

TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro

- Clasificación de los materiales sólidos: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos

- Características, propiedades y comportamiento de los materiales

- Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen

- Difusión Capítulo 5 Callister

Capítulos 7 y 13 Reed
(apuntes)

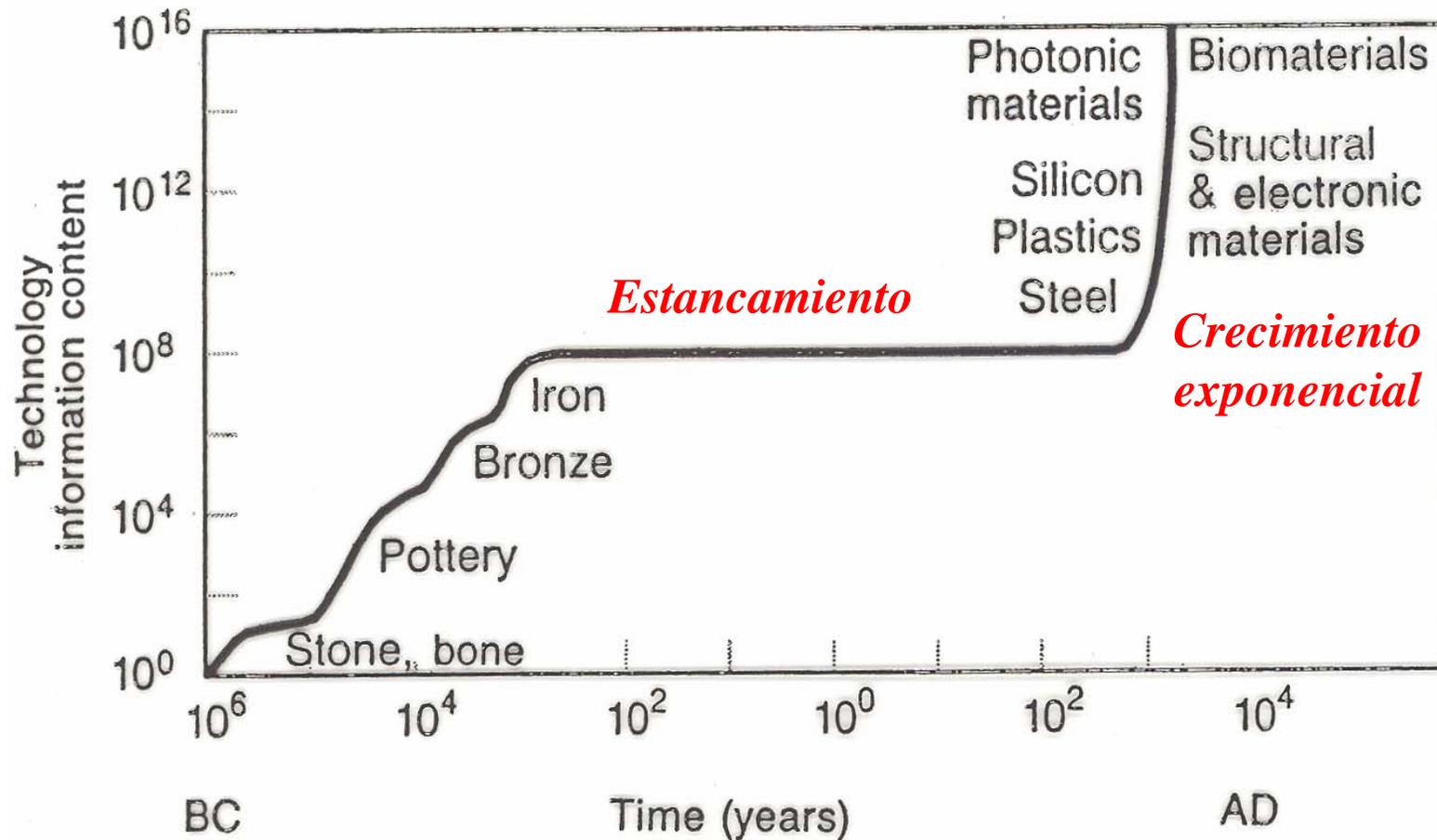
- Diagramas de fases Capítulo 9 Callister

- Rotura Capítulo 8 Callister

Capítulo 1 Callister

Evolución histórica de la tecnología de materiales

- ✓ Nuestra vida cotidiana está ligada a los materiales: vivienda, transportes, electrónica, energía, comunicación, etc.
- ✓ La evolución de la humanidad ha estado siempre asociada a los materiales



Ciencia e Ingeniería de los materiales: El presente

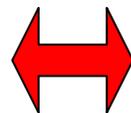
- Ciencia de los materiales

Investigar la relación entre la naturaleza de los materiales (estructura y composición química) y sus propiedades

- Ingeniería de los materiales

Diseñar o proyectar la macroestructura de un material para conseguir un conjunto determinado de propiedades. Se fundamenta en las relaciones entre la estructura y las propiedades

Elementos estructurares
(a todos los niveles)



Propiedades de los materiales
(Aplicaciones)

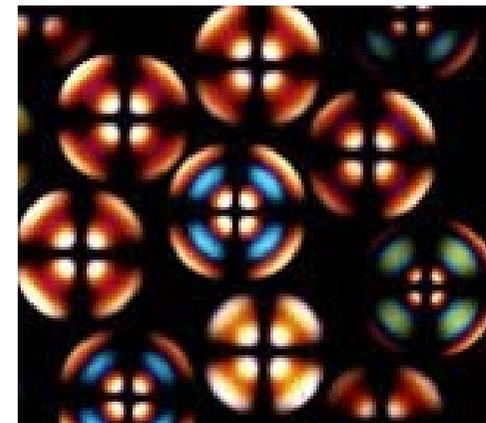
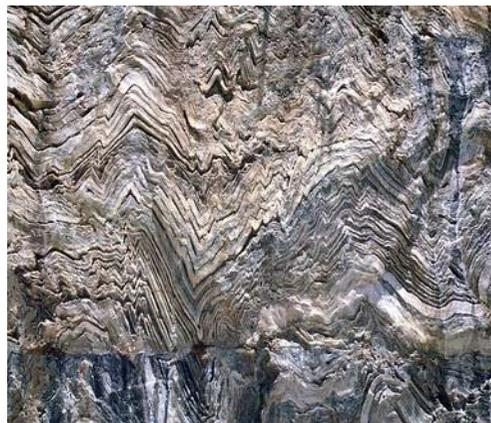
Ciencia e Ingeniería de los materiales

Estructura: Disposición de elementos estructurales (no implica orden necesariamente) y tipo de elementos estructurales

Los elementos estructurales de los materiales son los átomos o moléculas:

Estructura = estructura cristalina y composición química

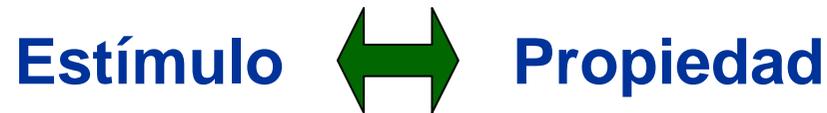
Estructura (cristalina, de moléculas, ...), microestructura, macroestructura, ... según la unidad estructural sean los átomos, unidades de material homogéneo de tamaño microscópico (fases) o de tamaño macroscópico (ordenación de microestructuras)



Ciencia e Ingeniería de los materiales

Propiedad: tipo y magnitud de la respuesta del material a un estímulo específico

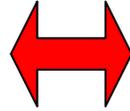
Material sometido a esfuerzos mecánicos experimenta deformación, la luz cuando incide en un espejo pulido se refleja, una corriente eléctrica aplicada a un material conductor eléctrico pasa a través del mismo, ...



- ✓ **Tipos de Propiedades:** MECÁNICAS, ELÉCTRICAS, TÉRMICAS, MAGNÉTICAS, ÓPTICAS Y QUÍMICAS
- ✓ **Estímulos:** Carga o fuerza aplicada, campo eléctrico, condiciones térmicas, campo magnético, radiación electromagnética (lumínica), y condiciones químicas

Elementos estructurares

(a todos los niveles)



Propiedades de los materiales

(Aplicaciones)

Las propiedades de los materiales son decisivas a la hora de elegir un material para una determinada aplicación

Criterios de selección:

- Propiedades requeridas por el material para que preste un determinado servicio. Raramente un material reúne todas las propiedades requeridas \Rightarrow Compromiso de propiedades
- Vida en servicio: Durabilidad del material en las condiciones de uso (en servicio)
- Consideraciones económicas

El futuro

Materiales avanzados

Las nuevas tecnologías requieren materiales cada vez más sofisticados y especializados

- Telecomunicaciones y computación
- Nuevas fuentes de energía (células solares, pilas de combustible, nuevos combustibles y recipientes nucleares, ...)
- Calidad medioambiental (control de la contaminación)
- Transportes de rendimiento optimizado y ecológicos
- Materiales alternativos de fuentes renovables o sostenibles (reciclado)

Reto de la ingeniería de materiales: *Desarrollar nuevos materiales con propiedades mejoradas (o comparables) y con menos impacto medioambiental*

TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro
- **Clasificación de los materiales sólidos: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos**
- Características, propiedades y comportamiento de los materiales
- Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen
- Difusión
- Diagramas de fases
- Rotura

Materiales sólidos

- Soportan su propio peso (*no se deforman bajo la acción de la gravedad*)
- Soportan esfuerzos (*estructurales*)

Se clasifican según su composición química y estructura en:

METÁLICOS

Metales y
aleaciones
(inorgánicos)

CERÁMICOS

Inorgánicos no
metálicos
(metal-no metal)

POLIMÉRICOS

Moléculas de gran
longitud
(orgánicos)

COMPUESTOS

Distintas fases en forma sólida consolidada

Semiconductores

Es una propiedad, clasificación atendiendo a sus propiedades

Representativos (bloque s)

Representativos (bloque p)

(bloque d)

Transición interna (bloque f)

Transición (bloque d)

NO METALES

METALES

PERIODOS

GRUPOS

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

TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro
- Clasificación de los materiales sólidos: metálicos cerámicos, poliméricos y compuestos
- **Características, propiedades y comportamiento de los materiales**
- Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen
- Difusión
- Diagramas de fases
- Rotura

Características, propiedades y comportamiento

Características: Composición y estructura (identificar y describir la naturaleza del material) *Caracterizar un material es averiguar qué es*

* **Materiales homogéneos** idéntica composición y estructura

Propiedades: Respuesta del material a cambios físicos o químicos del ambiente en el que se encuentra (estímulos) *Conductividad térmica, módulo elástico, constante dieléctrica, reflectividad, etc.*

* **Materiales anisótropos** si determinada propiedad varía según la dirección en la que se aplique el estímulo

Comportamiento: Respuesta del material en las condiciones de trabajo *En las condiciones de trabajo se dan toda una serie de estímulos que pueden o no estar interrelacionados*

TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

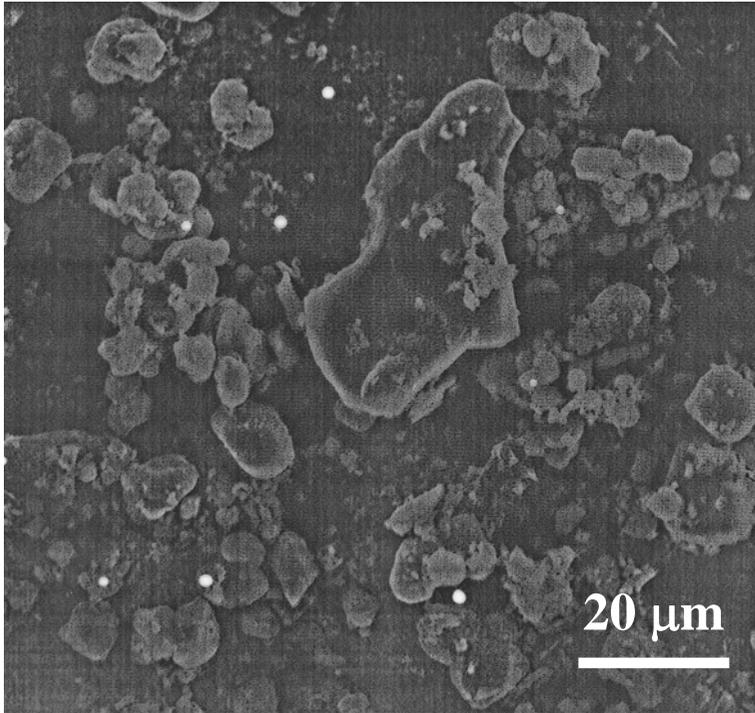
- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro
- Clasificación de los materiales sólidos: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos
- Características, propiedades y comportamiento de los materiales
- **Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen**
- Difusión
- Diagramas de fases
- Rotura

Capítulos 7 y 13 Reed

Sistemas materiales dispersos

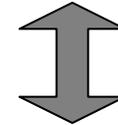
Materiales sólidos finamente divididos

Cada partícula es un sólido, el conjunto del sistema material presenta algunas propiedades más relacionadas con los líquidos (fluencia)



Comportamiento del sistema:

Fuerzas gravitacionales (FG)



Fuerzas superficiales (FS)

✓ $FG > FS$ Sistema **granular**

✓ $FG = FS$ Sistema en **polvo**

✓ $FG < FS$ Sistema **coloidal**

Sistemas materiales dispersos

✓ Sistema **granular** (FG > FS)

*Tamaños superiores a 44 μm
(sedimentan)*

✓ Sistema en **polvo** (FG = FS)

*Entre 1 y 44 micras
(tiempos de sedimentación muy largos)*

✓ Sistema **coloidal** (FG < FS)

