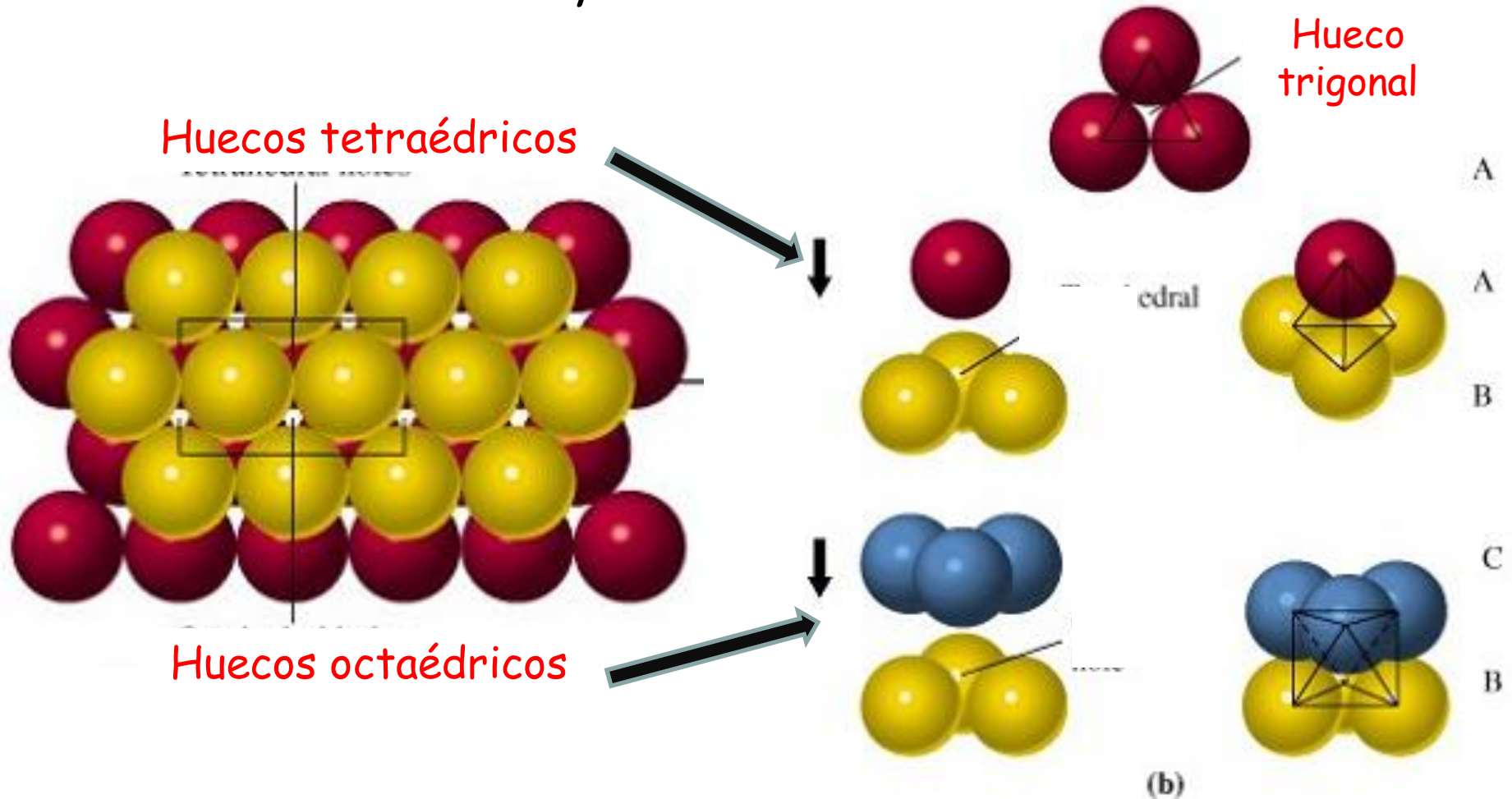


Hexagonal compacto

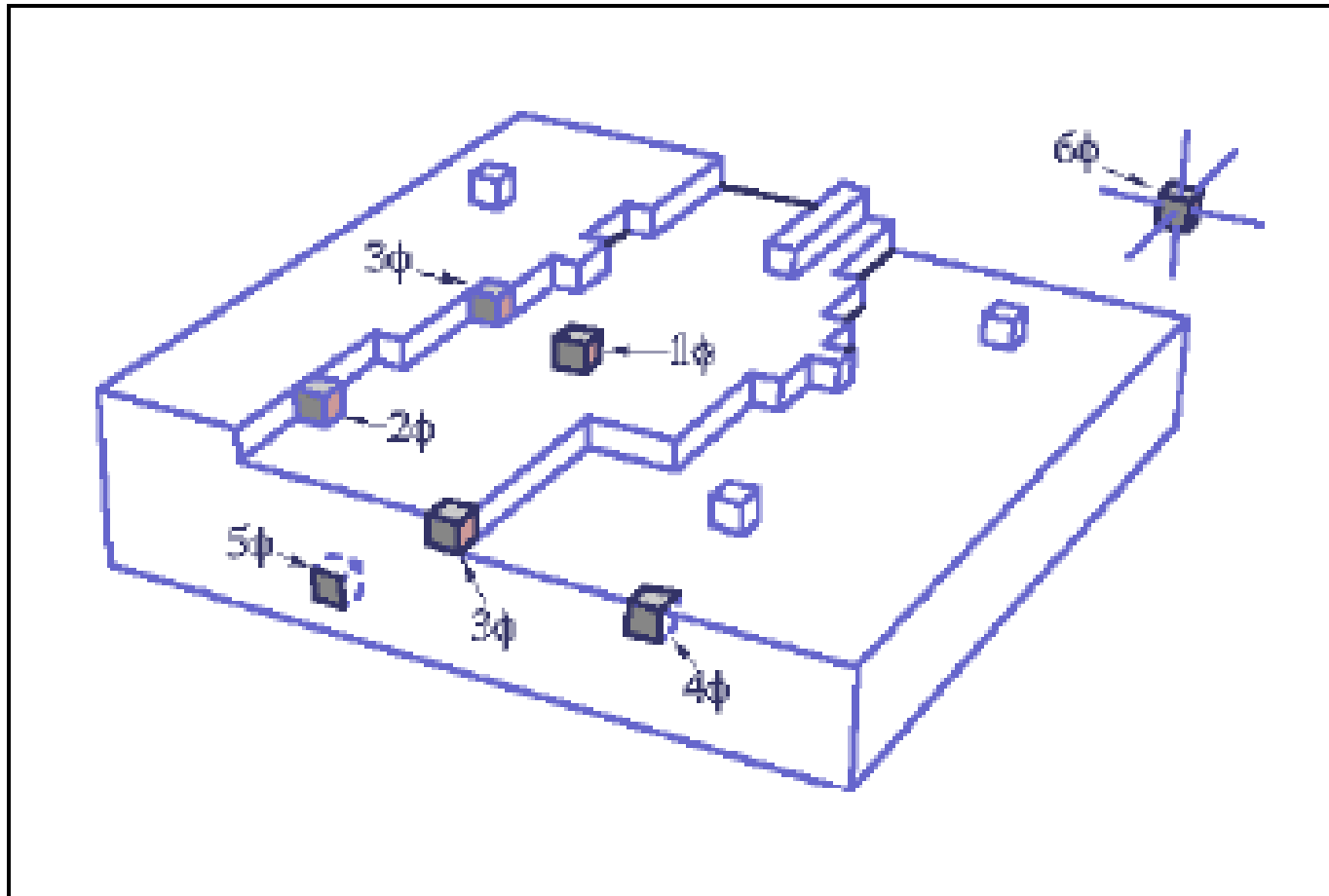
Cúbico compacto

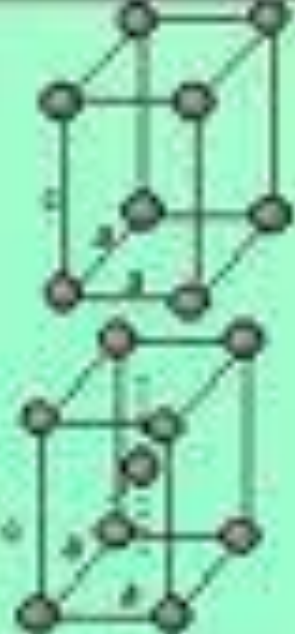
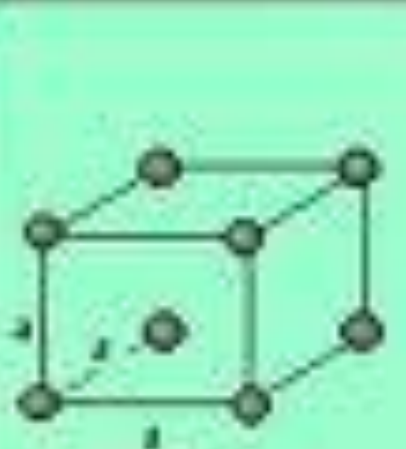
Estructuras cristalinas

Tipos de huecos

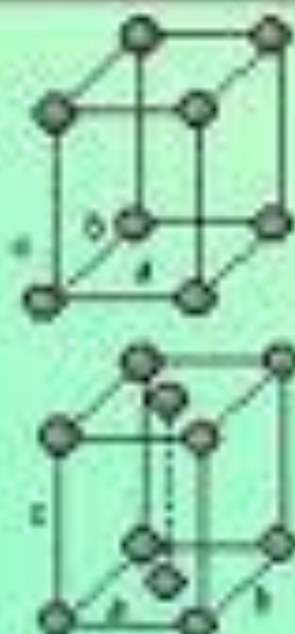


Modelo de crecimiento del cristal por capas.





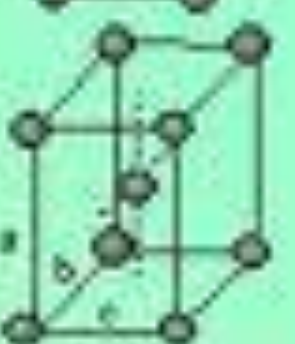
Tetragonal



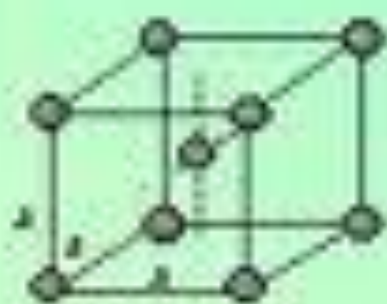
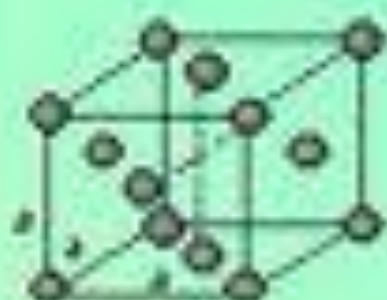
Monoclinica



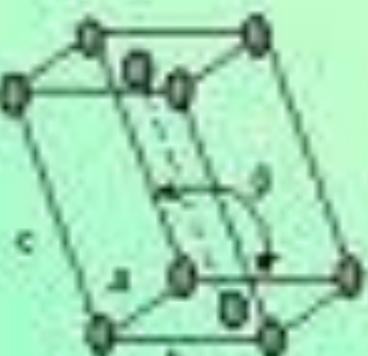
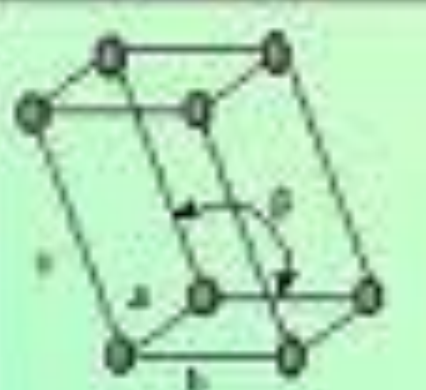
Rombocédrica



Hexagonal



Cúbica

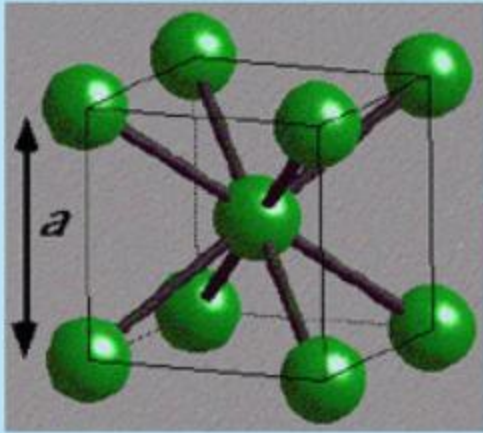


Monoclinica

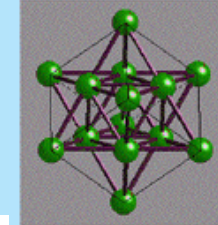
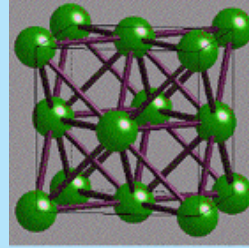
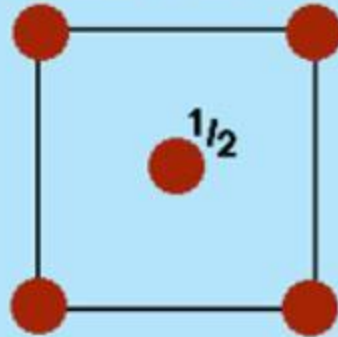


Triclínica

Ortorròmbica

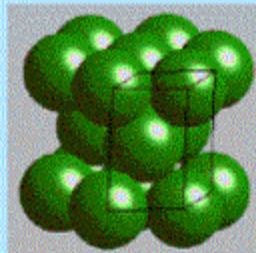
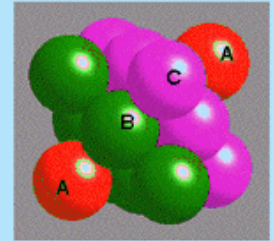
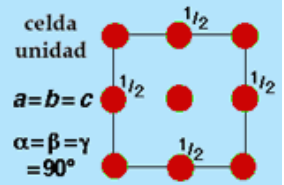
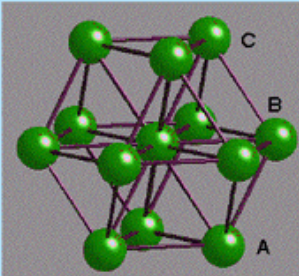


Celda unidad cúbica centrada en el interior

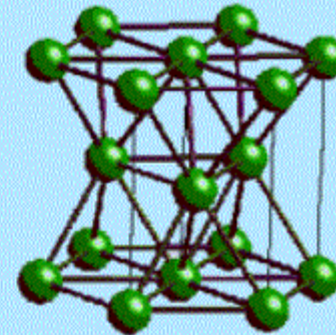
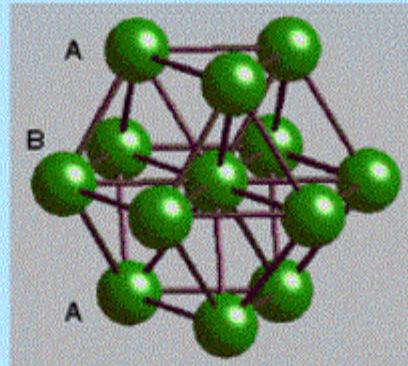
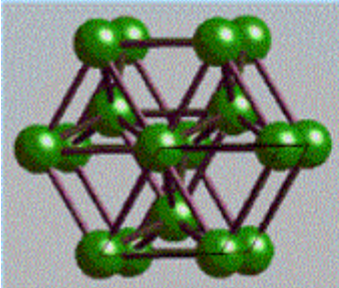
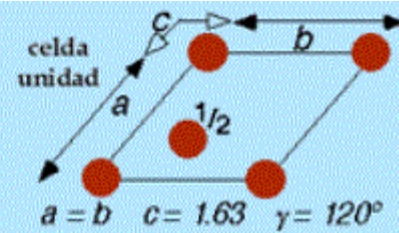


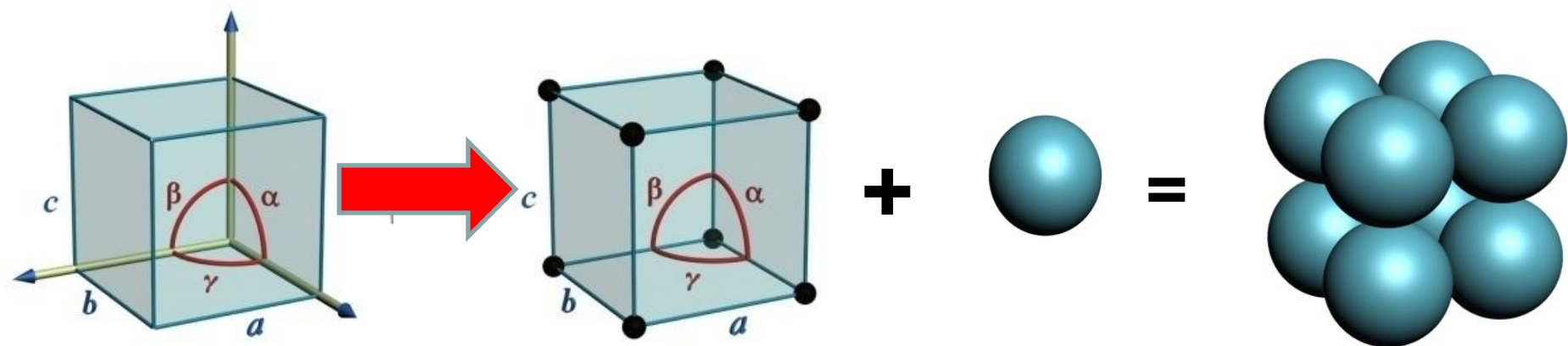
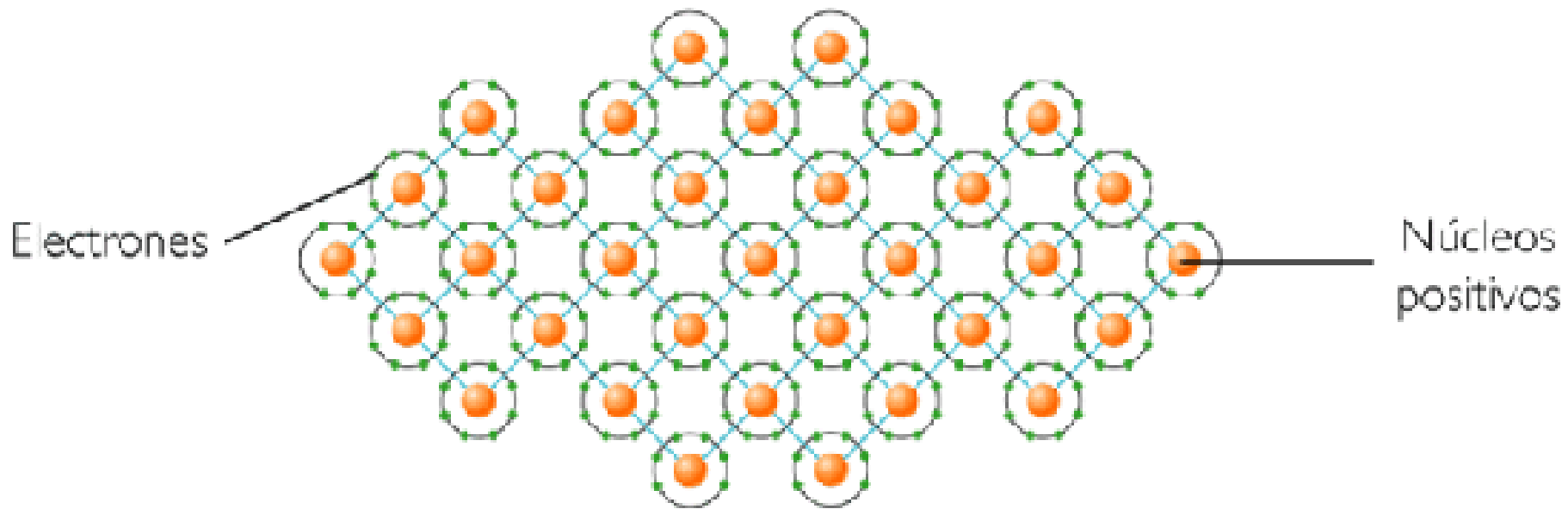
EMPAQUETAMIENTO CÚBICO COMPACTO

Red cúbica de caras centradas



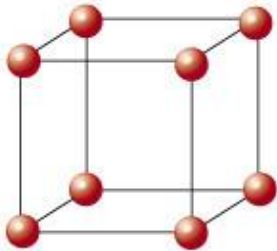
EMPAQUETAMIENTO HEXAGONAL COMPACTO



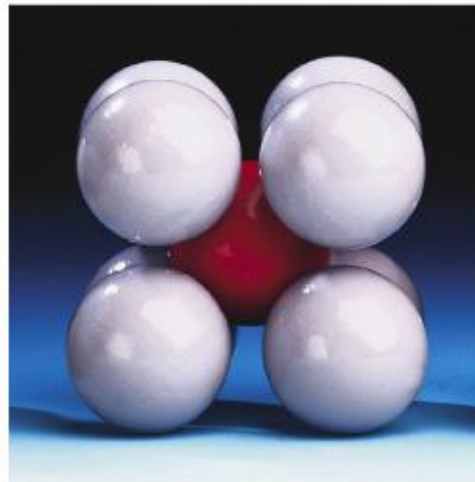
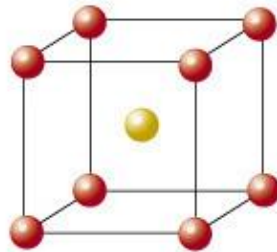


Estructuras cristalinas

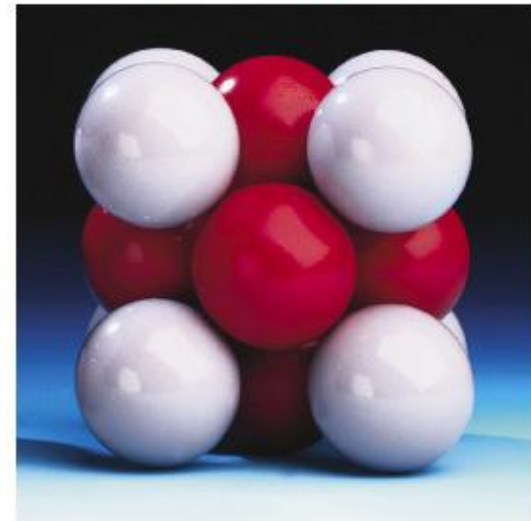
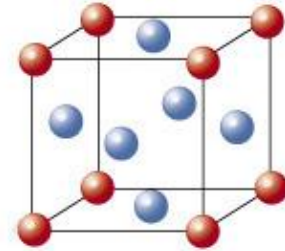
Celdas unidad en el sistema cristalino cúbico



Cúbica sencilla

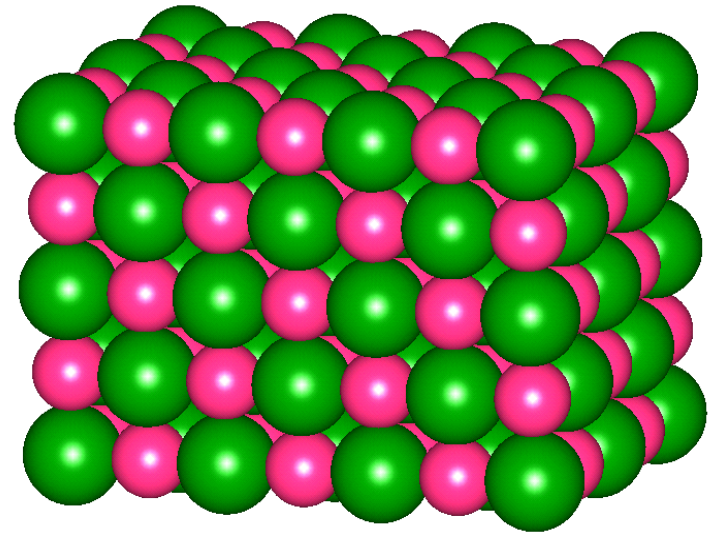
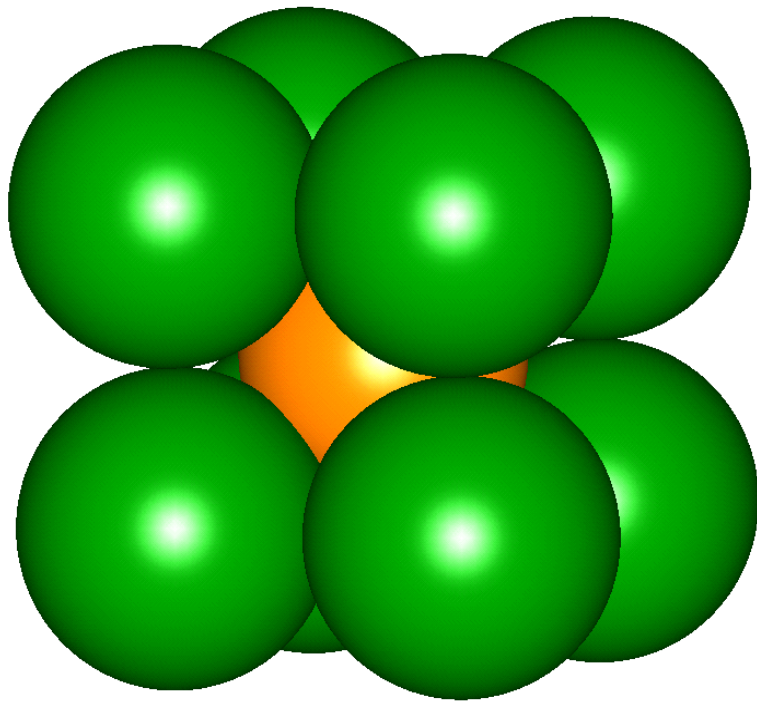


Cúbica
centrada en el
cuerpo



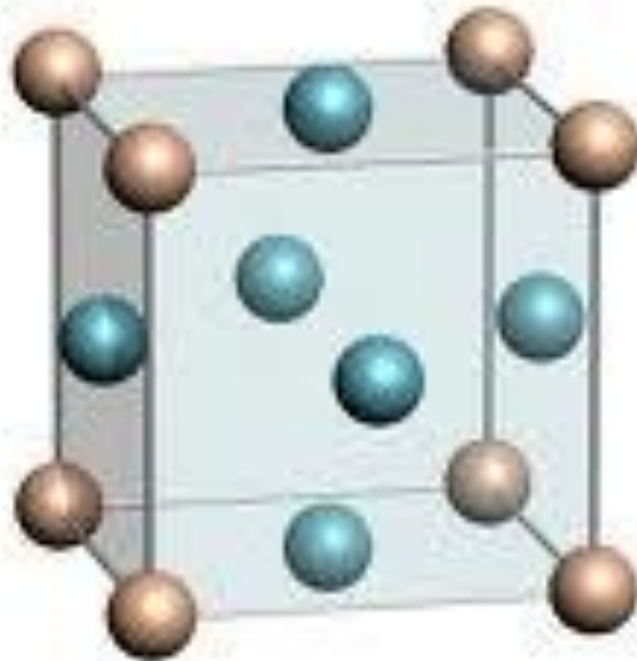
Cúbica
centrada en
las caras

Cúbico centrado en el cuerpo, CC (CCF)



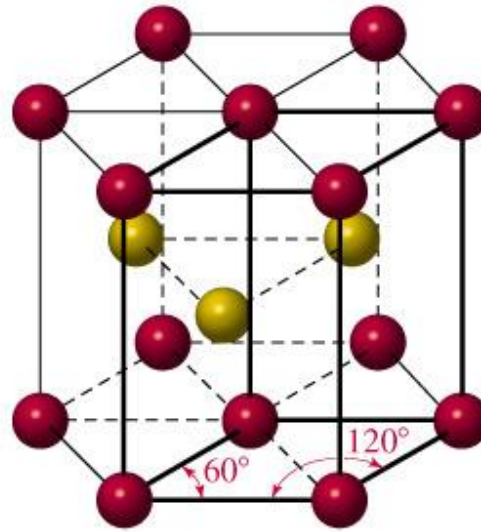
Estructuras cristalinas

Cubico centrado en las caras

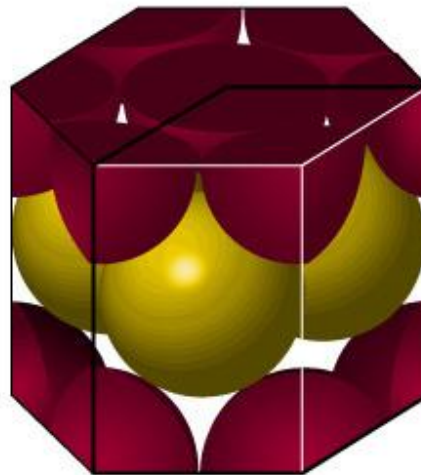


Estructuras cristalinas

Empaquetamiento hexagonal compacto

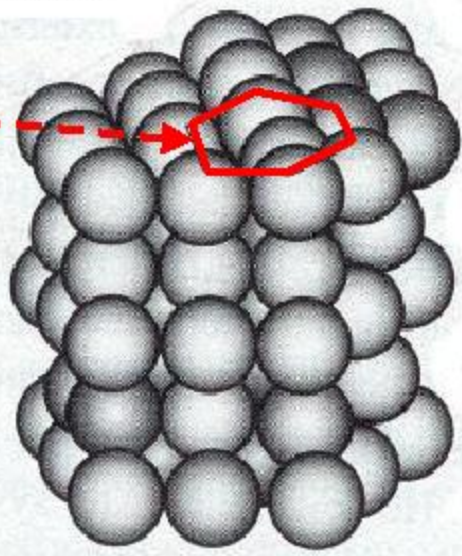
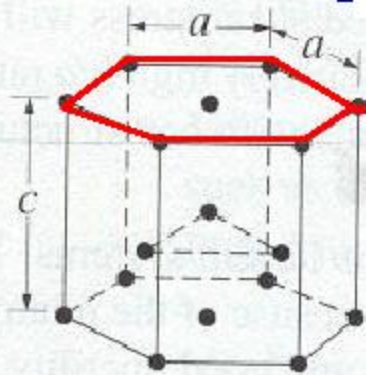


(a)



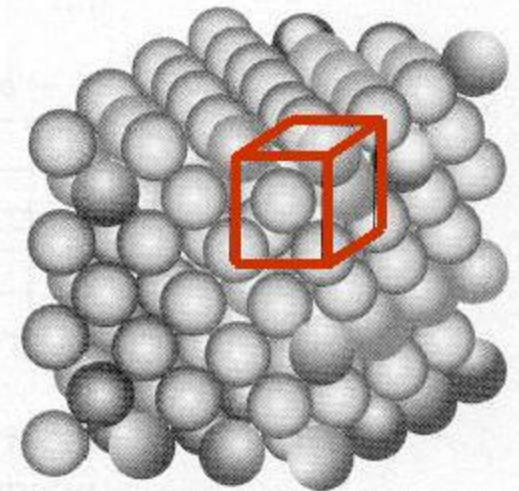
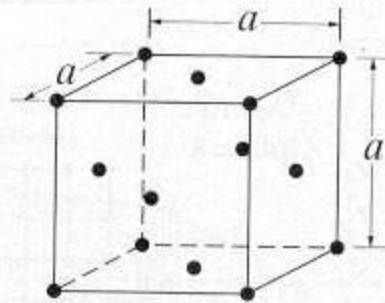
(b)

HCP lattice

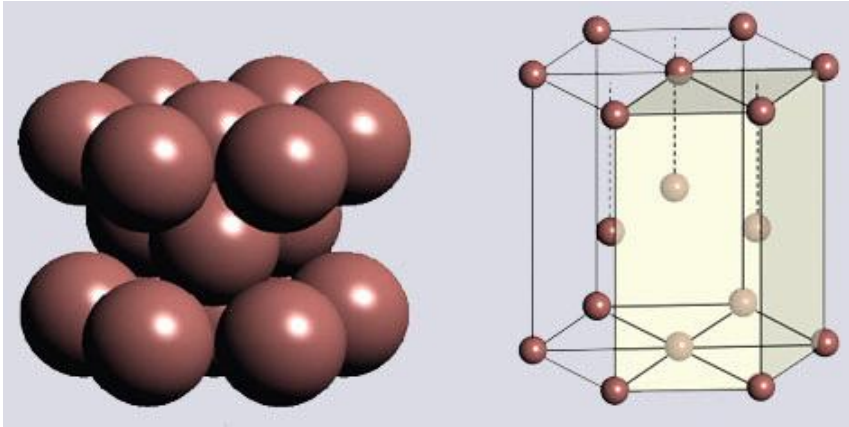


see pp 40 - 41

FCC lattice

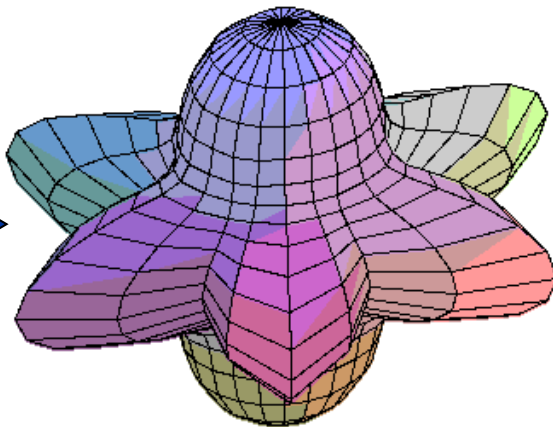


Quantitative Determination und Modelling of the Mg-alloy texture

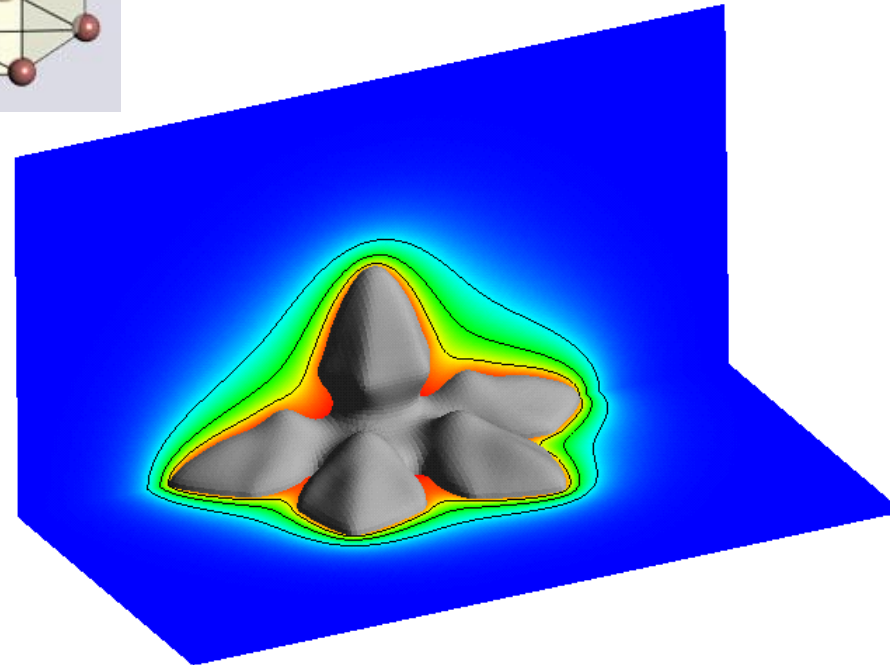


$c/a = 1.62$

Symmetrie of crystal ladder



new anisotropyfunction within MICRESS



simulated dendritic structure

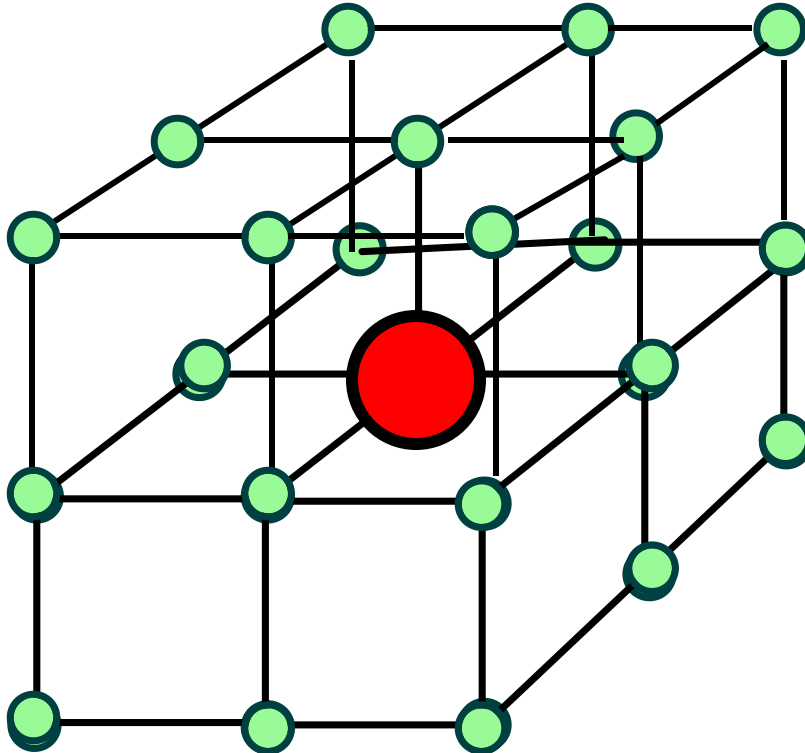
Hexagonal Anisotropy of Magnesium

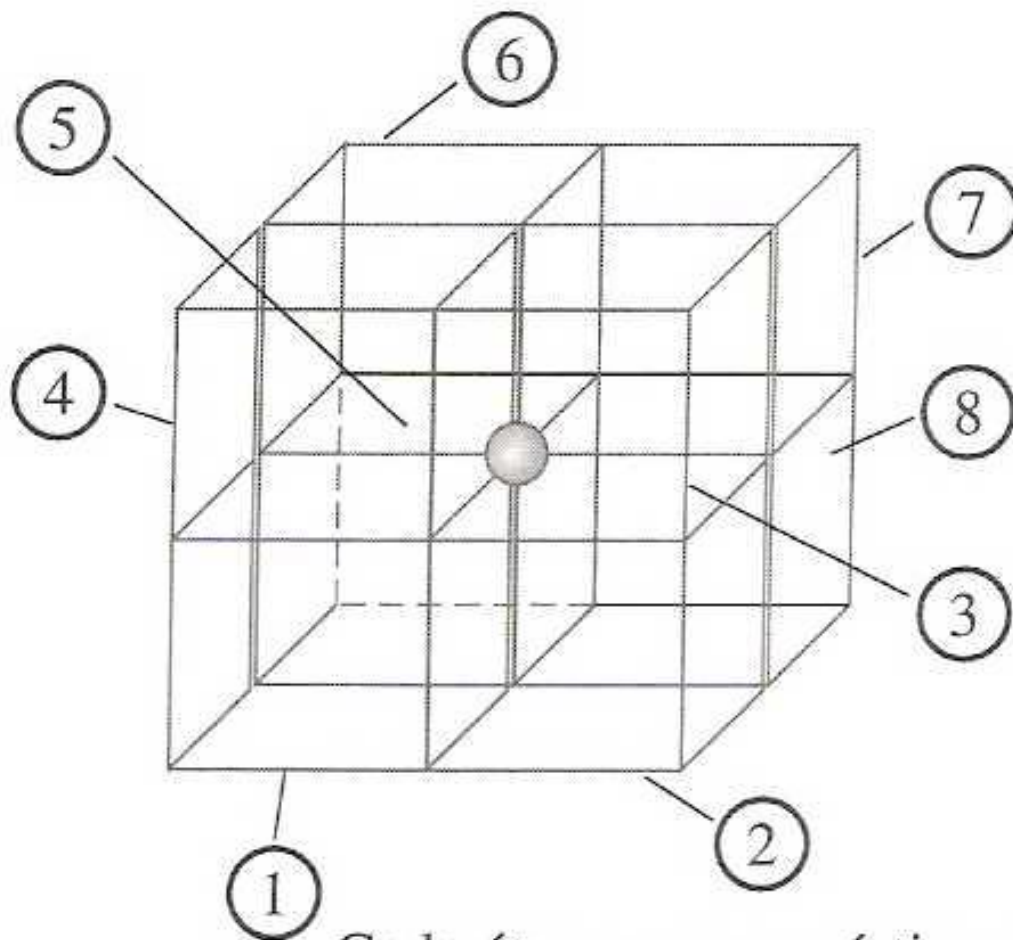
Estructuras cristalinas de elementos metálicos a 25°C y 1atm

Estructura cristalina	Elemento
Hexagonal compacta	Be, Cd, Co, Mg, Ti, Zn
Cúbica compacta	Ag, Al, Au, Ca, Cu, Ni, Pb, Pt
Cúbica centrada en el cuerpo	Ba, Cr, Fe, W, alcalinos
Cúbica-primitiva	Po

Las celdas unitarias no actúan de forma independiente, cada átomo en cada arista es compartido por el átomo de las aristas de cada celdas unitarias adyacente.

$$1/8 \times 8 = 1$$





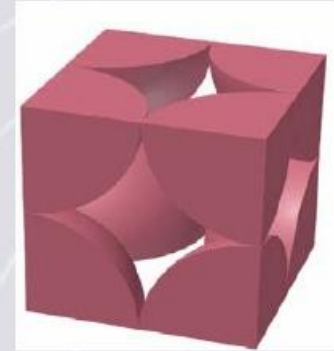
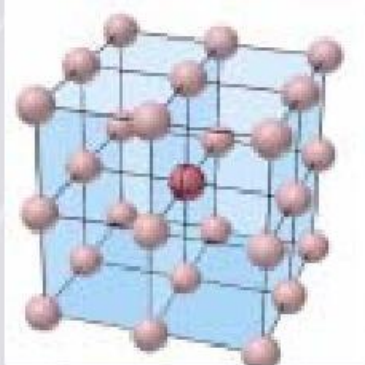
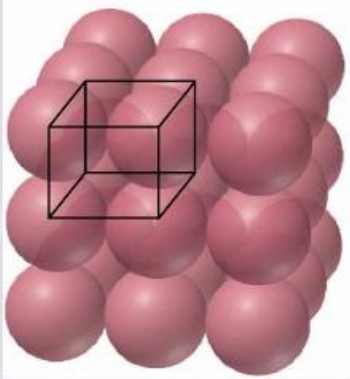
Cada átomo en un vértice es compartido por ocho celdas unitarias (1-4 en el frente, 5-8 atrás)

Número de átomos equivalentes por celda

Si consideramos que cada punto de la red coincide con un átomo, cada tipo de celda tendrá un número de átomos que se contarán de la siguiente forma:

- Átomos ubicados en las esquinas aportarán con $1/8$ de átomo, ya que ese átomo es compartido por 8 celdas que constituyen la red.
- Átomos ubicados en las caras de las celdas aportarán con $1/2$ de átomo, ya que ese átomo es compartido por 2 celdas que constituyen la red.
- Átomos que están en el interior de las celdas aportan 1 átomo.

Celda Cúbica Simple

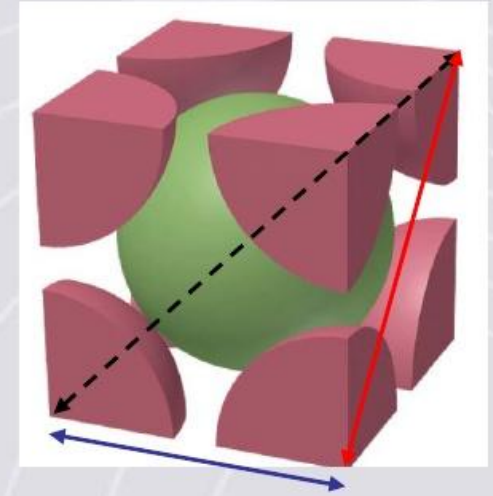
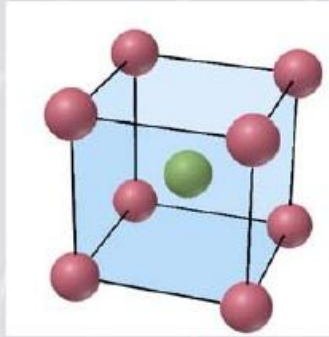
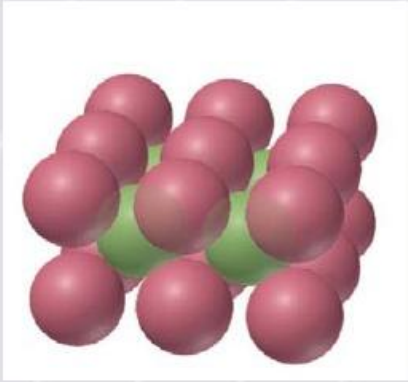


Ejemplos: α -Po, Hg

Nº de coordinación: 6
Átomos por celda: $8 \text{ vértices} \times 1/8 = 1$
Relación entre la longitud de arista y el radio del átomo: $2r = a$

Eficacia del empaquetamiento: 52% / _____

Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC)



$$\begin{aligned}b^2 &= a^2 + a^2 \\c^2 &= a^2 + b^2 = 3a^2 \\c &= 4r = \sqrt{3}a\end{aligned}$$

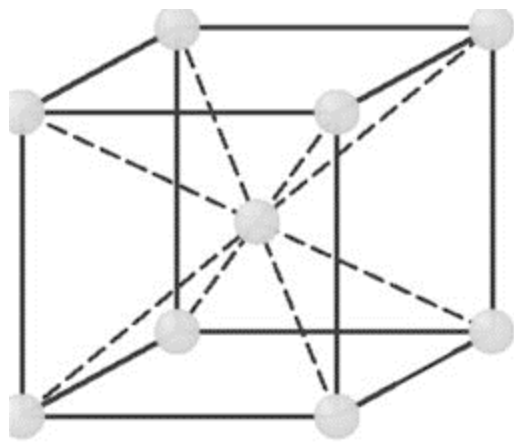
Ejemplos: Fe, Cr, Mo, W, Ta, Ba

Nº de coordinación: 8

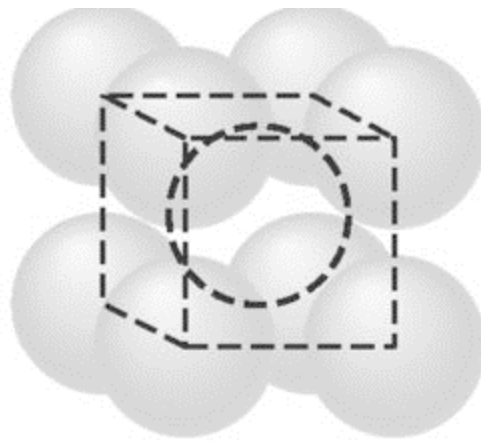
Átomos por celda: $8 \text{ aristas} \cdot \frac{1}{8} + 1 \text{ centro} = 2$

Relación entre la longitud de arista y el radio del átomo:

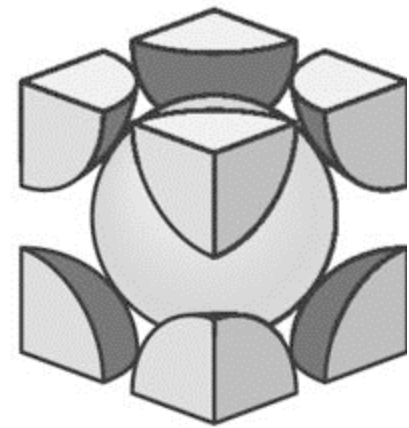
$$\sqrt{3}$$



a)



b)

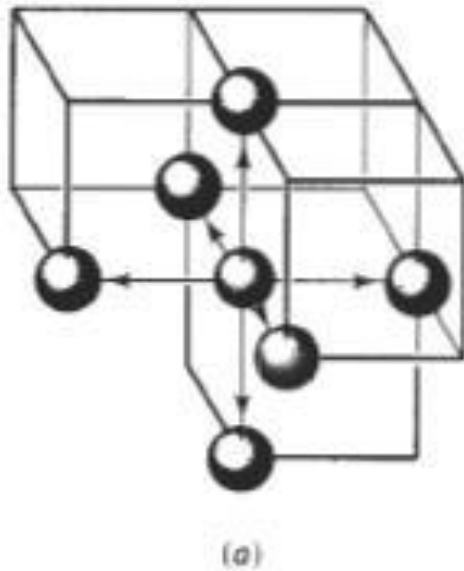


c)

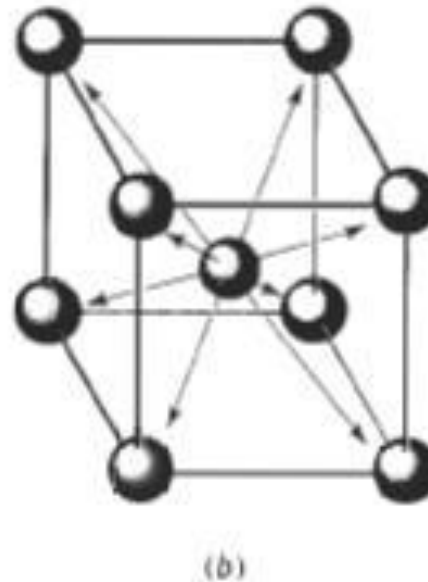
Celdas unitarias BCC: *a) de posiciones atómicas, b) de esferas rígidas y c) aislada.*

Número de coordinación

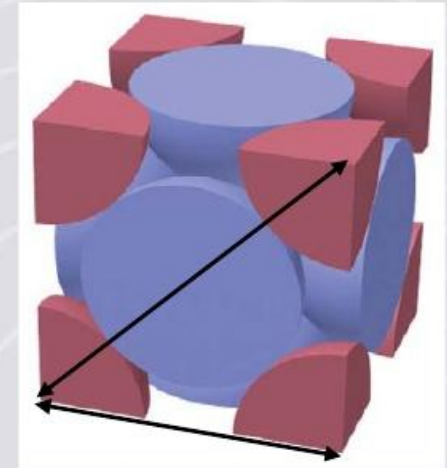
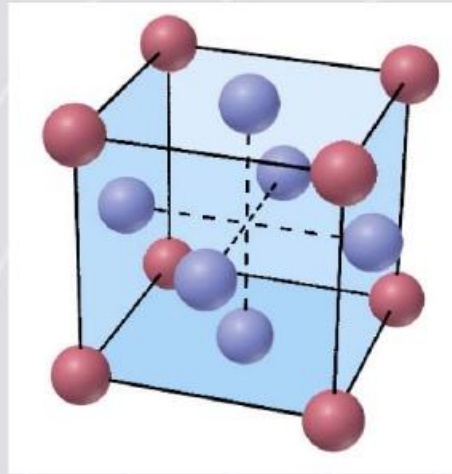
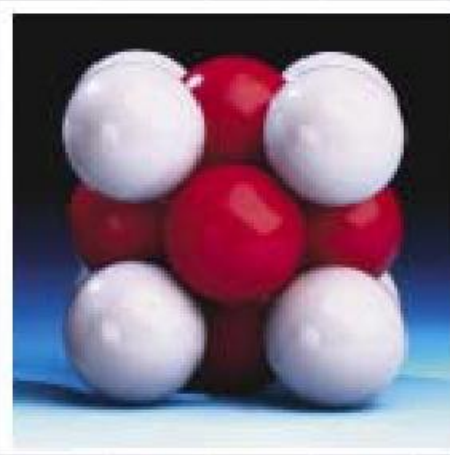
El número de coordinación es la cantidad de átomos que tocan a determinado átomo (cantidad de vecinos más cercanos a un átomo en particular)



Nº coordinación CS = 6



Nº coordinación BCC = 8



Cúbica Centrada en las Caras (FCC)

Nº de coordinación: 12

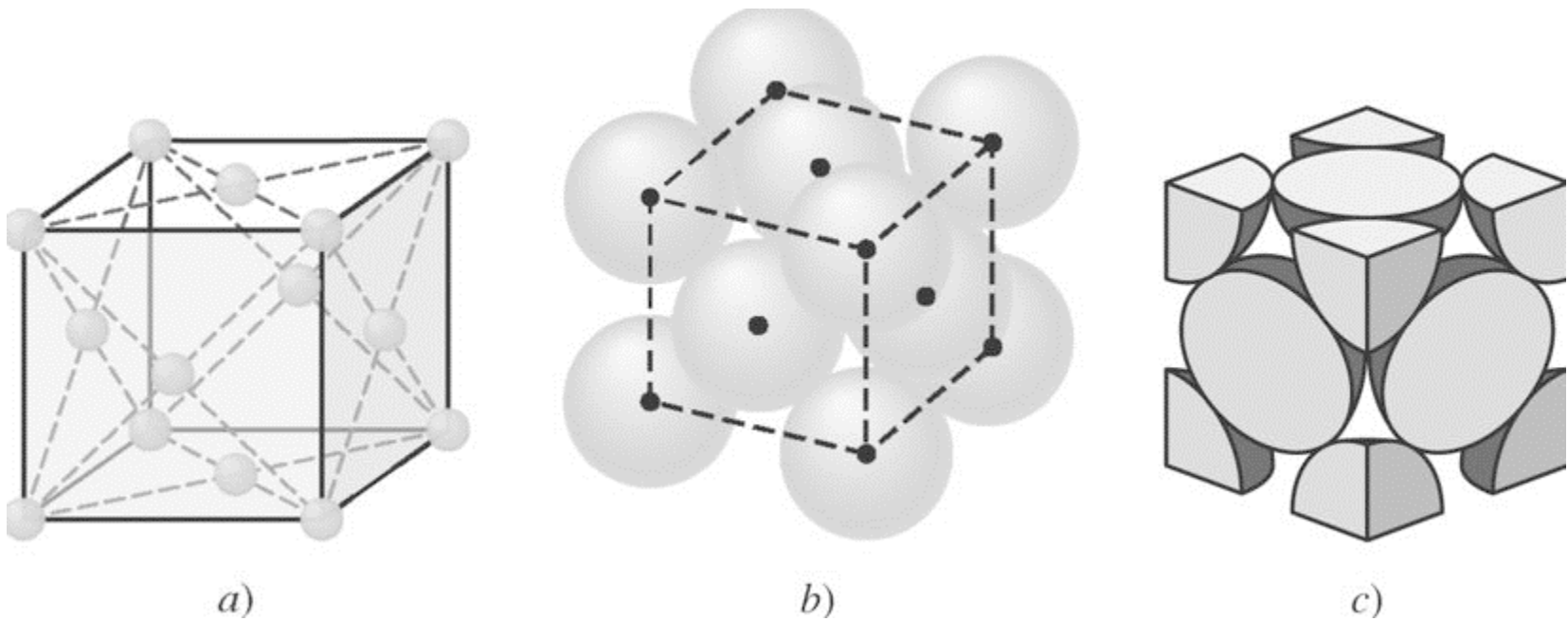
Átomos por celda: $8 \text{ aristas} \cdot \frac{1}{8} + 6 \text{ caras} \cdot \frac{1}{2} = 4$

Relación entre la longitud de arista y el

radio del átomo: $(4r)^2 = a^2 + a^2$

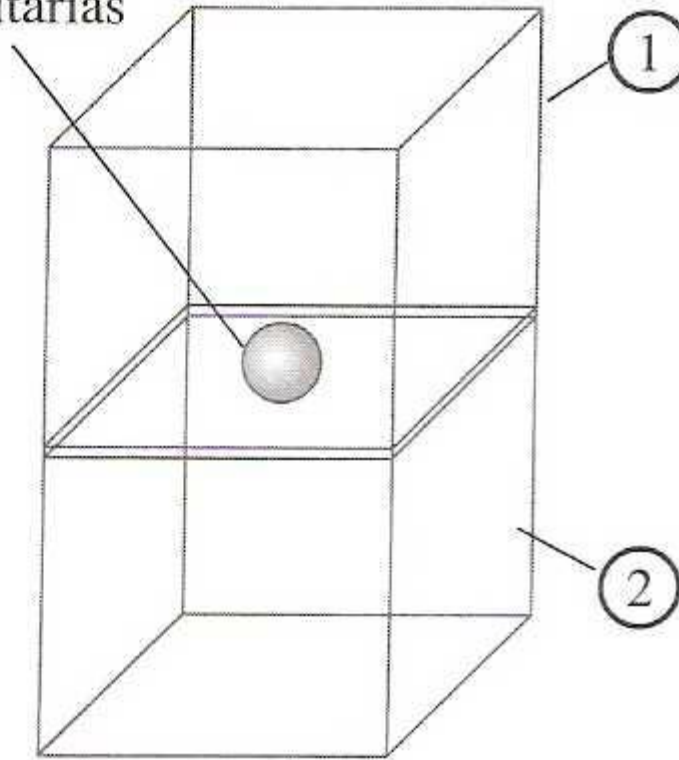
Eficacia del empaquetamiento: 74%

Estructura Cúbica Centrada en las caras

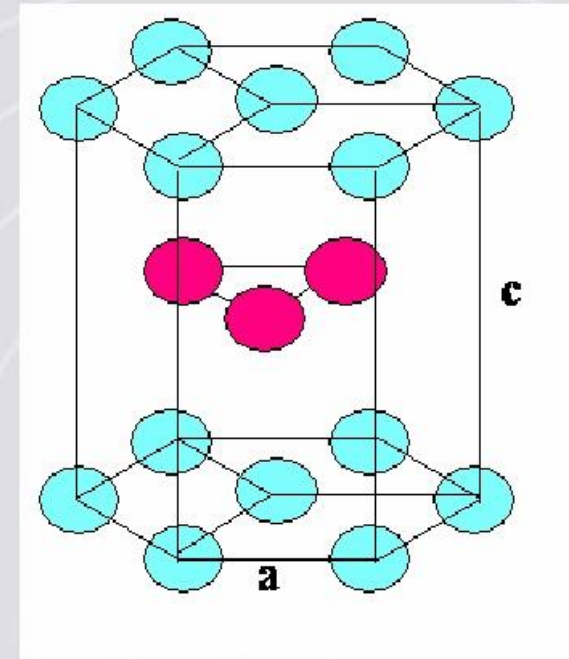
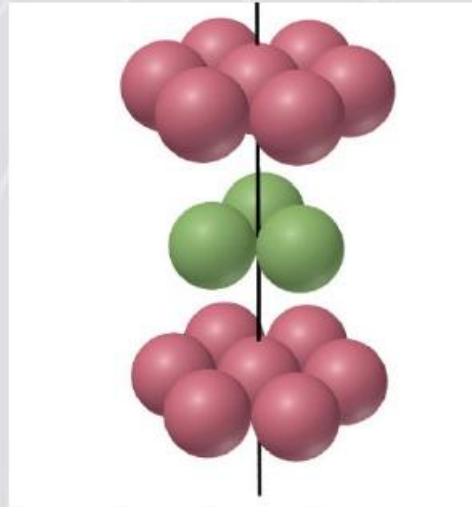


Celdas unitarias FCC: *a) de posiciones atómicas, b) de esferas rígidas y c) aislada.*

Átomo centrado en la cara, compartido entre dos celdas unitarias



Hexagonal Compacta (HC)



Ejemplos: Be, Mg, Zn, Cd, Ti

Nº de coordinación: 12

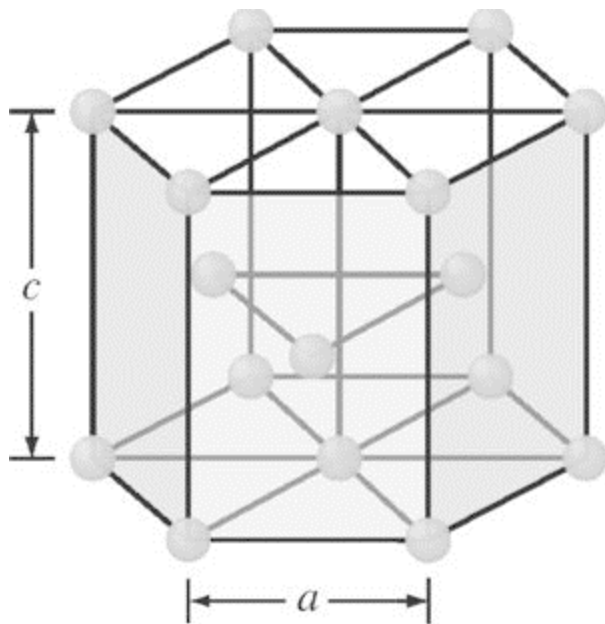
Átomos por celda:

$12 \text{ vértices} \times 1/6 + 2 \text{ caras} \times 1/2 + 3 \text{ centro} = 6 \text{ átomos}$

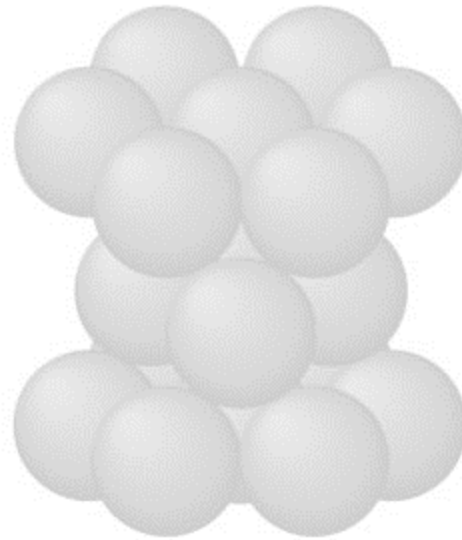
Eficacia del empaquetamiento: 74%

Parámetros: a = ancho del hexágono

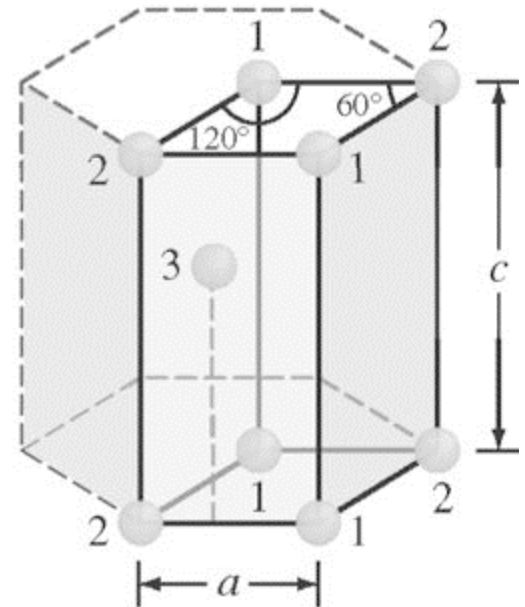
c = altura; distancia entre dos planos



a)

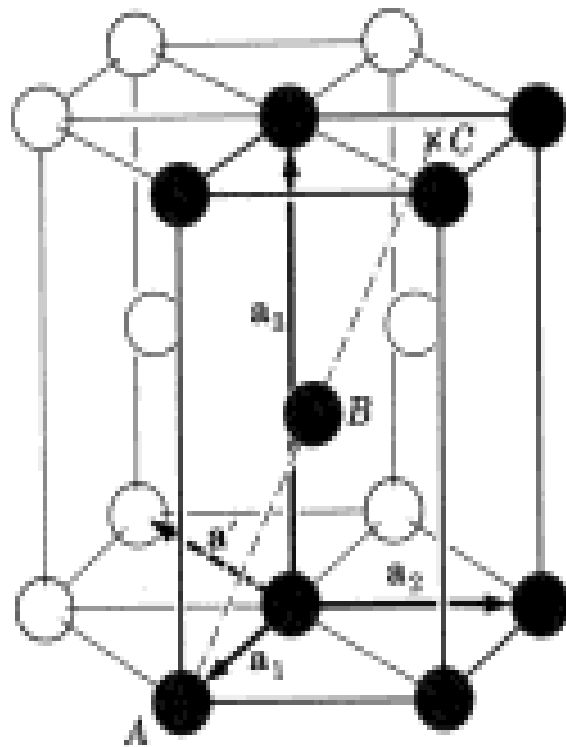


b)

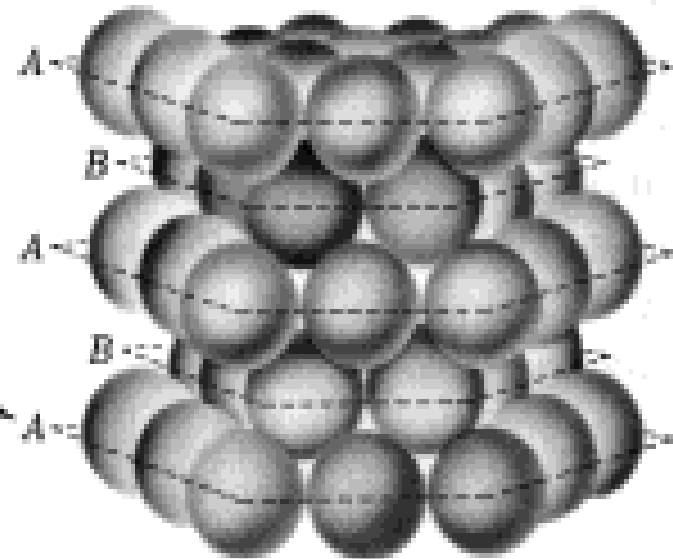


c)

Estructura cristalina HCP: a) esquema de la estructura cristalina, b) modelo de esfera dura y c) esquema de celda unitaria aislada

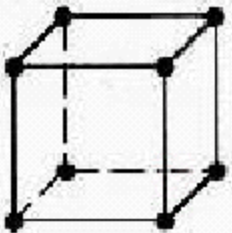

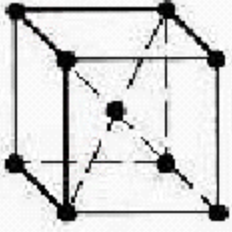

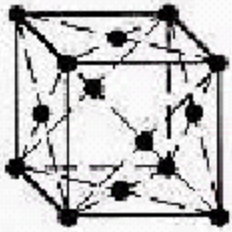

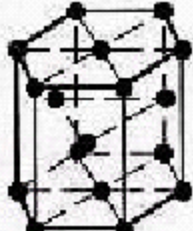



(a) The crystal structure consists of AB atom pair on the points of the hexagonal space lattice.