*Tamaños inferiores a 1 μm y mayores de 1 nm
(movimiento Browniano)*

** Por muy pequeña que sea una partícula, puede tener porosidad y estar formada por varias fases*

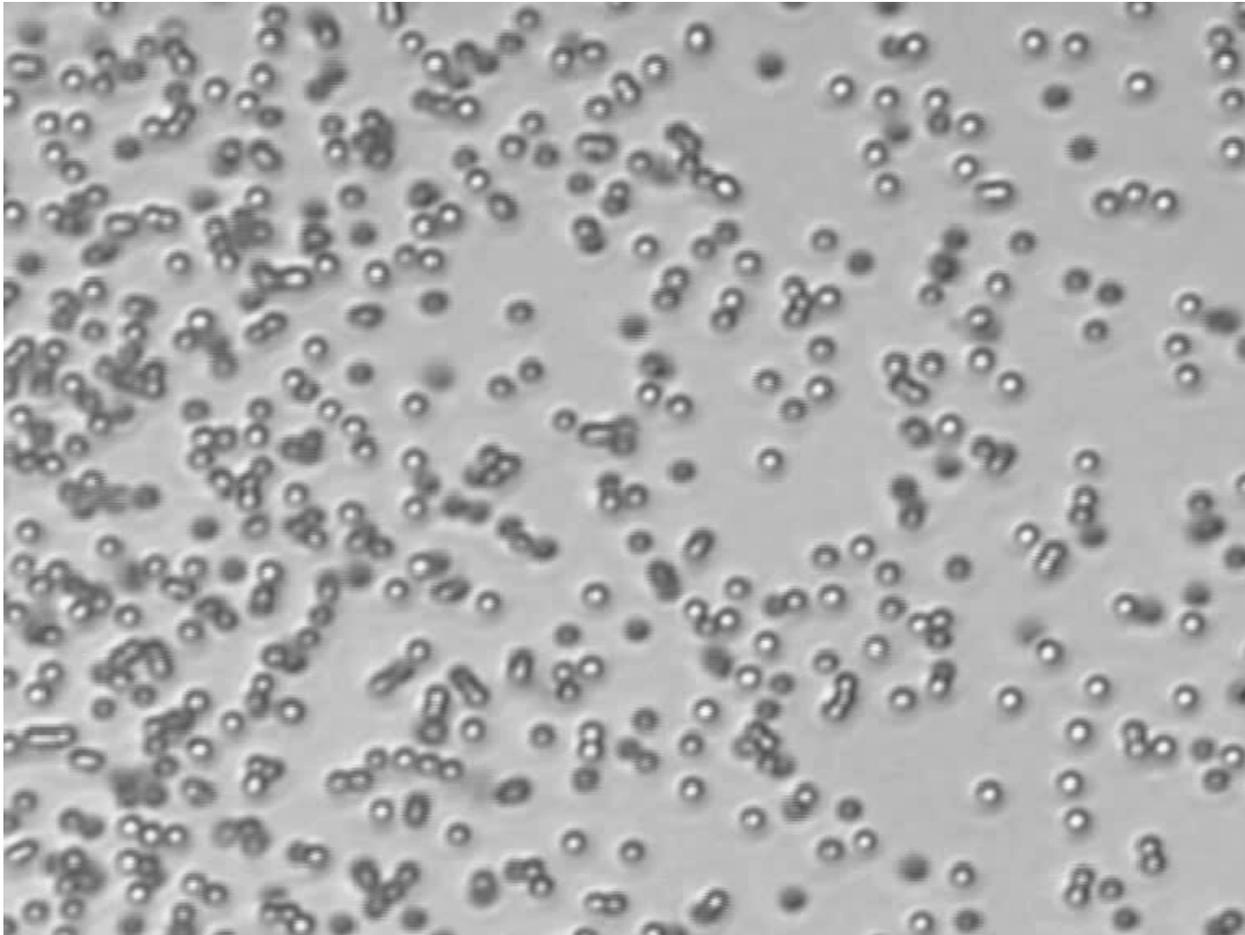
Escala de Wentworth

Nombre del grado		mm	Micras	
Grava	Cantos (grandes) (boulders)	Muy grandes	4096	
		Grandes	2048	
		Medianos	1024	
	Cantos (medianos) (cobbles)	Pequeños	512	
		Grandes	256	
		Pequeños	128	
		Muy gruesos	64	
	Cantos (pequeños) (pebbles)	Gruesos	32	
		Medianos	16	
		Finos	8	
Muy finos		4		
Muy gruesa		2		
Arena	Gruesa	1	1000	
	Mediana	0,5	500	
	Fina	0,25	250	
	Muy fina	0,125	125	
	Grueso	0,0625	62	
Limo	Mediano	0,0312	31	
	Fino	0,016	16	
	Muy fino	0,008	8	
	Gruesa	0,004	4	
Arcilla	Mediana	0,002	2	
	Fina	0,001	1	
	Muy fina	0,0005	0,5	
	(Coloides hasta 0,001 micras)	0,00024	0,24	

Sistemas materiales dispersos

✓ Sistema coloidal (FG < FS) $1 \mu m \leq a \leq 1 nm$

Movimiento Browniano:



Caracterización de sistemas materiales dispersos

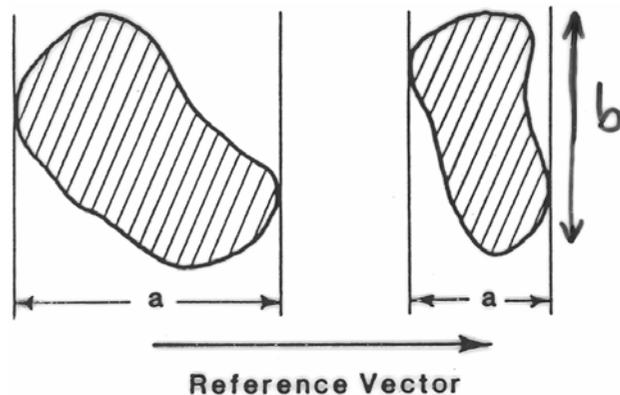
1) Seleccionar una muestra representativa de todo el sistema

2) Caracterizar individualmente las partículas

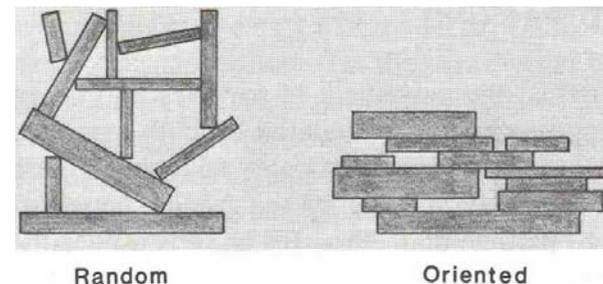
✓ Composición química y estructura de cada partícula (cada partícula puede ser o no homogénea, tener o no porosidad, etc.)

✓ Tamaño y forma de cada partícula

* Para comparar **tamaños**: Longitud característica (**a**, y también **b**)



La **forma** también es muy importante:



* Para estudiar la **forma**: Relación de aspecto (**b/a**)

Caracterización de sistemas materiales dispersos

1) Seleccionar una muestra representativa de todo el sistema

2) Caracterizar individualmente las partículas

3) Caracterizar el sistema de partículas en su conjunto

* **Magnitudes promedio y abundancia relativa de cada tipo de partícula:**

(funciones distribución a partir del estudio individual de las partículas)

✓ Distribución de fases, distribución de composición, distribución de estructuras

✓ Distribución de tamaños y formas de las partículas del sistema

* **Características propias del sistema total:**

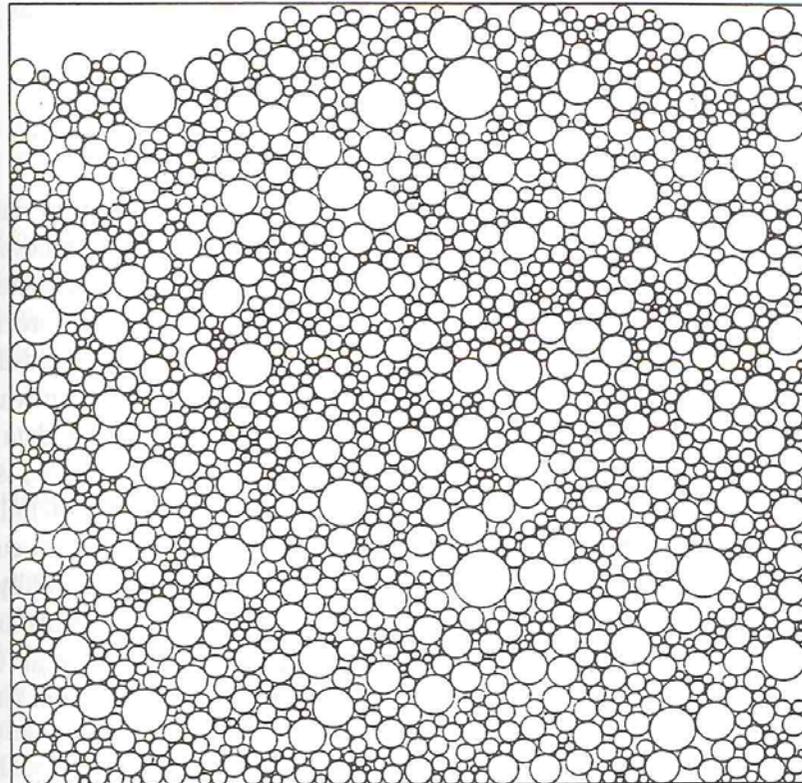
✓ Densidad de partículas

✓ Estructura del sistema de partículas

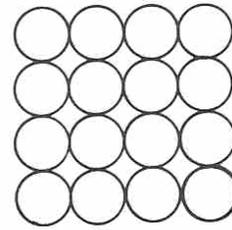
✓ Distribución de porosidad del sistema disperso *(huecos entre las partículas)*

Caracterización del sistema de partículas

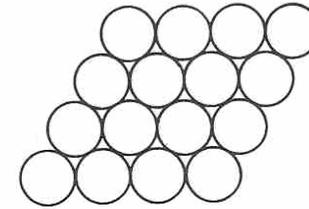
- *Distribución de tamaño y forma del sistema de partículas (presencia de dominios)*
- *Estructura de los espacios vacíos (poros)*



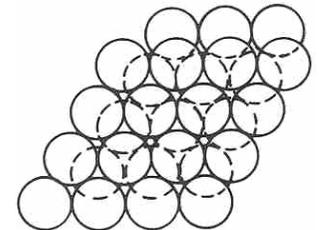
Estructura del sistema de partículas



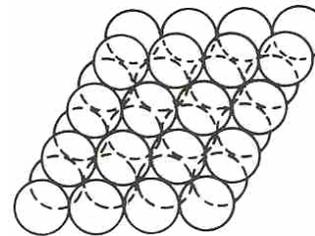
Cubical



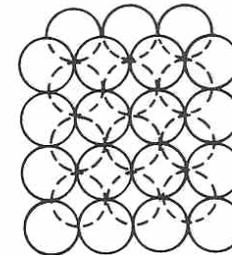
Orthorhombic



Tetrahedral

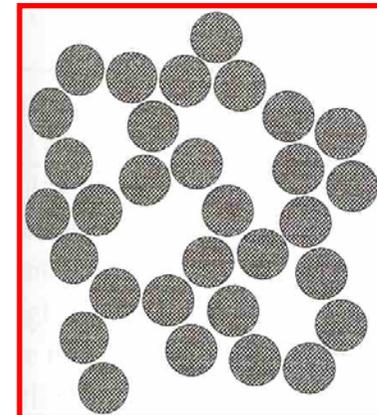
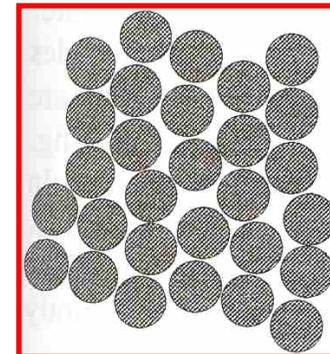


Tetragonal



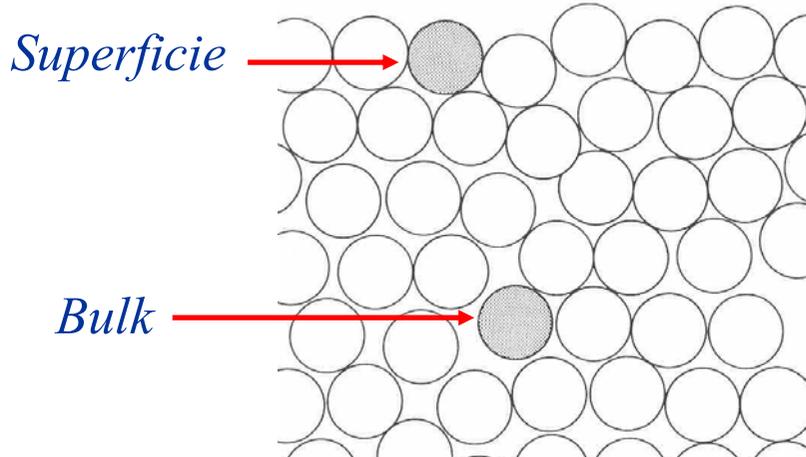
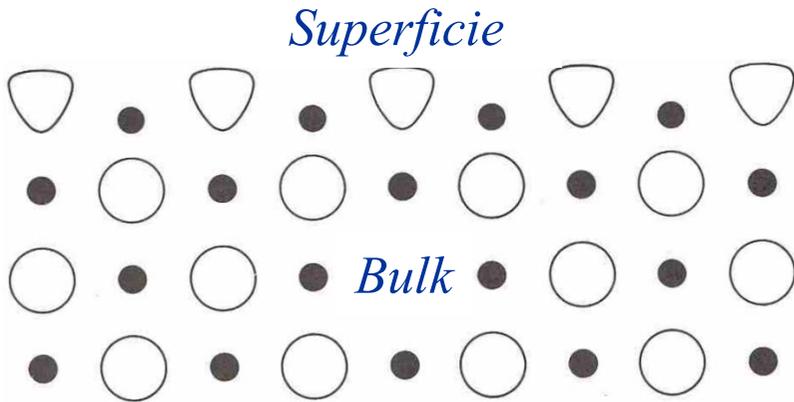
Pyramidal

Densidad de partículas



La superficie y el volumen

La superficie: última capa de átomos del material sólido (del orden de los Angstroms (10^{-10} m))



- ✓ Las características de un átomo de la superficie son diferentes que las de un átomo en el interior del material (en el bulk)
- ✓ La superficie se puede considerar un defecto estructural del material (la estructura se rompe bruscamente)
- ✓ Mientras menor tamaño de partícula (a), mayor es su relación S/V , y mayor importancia cobra la superficie

Ejercicio: $V_{total} = 1 \text{ m}^3$, $a_1 = 1 \text{ mm}$, $a_2 = 1 \text{ }\mu\text{m}$.
Calcula S/V para cada uno de los dos sistemas

La superficie y el volumen

Superficie e interfases:

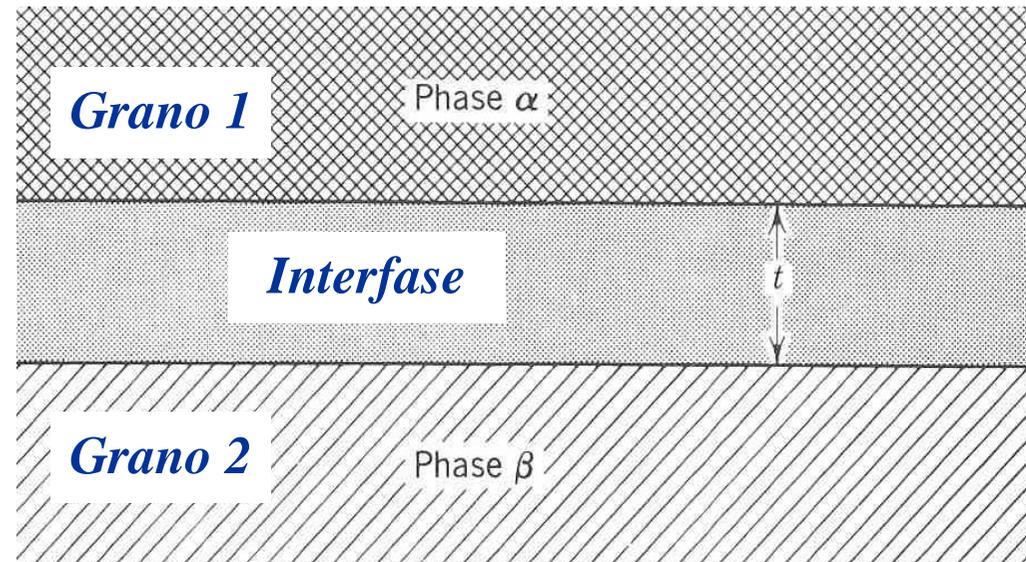
✓ La superficie es lo que ve un grano de material del grano vecino cuando se procesa un material en polvo para obtener un objeto voluminoso

✓ Las características de la superficie determina las características de las interfases (zonas entre granos).