(b) Successive basal planes are stacked in $ABABAB$ arrangement.

 Important features of the hexagonal close-packed crystal structure.

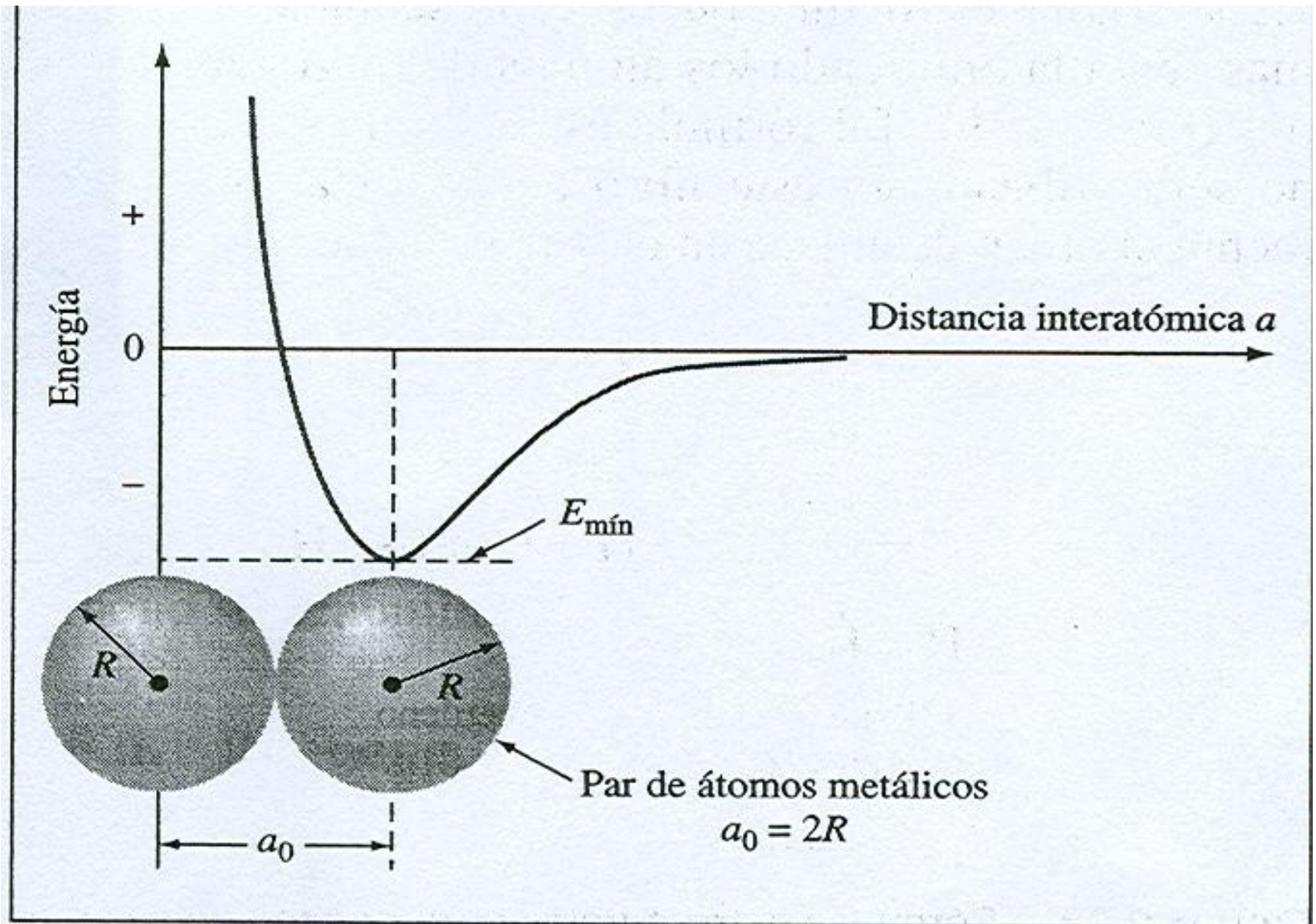
	Lattice structure	Unit cell schematic	Ping-pong ball model
iron	Simple cubic		
	Body-centered cubic		
copper, iron	Face-centered cubic		
zinc	Hexagonal close-packed		

Some comments about lattices:

Space lattices are extremely small:

- on the order of 4\AA on an edge
- or approximately 10^{-7} mm (1/500,000 sheet of paper)
- the dimensions of a space lattice are characteristic of individual elements



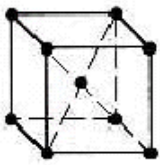



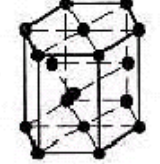

Curva de distancia entre átomos en estructuras cristalinas



Ejemplo de una estructura cristalina

- Ordenamiento regular de átomos
- Distancia atómica 2×10^{-10}
- Significa 20,000,000 de átomos en un milimetro

Planos de deslizamiento

	Lattice structure	Unit cell schematic	Ping-pong ball model	Number of nearest neighbors	Packing efficiency	Typical metals
(a)	Simple cubic			6	52%	None
(b)	Body-centered cubic			8 12	68%	Fe, Cr, Mn, Cb, W, Ta, Ti, V, Na, K
(c)	Face-centered cubic			12 48	74%	Fe, Al, Cu, Ni, Ca, Au, Ag, Pb, Pt
(d)	Hexagonal close-packed			12 3	74%	Be, Cd, Mg, Zn, Zr

Red cúbica centrada (BCC)

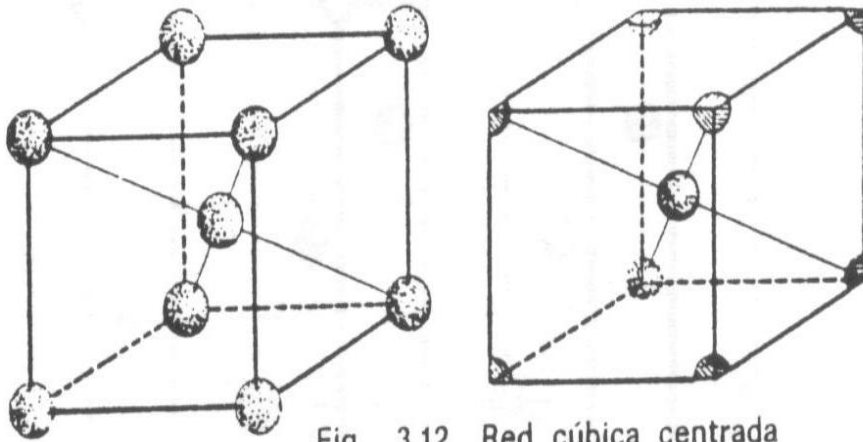


Fig. 3.12 Red cúbica centrada

- N° de átomos: 2
- Propiedades: materiales resistentes a la deformación
- Fe α , Ti, W, Mo, Nb, Ta, K, Na, V, Cr, Zr
- F. empaq: 0,68

Red cúbica centrada en caras (FCC)

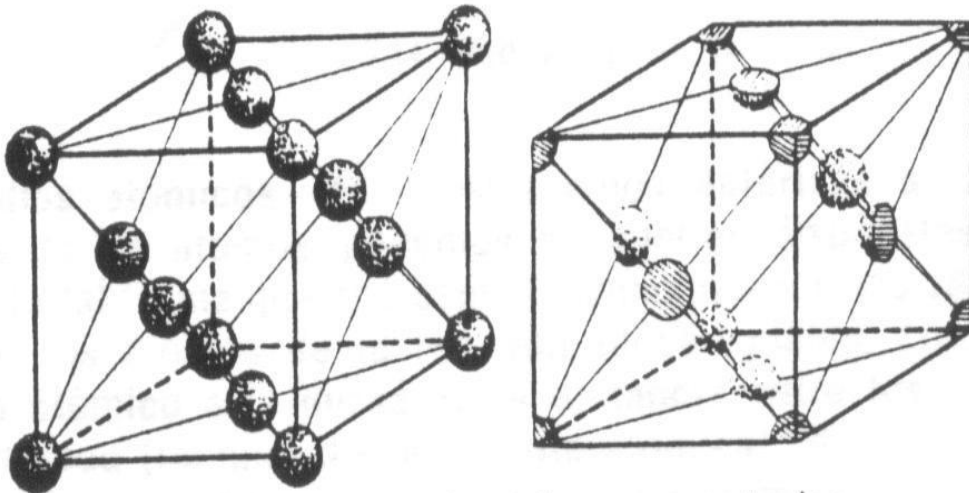


Fig. 3.13 Red cúbica de caras centradas

- N° de átomos: 4
- Propiedades: se deforman mejor que BCC
- Fe γ , Cu, Al, Au, Ag, Pb, Ni, Pt
- F. empaq: 0,74

Red hexagonal compacta (HC)

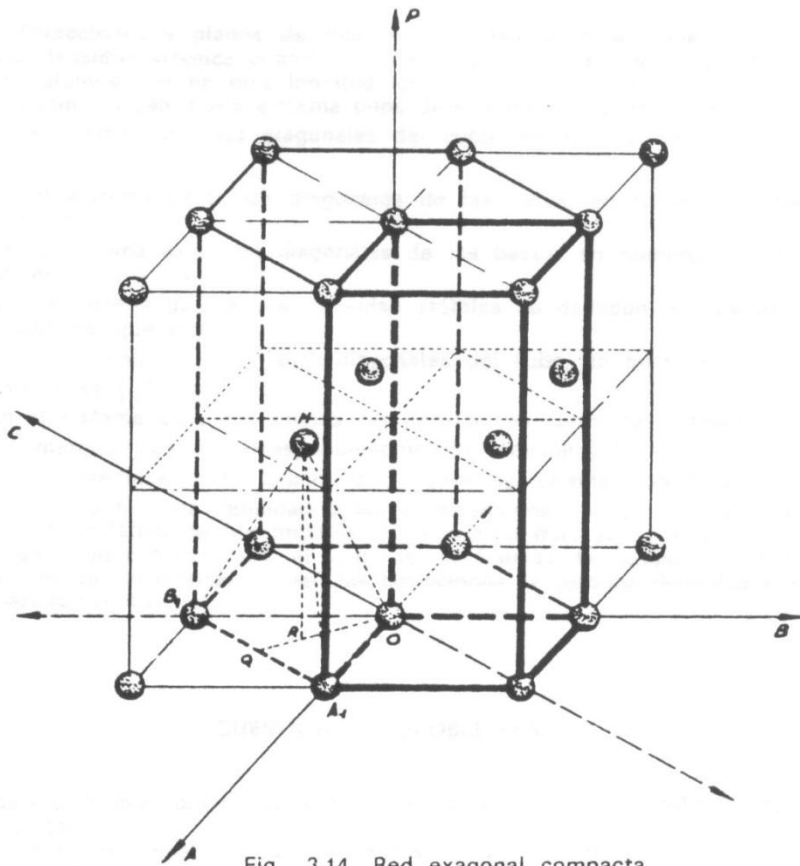
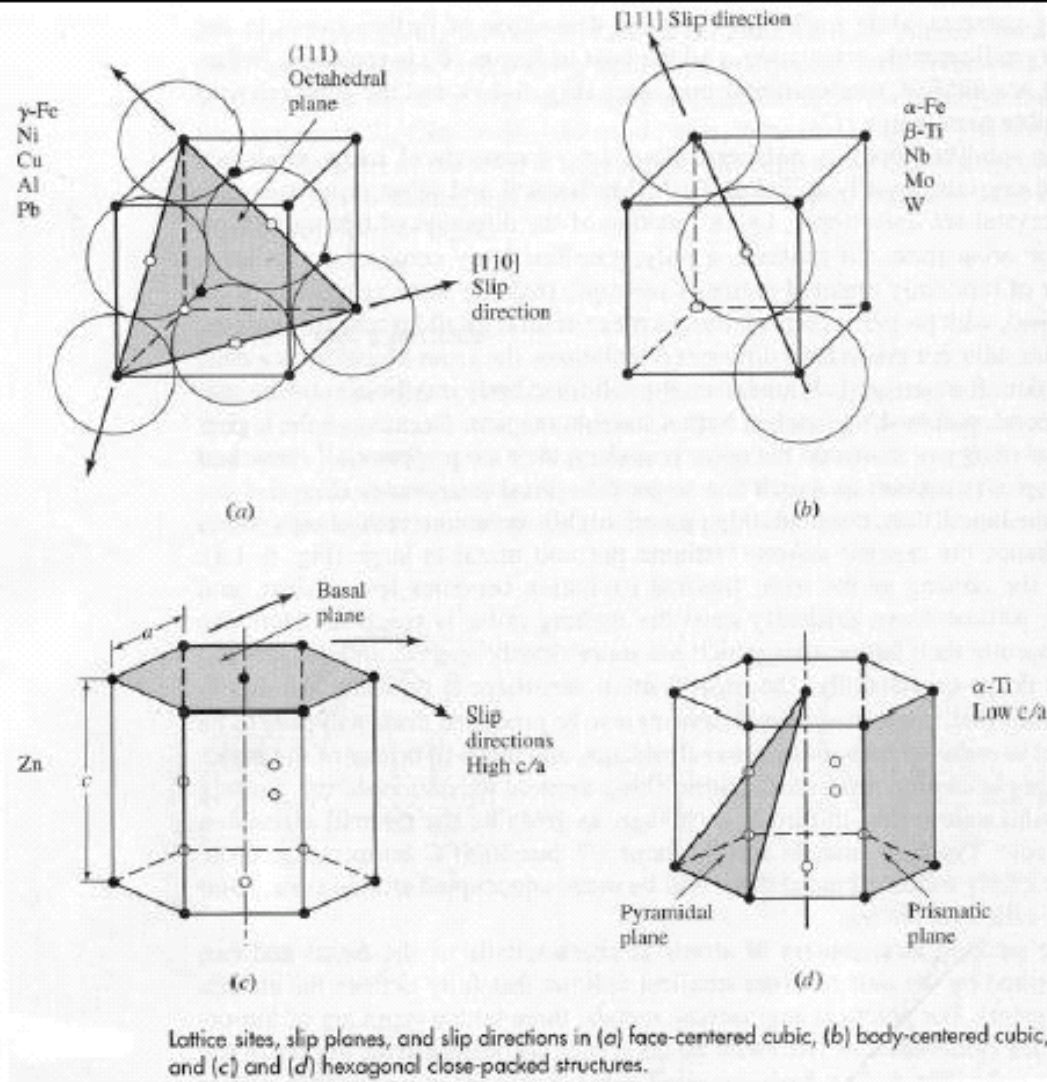


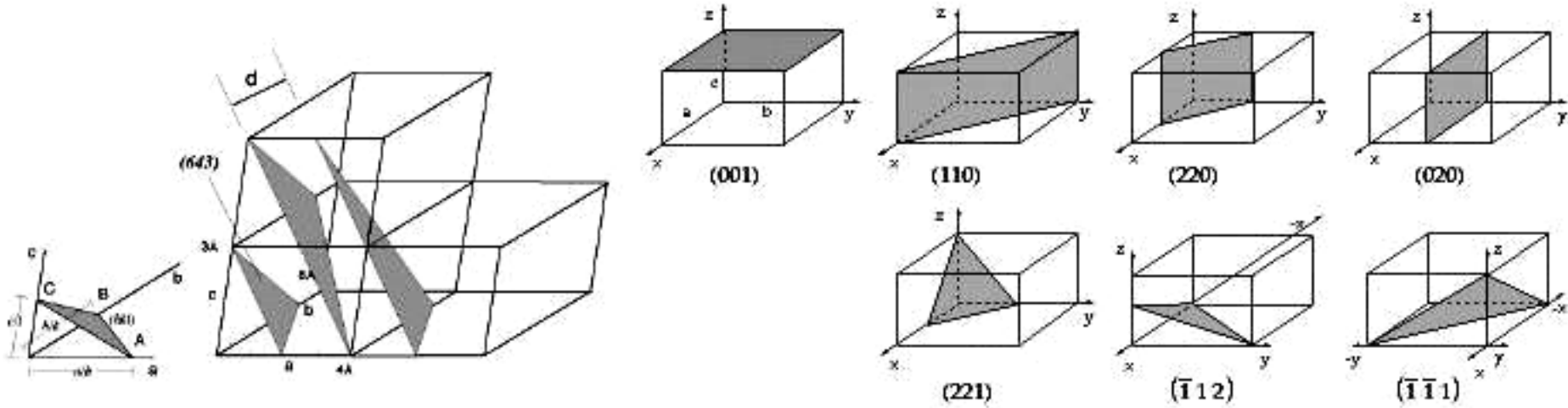
Fig. 3.14 Red exagonal compacta

- N° de átomos: 6
- Propiedades: poco deformables
- Ti, Mg, Zn, Be, Co, Zr, Cd
- F. empaq: 0,74

Planos de deslizamiento de diferentes cristales

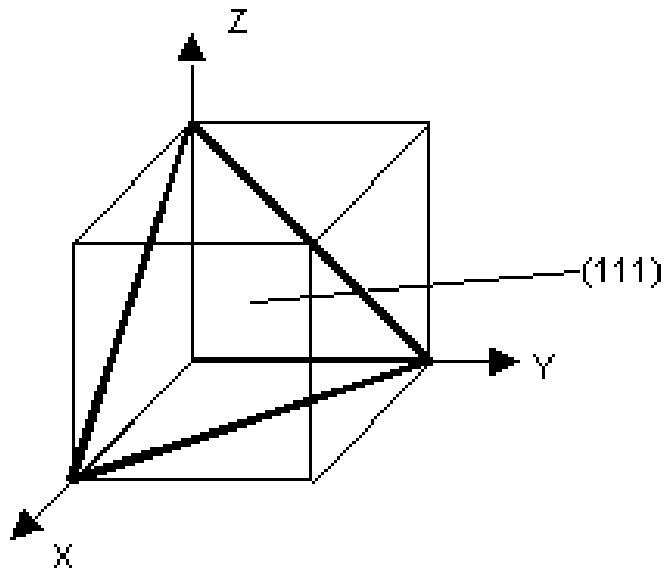
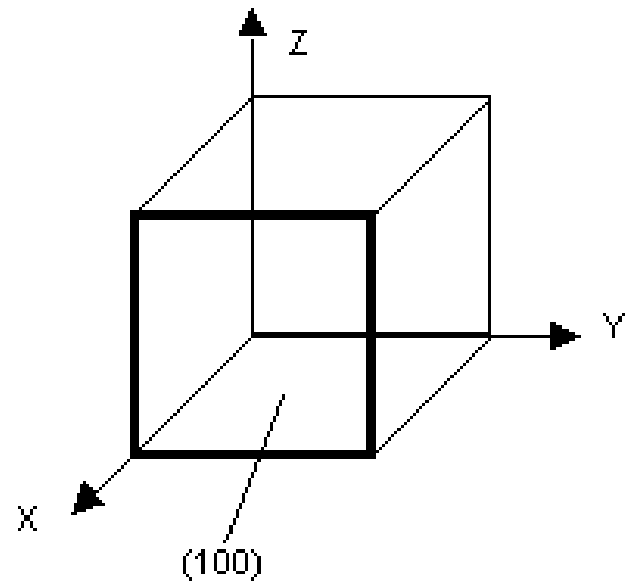
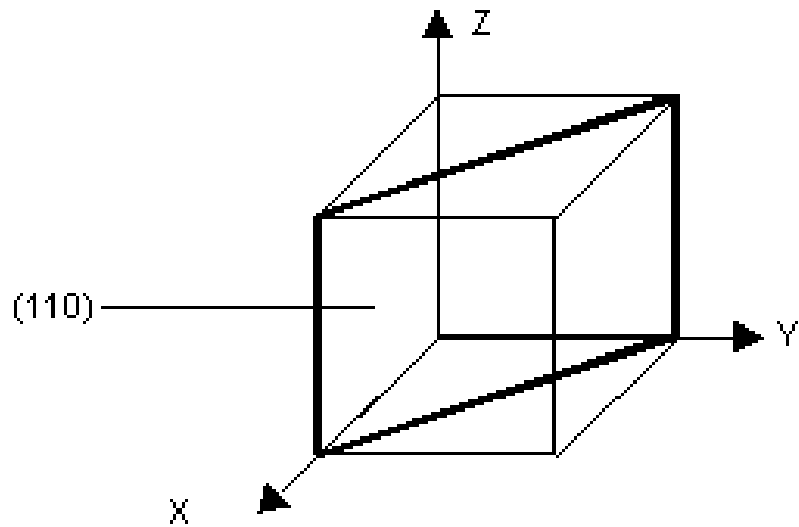


Planos cristalográficos



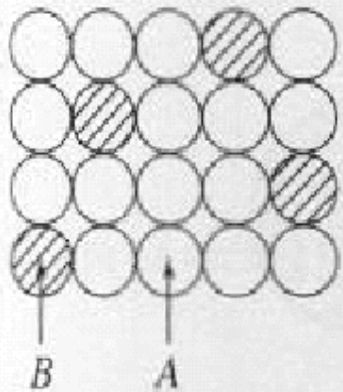
Planos cristalográficos

Nota: una familia de planos, como por ejemplo (111) , (111) , (111) , (111) , (111) , (111) , (111) y (111) es representada por $\{111\}$

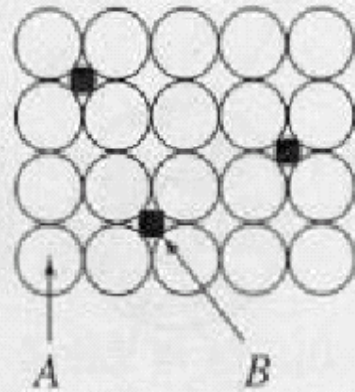


Defectos puntuales

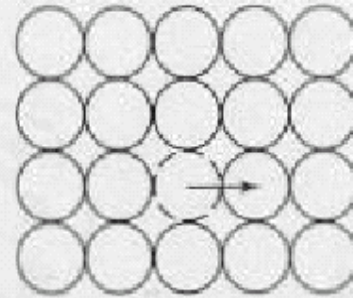
- a) Substitución
- b) Solución sólida intersticial
- c) Vacancia
- d) Difusión intersticial



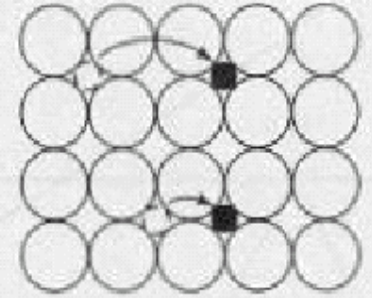
(a)



(b)



(c)

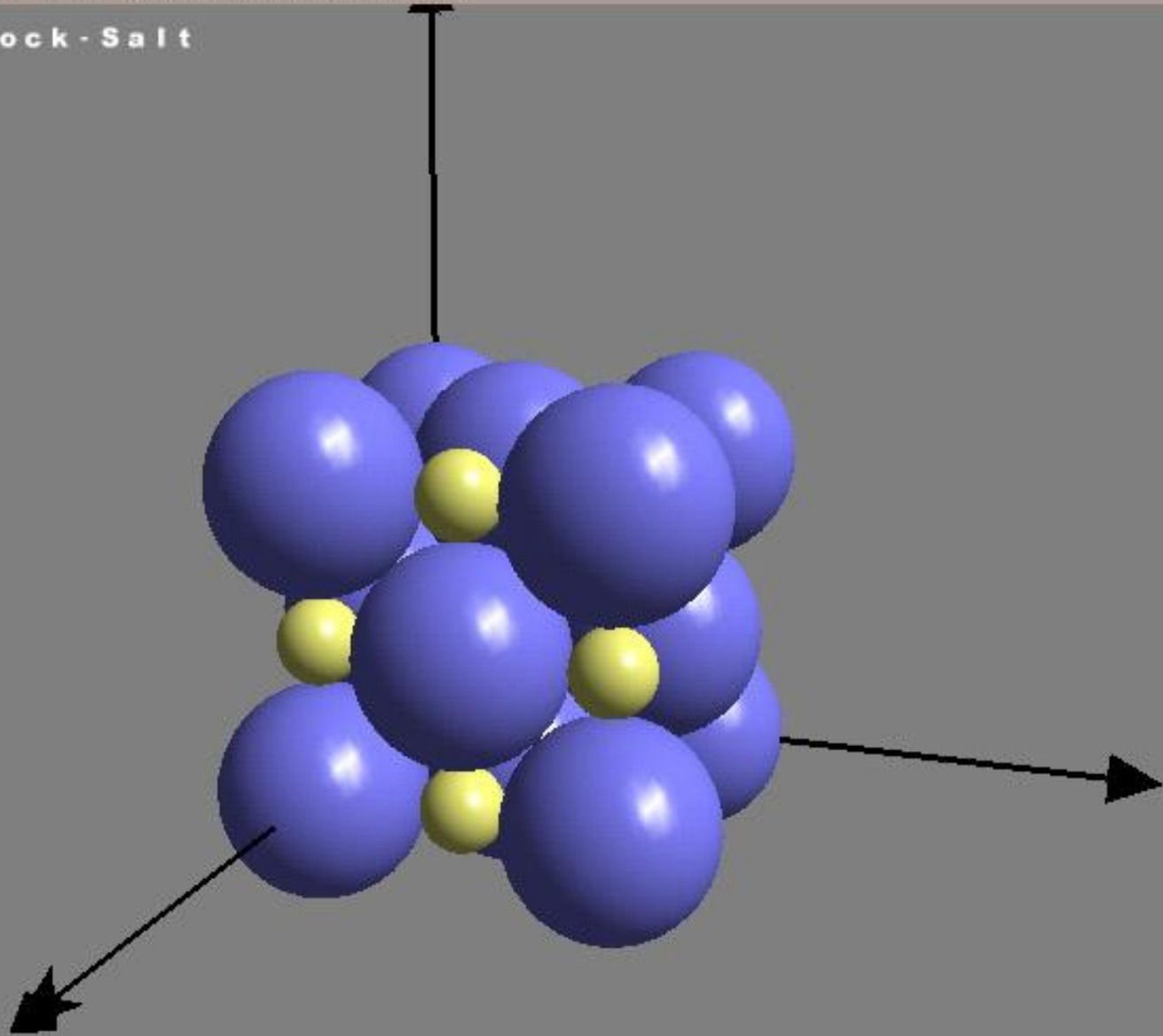


(d)

Structure: Rock-Salt

x=15.0
y=-20.0
z=0.0

DEMO

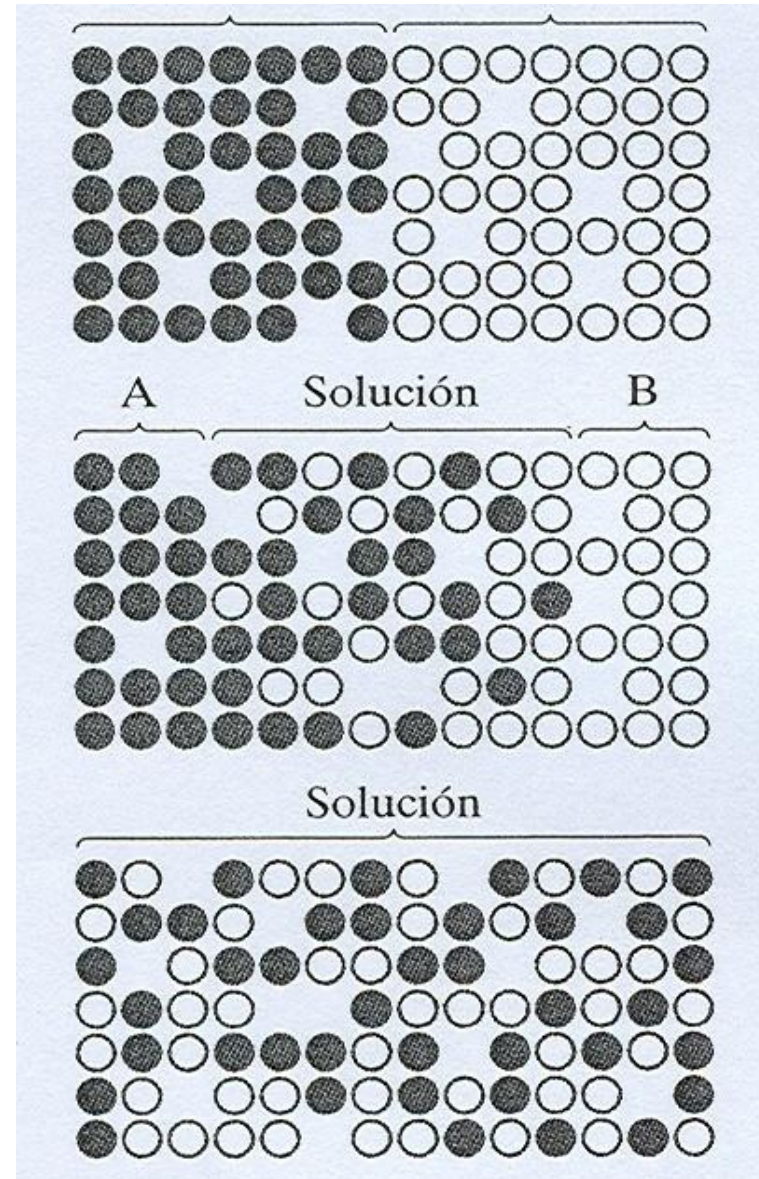


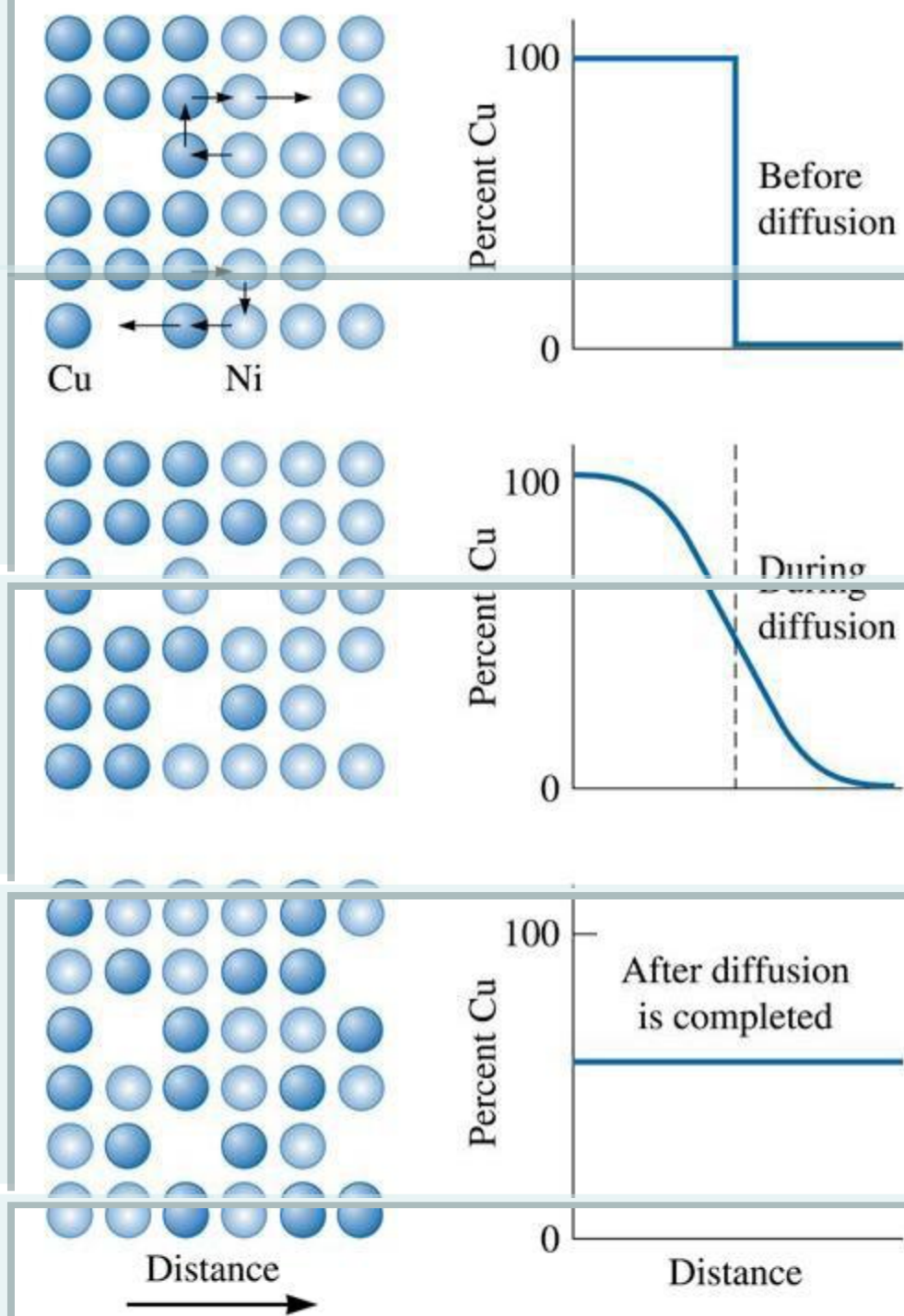
Radius 1 = 1.000 A
Radius 2 = 0.400 A

DEMO

Difusión de átomos en estructuras cristalinas

Figura 5.7. Interdifusión de los materiales A y B. Aunque cualquier átomo de A o B tiene la misma probabilidad de moverse en cualquier dirección aleatoria (véase la Figura 5.6), los gradientes de concentración de los dos materiales pueden producir un flujo neto de átomos de A hacia el interior de B, y viceversa. (De W. D. Kingery, H. K. Bowen y D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., NY, 1976.)