Una superficie expuesta al ambiente adsorbe átomos y moléculas, por lo que la concentración de impurezas en las interfases suele ser más elevada

✓ La superficie regula la difusión de especies desde el exterior hacia el interior del material

✓ La superficie es algo difícil de estudiar: Sólo unas pocas técnicas de análisis de materiales nos dan información sobre la superficie

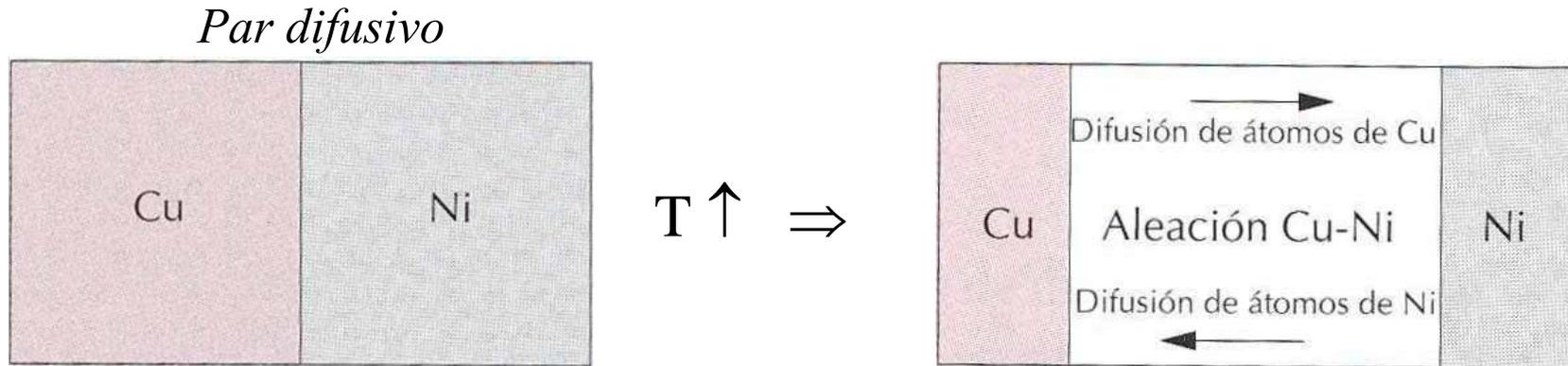


TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro
- Clasificación de los materiales sólidos: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos
- Características, propiedades y comportamiento de los materiales
- Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen
- **Difusión** *Capítulo 5 Callister*
- Diagramas de fases
- Rotura

Difusión

Fenómeno de transporte de átomos o especies en el seno de un material



Los átomos en el sólido están vibrando continuamente debido a la energía térmica (**temperatura**), y pueden saltar de una posición a otra en la red siempre que *encuentren un sitio vacío* y tengan *energía suficiente* para romper los enlaces con los vecinos

*** Los tratamientos térmicos favorecen la difusión**

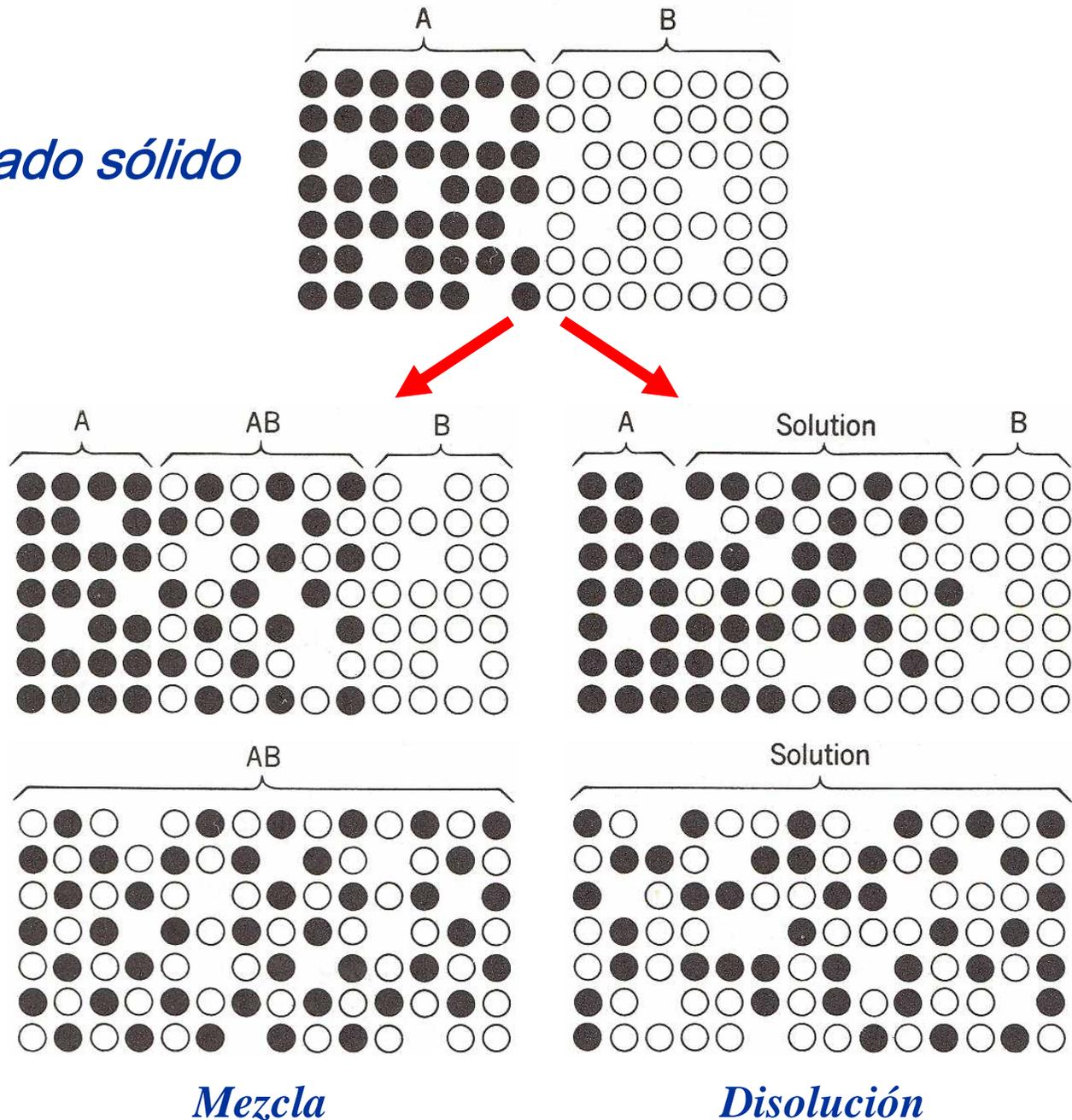
Difusión

Disoluciones de estado sólido

Interdifusión o difusión

de impurezas: un átomo extraño difunde en el material en el material

Autodifusión: los propios átomos del material difunde (se mueven) dentro de su misma red



Mecanismos de difusión

Difusión por vacantes

Difusión intersticial

Intercambio

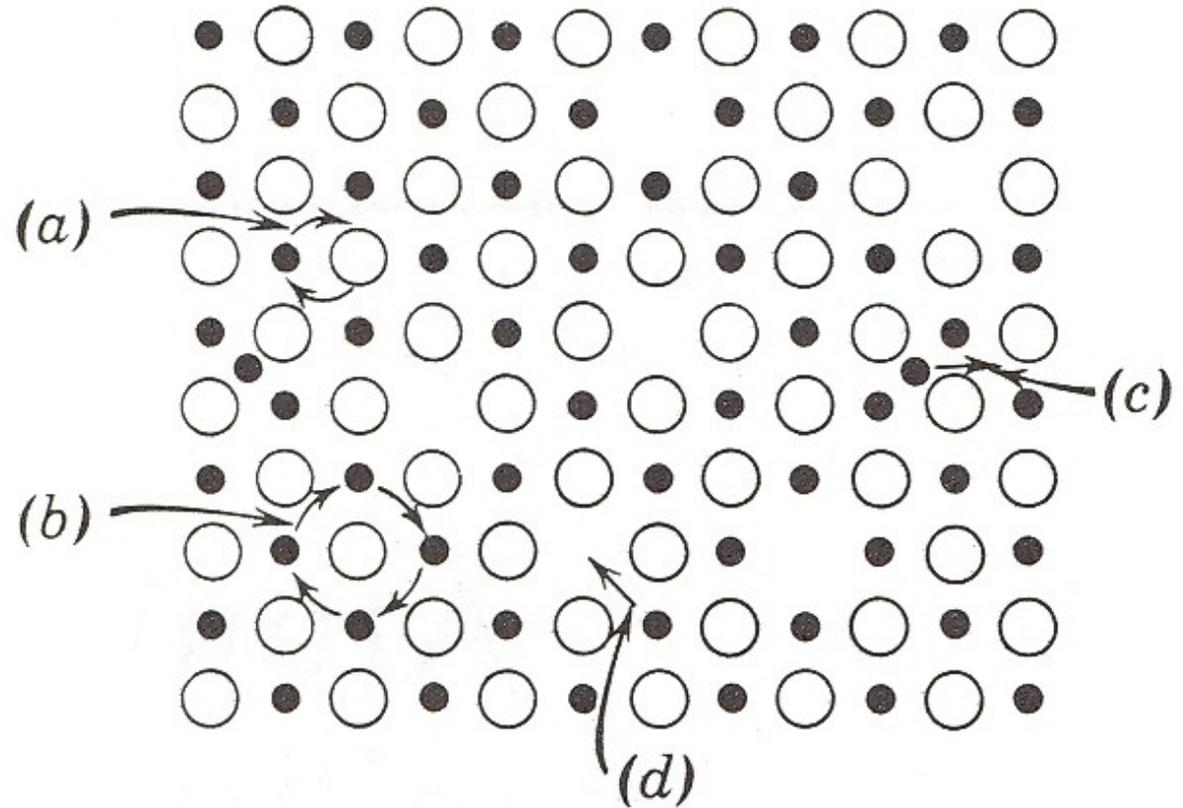
Rotación

a) Intercambio

b) Rotación

c) Difusión intersticial

d) Difusión por vacantes



Difusión en estado estacionario

Flujo de Difusión: $J = \frac{M}{A t}$

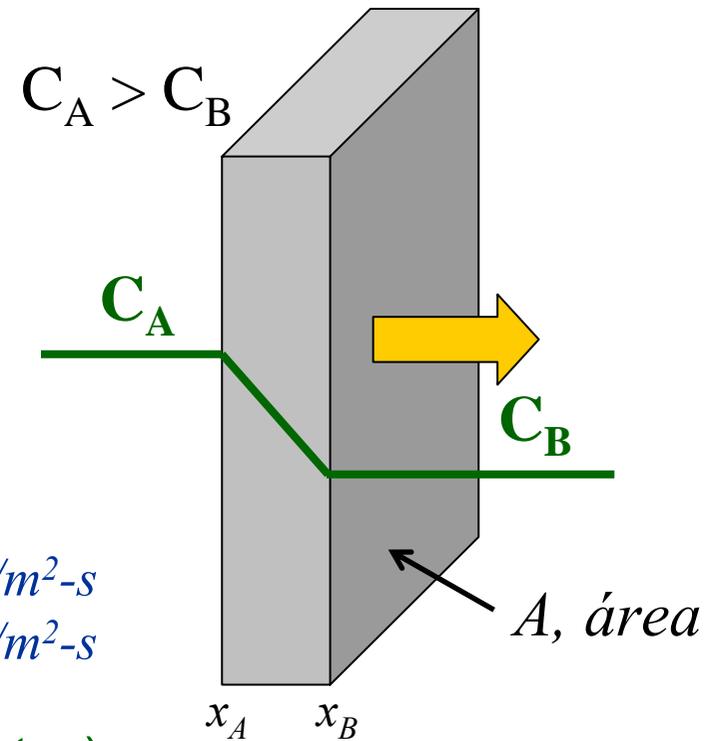
M masa o n° de átomos

A área

t tiempo de la difusión

$$J = -\frac{1}{A} \frac{dM}{dt}$$

Unidades: $\text{Kg/m}^2\text{-s}$
 $\text{átomos/m}^2\text{-s}$



Estado estacionario:

el flujo no cambia con el tiempo (C_A y C_B constantes)

Suponiendo que sólo hay difusión en la dirección x , multiplicando y dividiendo por la velocidad de la especie (μ_e) y siendo $C = M/V$, entonces

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

Primera ley de Fick

Para gradiente de concentración lineal:

$$J = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

D es el coeficiente de difusión ($\mu_e \cdot l$)

Unidades: m^2/s

Difusión en estado no estacionario

En la mayoría de los procesos difusivos reales se produce acumulación o agotamiento de la especie que difunde

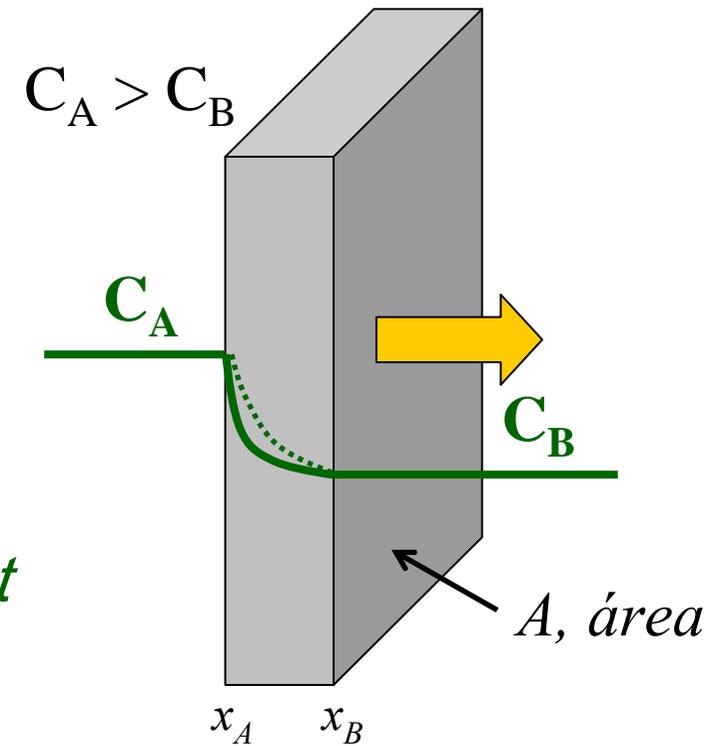
- *El flujo de difusión varía con t*
- *El gradiente de concentración varía con t*

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

Si el coeficiente de difusión es independiente de la concentración:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Segunda ley de Fick



Difusión en estado no estacionario

Segunda ley de Fick

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

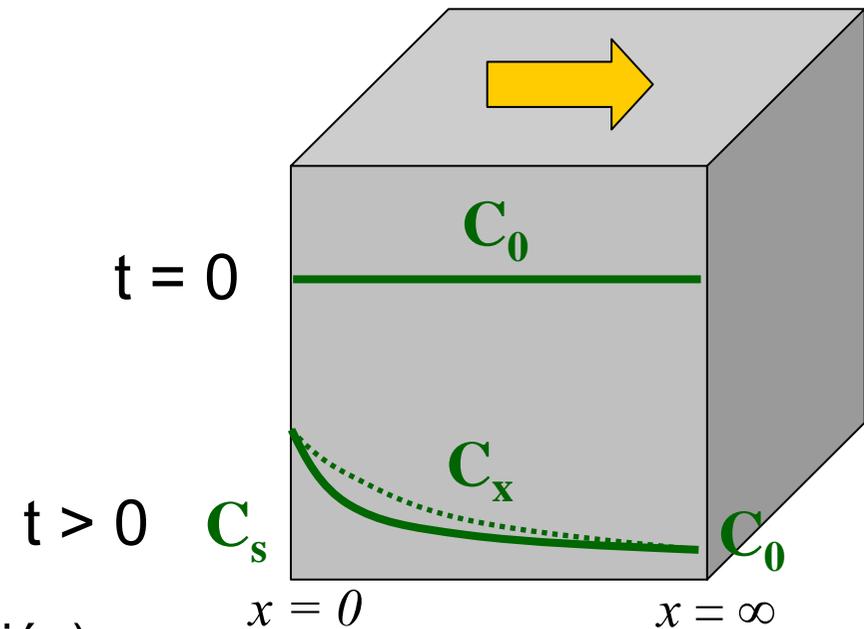
Condiciones de contorno de sólido semiinfinito:

- Se toma $x = 0$ en la superficie del sólido
- En $t = 0$ (instante en el que comienza la difusión)
 $C = C_0$ para $0 \leq x \leq \infty$ los átomos difusivos están uniformemente distribuidos
- En $t > 0$ (cuando ya hay difusión)
 $C = C_s$ (concentración superficial constante) para $x = 0$
 $C = C_0$ para $x = \infty$

Solución de la ecuación:

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{ferr}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

$$\text{ferr}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy \quad \text{Función error gaussiana} \quad (\text{está tabulada})$$



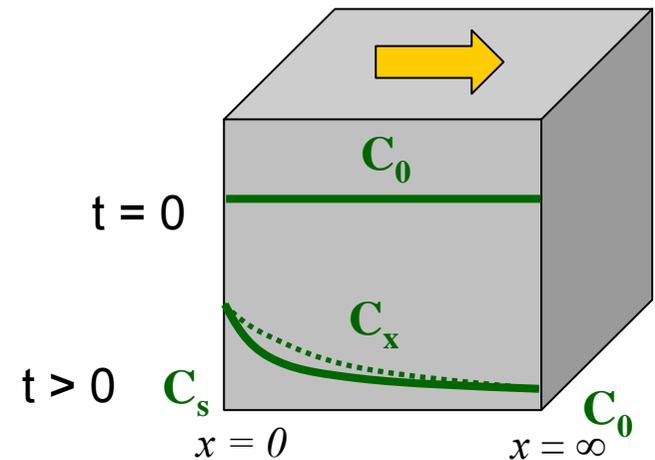
Difusión en estado no estacionario

Segunda ley de Fick

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Sólido semiinfinito:

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{ferr}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$



Valores de la función error gaussiana:

$$\text{ferr}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy$$

z	$\text{ferr}(z)$	z	$\text{ferr}(z)$	z	$\text{ferr}(z)$
0	0	0,55	0,5633	1,3	0,9340
0,025	0,0282	0,60	0,6039	1,4	0,9523
0,05	0,0564	0,65	0,6420	1,5	0,9661
0,10	0,1125	0,70	0,6778	1,6	0,9763
0,15	0,1680	0,75	0,7112	1,7	0,9838
0,20	0,2227	0,80	0,7421	1,8	0,9891
0,25	0,2763	0,86	0,7707	1,9	0,9928
0,30	0,3286	0,90	0,7970	2,0	0,9953
0,35	0,3794	0,95	0,8209	2,2	0,9981
0,40	0,4284	1,0	0,8427	2,4	0,9993
0,45	0,4755	1,1	0,8802	2,6	0,9998
0,50	0,5205	1,2	0,9103	2,8	0,9999

Conocidos C_0 ,
 C_s , y D , se puede
calcular C_x para
cierto x y t

(Repasar problema resuelto del Callister en pag. 103)

Factores de los que depende la difusión

- El átomo difusor: Como norma general mientras más pequeño mayor difusión. Cada especie tiene un coeficiente de difusión diferente para cada tipo de material donde difunde
- La temperatura: Mayor D a mayor T con la dependencia:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$$

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{Q_d}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

D_0 factor de frecuencia (independiente de T)

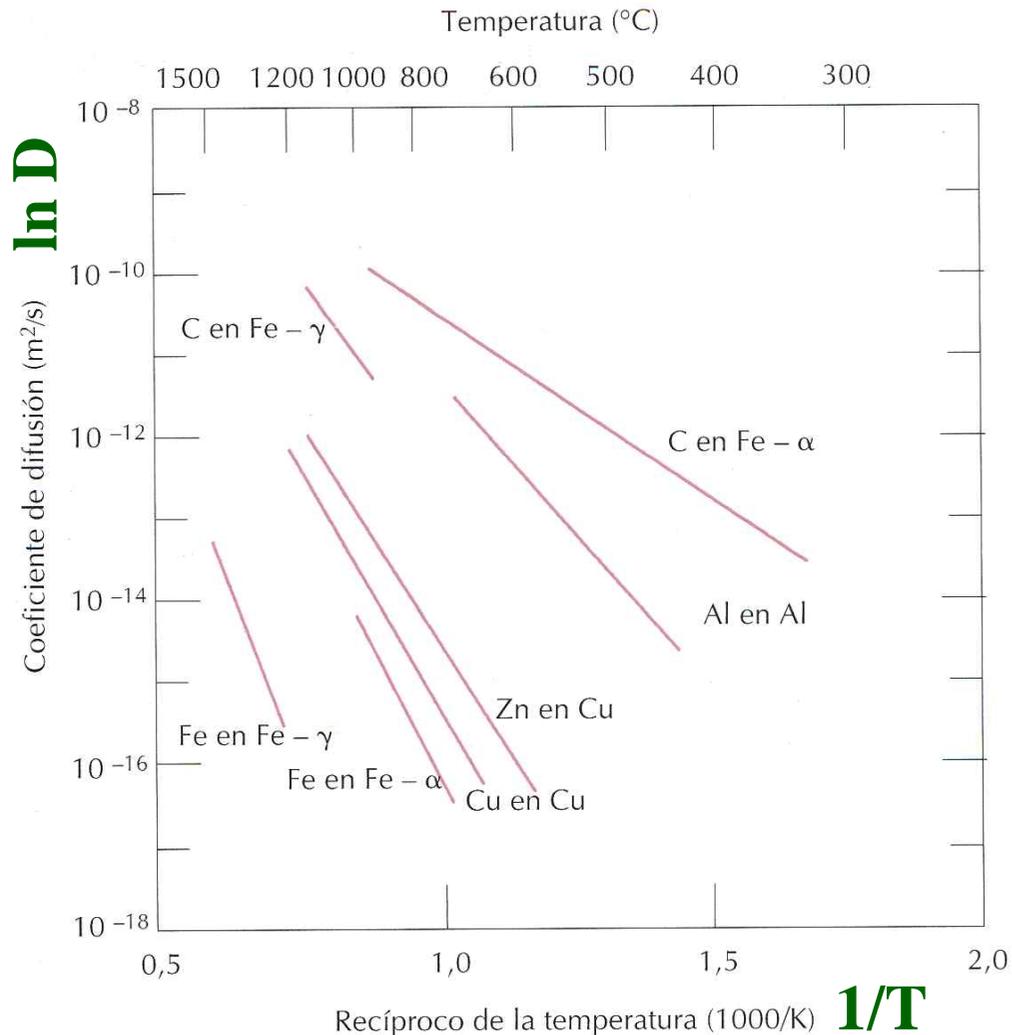
Q_d energía de activación para la difusión (J/mol)

R constante de los gases

T temperatura absoluta (K)

✓ **Energía de activación**: energía necesaria para que difunda un mol de átomos
Umbral de energía

Factores de los que depende la difusión



$$\ln D = \ln D_0 - \frac{Q_d}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

Ordenada en el origen (factor de frecuencia)

Pendiente (\propto Energía de activación)

$$y = A + Bx$$

- Los defectos: La difusión es mucho más rápida a lo largo de dislocaciones, interfases, límites de granos y en superficie que a través del volumen del sólido. Las vacantes facilitan la difusión

TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro
- Clasificación de los materiales sólidos: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos
- Características, propiedades y comportamiento de los materiales
- Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen
- Difusión
- Diagramas de fases
- Rotura

Capítulo 9 Callister

Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

Componente: Cada una de las sustancias que aparecen en un diagrama de fases

Fases: Porción homogénea de un sistema que tiene características físicas y químicas uniformes *Material puro, sólido, líquido, una disolución*

Un componente puede existir en varias fases

✓ Entre dos fases aparece un cambio discontinuo y abrupto en las características físicas y/o químicas, y se representa con líneas en los diagramas de fases o diagramas de equilibrio

monocomponente

✓ Sistema ~~monofásico~~ => *sistema homogéneo*

componentes

✓ Sistemas con dos o más ~~fases~~ => *sistema heterogéneo* (cerámicas, polímeros y materiales compuestos)

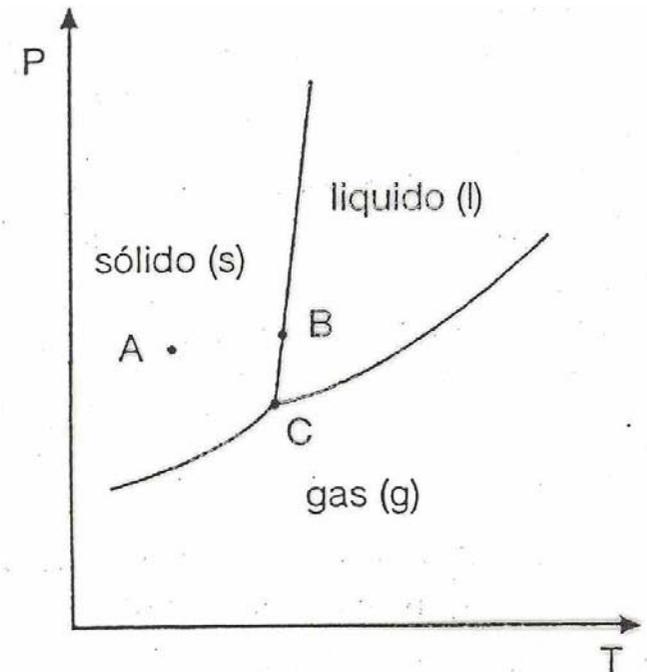


Diagrama monocomponente

Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

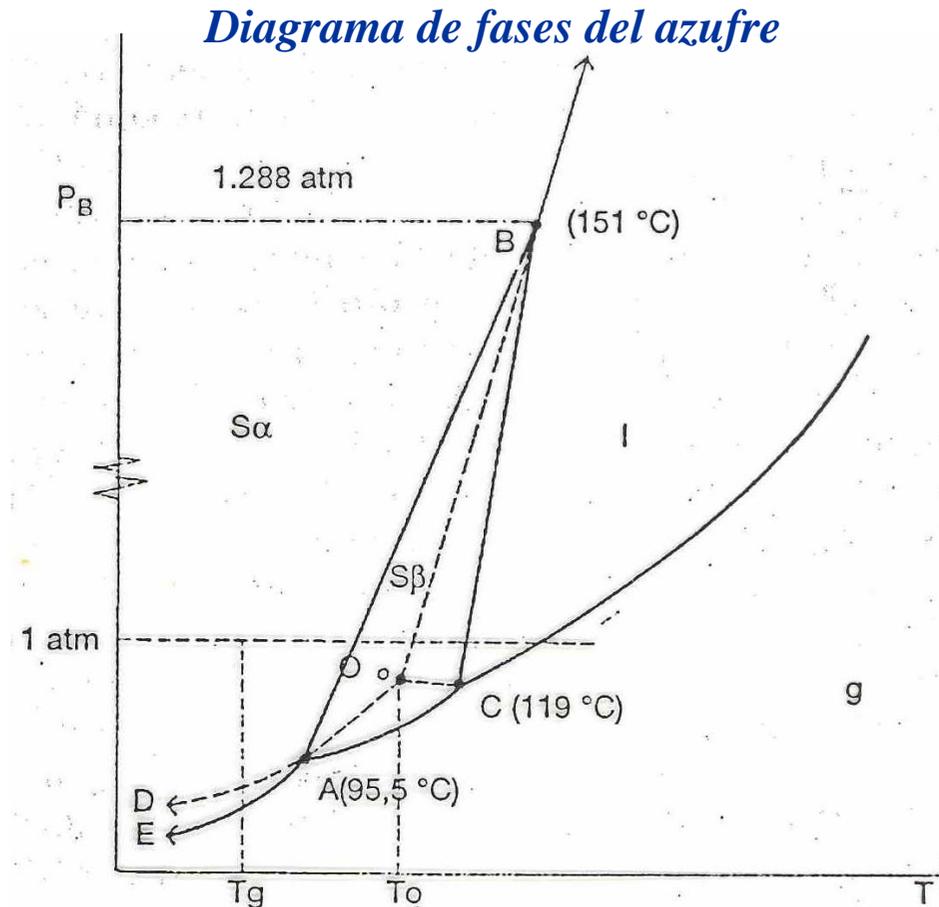
Equilibrio de fases: Un sistema está en equilibrio si la energía libre es mínima en condiciones específicas de temperatura, presión y composición (macroscópicamente, las características del sistema no cambian con el tiempo)

$$dG = -S dT + V dP + \sum \mu_i dn_i \quad \text{energía libre}$$

✓ En los diagramas de fases se representan **estados de equilibrio**

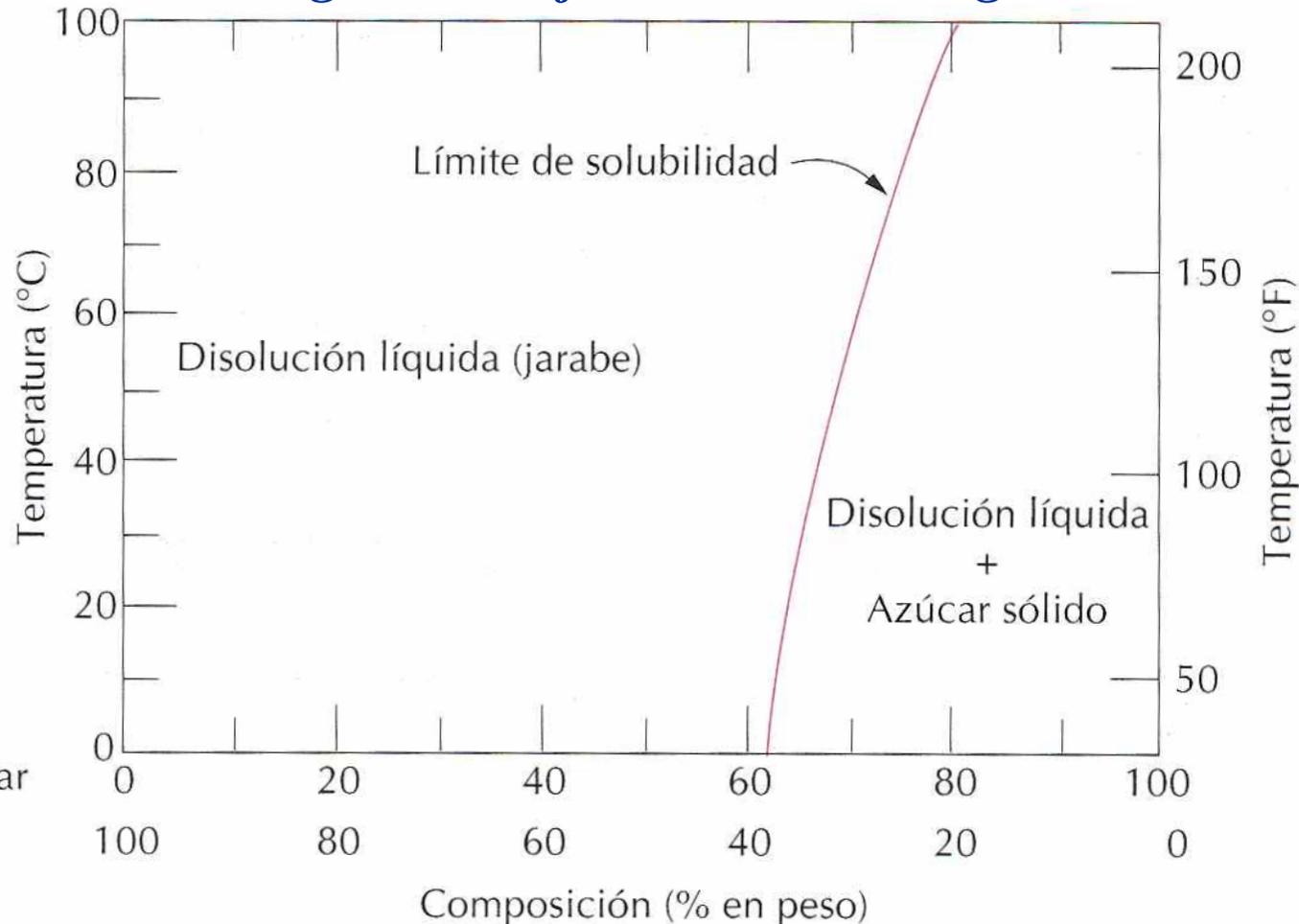
Estados metaestables (de no equilibrio) se representan con líneas punteadas

Los **diagramas de equilibrio de fases** representan las relaciones entre la estructura y la composición y las cantidades de fases y componentes en equilibrio



Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

Diagrama de fases Azúcar - Agua



Disolución

- **Soluto:** especie minoritaria (la que difunde)

- **Disolvente:** especie mayoritaria (la especie receptora)

Límite de solubilidad: concentración máxima de soluto que admite el disolvente en estado líquido

Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

Disolución sólida: Disolución en estado sólido

Soluto: especie minoritaria (la que difunde)

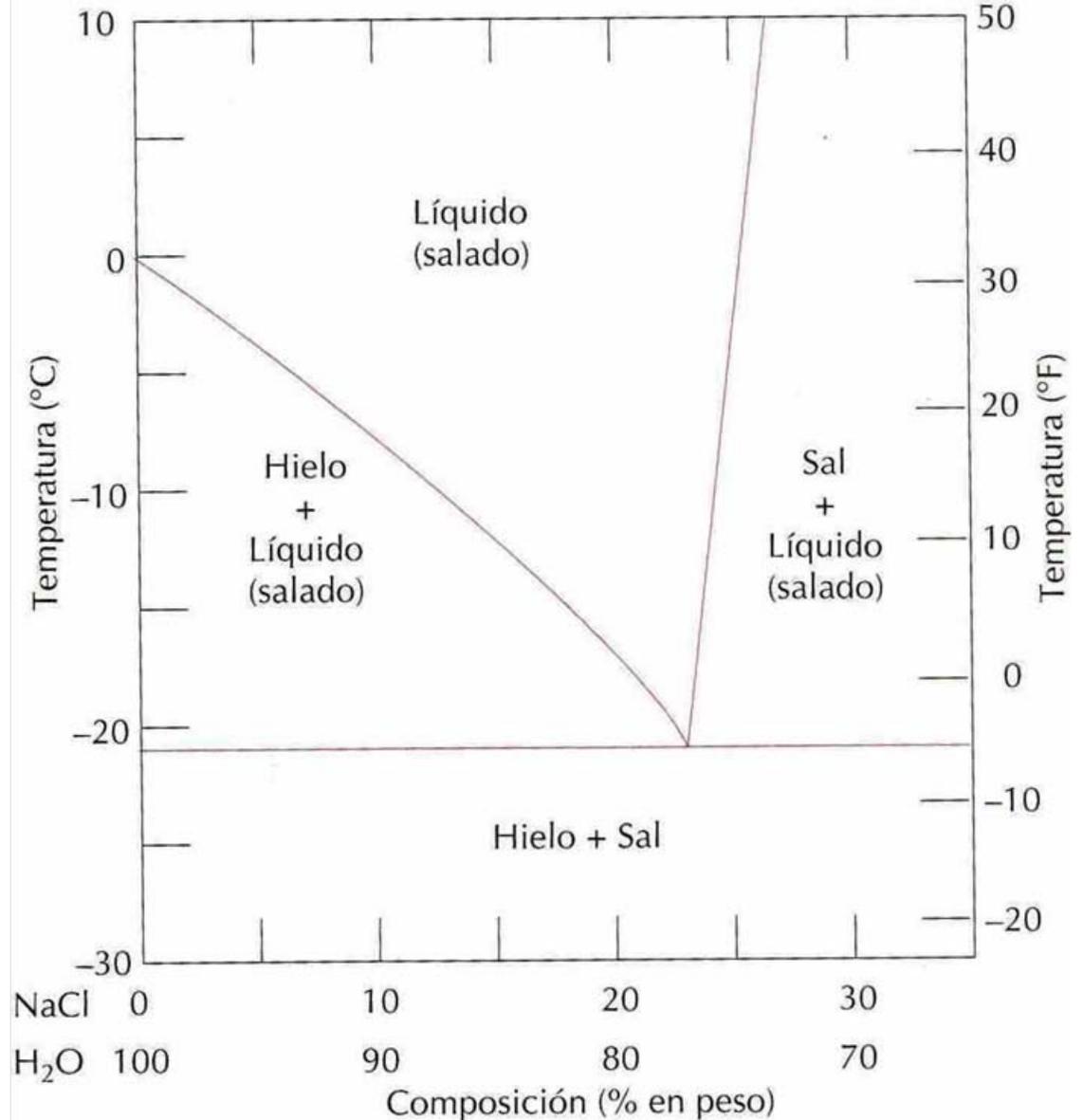
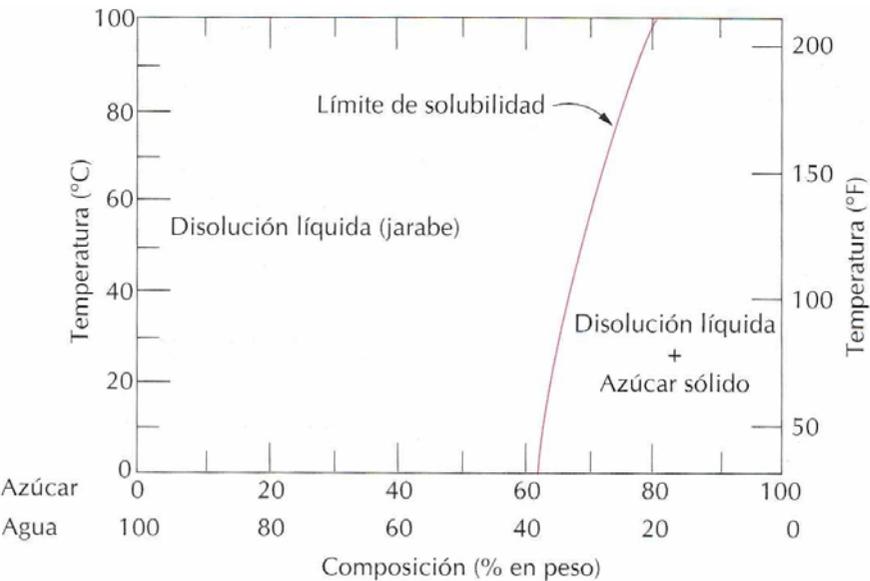
Disolvente: especie mayoritaria (la red receptora)

La red del disolvente mantiene su estructura y los átomos del soluto ocupan posiciones sustitucionales (cubren vacantes) o intersticiales

Límite de solubilidad: concentración máxima de soluto que admite el disolvente formando una disolución sólida

Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

Diagrama de fases Sal - Agua



Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

$$dG = -S dT + V dP + \sum \mu_i dn_i$$

- ✓ Sistemas monocomponentes: P frente a T
- ✓ Sistemas binarios: P, T, n_1 y n_2

Diagrama de fases Cobre - Níquel

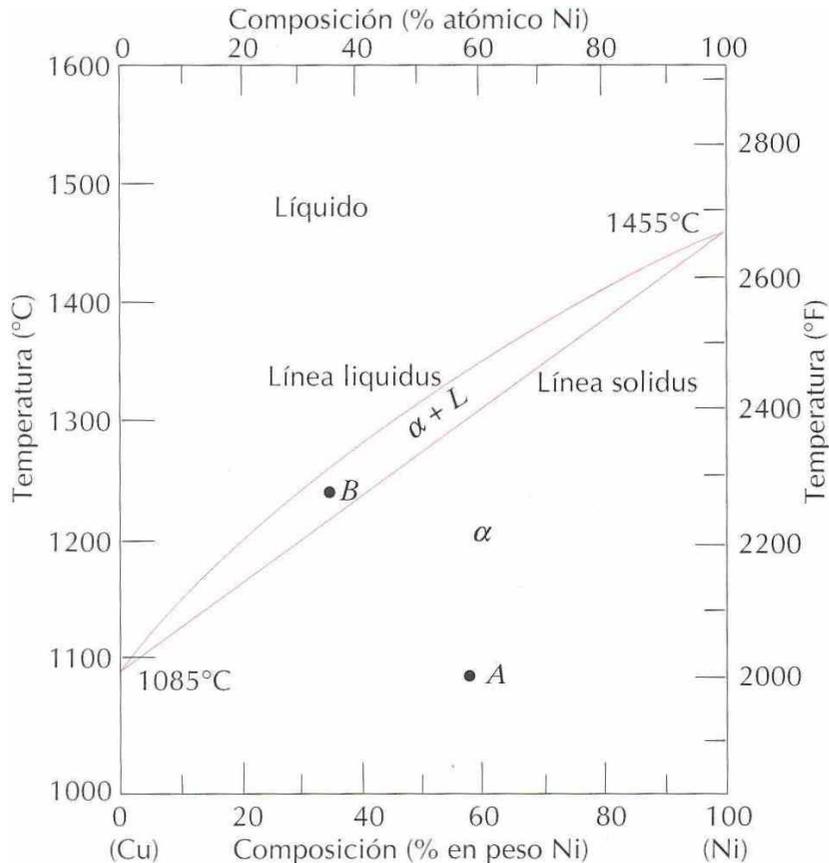
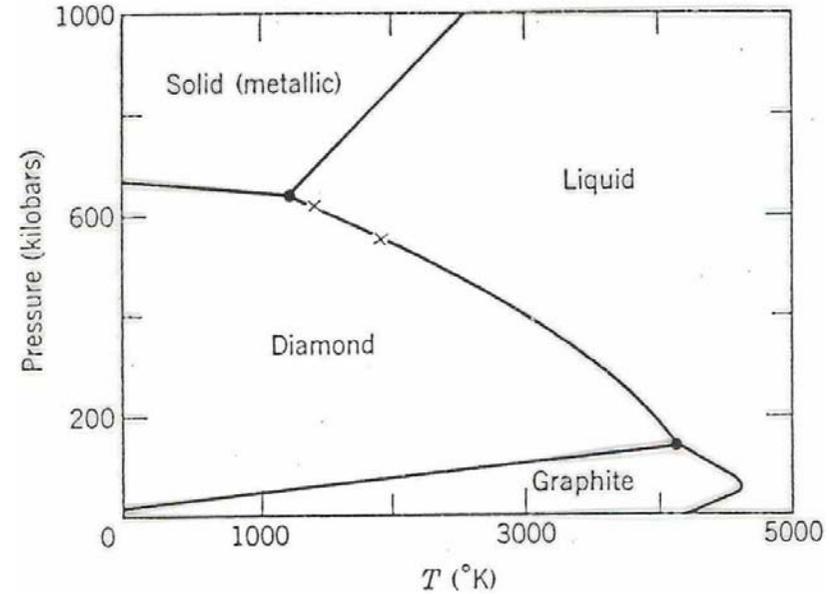


Diagrama de fases del carbono



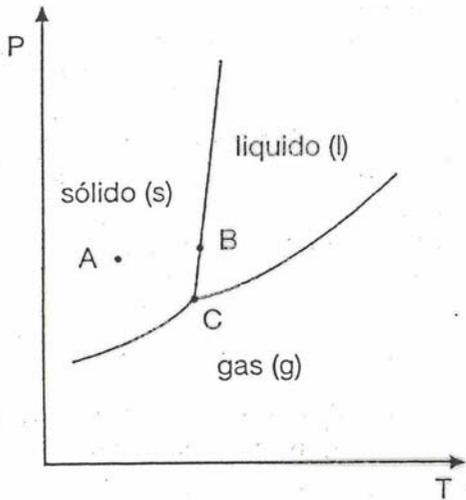
En los sólidos, la presión se puede considerar constante. El diagrama binario más habitual es el de temperatura frente a concentración a una presión fija de 1 atm

- ✓ Sistemas ternarios: P, T, n_1 , n_2 y n_3

Representación en triángulos

Diagramas de fase: Conceptos fundamentales

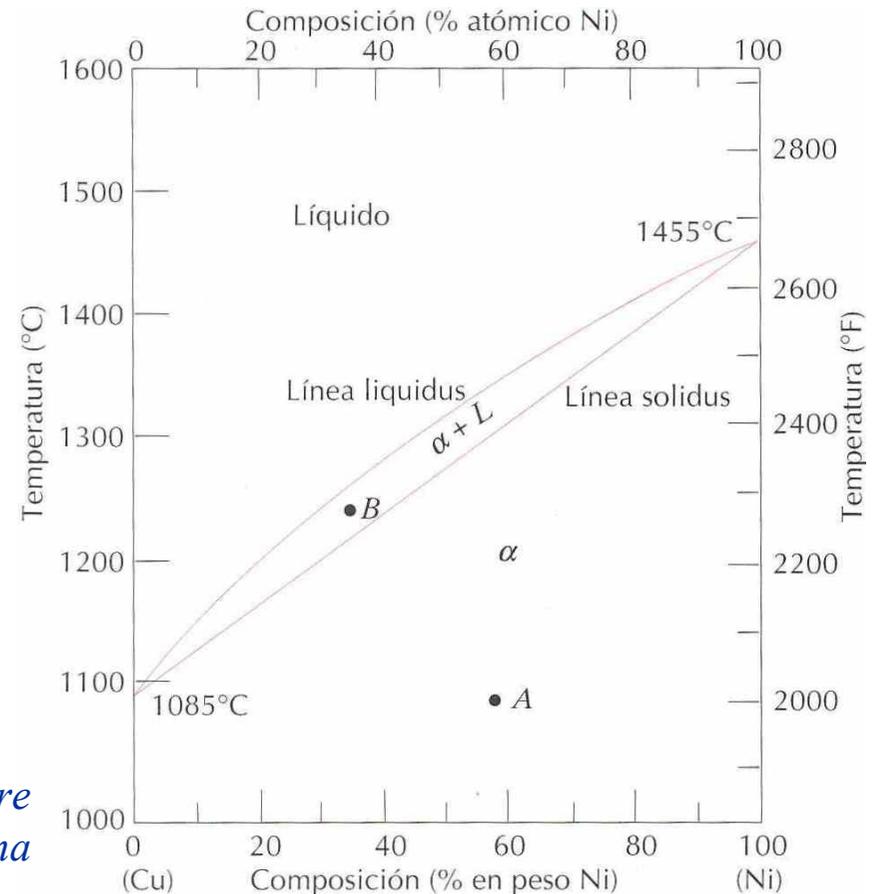
- Líneas de coexistencia de fases: línea de sólido, línea de líquido
- Puntos de coexistencia de fases: Punto triple



- ✓ Línea de sólido: separa el sólido de cualquier fase líquida
- ✓ Línea de líquido: separa el líquido de cualquier fase sólida

El diagrama de fases de un sistema isomorfo siempre tiene esta forma

- Sistema isomorfo: solubilidad total de un componente en otro



Interpretación de los diagramas de fase

- ✓ Identificar los componentes
- ✓ Identificar las fases
- ✓ Determinar la composición de las fases:
Línea de reparto
- ✓ Determinar la cantidad de cada fase:
Regla de la palanca inversa

Línea de reparto:

- En el punto B , la composición del líquido es C_L y la del sólido C_α

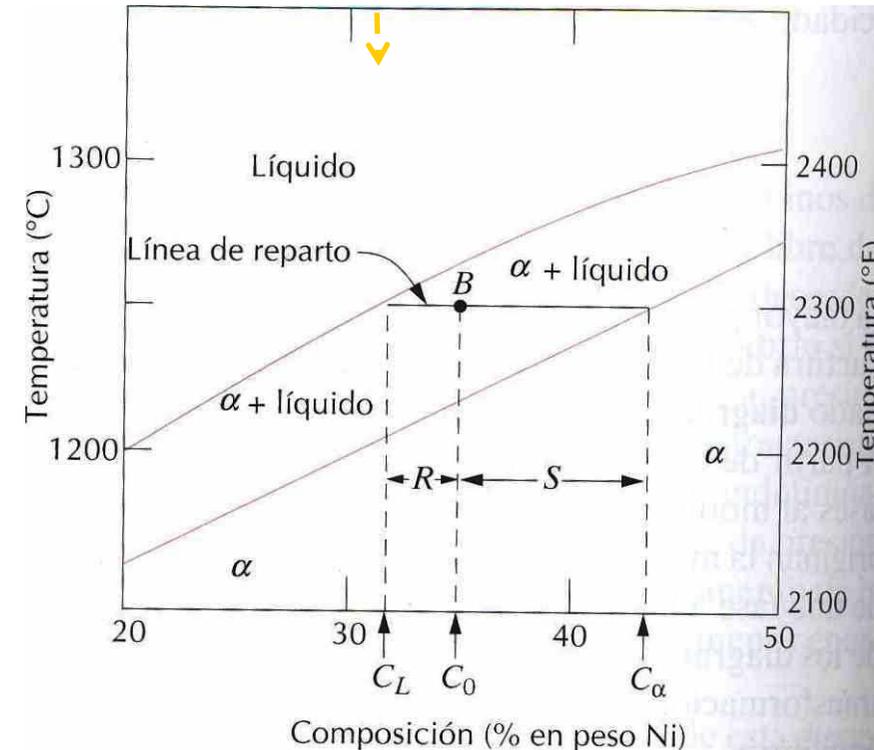
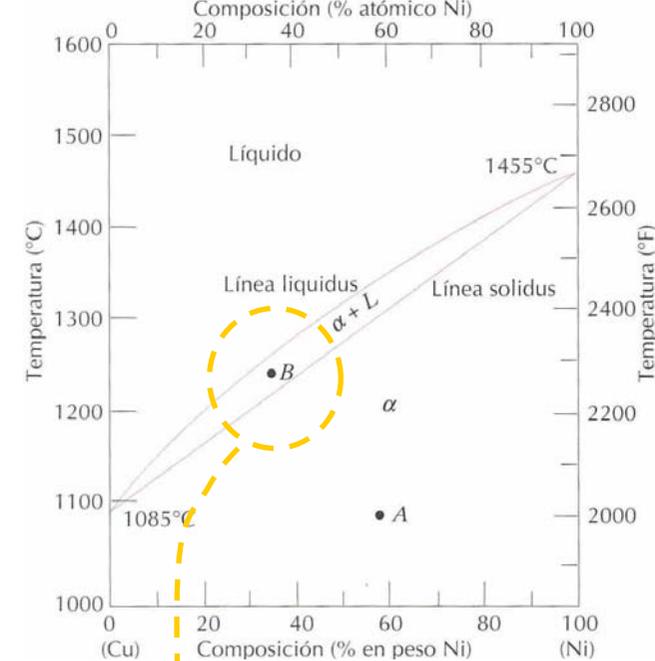
Regla de la palanca inversa:

- En el punto B , el porcentaje de sólido es:

$$\% \alpha = (C_0 - C_L) / (C_\alpha - C_L) = R / (R + S)$$

el porcentaje de líquido es:

$$\% \text{líquido} = (C_\alpha - C_0) / (C_\alpha - C_L) = S / (R + S)$$



Interpretación de los diagramas de fase

Diagramas eutécticos:

Componentes: Sn, Pb

Fases:

(1) α : SS (*disolución sólida*) rica en Pb

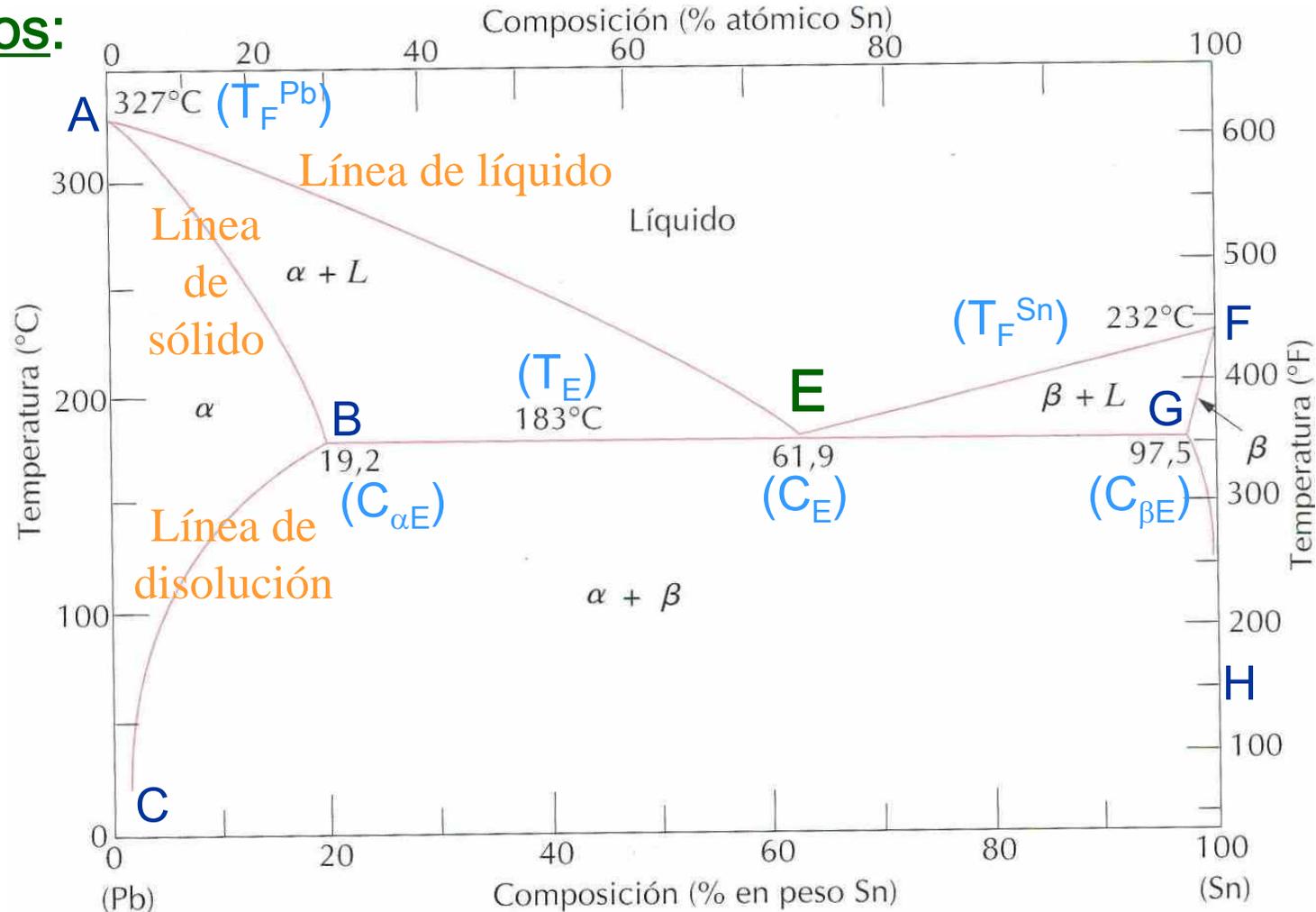
(2) β : SS rica en Sn

(3) Líquido

(consideraremos todos los líquidos una única fase)

Coexistencia de fases:

$\alpha+L$, $\beta+L$, $\alpha+\beta$



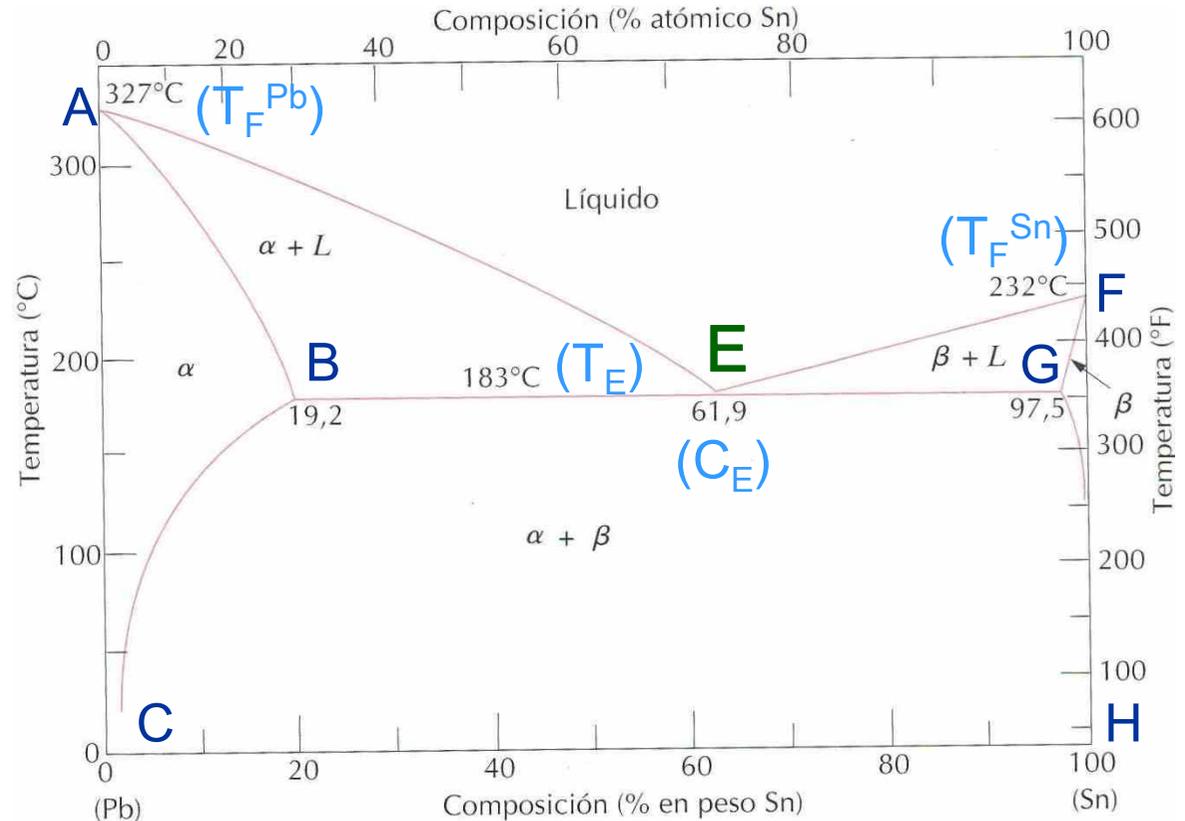
✓ Línea de disolución: todo lo que a un lado de la línea es una disolución

* SS α : La red del Pb con un poco de Sn; SS β : red del Sn con un poco de Pb. B y G son los puntos de máxima solubilidad. Las SS α y β coexisten debajo de la línea de sólido BG

Interpretación de los diagramas de fase

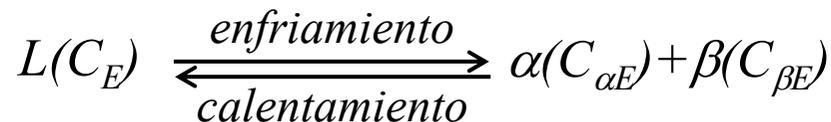
Diagramas eutécticos:

- * El punto de fusión (PF) del Sn es menor que el del Pb
- * Al agregar Sn al Pb, la T_F de la aleación disminuye a lo largo de la línea AE. Para Pb en Sn, a lo largo de la línea FE.
- * Las dos líneas de líquido convergen en el punto E de coordenadas (C_E, T_E) , sobre la línea de sólido BG (*isoterma eutéctica*)



El punto E se denomina punto eutéctico, característico de los diagramas eutécticos

Reacción eutéctica:

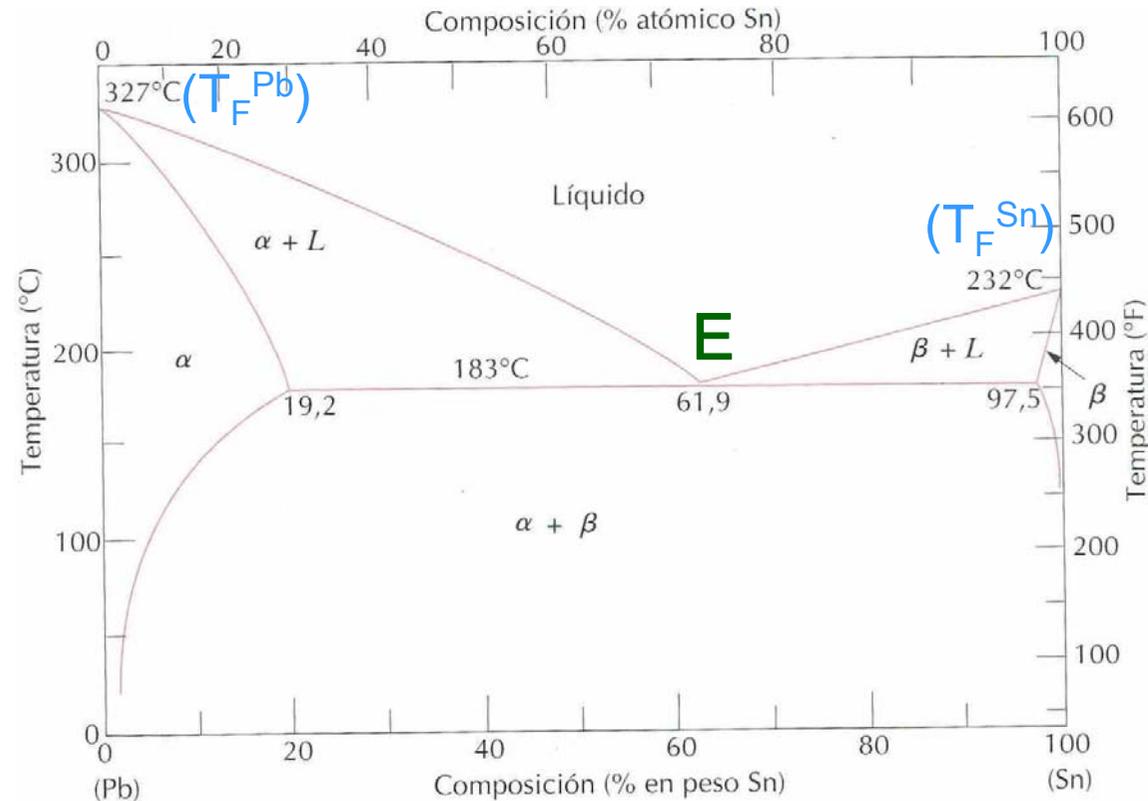


Importante para evitar segregación

Interpretación de los diagramas de fase

Segregación

En los sistemas binarios sólidos, las variaciones de temperatura han de ser extremadamente lentas para alcanzar los estados de equilibrio en los cambios de fase líquido-sólido. Cuando va a solidificar, los reajustes en la composición se producen por *procesos difusivos muy lentos*



Si la composición no es homogénea en todo el sistema, al solidificar se produce segregación, es decir, una distribución no uniforme de los dos componentes

Aparecen estructuras nucleadas: el centro del grano es rico en el elemento de alta T_F y las capas externas en el otro componente. Estas **estructuras segregadas** no son beneficiosas.