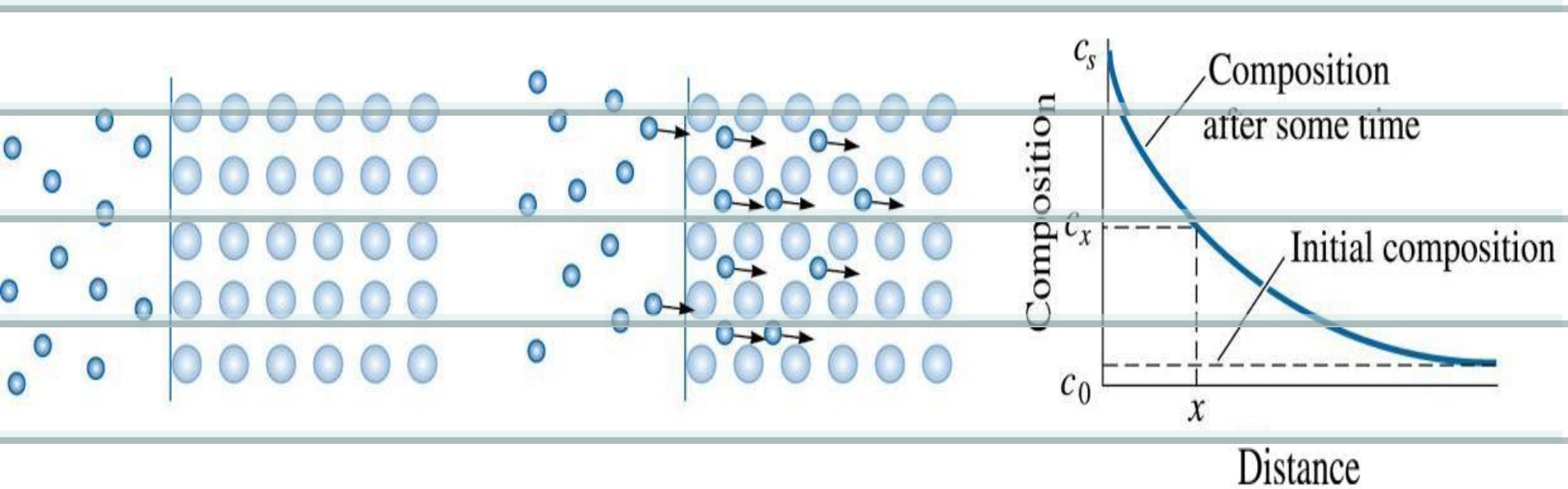




Difusión

Etapas de difusión de átomos de Cu en Ni entre una lamina de Cu y una lamina de Ni. A alta temperatura los átomos de Ni se difunden en forma gradual por el Cu y los de Cu migran al Ni

Difusión de átomos en la superficie de un material



Difusión de átomos

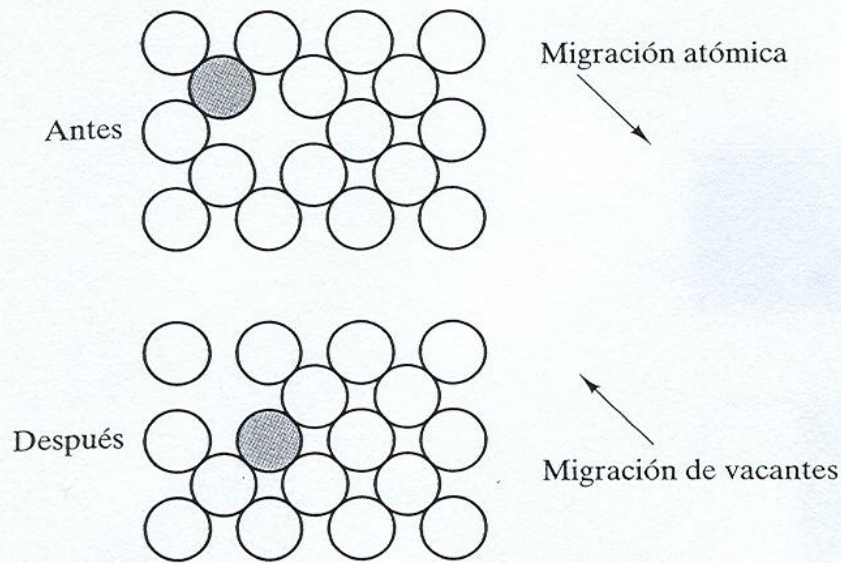


Figura 5.5. La migración atómica se produce por un mecanismo de migración de vacantes. Obsérvese que la dirección del flujo global del material (el átomo) es opuesta a la dirección del flujo de vacantes.

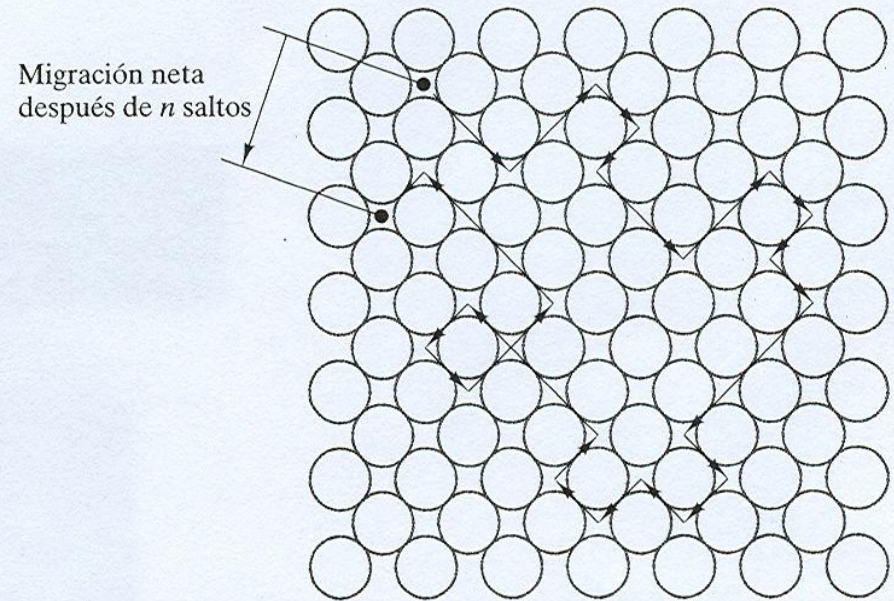
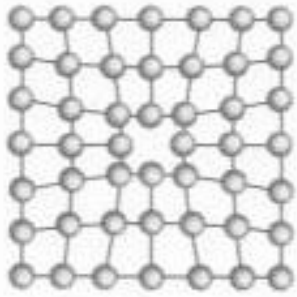
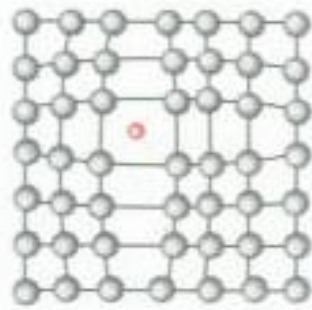


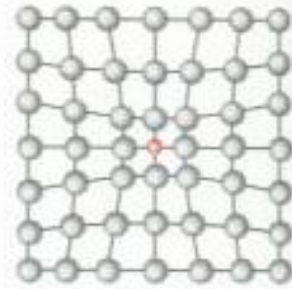
Figura 5.6. Difusión por un mecanismo intersticial, donde se ve la naturaleza aleatoria del movimiento de migración atómico.



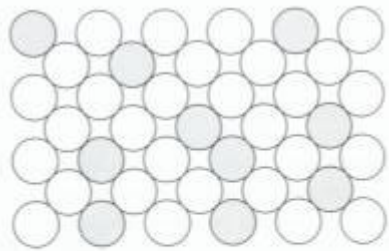
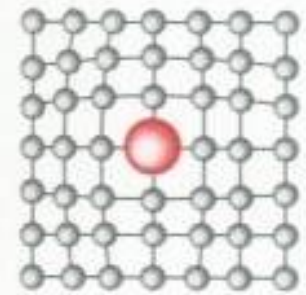
Vacante



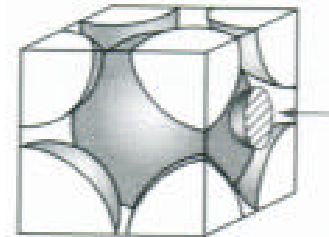
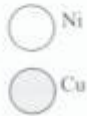
Defecto Intersticial



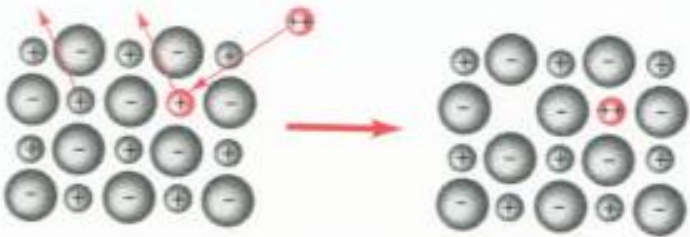
Impurezas o reemplazamientos



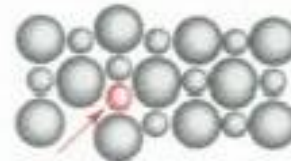
Solución sólida por sustitución de Cobre y Níquel



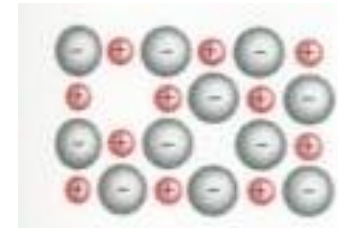
Impurezas intersticiales de Carbón en hierro



Defecto por reemplazamiento por iones de diferente carga

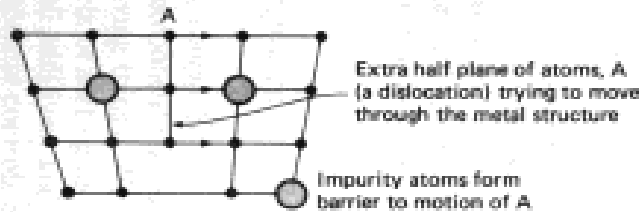


Defecto Frenkel

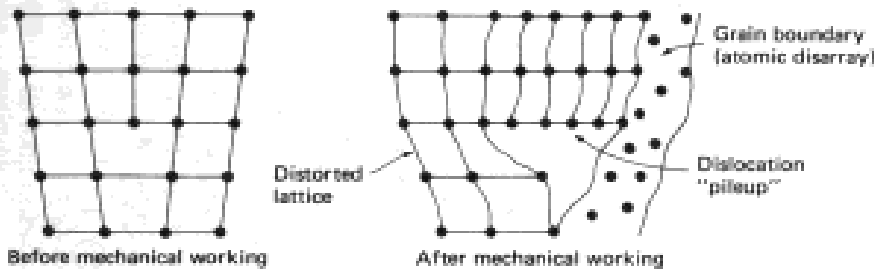


Defecto Schottky

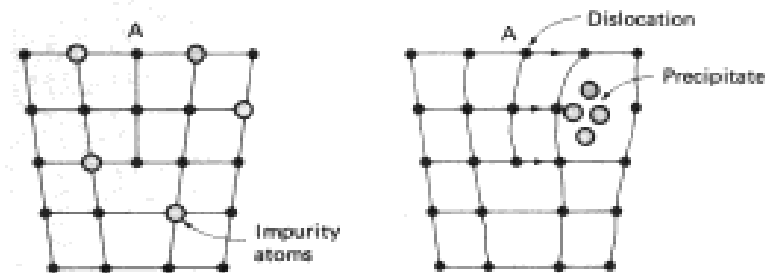
Defectos puntuales en la estructura cristalina de un metal



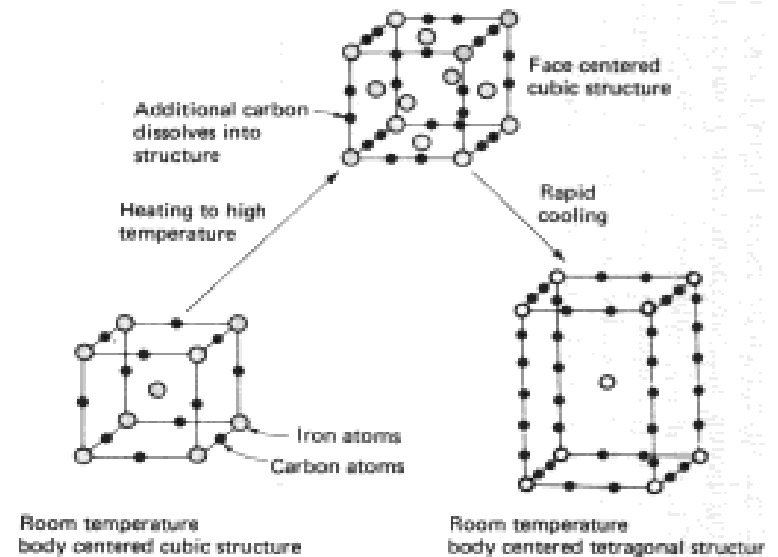
(a) Solid solution strengthening



(b) Mechanical working



(c) Precipitation hardening



(d) Quench hardening

Defectos de planos

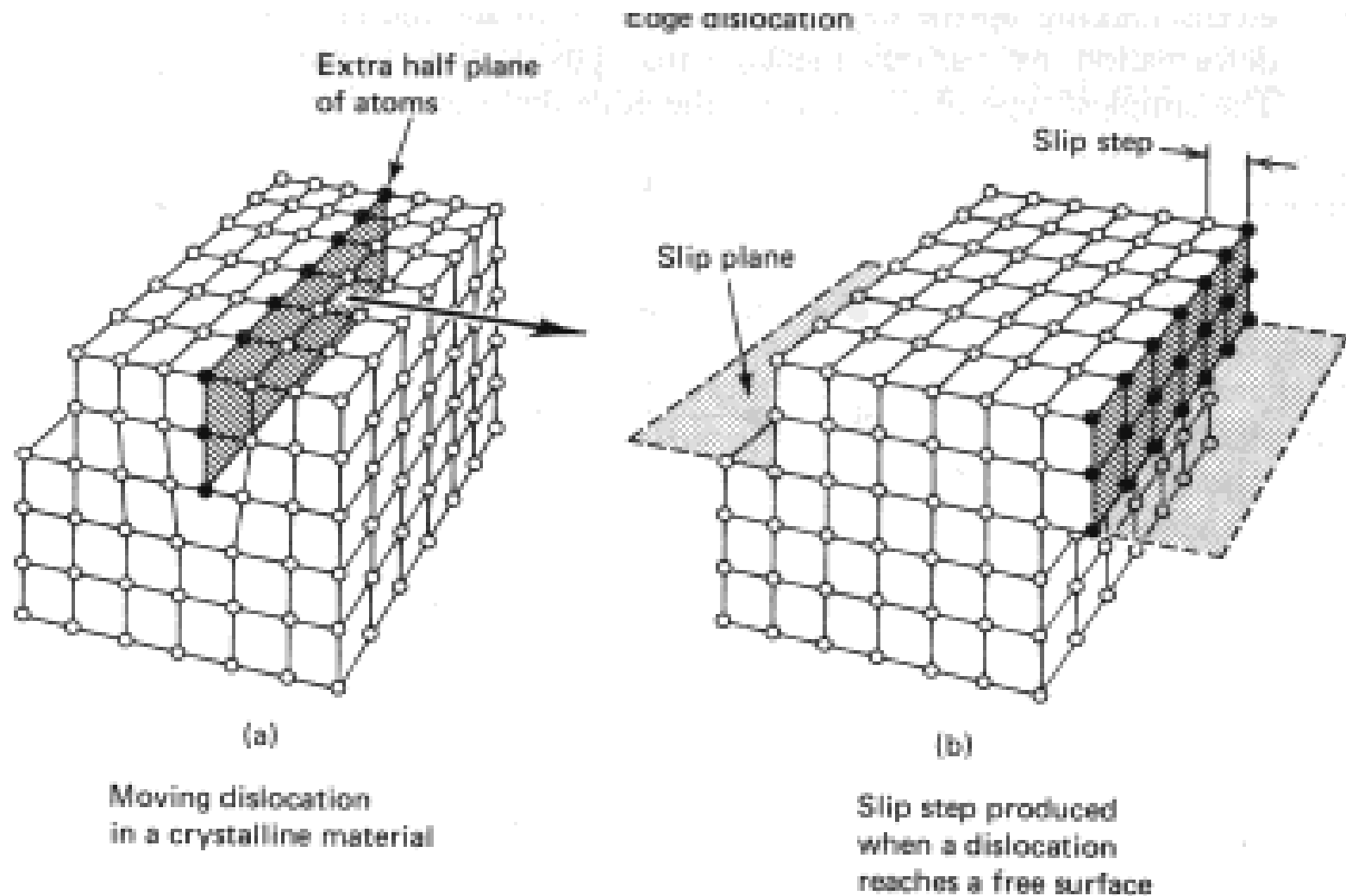
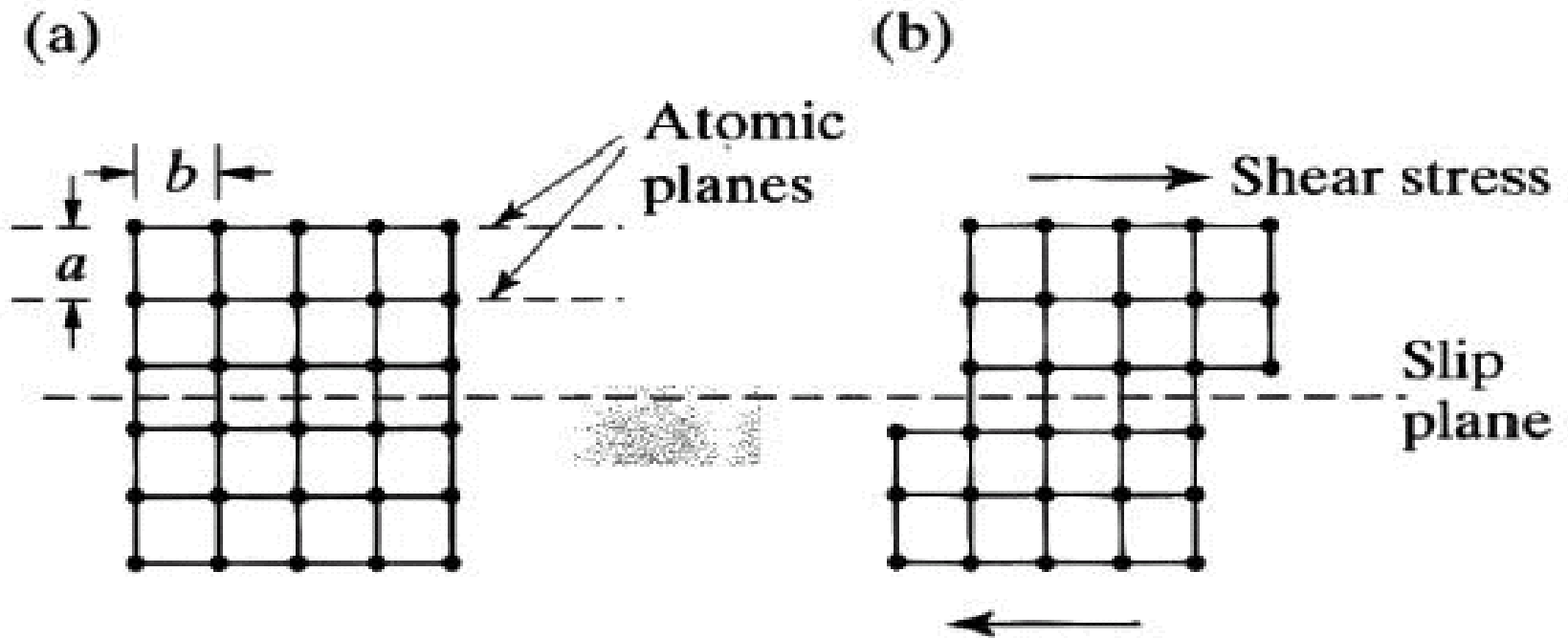
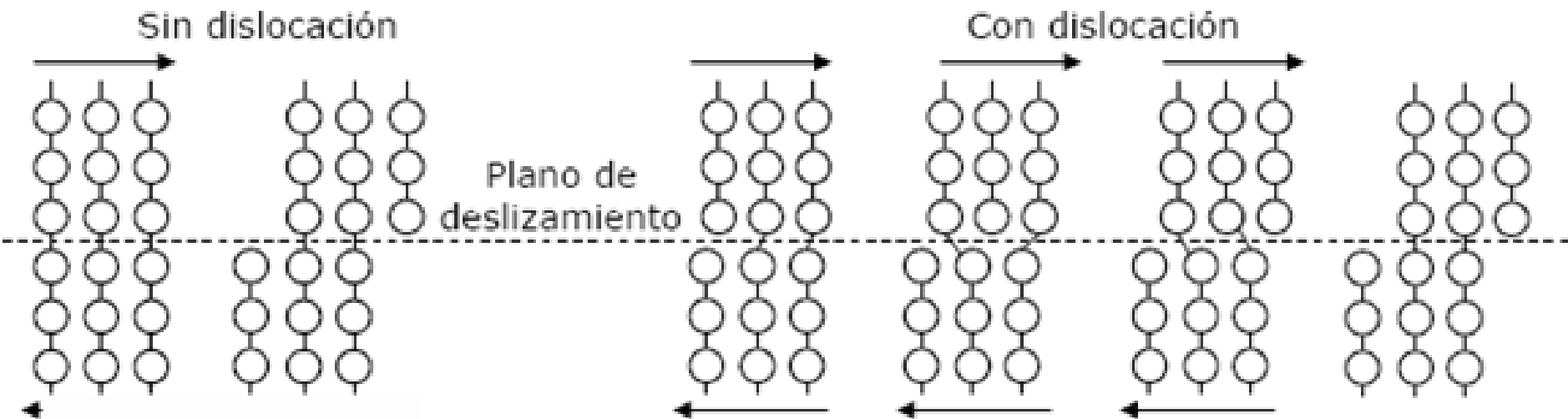


Figure 1-9 Slip produced by movement of an edge dislocation.

Defomación plástica



CORRIMIENTO DE PLANOS EN LA DISLOCACIÓN

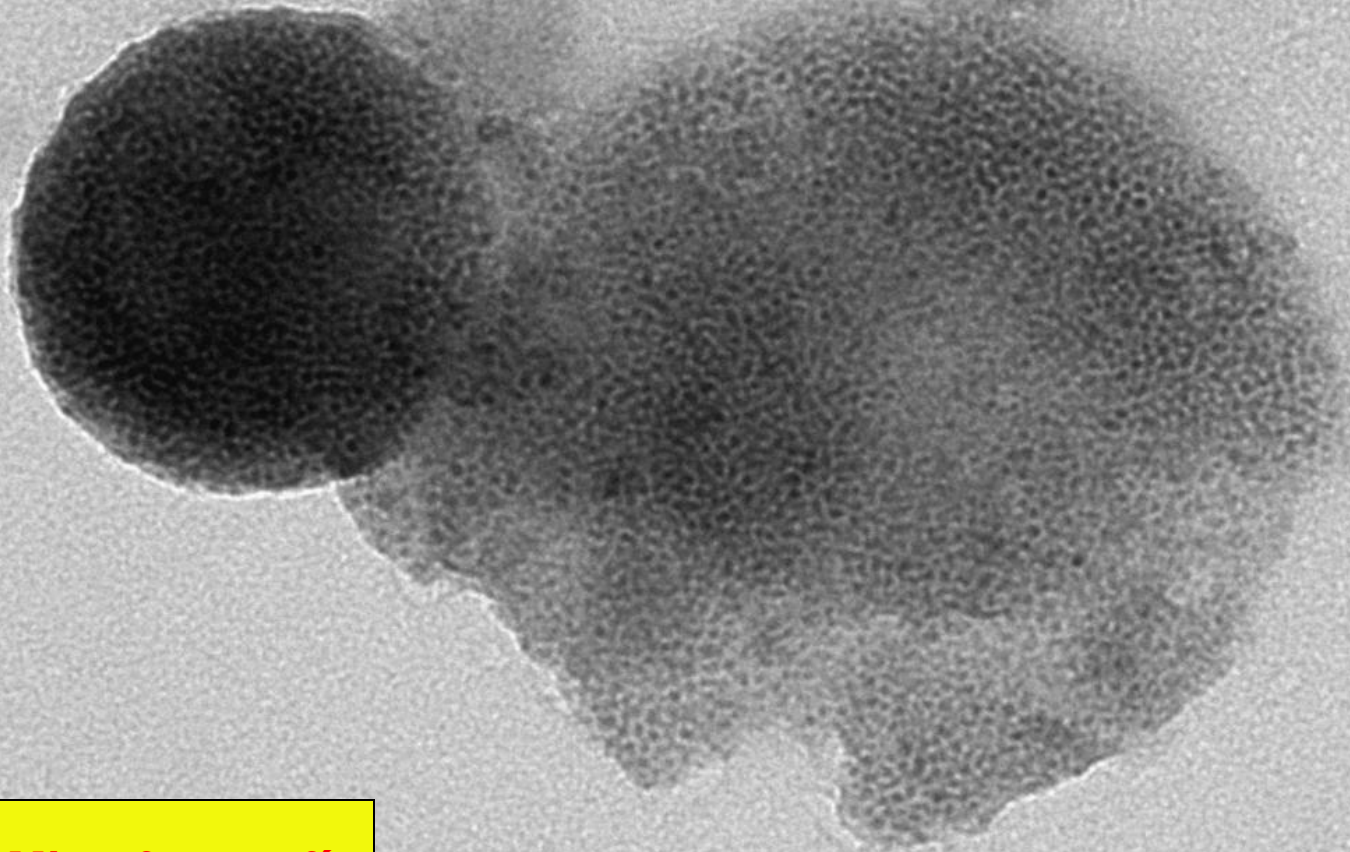


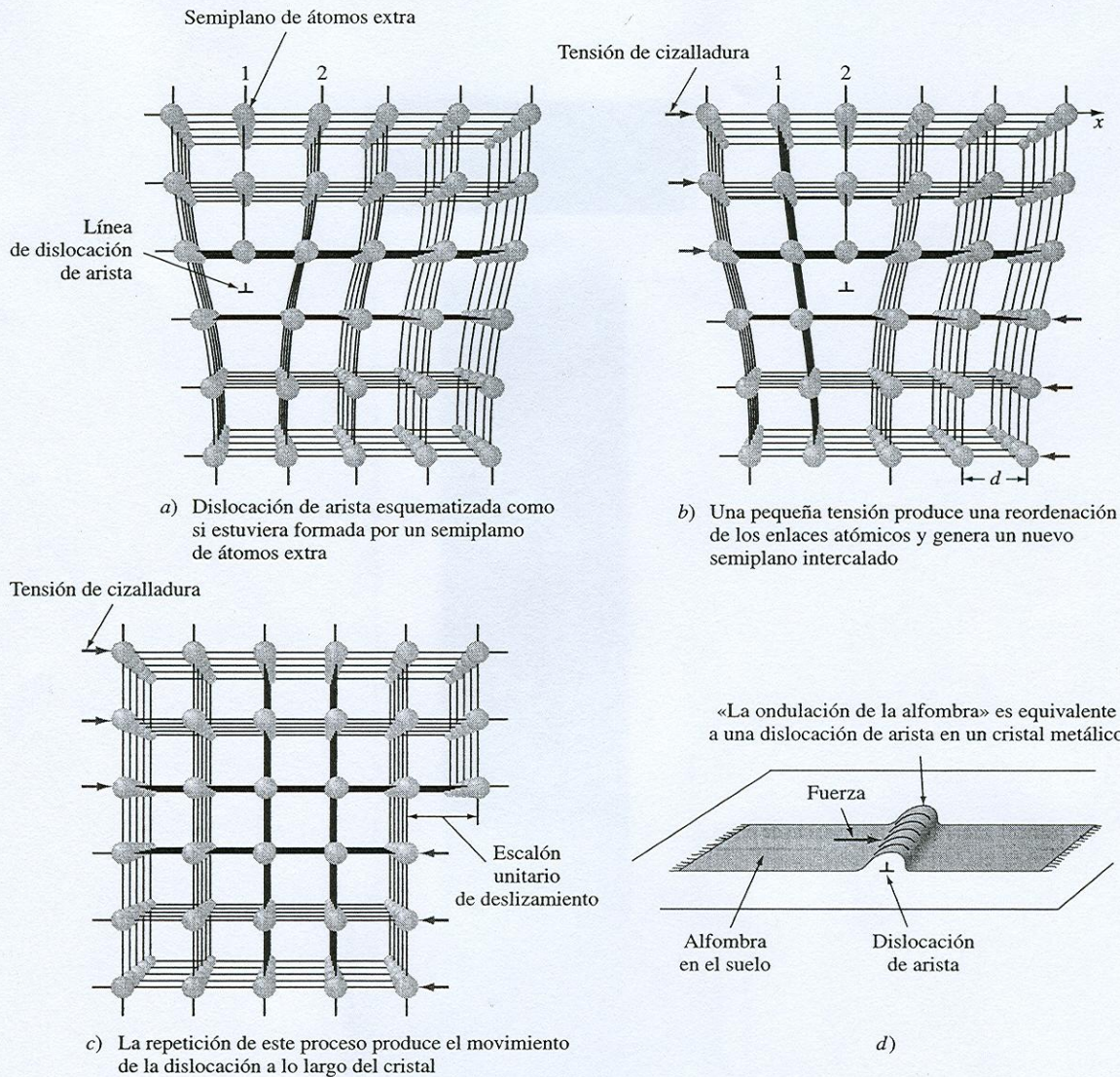




**Microfotografía
FeO**

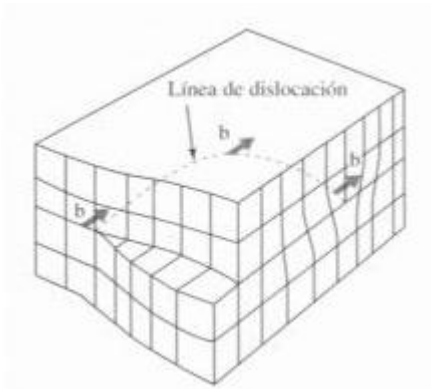
100 nm



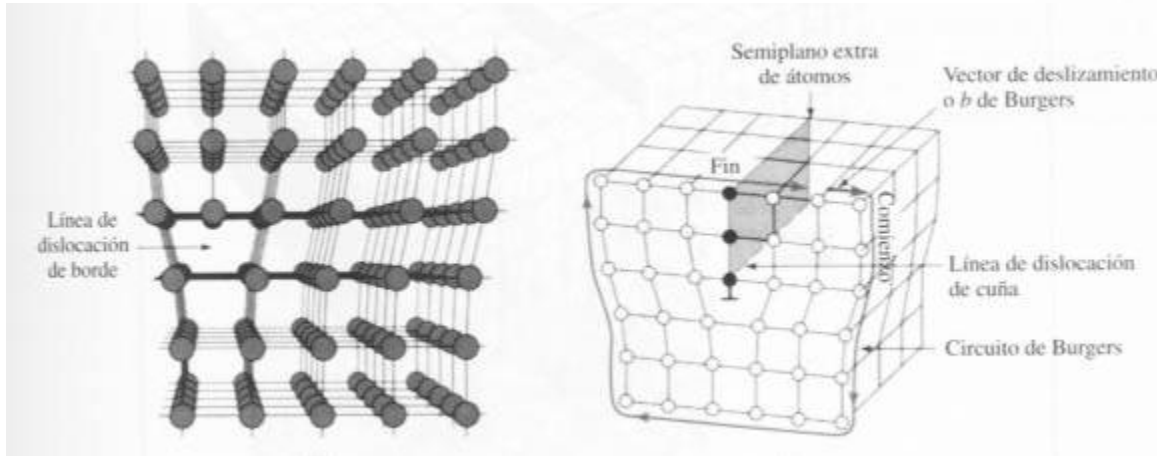
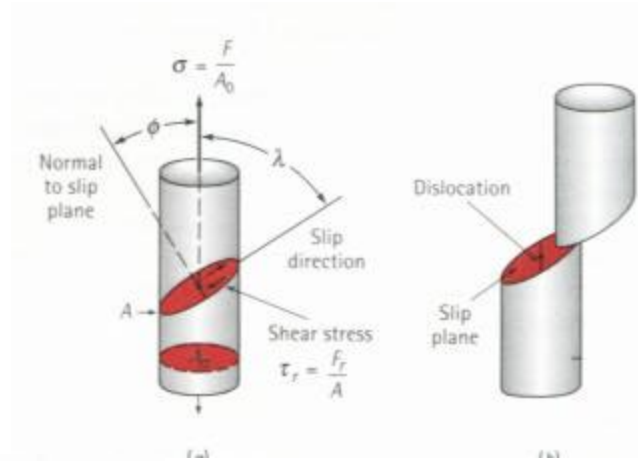