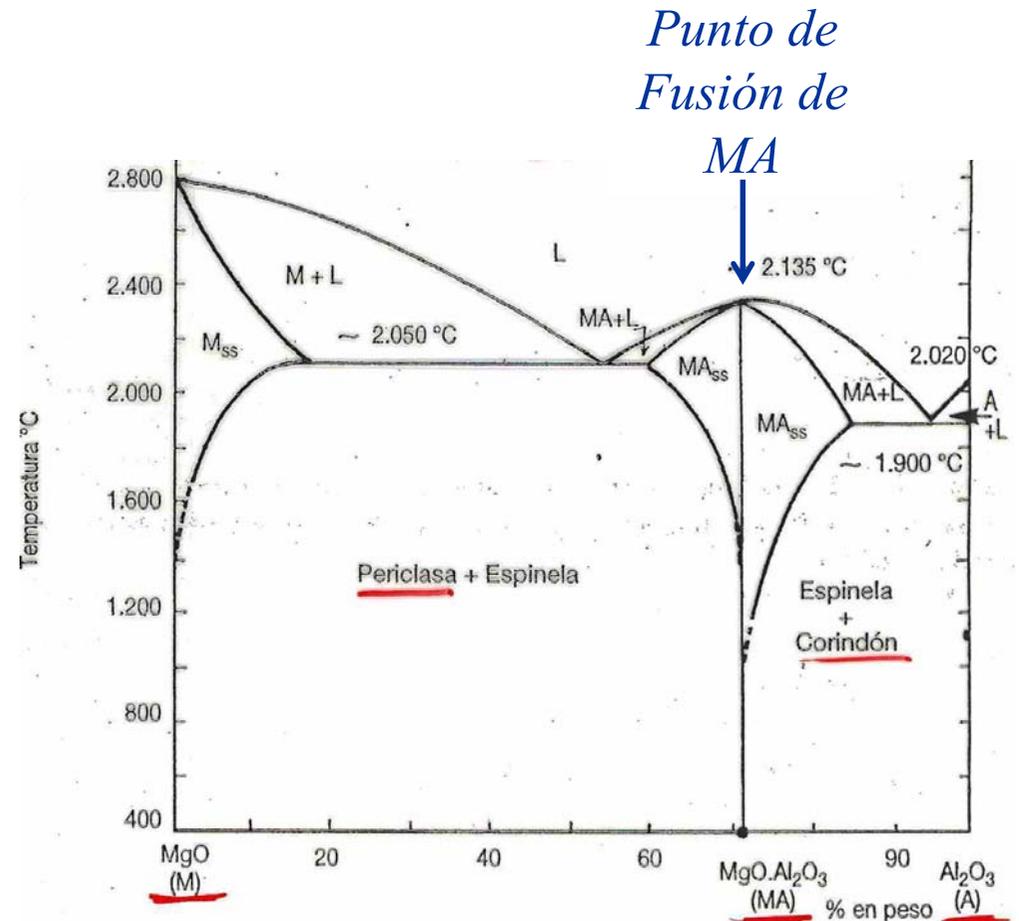
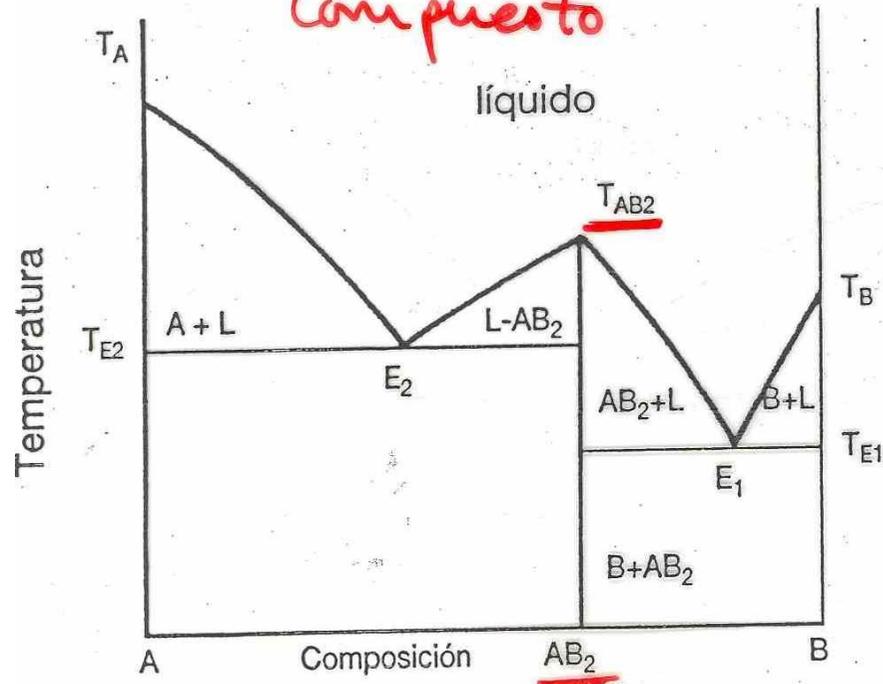
Cuando ocurren se pueden eliminar con un recocido ($\uparrow T$ para favorecer la difusión)

Interpretación de los diagramas de fase

Diagramas eutécticos con formación de compuestos:

En algunos diagramas de fases se forman compuestos intermedios y disoluciones sólidas intermedias

Dos eutécticos formando compuesto

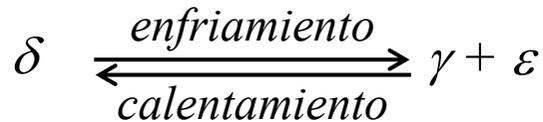


Interpretación de los diagramas de fase

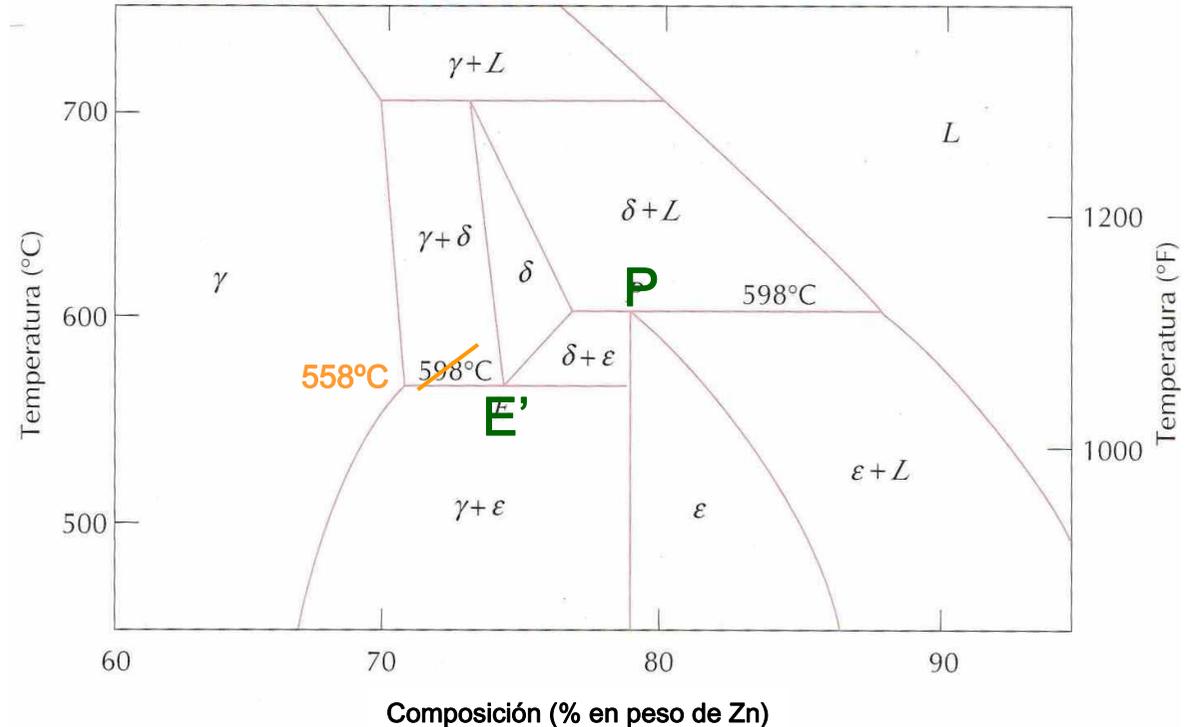
Puntos eutectoides y peritéticos:

Hay otras reacciones que también involucran a tres fases en equilibrio:

Reacción eutectoide:



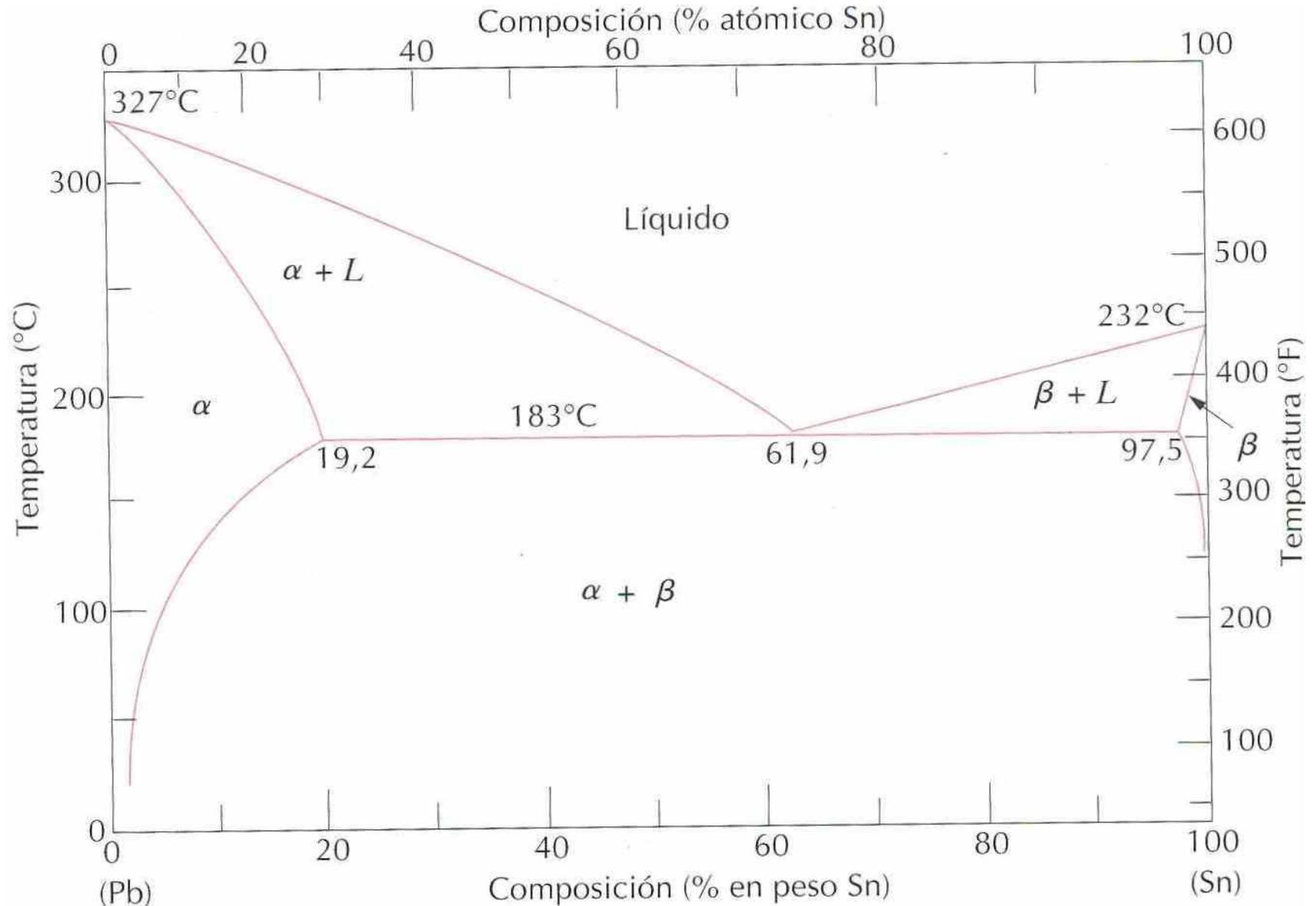
Reacción peritética:



Punto peritético si un sólido que coexiste con un líquido se transforma en un sólido diferente

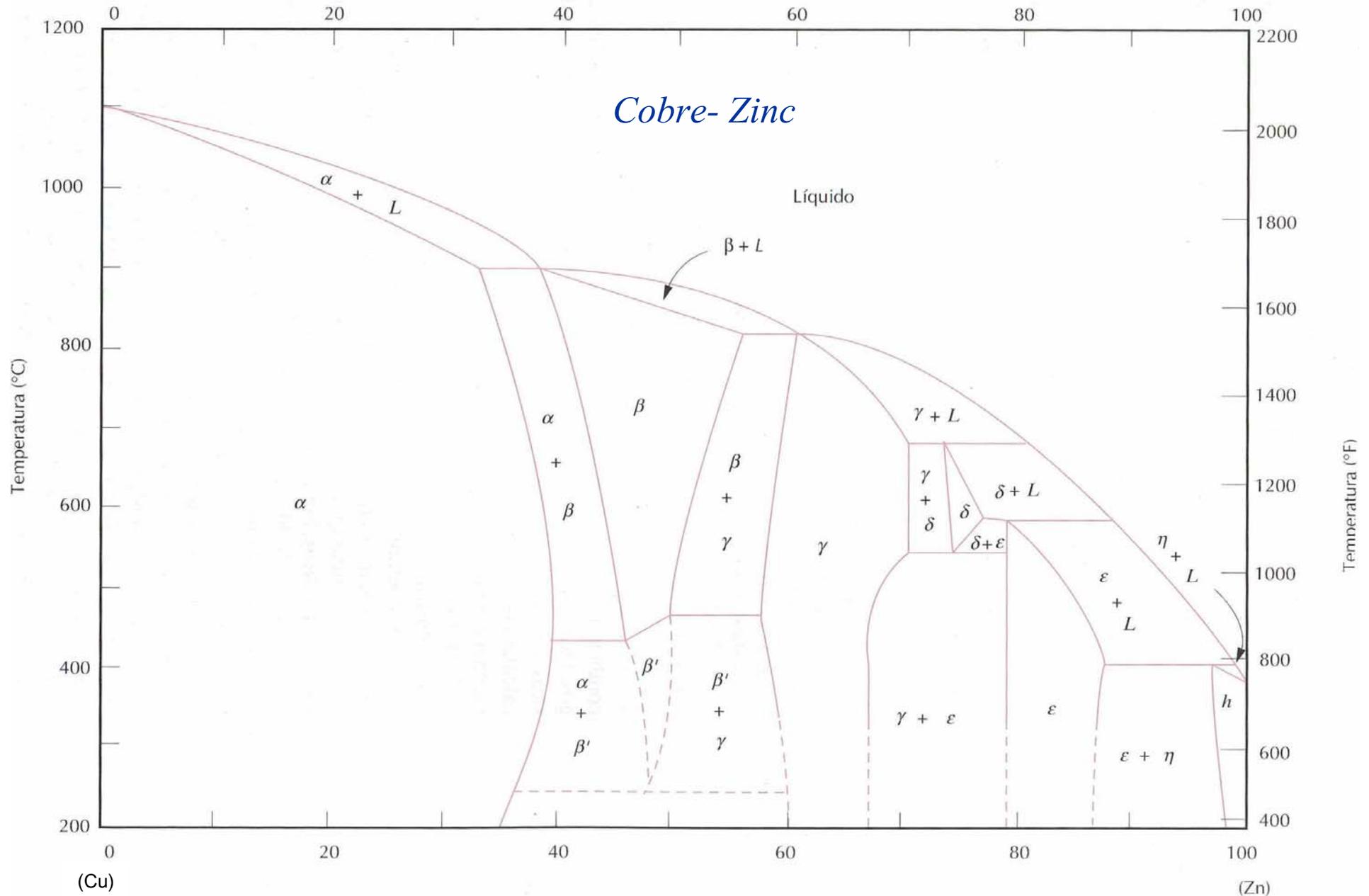
Transformaciones de fase incongruentes: cuando el cambio de fase va acompañado de un cambio de composición *Ejemplos: Reacciones eutéctica, eutectoide y peritética, fusión de aleaciones isomórfas, etc.*