[a) b) y c) Según A. G. Guy, «Essentials of Materials Science», McGraw-Hill, 1976, p. 153.]

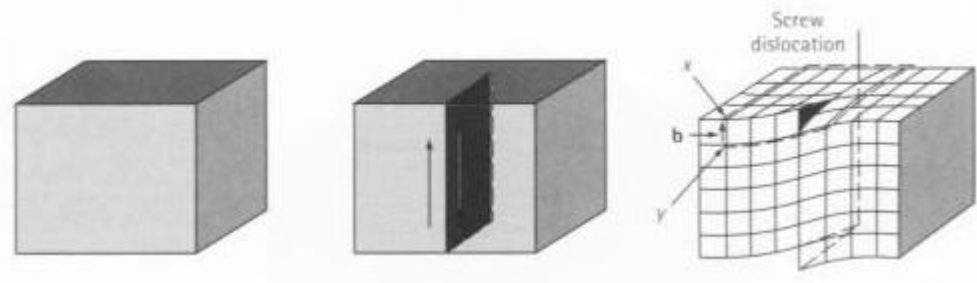
FIGURA 5.32. Ilustración esquemática de cómo el movimiento de una dislocación de arista produce un deslizamiento unitario bajo la acción de una pequeña tensión de cizalladura. a) Dislocación de arista esquematizada como si estuviera formada por un semiplano de átomos extra; b) una pequeña tensión produce una reordenación de los enlaces atómicos y genera un nuevo semiplano intercalado; c) la repetición de este proceso produce el movimiento de la dislocación a lo largo del cristal. Este proceso requiere menos energía que el descrito en la Figura 5.30, y d) analogía de la «ondulación de la alfombra». Durante una deformación plástica, una dislocación se mueve a través de un cristal metálico de una forma similar a como lo hace una ondulación empujada a lo largo de una alfombra colocada sobre el suelo. En ambos casos se produce un pequeño movimiento relativo, sea por el paso de la dislocación o de la ondulación y la cantidad de energía necesaria en este proceso es pequeña.



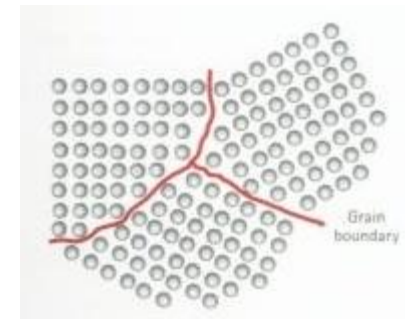
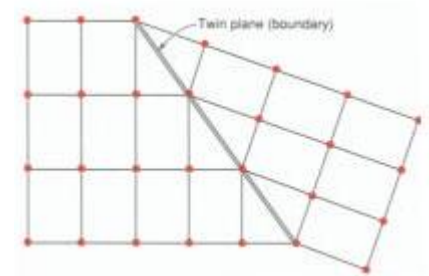
Dislocación helicoidal

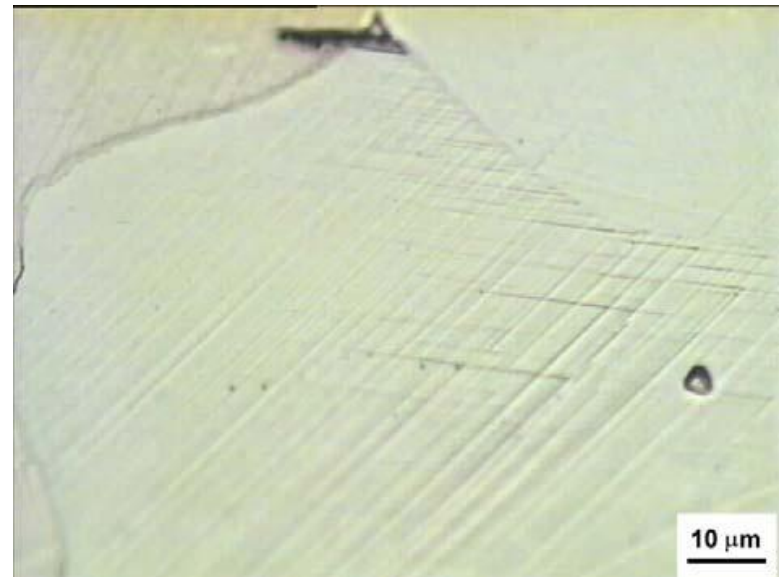
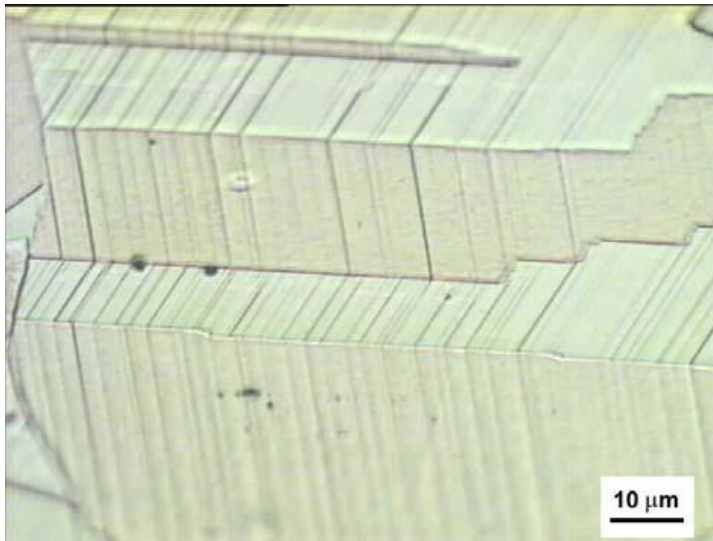
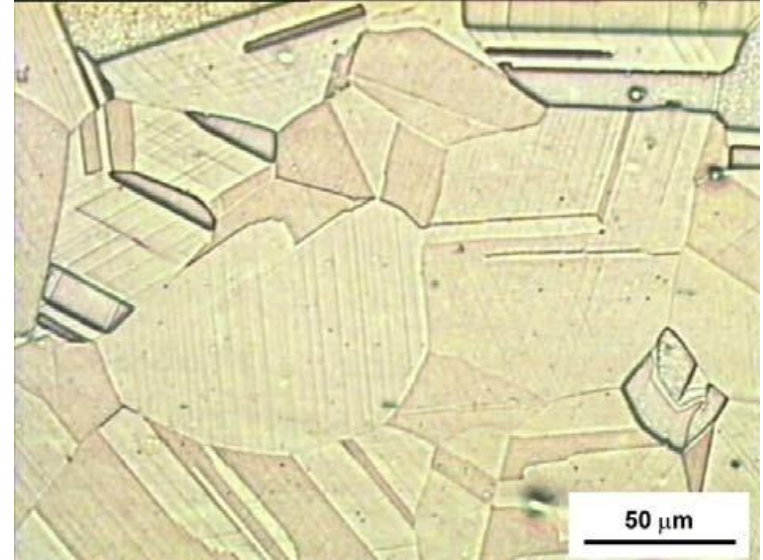
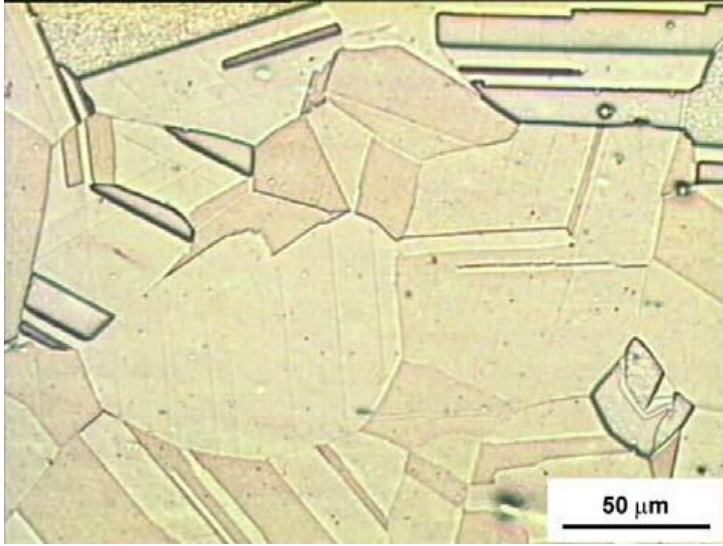


Dislocación de cuña



Dislocación helicoidal





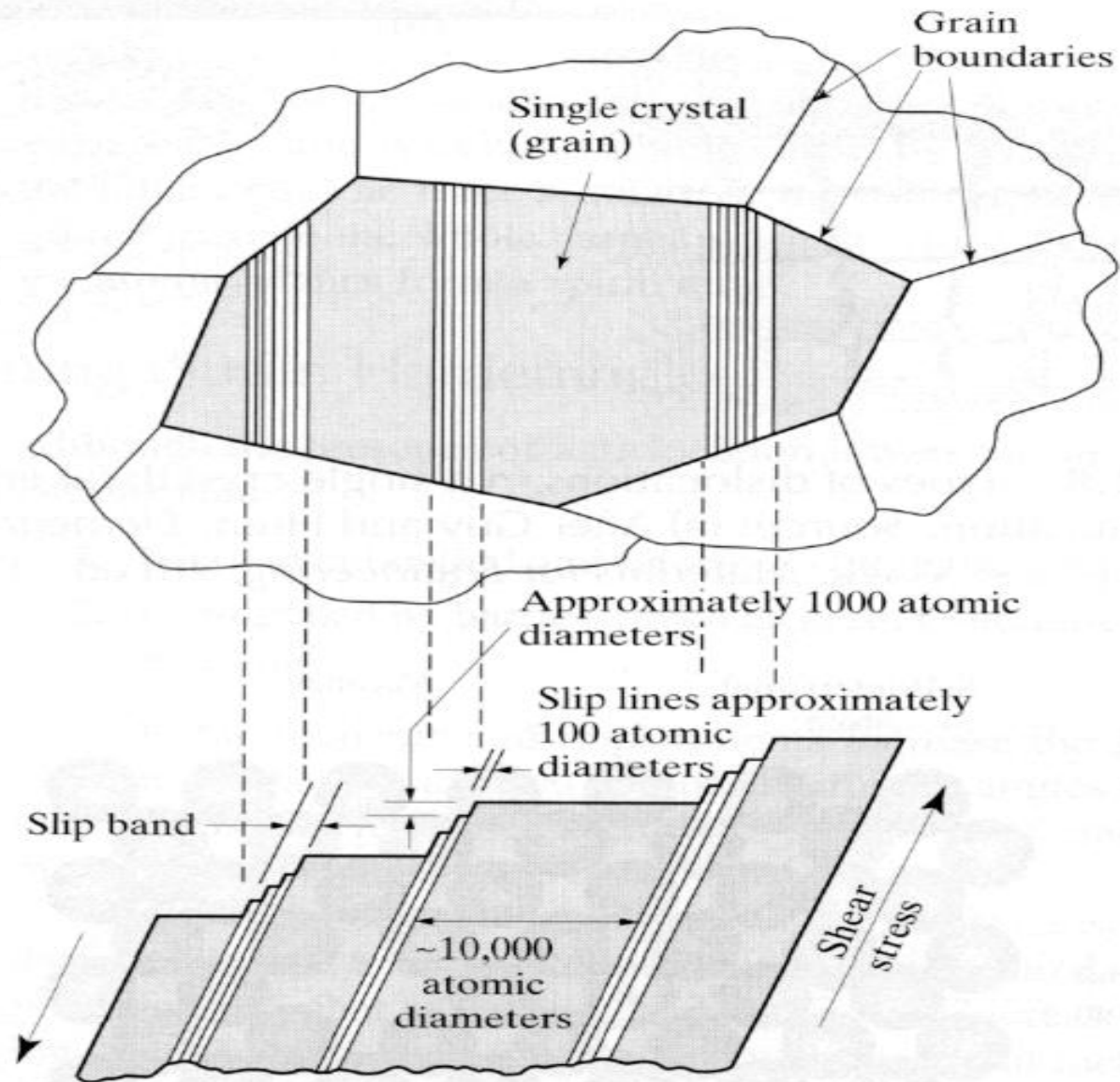
Deformación plástica de Latón (fcc)

- a) Inicio de la deformación. Líneas de deslizamiento en algunos granos
- b) Aparición de otros sistemas de deslizamiento al aumentar la deformación
- c) Quiebre de las líneas de deslizamiento al atravesar maclas de recocido.
- d) Detalle de deslizamiento cruzado



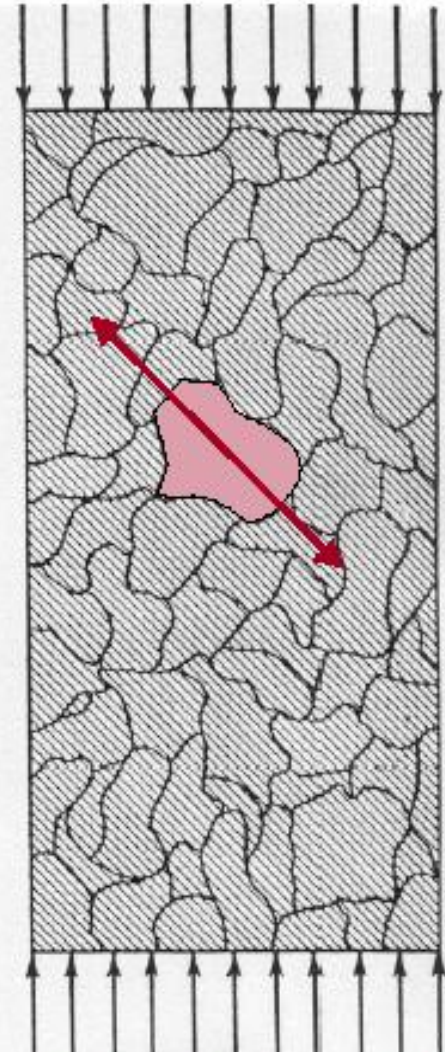
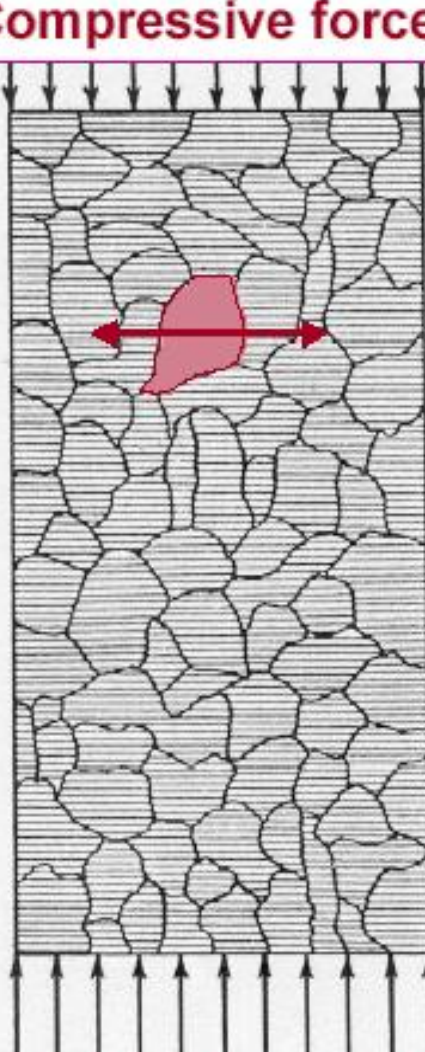
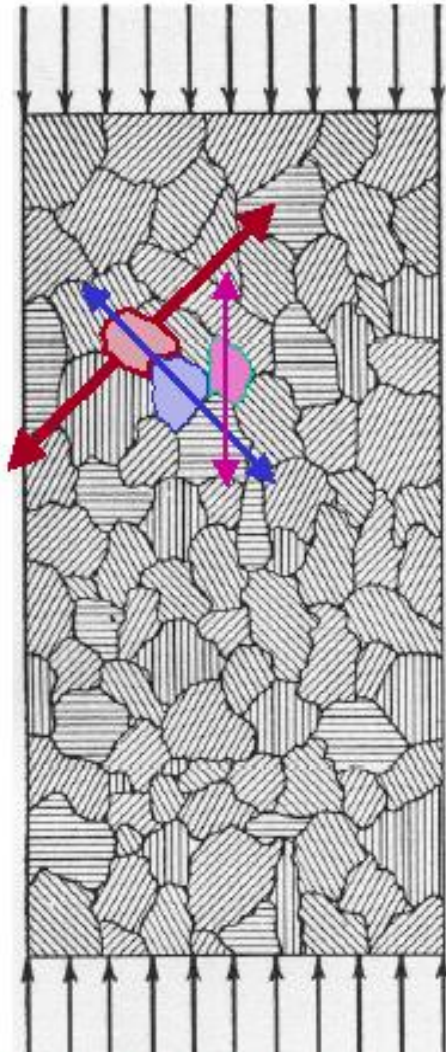
1 cm

Deslizamiento de planos



Consider a part placed in compression and the orientation of slip planes for the highest strength:

Compressive forces



Randomly oriented slip planes

Oriented favourably

Oriented unfavourably

Orientation of slip planes.

Aleaciones con memoria

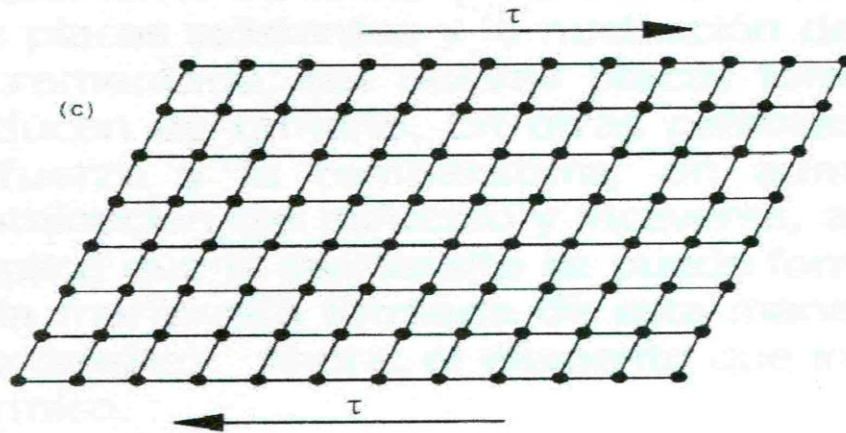
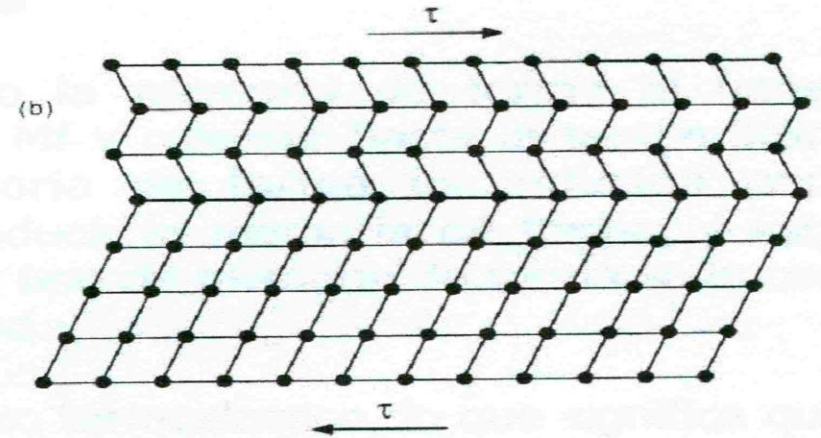
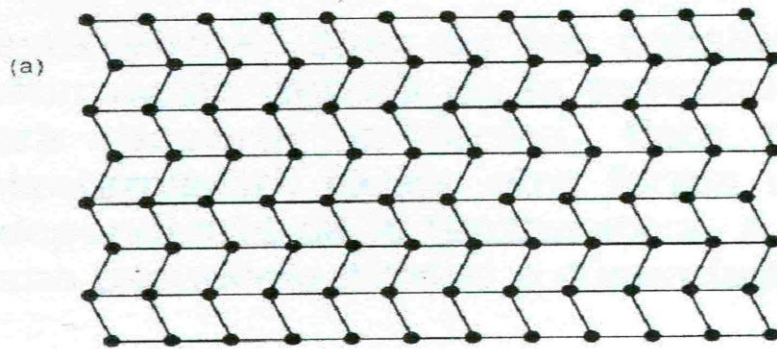
La mayoría de los metales inician su deformación plástica a partir de 0.2% de elongación a la tensión, las aleaciones con memoria pueden ser deformadas hasta un 5% antes de la deformación plástica.

- **NiTi**
- **CuZnAl**
- **CuAlNi**

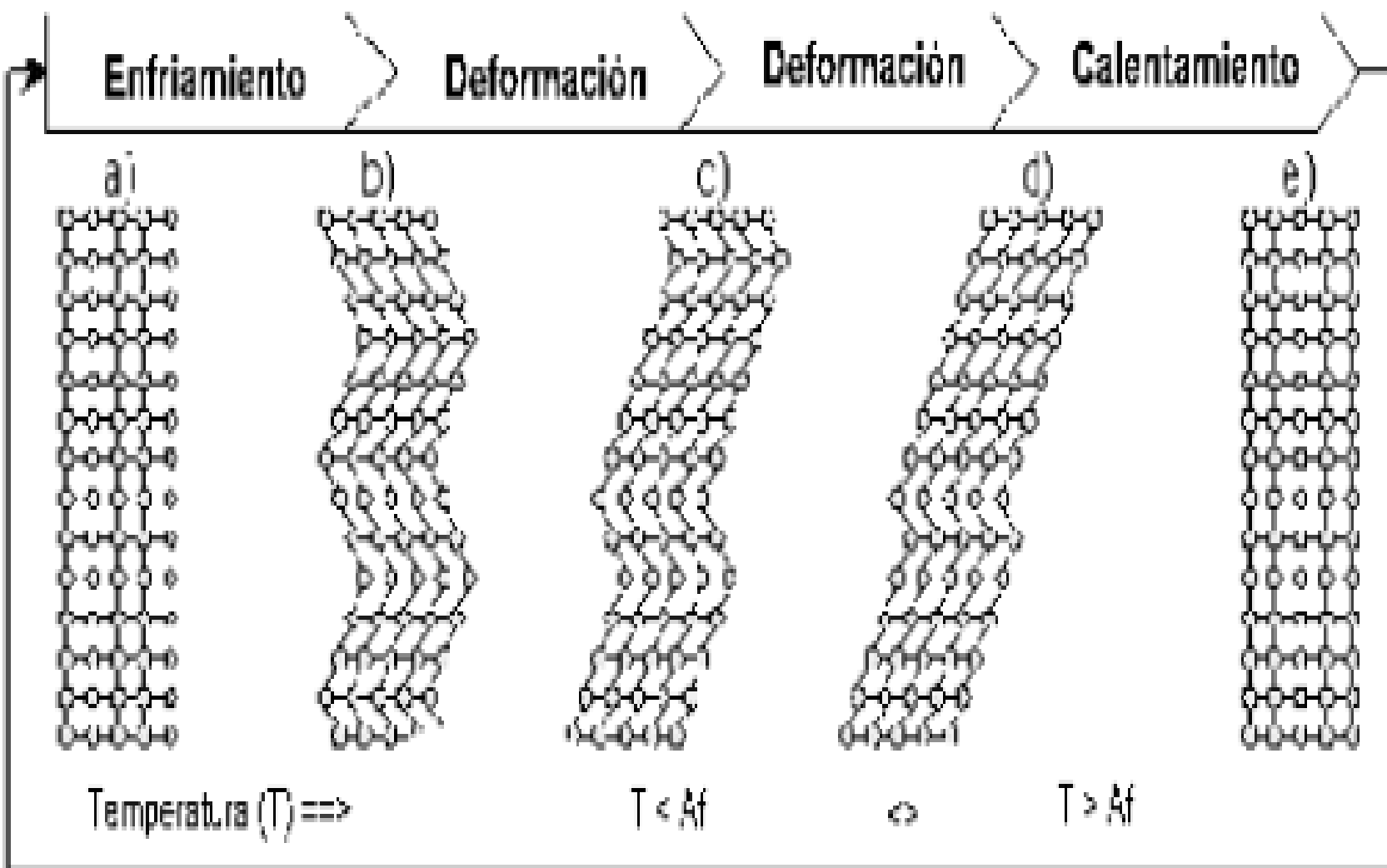
PROPIEDADES COMPARATIVAS DE VARIAS ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA

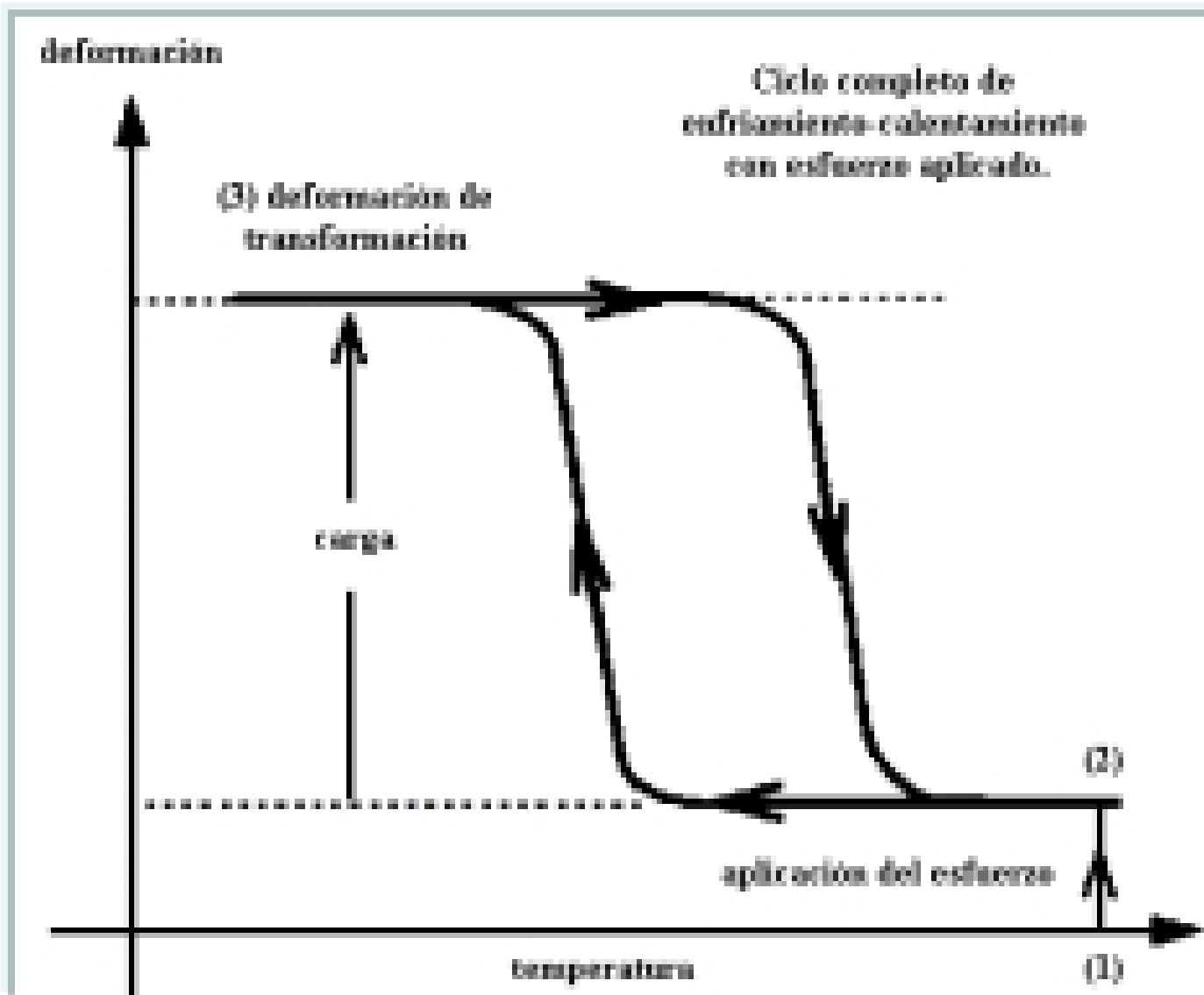
PROPIEDAD	Ni-Ti	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Temperatura de fusión, en °C	1240-1310	950-1020	1000-1050
Densidad (gr/cm ³)	6.45	7.64	7.12
Conductividad térmica (W / m K)	18	120	30-43
Resistividad (?? ?m)	70-100	8.5-9.7	11-13
Modulo de Young (GPa)	83 (austenita) 26-48 (martensita)	72 (fase beta) 70 (martensita)	85 (fase beta) 80 (martensita)
Resistencia a la cedencia (MPa)	195-690 (austenita) 70-140 (martensita)	350 (fase beta) 80 (martensita)	400 (fase beta) 130 (martensita)
UTS	895	600	500-800
Deformación de memoria de forma, %	8.5	4	4
Intervalo de transformación, °C	-200 a 110	< 120	< 200
Histéresis de transformación, °C	30-50	15-25	15-20
Compatibilidad biológica	Excelente	Mala	Mala
Tamaño de grano, ?m	1-10	50-100	-
Fusión, fundición y control de composición	Difícil, en vacío	Aire, fácil	Aire, fácil
Maquinabilidad	Difícil	Muy buena	Buena
Resistencia a la corrosión	Similar a los aceros inoxidables de la serie 300	Similar a los bronce al aluminio	Mejor que las Cu-Zn Al
Relación de costos	10	1	1-2

Aleaciones con memoria



Escala nanoscópica



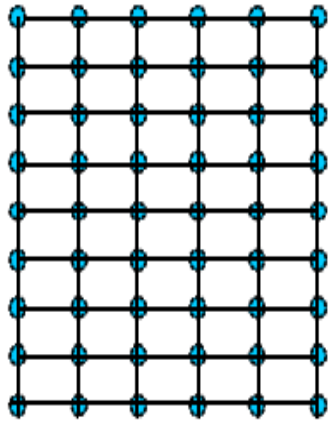


Esquemmatización del efecto memoria de forma doble sentido asistido (EMDSA).

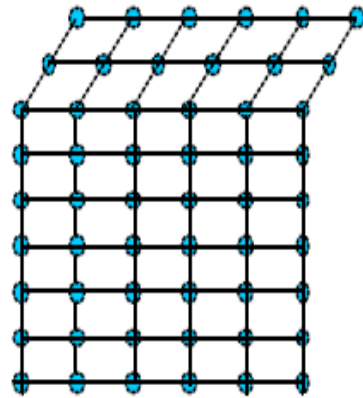
NITINOL

La Transformación Martensítica

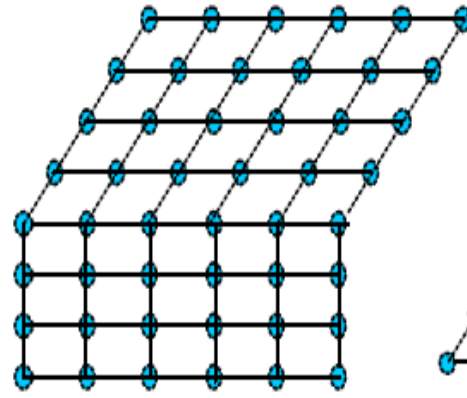
- Transformaciones por desplazamiento, átomos se reordenan para llegar a una estructura mas estable.
- No cambia la naturaleza química.
- Son independientes del tiempo.
- De austenita a martensita.



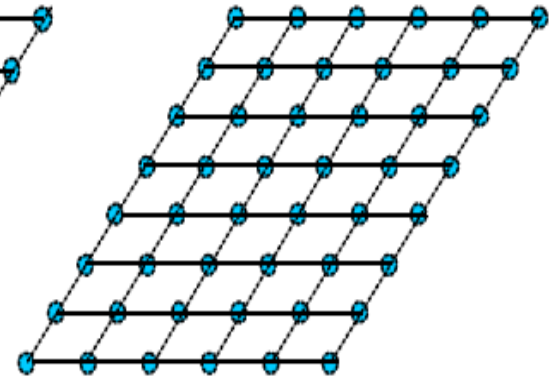
(a) *completamente austenita*



(b)

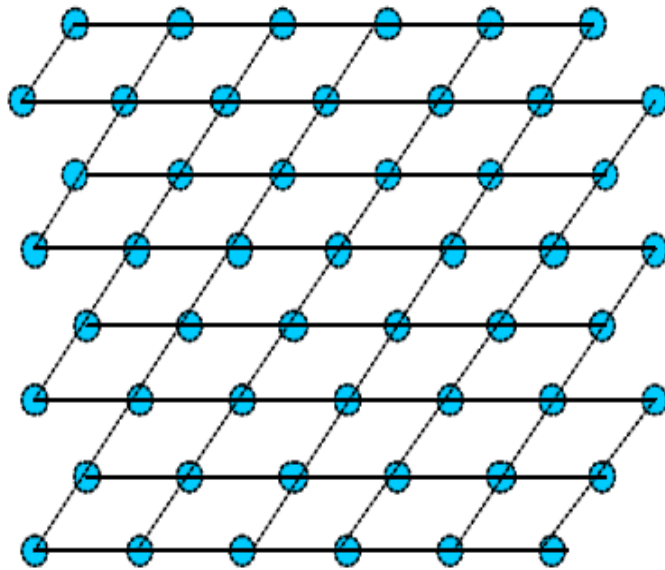


(c)

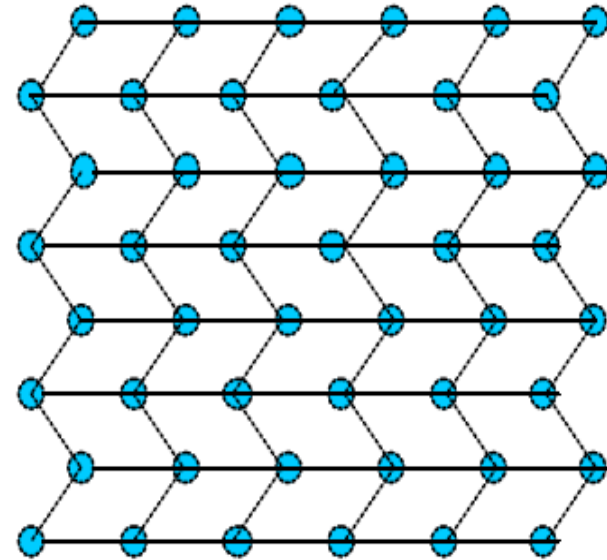


(d) *completamente martensita*

Figura 1.1: se muestra esquemáticamente en dos dimensiones, la transformación de austenita a martensita. (a) siendo completamente austenita (d) completamente martensita. En (c) a medida que la interfase avanza, cada capa de átomos se desplaza sólo una pequeña distancia.

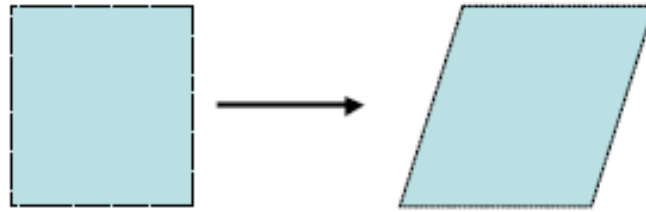


(a) Acomodación por deslizamiento

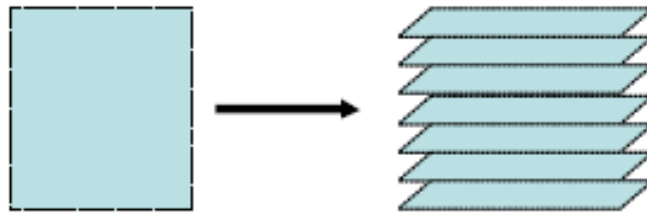


(b) Acomodación por maclado

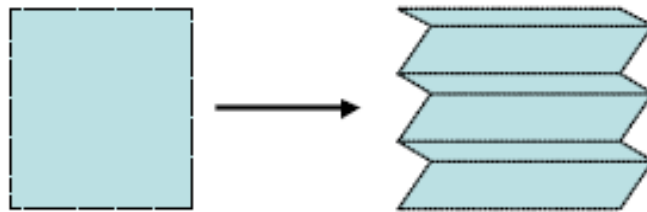
Figura 1.2: Los dos mecanismos de acomodación a la forma del cambio debido al cortante atómico de la transformación martensítica. En deslizamiento (izquierda), la microestructura es dañada irreversiblemente. En el caso de maclado (derecha) la acomodación es reversible, pero no se pueden alcanzar cambios de volumen sustanciales.



(a) Cambio de forma debido a la transformación martensítica

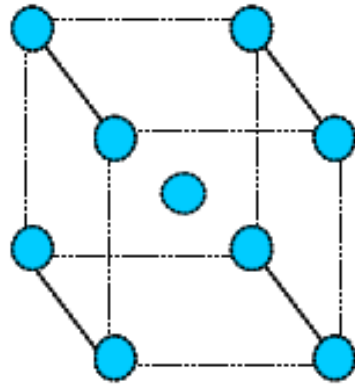


(b) Acomodación de la deformación por deslizamiento



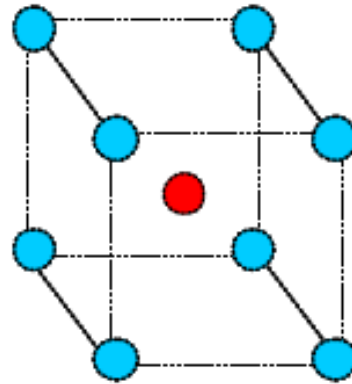
(c) Acomodación de la deformación por maclado

Figura 1.3: Forma gráfica de representación de los dos mecanismos de acomodación.



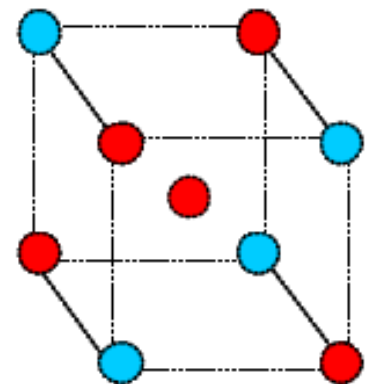
Estructura desordenada BCC

(a)



Estructura B2

(b)

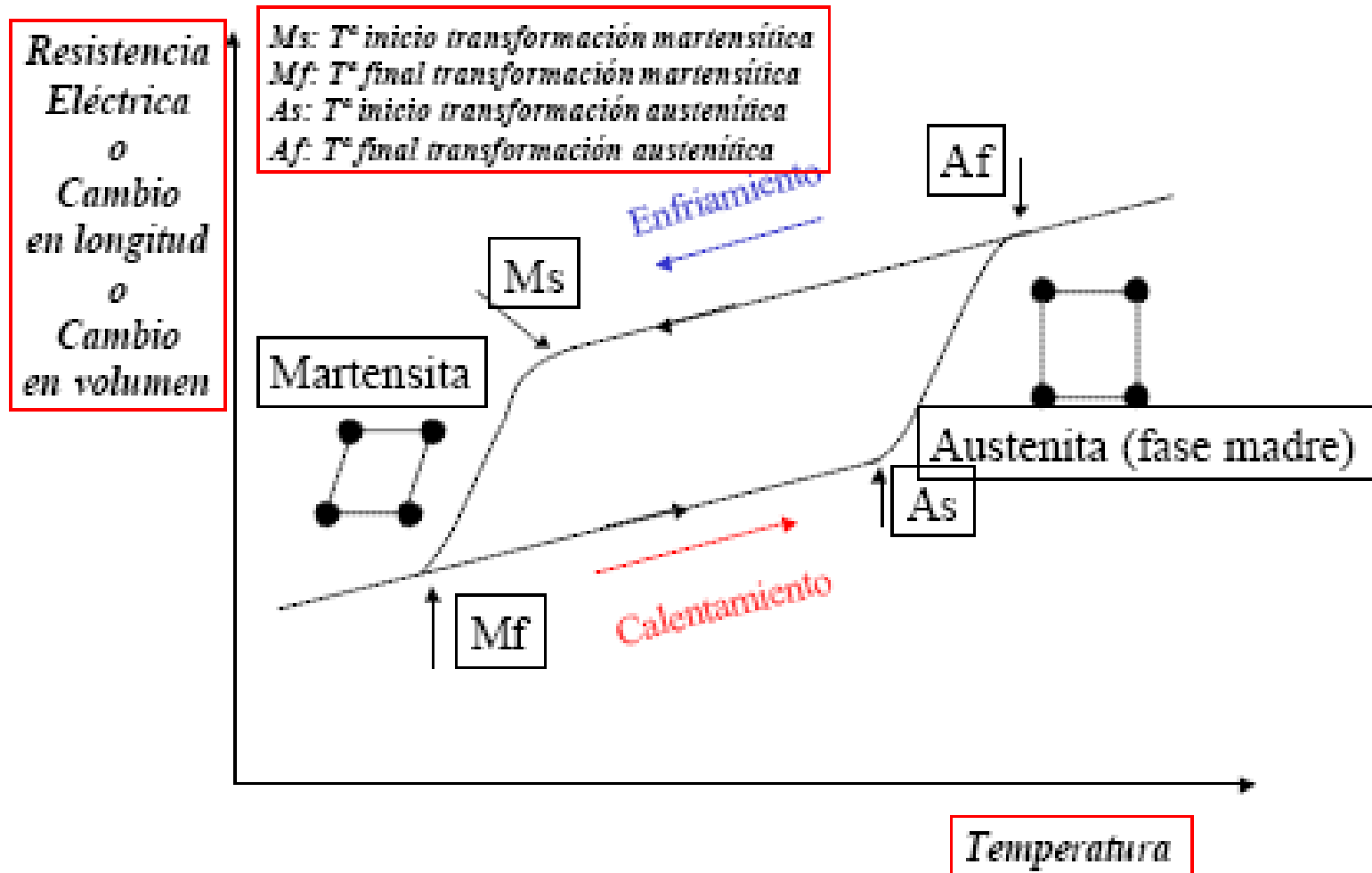


Estructura DO3

(c)

Figura 1.6: estructuras ordenadas y desordenadas que se encuentran comúnmente en las SMA. (a) estructura desordenada BCC, donde los diferentes átomos se han distribuido aleatoriamente. (b) estructura B2 encontrada en Ni-Ti, donde los distintos átomos están situados en la red de modo que consiguen separarse entre ellos lo máximo posible. Aunque tanto la (a) como la (b) parecen estructuras centradas en el cuerpo, la (b) no lo es pues los átomos de las esquinas son de diferente naturaleza que el átomo del centro. (c) estructura aún más ordenada llamada DO3 encontrada en Cu-Al-Ni.

Representación hipotética de los cambios en las propiedades vs. Temperatura en una transformación martensítica de una aleación con memoria de forma. La fase austenita se representa por un retículo cuadrado, y la martensítica por un rombo. Se marcan en el las temperaturas características.



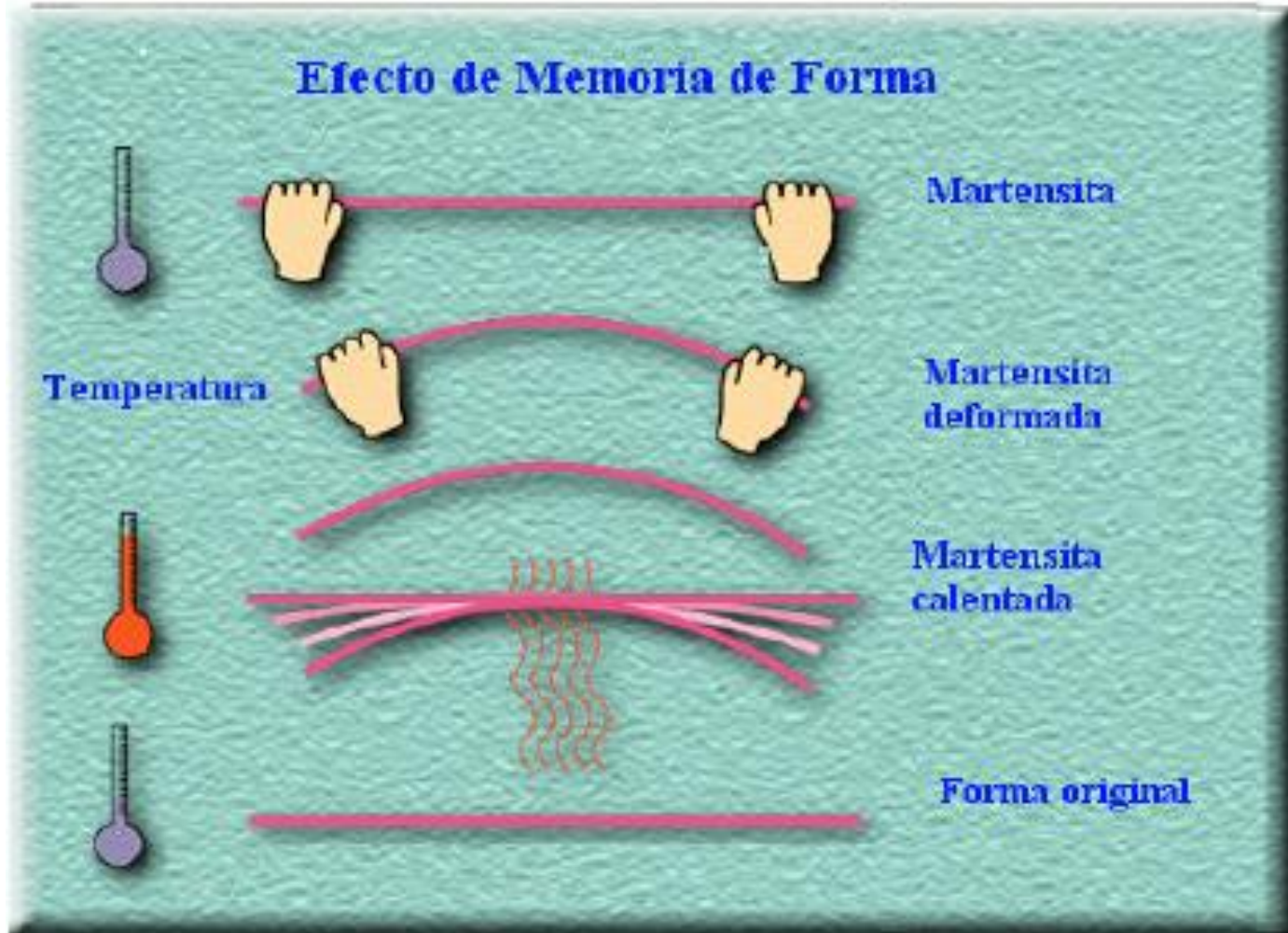
Aleaciones con Memoria (NITI)

- **PROPIEDADES MECANICAS**

- - Sufren def. entre 8 y 10%, son relativamente estables frente a las aplicaciones ciclicas, tienen buena resistividad electrica y a la corrosion
- **Tabla 3.1. Comparación de la aleación NiTi contra un acero inoxidable AISI316. A y M significan austenita y martensita respectivamente; f.a**

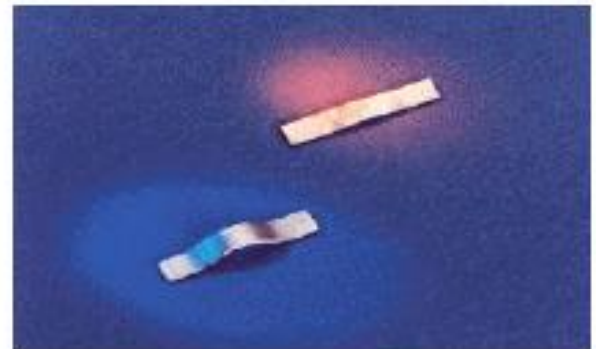
<i>Propiedad</i>	<i>NiTi SMA</i>	<i>Acero inoxidable</i>
Deformación recuperable(%)	8	2
Módulo de elasticidad (MPa)	$8,7 \cdot 10^4$ (A); $1,4 \cdot 10^4$ (M)	$2.07 \cdot 10^5$
Resistencia a la cedencia (MPa)	200-700 (A); 70-140 (M)	248-517
Resistencia última a tracción (MPa)	900 (f.a.); 2000 (w.h)	448-827
Elongación a rotura (%)	24-50 (f.a.); 5-10 (w.h.)	20
Resistencia a la corrosión	Excelente	Muy Buena

Esquema que ejemplifica como una barra de una aleación con Memoria de Forma sufre una transformación de fase y **RECUERDA** su forma original.



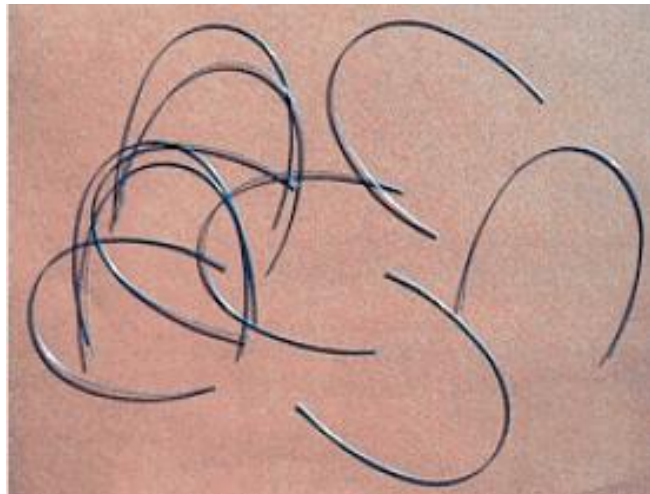
APLICACIONES

Diferencias en formas en elementos con *Memoria de Forma* a baja (azul) y alta temperatura (rojo).

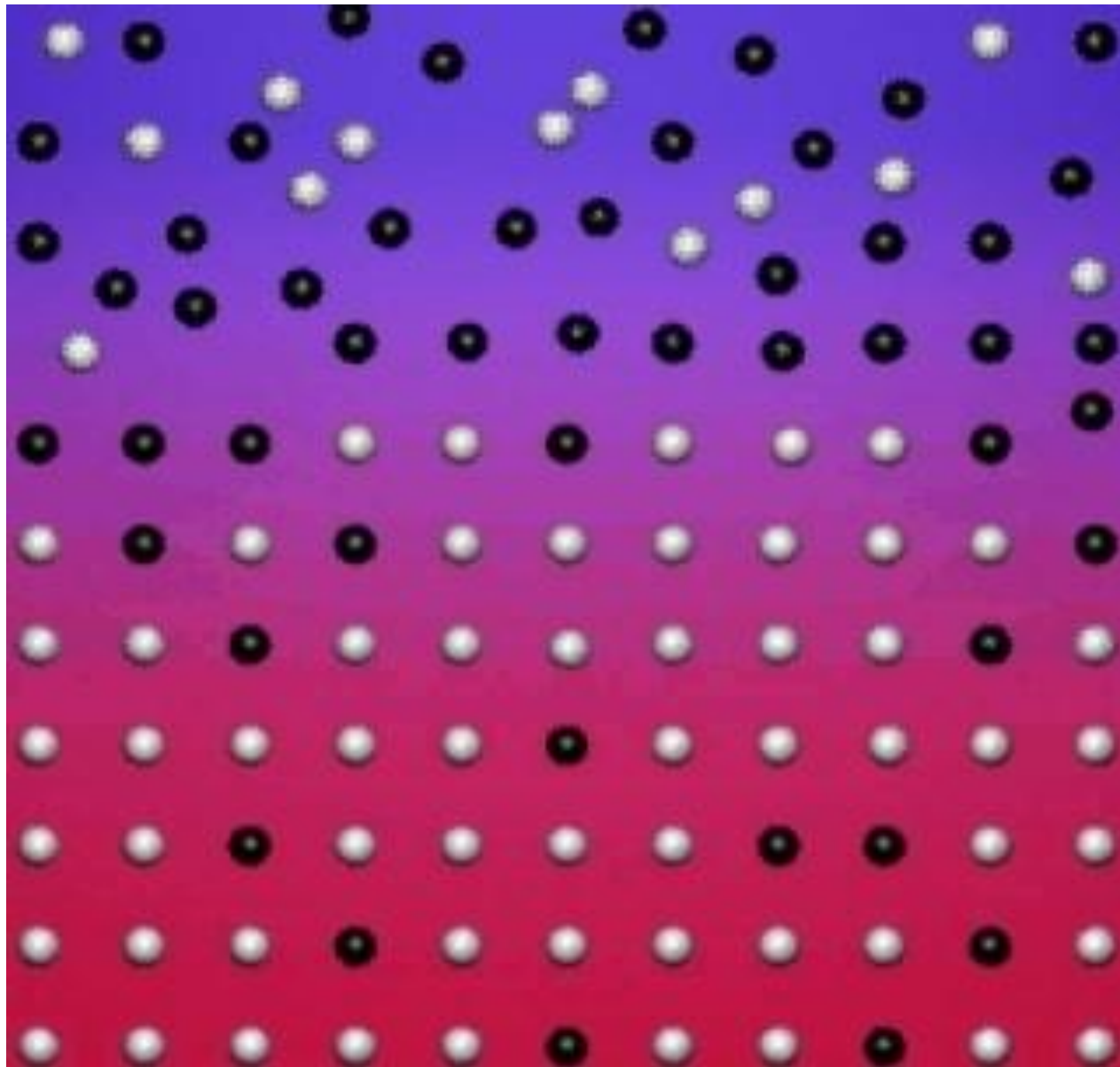


Los alambres superelásticos han encontrado un amplio uso en la ortodoncia . La diferencia entre estos elementos y un alambre normal es la gran deformación elástica combinada con un bajo esfuerzo obtenible en el alambre con EMF. Las ventajas para el paciente son dobles:

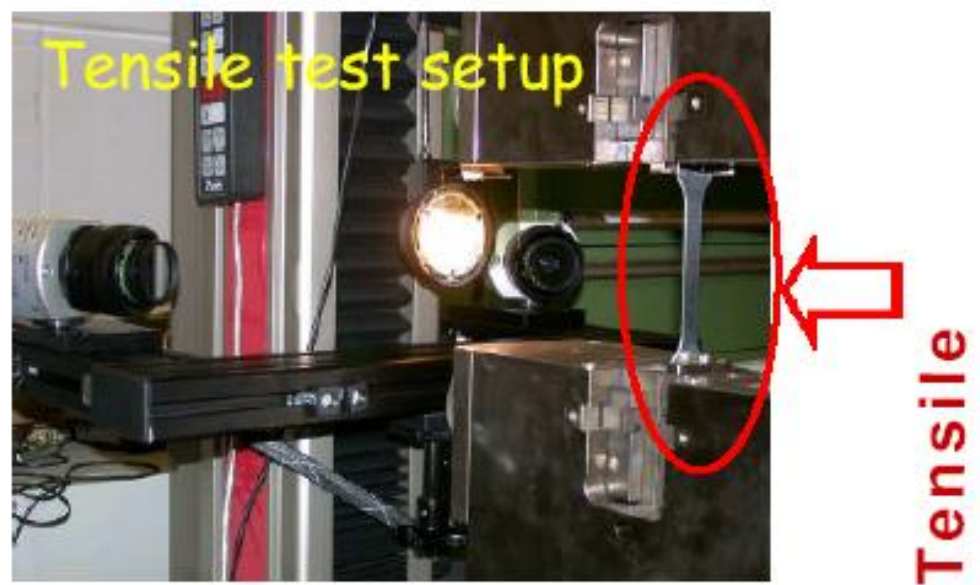
- Menor número de visitas al ortodoncista debido al fácil ajuste elástico,
- Mayor confort debido a bajos niveles de esfuerzos.



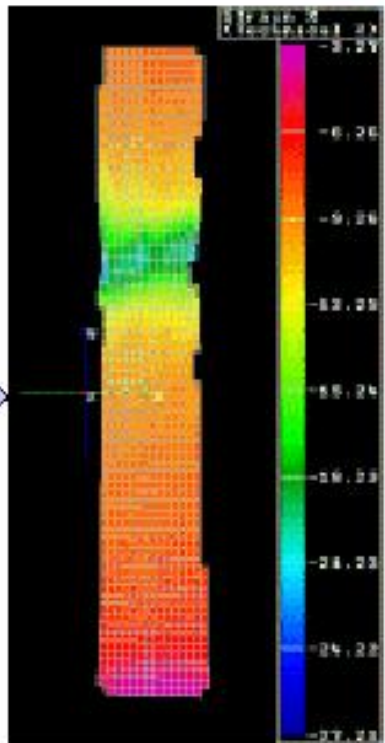
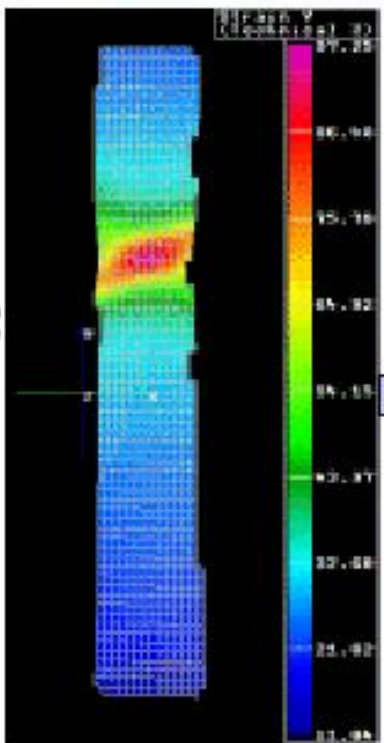
Defectos puntuales



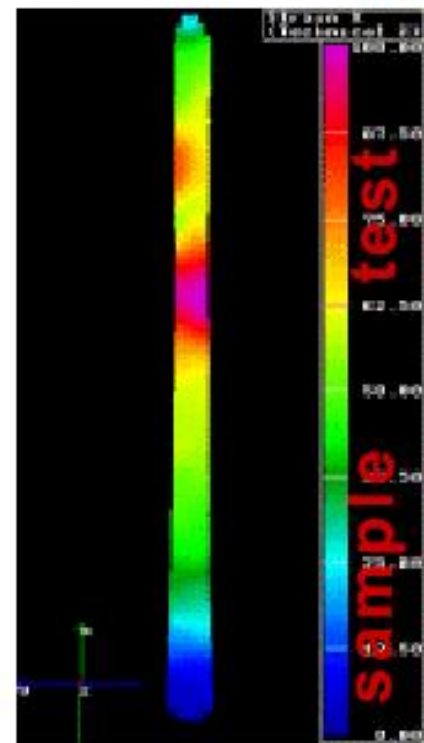
An example of recent **tensile testing** at DaimlerChrysler in, Germany.



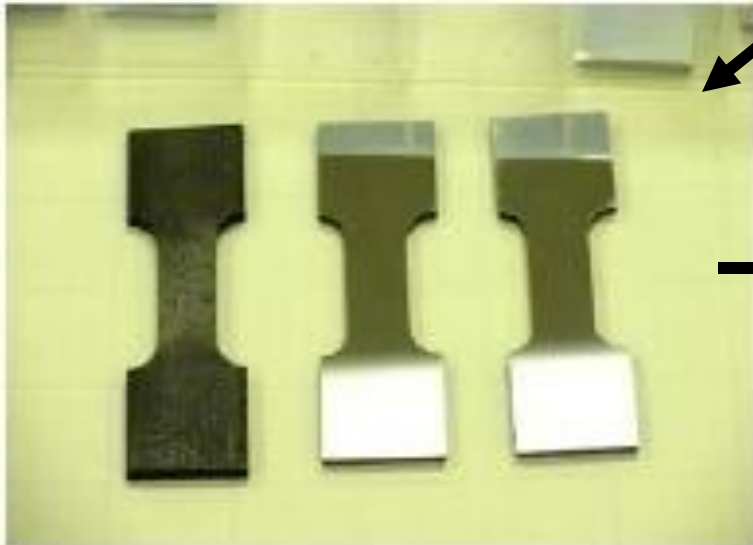
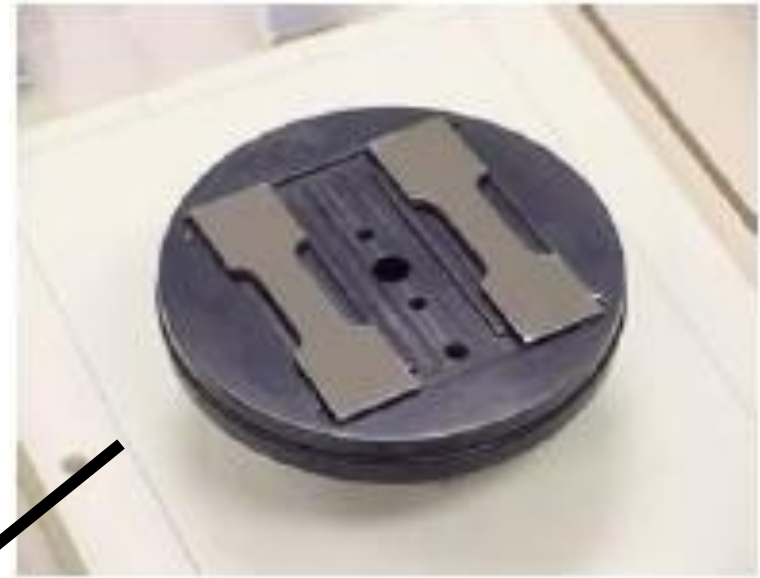
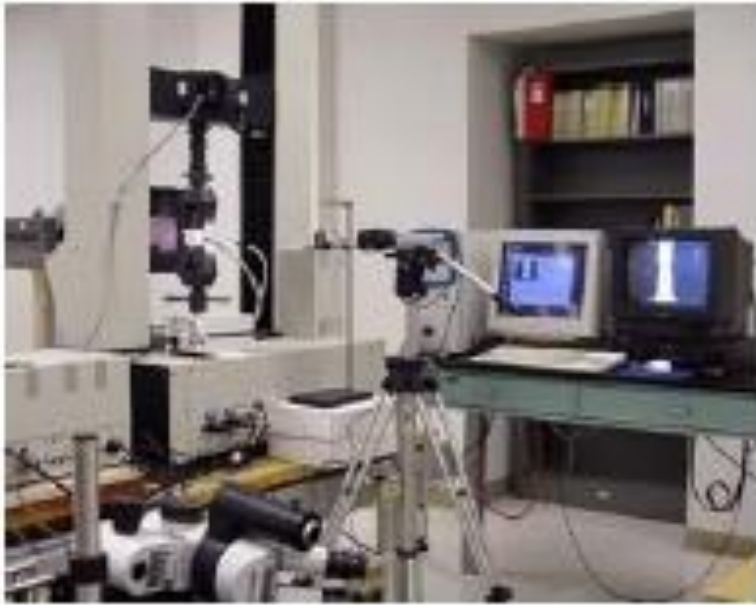
Pictures of the sample as it was tested:



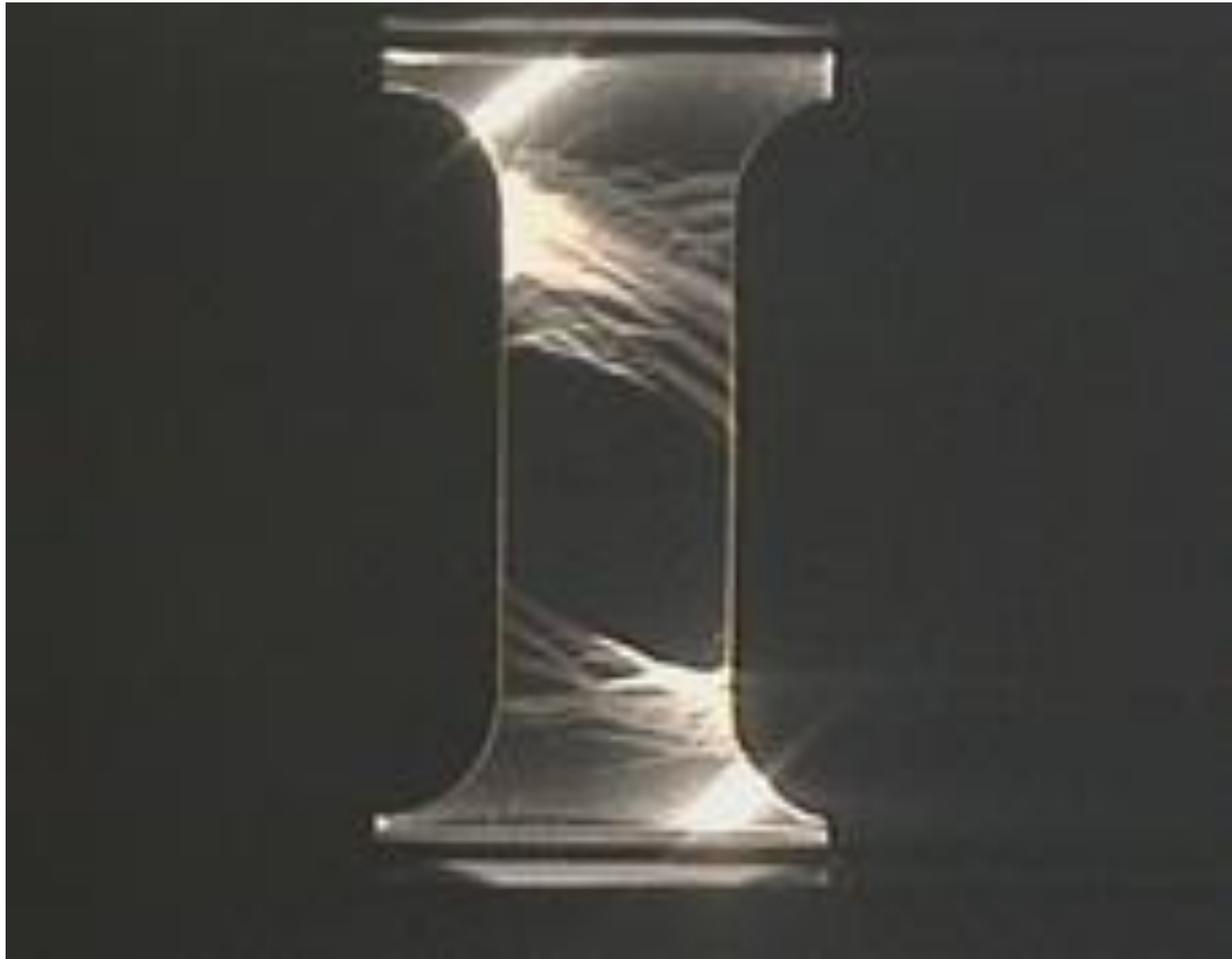
Side view of test



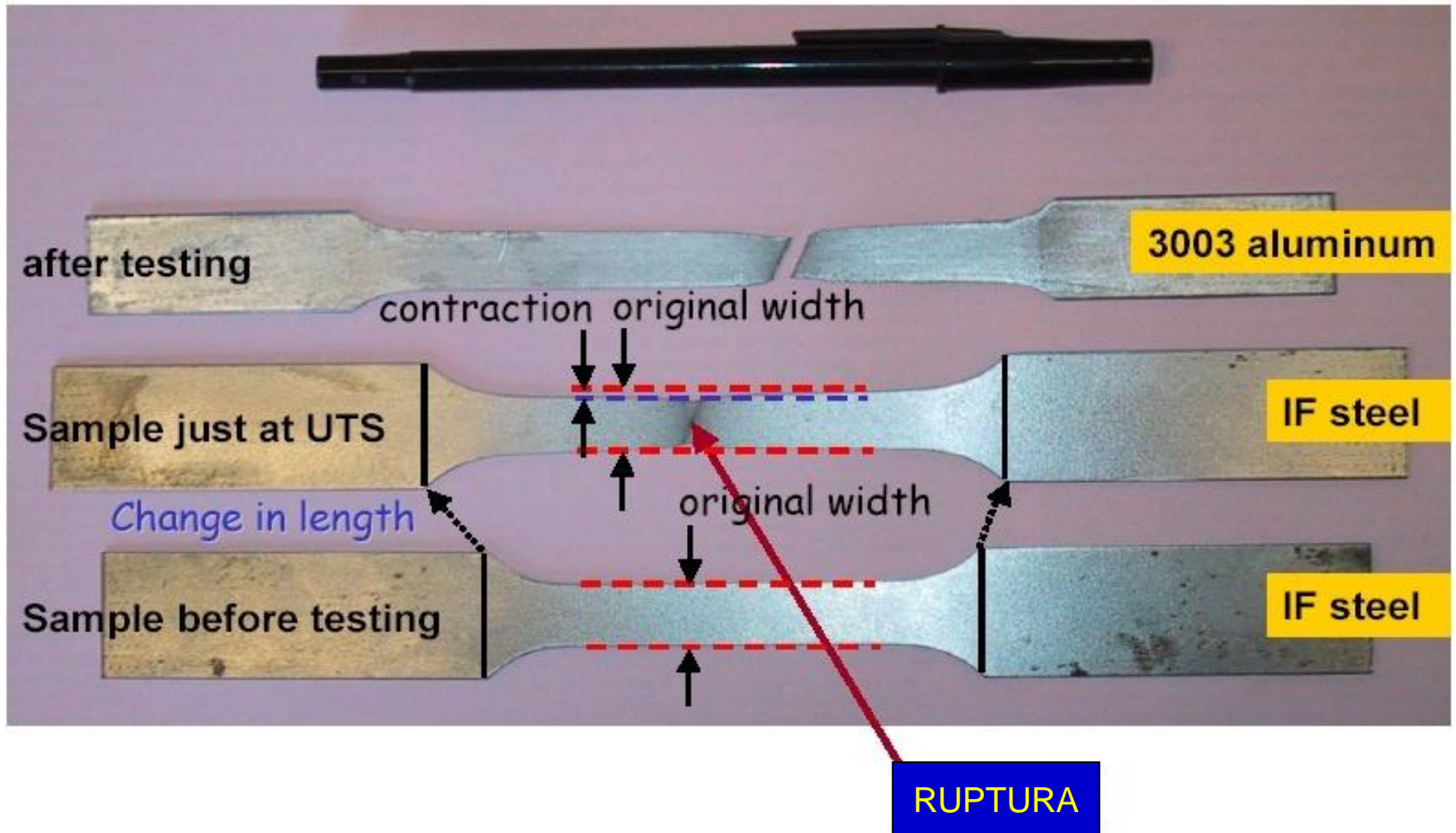
Prueba a la tensión



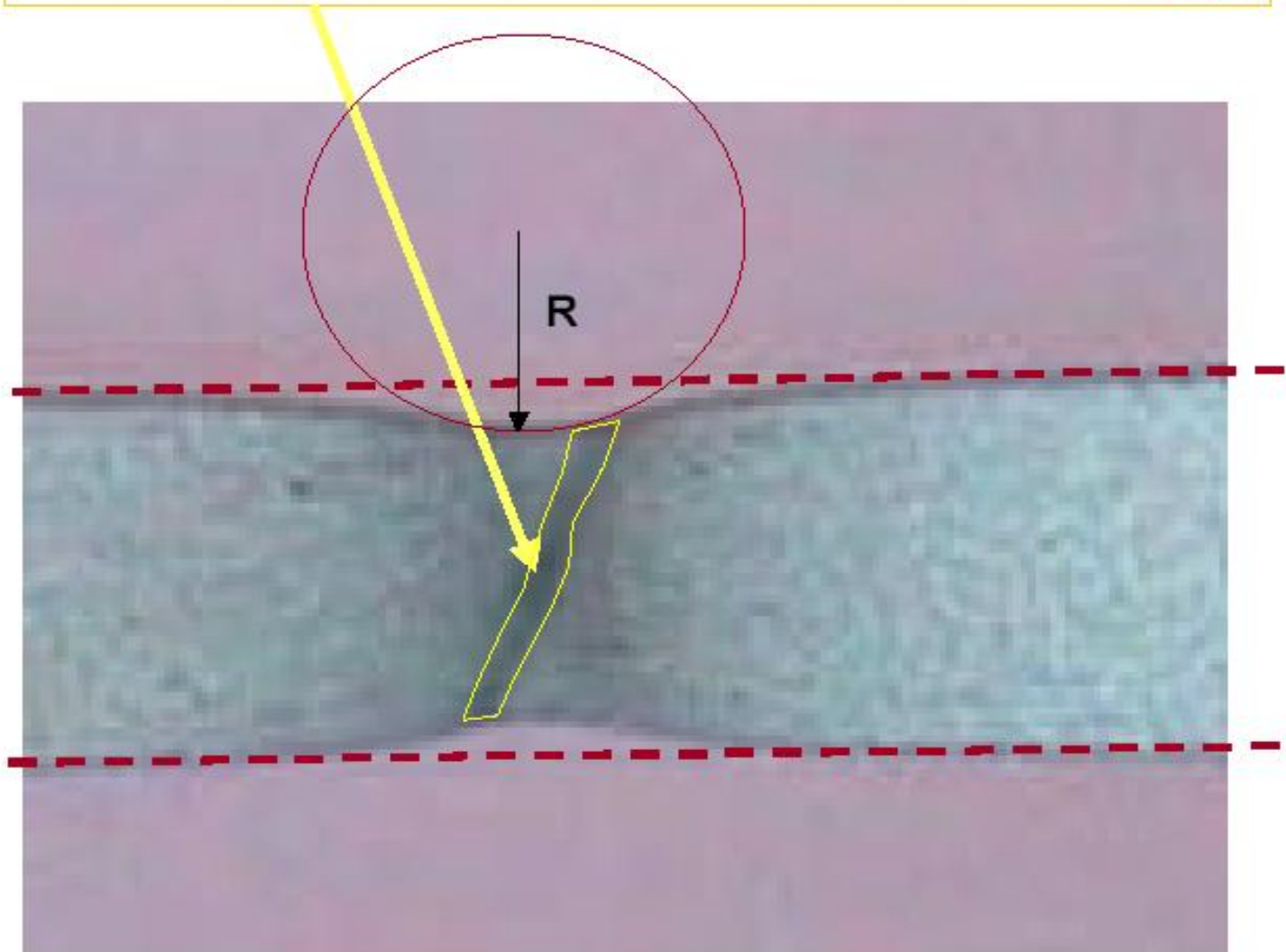
Vista de los planos de deslizamiento en la probeta

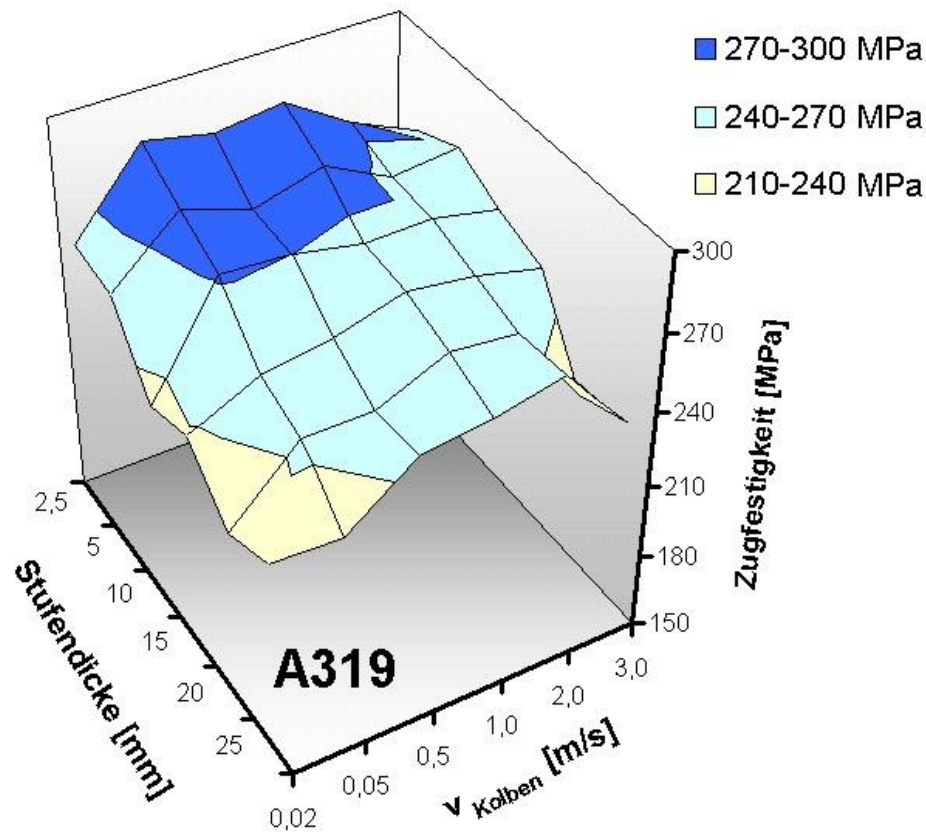


Ejemplo de prueba de esfuerzo a la tensión

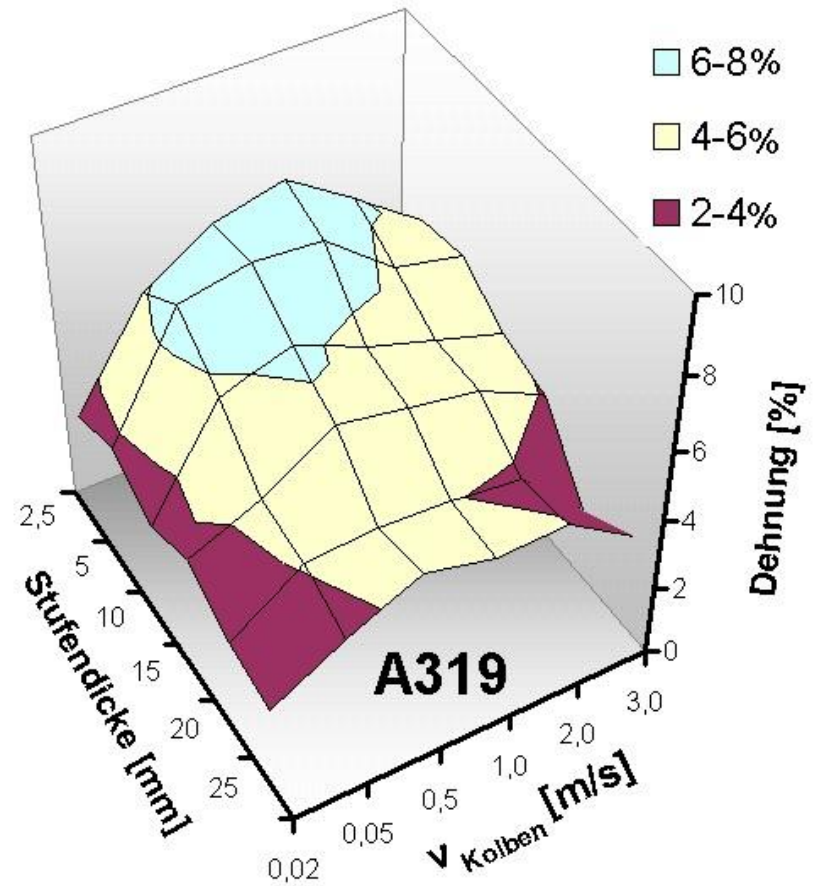


Localized, unstable deformation occurs at σ_{UTS}





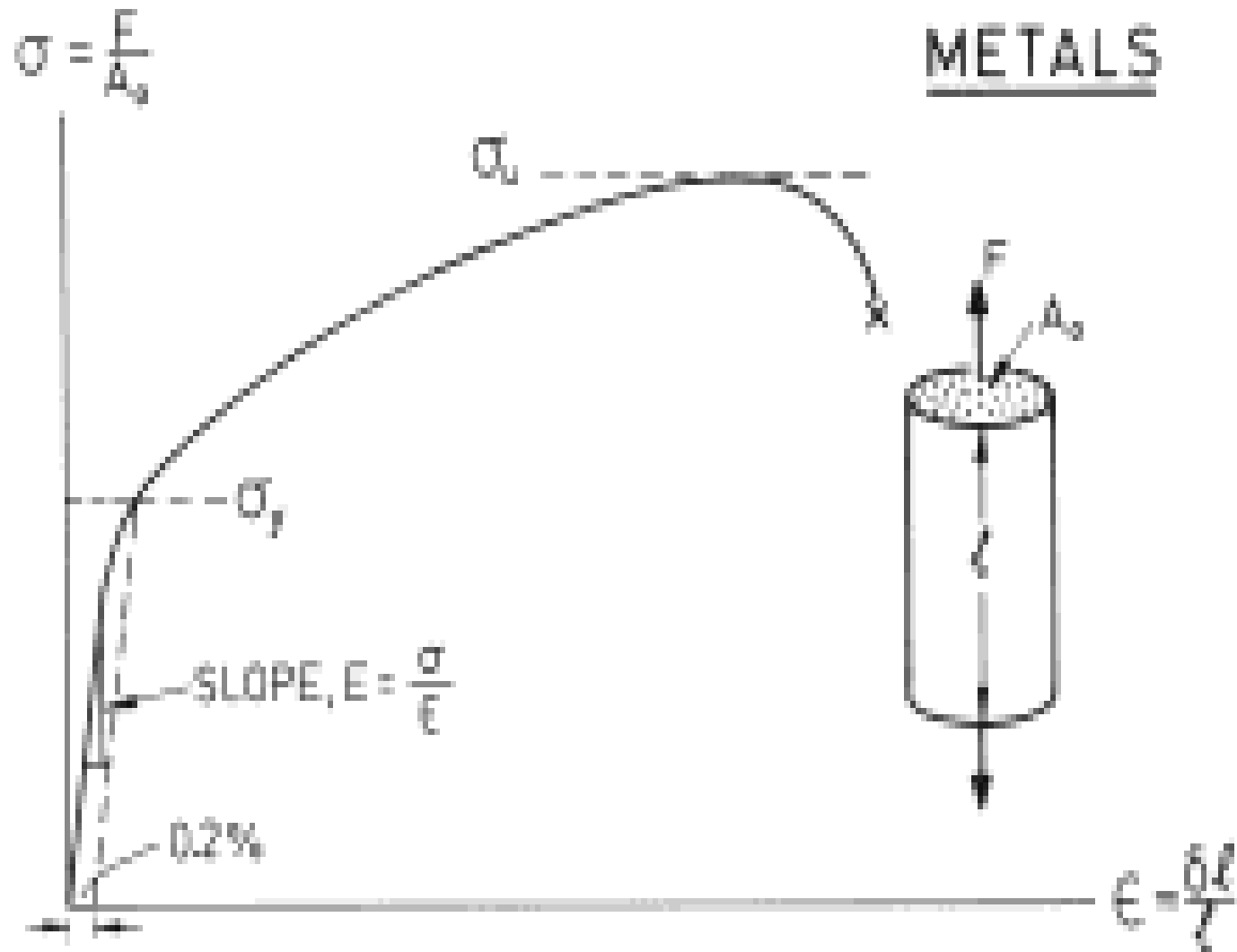
UTS

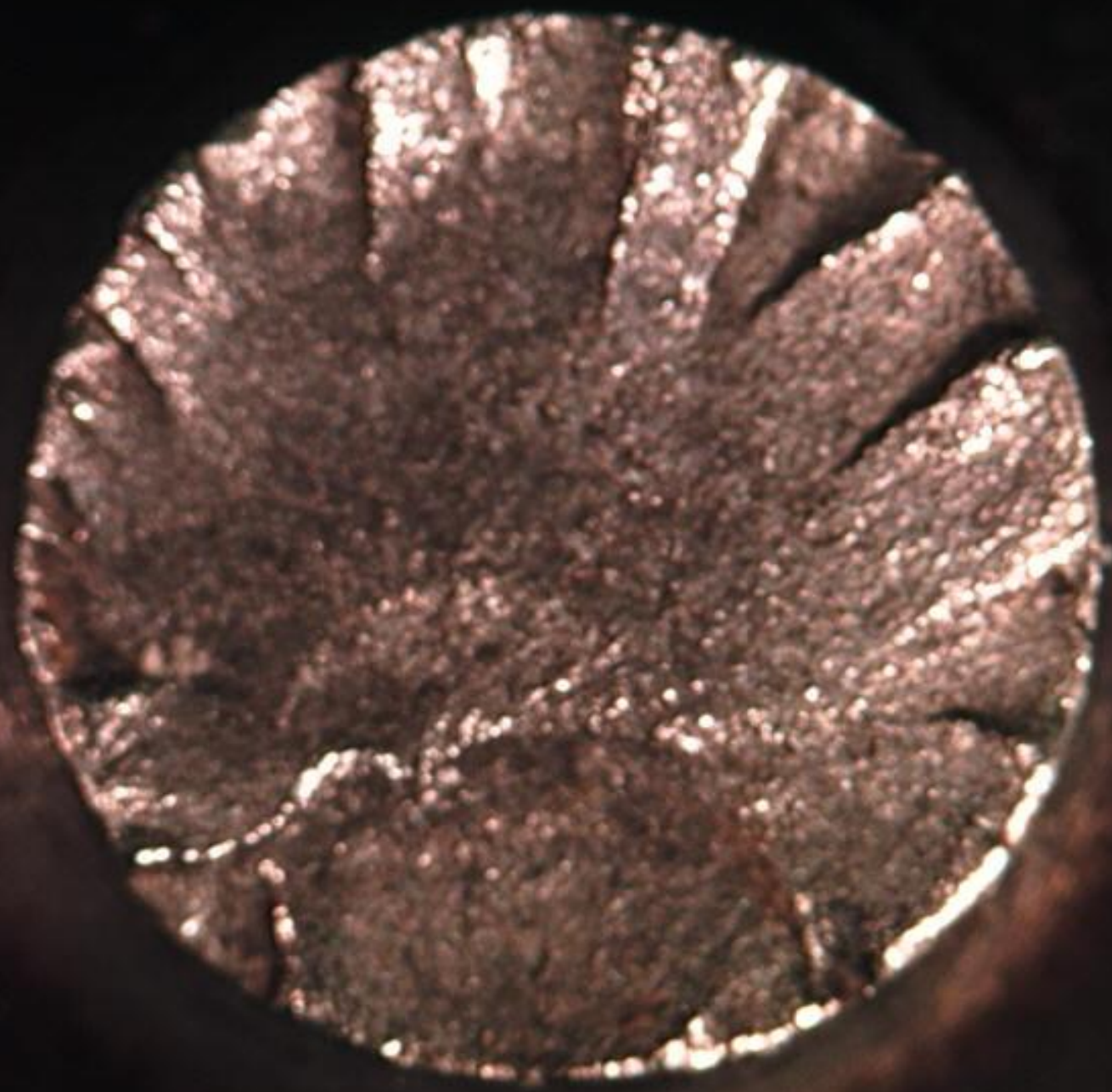


Elongation

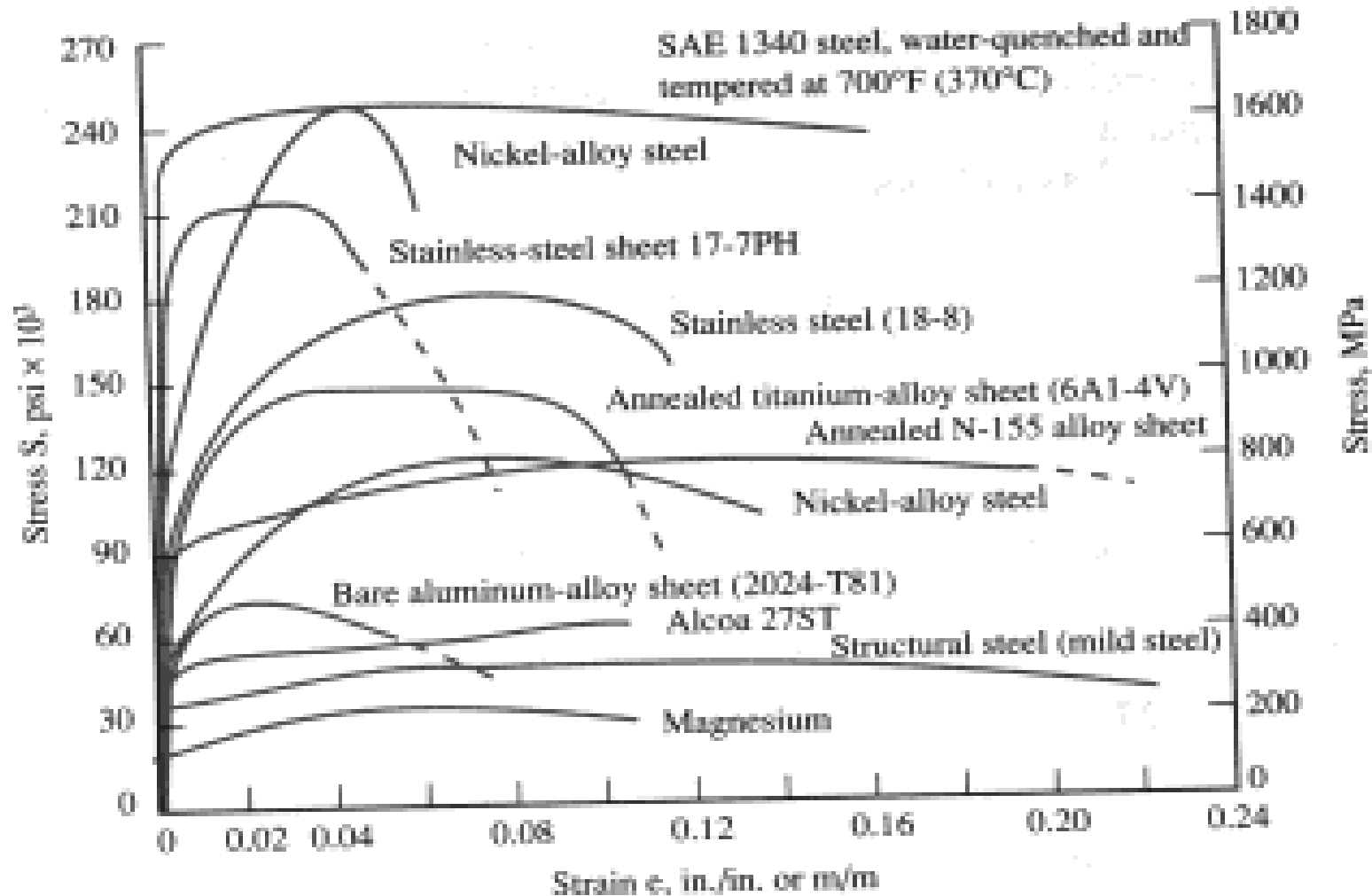
Propiedades mecánicas

Curva de carga-deformación de los metales





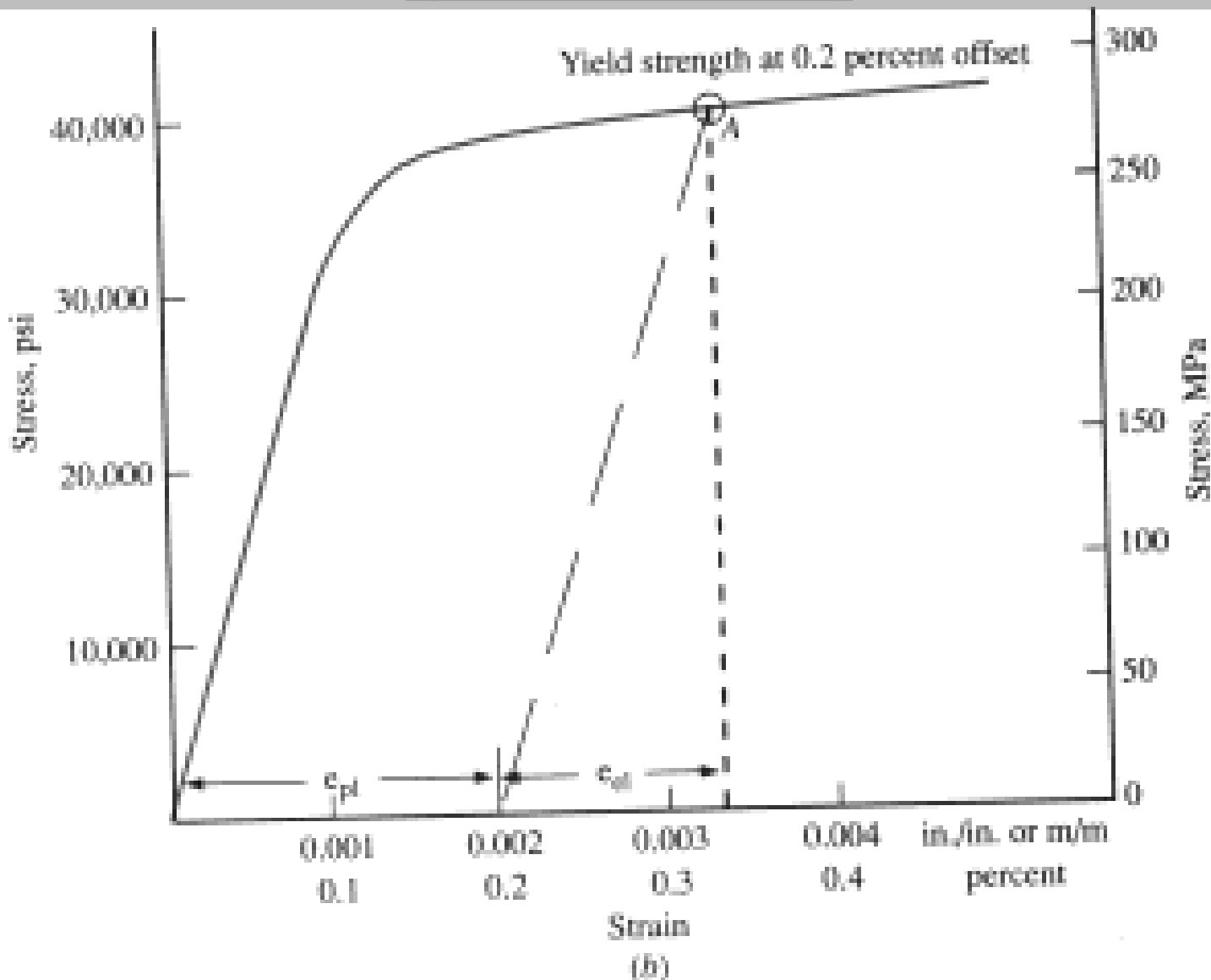
Curva de carga-deformación de aleaciones metálicas



(a)

Detalles de 0.2% para un acero laminado

(0.3% de carbón)



Curvas de carga-deformación de aceros de construcción

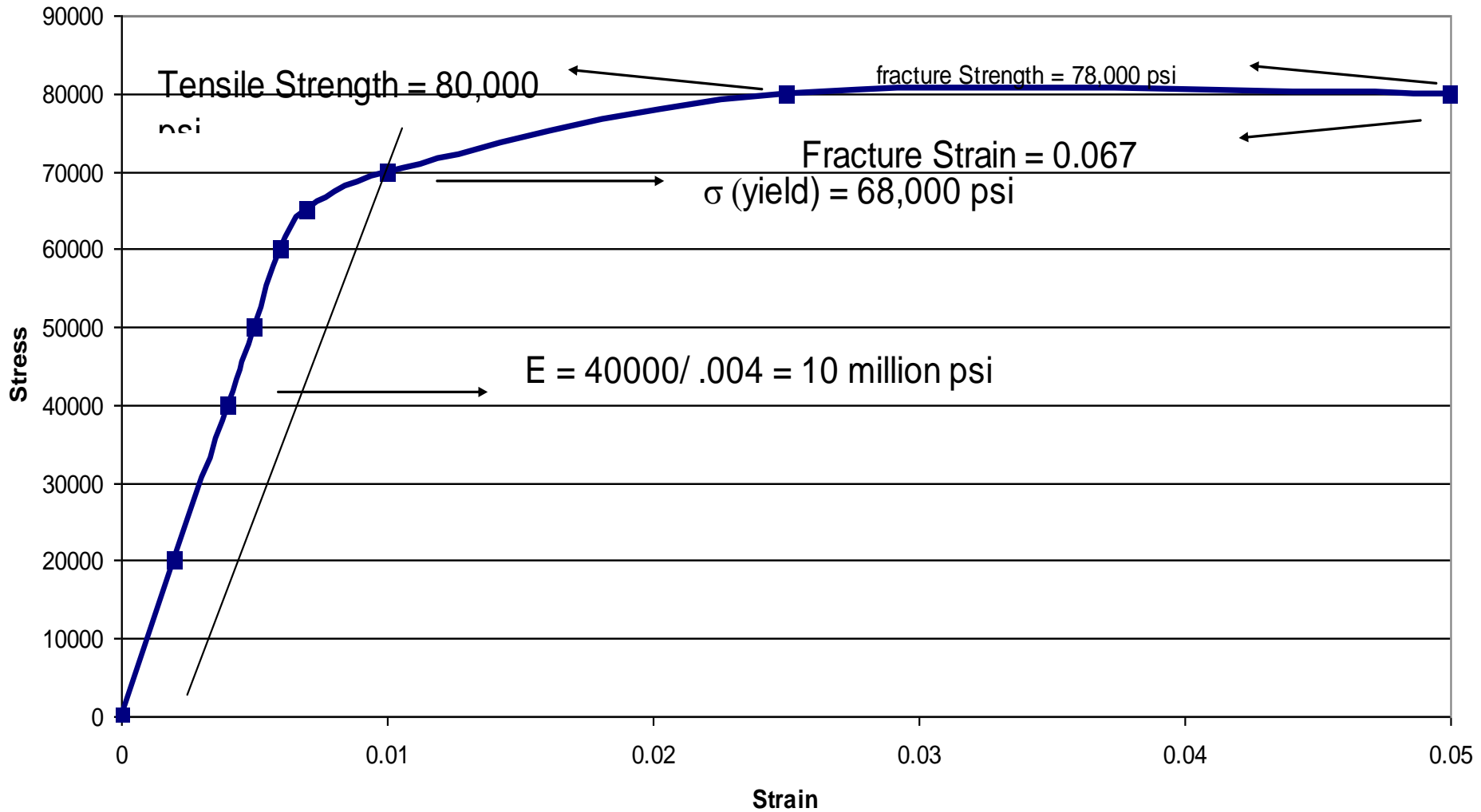
The following data were obtained for a high-strength aluminum alloy. A 0.505-in.-diameter (12.8 mm) tensile specimen with a 2-in. (50.8 mm) gage length was used. The load and gage length were obtained experimentally, whereas the stress and strain were calculated. Plot the engineering stress-strain curve.

<i>Load, lb</i>	<i>Stress, psi (MPa)</i>	<i>Gage Length, in.</i>	<i>Strain</i>
0	0	2.0000	0
4,000 $\times 5 =$	20,000 (138)	2.0041	0.002
8,000	40,000 (276)	2.0079	0.004
10,000	50,000 (345)	2.0103	0.005
12,000	60,000 (414)	2.0114	0.006
13,000	65,000 (449)	2.0142	0.007
14,000	70,000 (483)	2.0202	0.010
16,000	80,000 (552)	2.0503	0.025
16,000 (maximum)	80,000 (552)	2.0990	0.050
15,600 (fracture)	78,000 (538)	2.1340	0.067

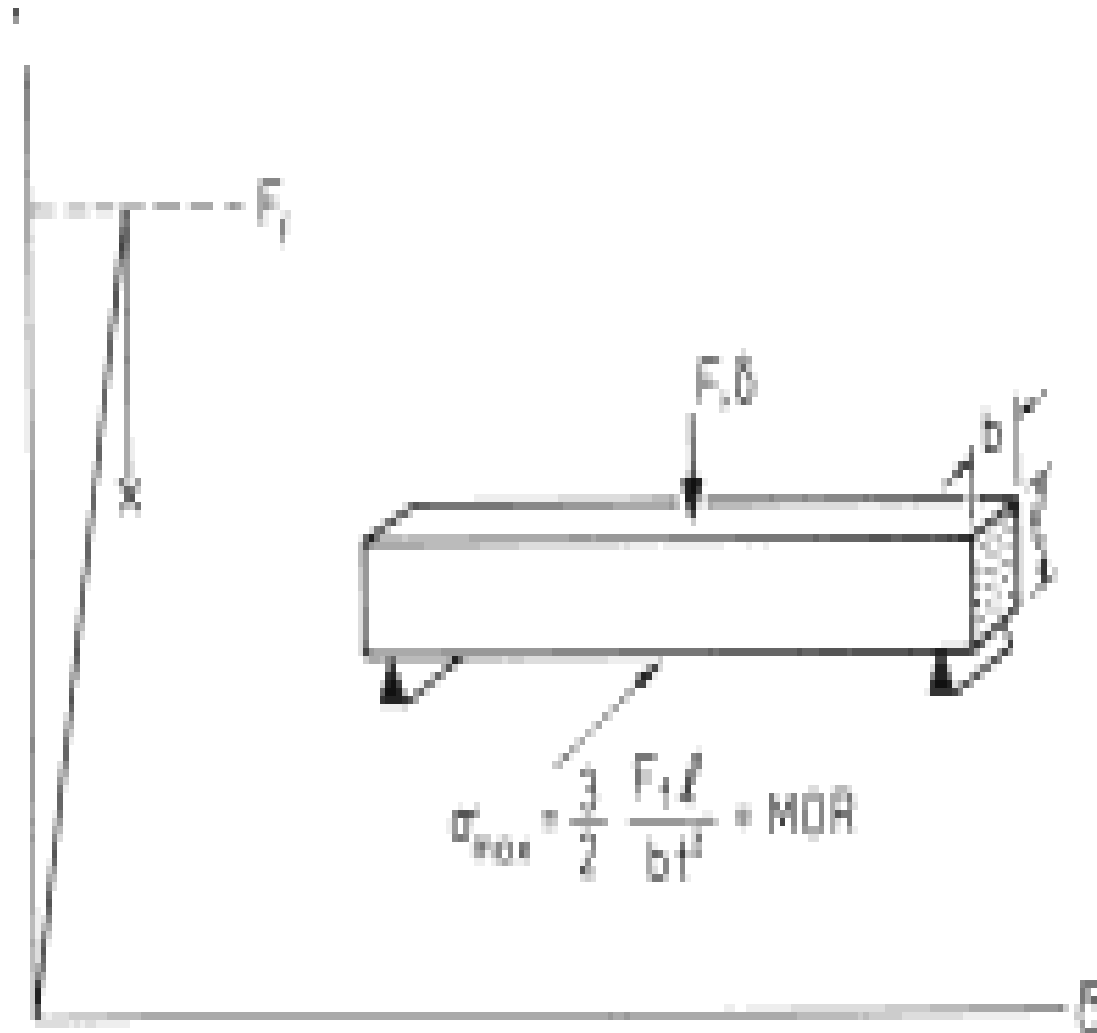
Calculate the modulus of elasticity, yield strength at 0.2% offset, percent elongation, and percent reduction of area. The diameters at maximum load and fracture are 0.485 in. (12.3 mm) and 0.468 in. (11.9 mm), respectively.

Construcción de una curva esfuerzo-deformación

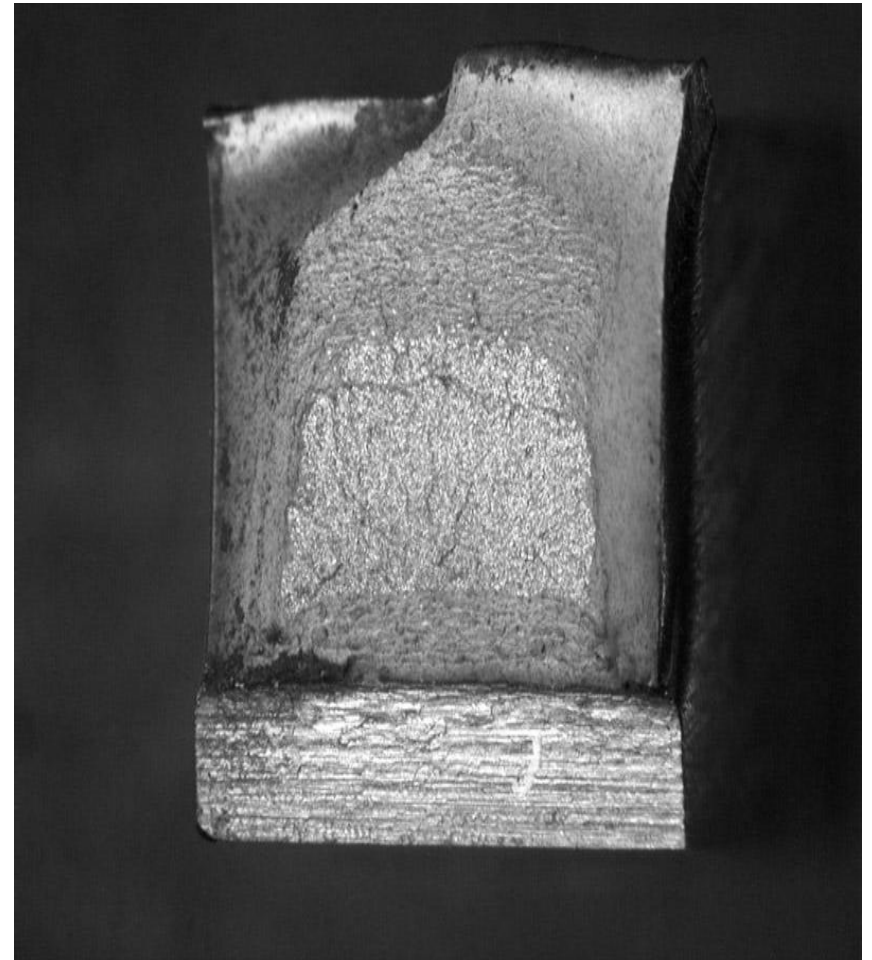
Stress Strain Curve for HS Aluminum



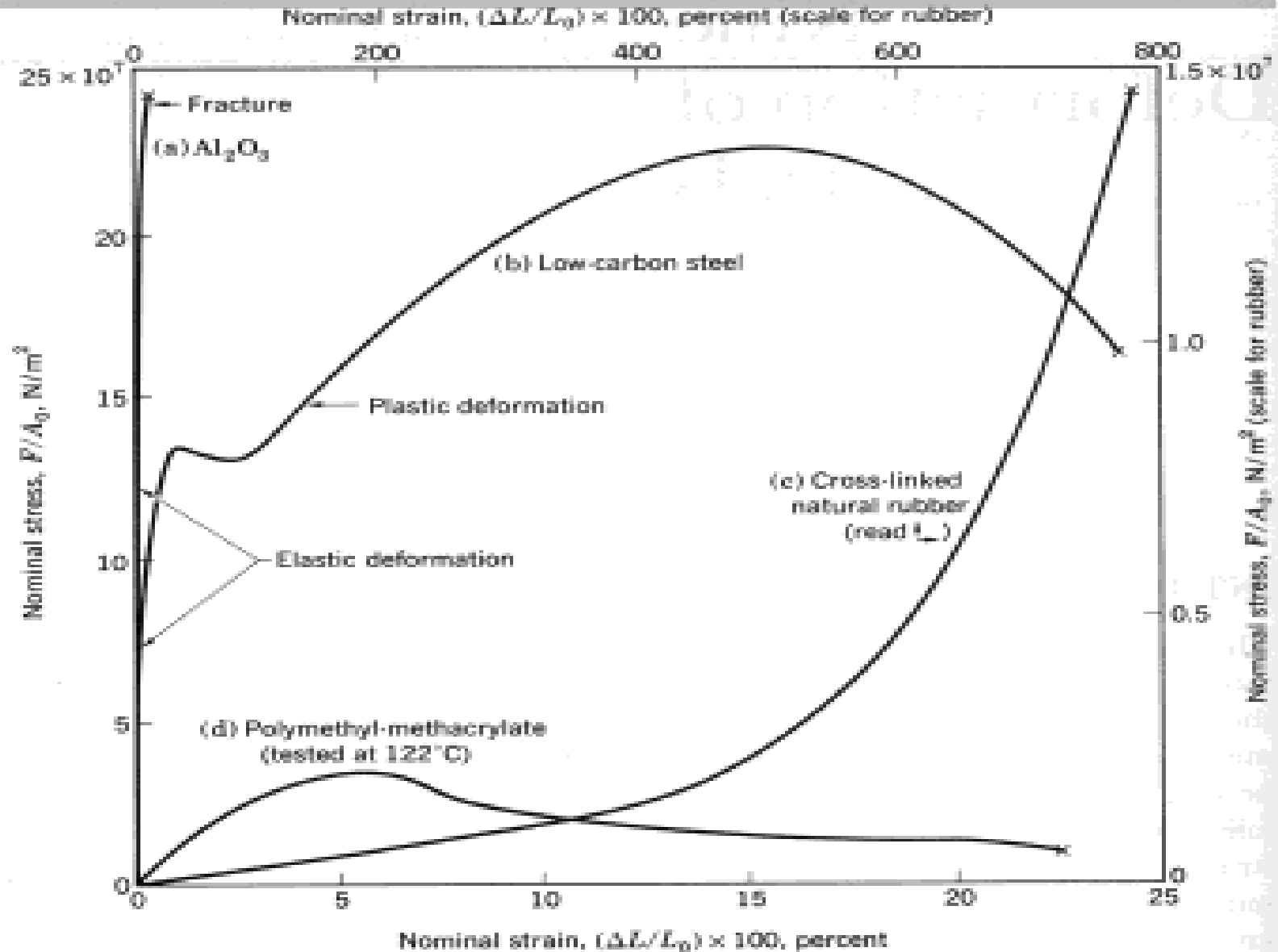
Prueba a la ruptura de materiales frágiles



Ruptura de materiales metálicos frágiles



Comparación de carga-deformación de Metales, Cerámicos, Polímeros y Elastomeros

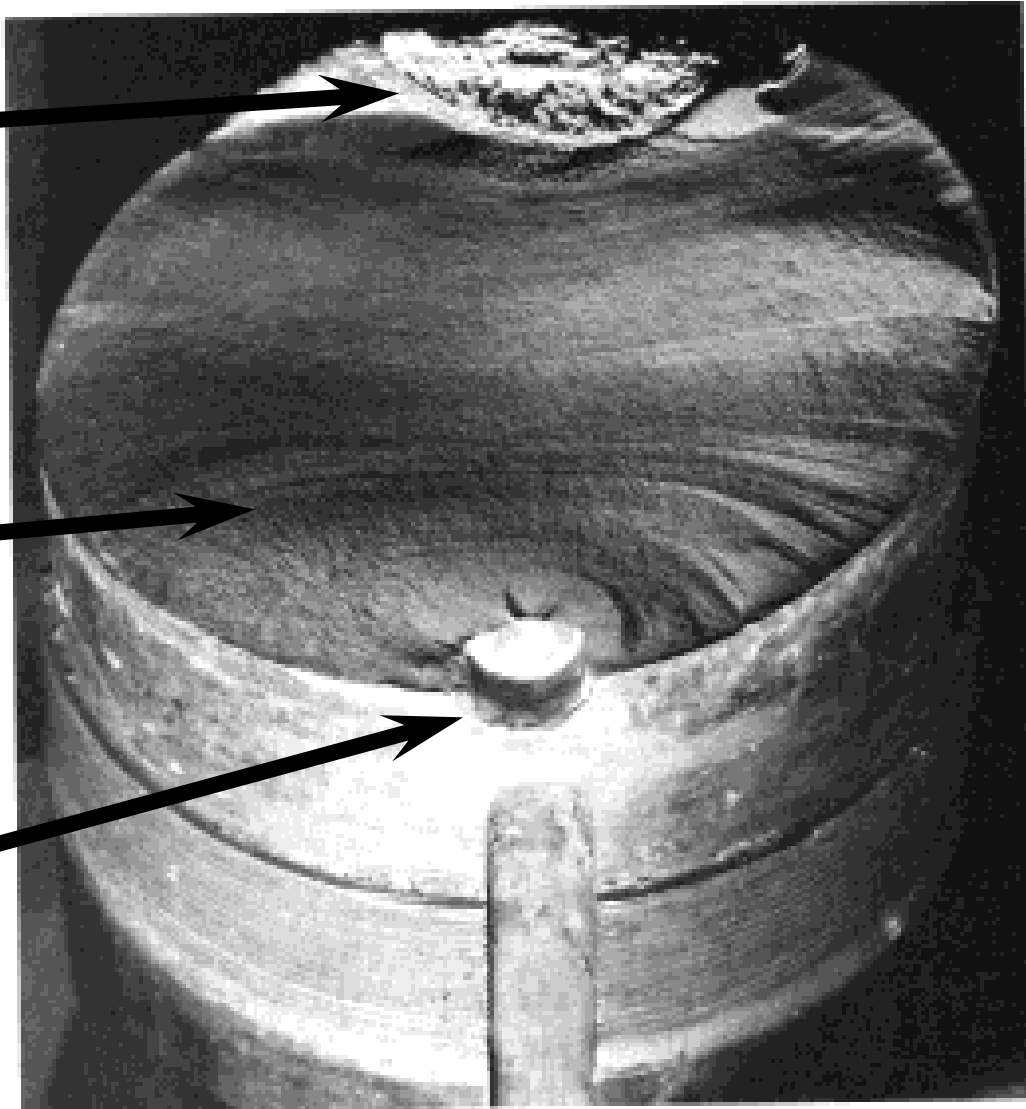


Falla por fatiga en aceros

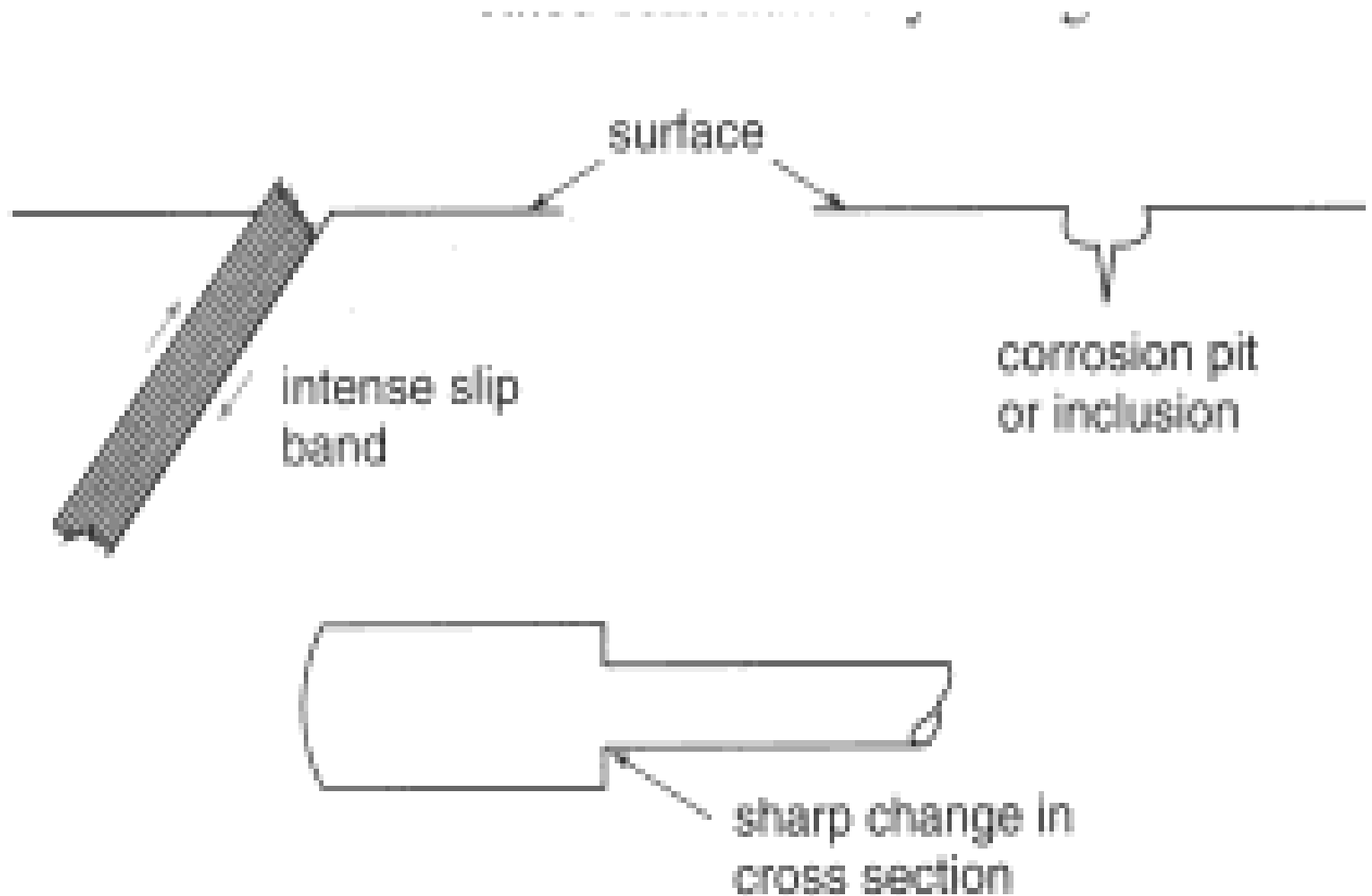
Fast fracture

Fatigue striations

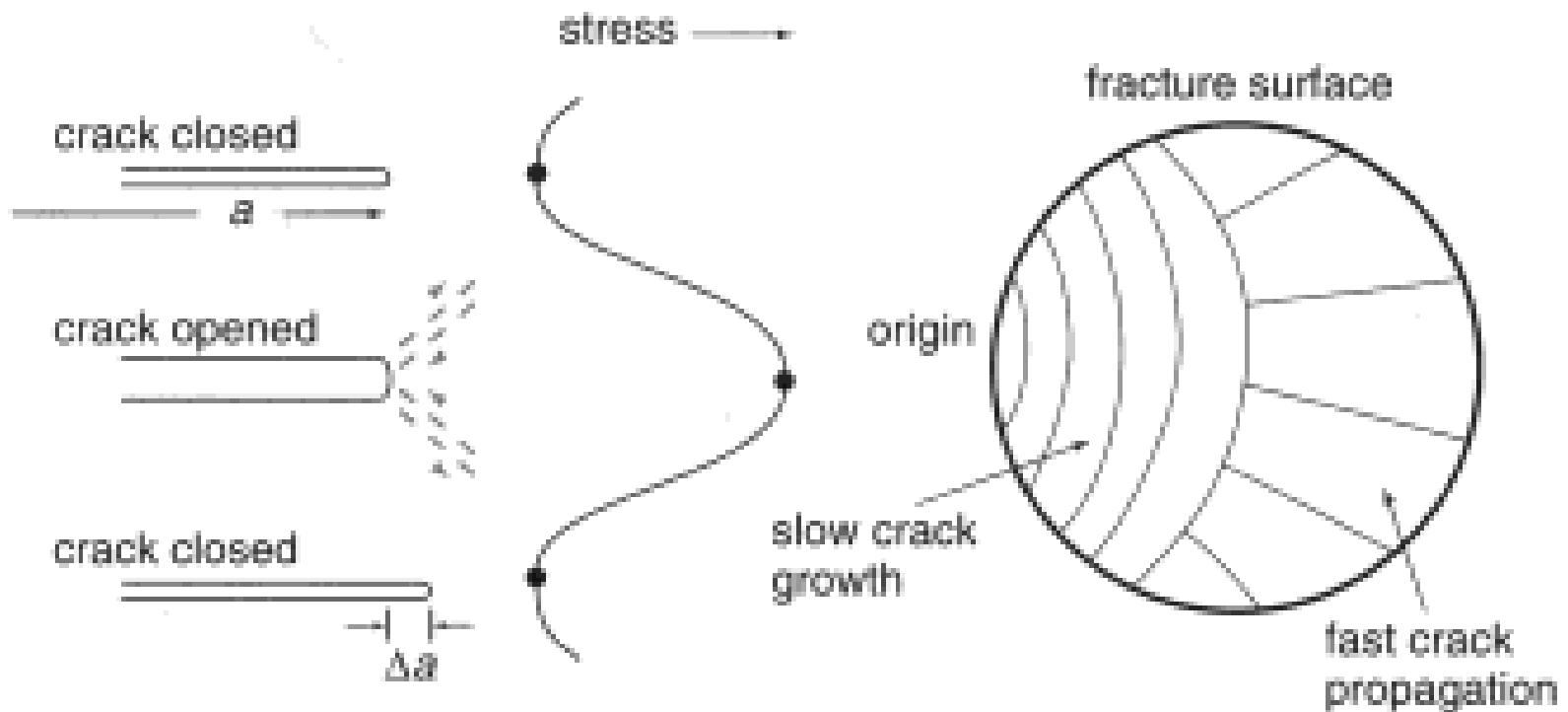
Crack origin



Origenes comunes en fractura por fatiga



Mecanismo de crecimiento de fractura por fatiga



Valores de constantes críticas

Table 7.3
Values of ΔK_0 for various materials

Material	Tensile strength (MPa)	Stress ratio, r	ΔK_0 (MPa \sqrt{m})
Ferrous			
Mild steel	430	-1	6.4
		0.13	6.6
		0.35	5.2
		0.49	4.3
		0.64	3.2
		0.75	3.8
Mild steel at 300°C	480	-1	7.1
		0.23	6.0
		0.33	5.8
Mild steel in brine	430	-1	~2.0
		0.64	1.15
Mild steel in brine with cathodic protection	430	0.64	3.9
Mild steel in tap water or SAE30 oil	430	-1	7.3
Low alloy steel	835	-1	6.3
		0	6.6
		0.33	5.1
		0.50	4.4
		0.64	3.3
		0.75	2.5
NiCrMoV steel at 300°C	560	-1	7.1
		0.23	5.0
		0.33	5.4
		0.64	4.9
Maraging steel	2010	0.67	2.7
18/8 Austenitic steel	685	-1	6.0
		0	6.0
		0.33	5.9
		0.62	4.6
		0.74	4.1
Grey cast iron	255	0	7.0
		0.50	4.5

Table 7.3 – continued
Values of ΔK_0 for various materials

Material	Tensile strength (MPa)	Stress ratio, r	ΔK_0 (MPa \sqrt{m})
Non-ferrous			
Aluminium	77	-1	1.0
		0	1.7
		0.33	1.4
L65 Aluminium alloy (4.5% Cu)	450	0.53	1.2
		-1	2.1
		0	2.1
		0.33	1.7
		0.50	1.5
L65 Aluminium alloy (4.5% Cu) in brine	495	0.67	1.2
		0.50	1.15
		0	0.83
ZW1 Magnesium alloy (0.6% Zr)	250	0.67	0.66
AM503 Magnesium alloy (1.6% Mn)	165	0	0.99
		0.67	0.77
Copper	225	-1	2.7
		0	2.5
		0.33	1.8
Titanium	540	0.60	2.2
		0	5.9
Nickel	455	-1	5.9
		0	7.9
		0.33	6.5
Monel	525	0.57	5.2
		0.71	3.6
		-1	5.6
		0	7.0
		0.33	6.5
Inconel	655	0.50	5.2
		0.67	3.6
		-1	6.4
		0	7.1
		0.57	4.7
	650	0.71	4.0