Interpretación de los diagramas de fase



Interpretación de los diagramas de fase

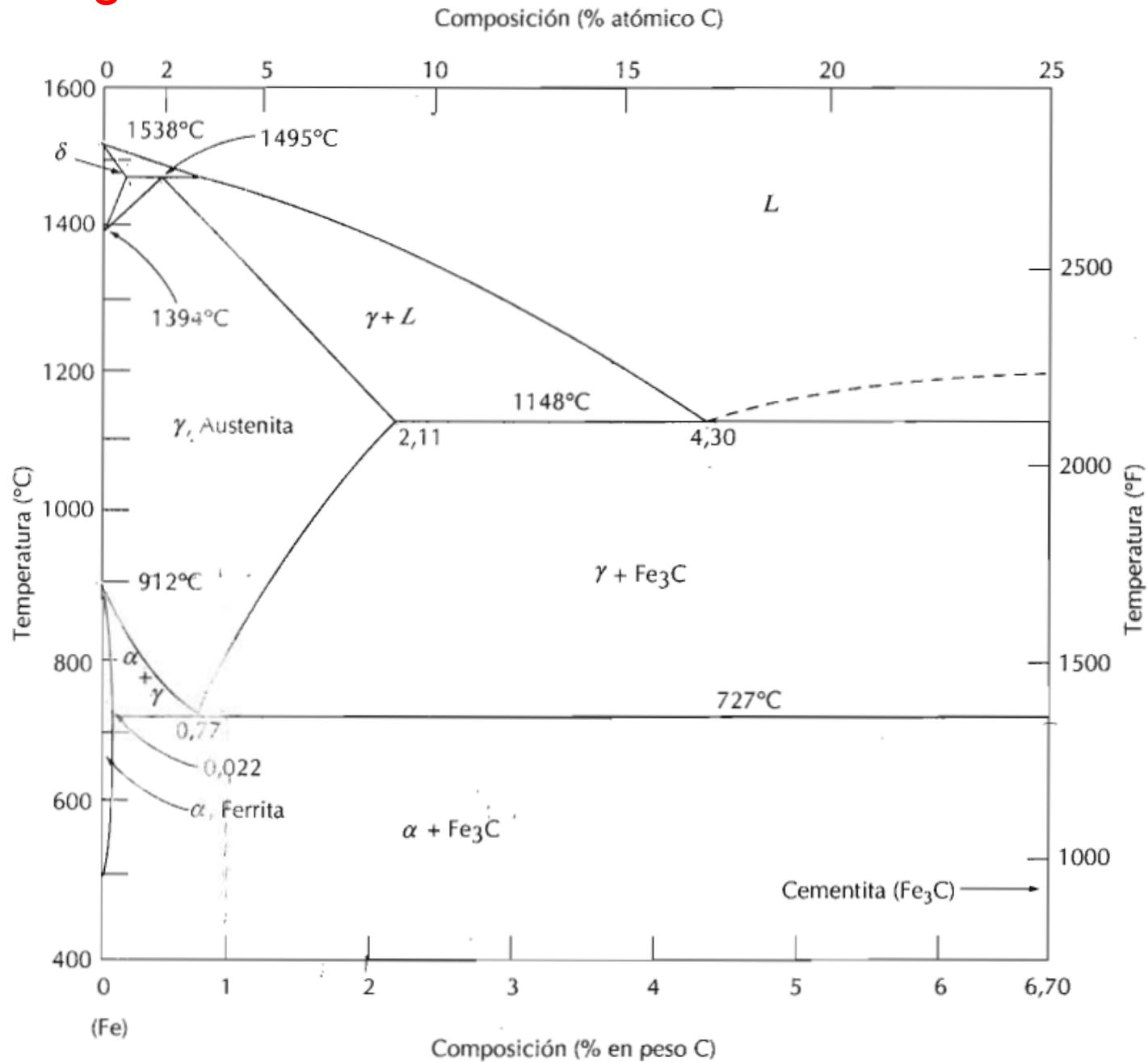
Composición (% atómico Zn)



Interpretación de los diagramas de fase

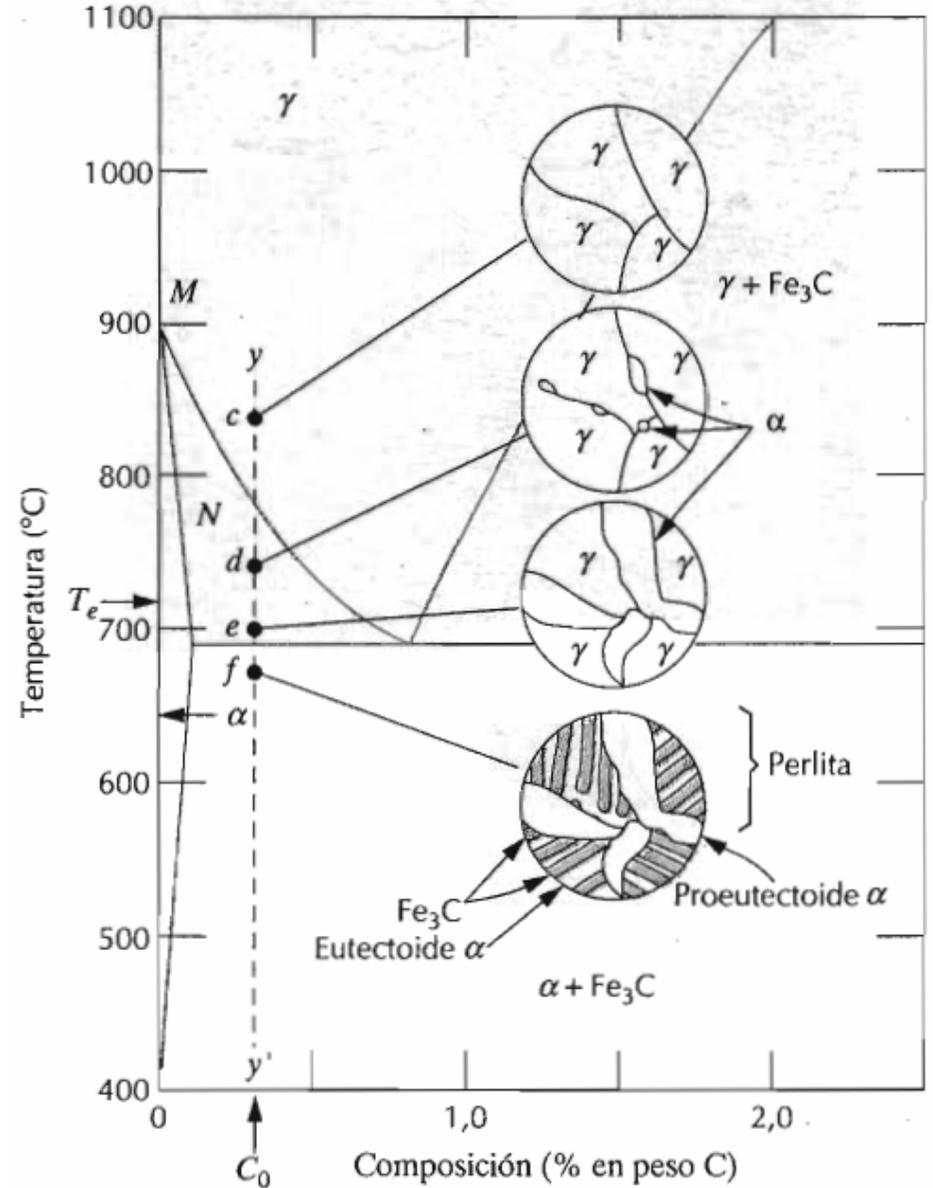
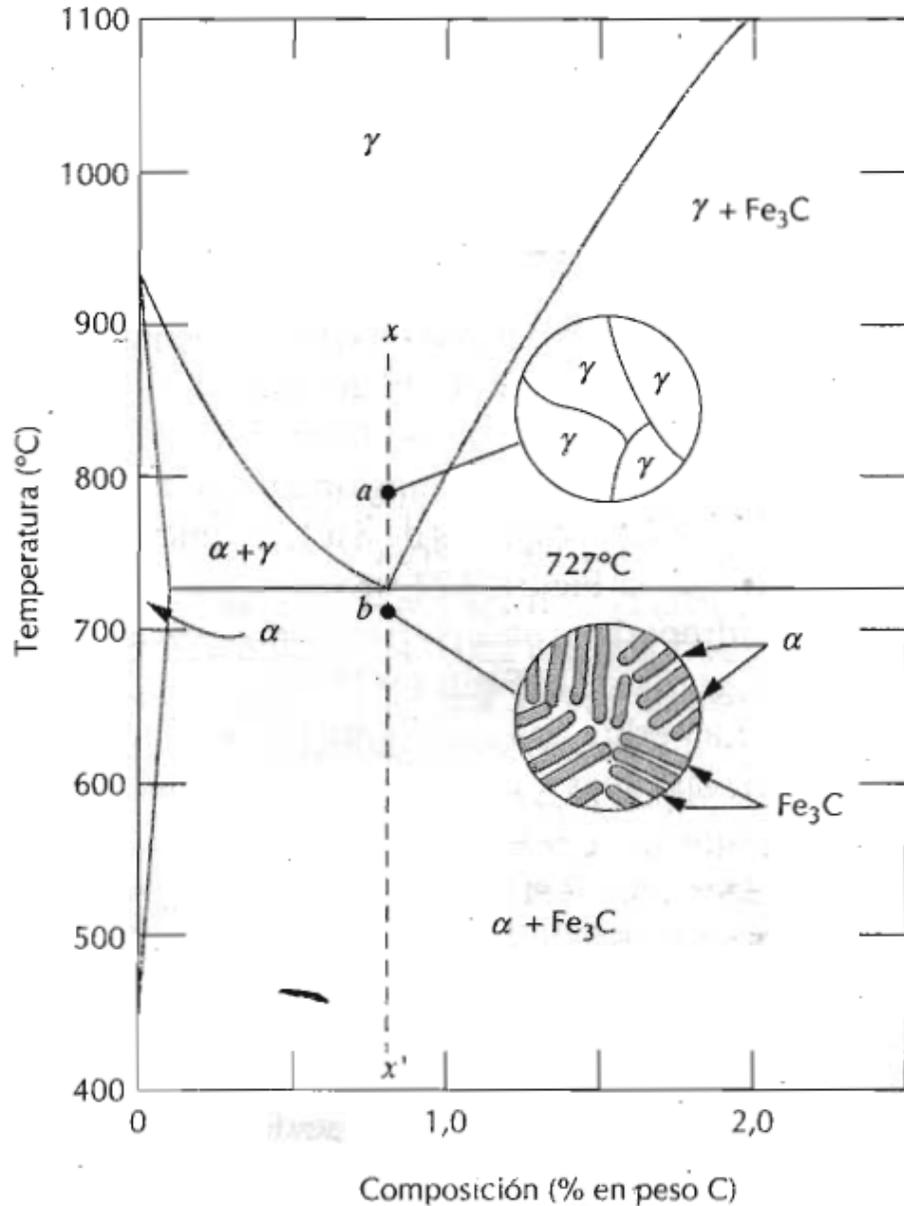
Hierro – Carburo de Hierro

Capítulos 9 y 10
del Callister



Interpretación de los diagramas de fase

Hierro – Carburo de Hierro



Interpretación de los diagramas de fase

Regla de las fases de Gibbs

A partir de las leyes de la termodinámica, J. Willard Gibbs formuló la regla

$$P + F = C + N$$

P número de fases presentes

F número de grados de libertad del sistema (nº de variables independientes que deben especificarse para determinar el estado del sistema: P, T, N_i)

C número de componentes

N variables no composicionales (P y T)

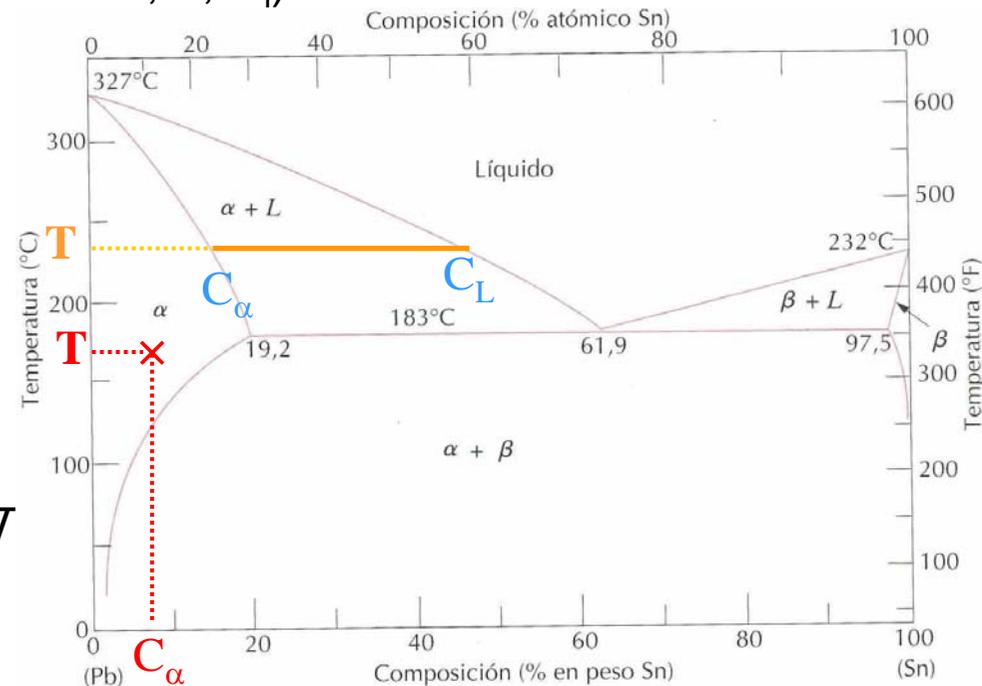
Ejemplo: Sistema Pb-Sn

$C = 2$ (Pb y Sn) $N = 1$ (la temperatura)

entonces: $P + F = 3$, $F = 3 - P$

En zonas monofásicas $F = 2$, composición y T

En zonas bifásicas $F = 1$, composición o T



A una T dada, la composición de las fases viene determinada por los extremos de la recta de reparto

TEMA 1. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales

- Ciencia e ingeniería de materiales. Pasado, presente y futuro
- Clasificación de los materiales sólidos: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos
- Características, propiedades y comportamiento de los materiales
- Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen
- Difusión
- Diagramas de fases
- Rotura Capítulo 8 Callister

Rotura

- Fractura simple

- Fatiga

- Fluencia en caliente

Fractura simple

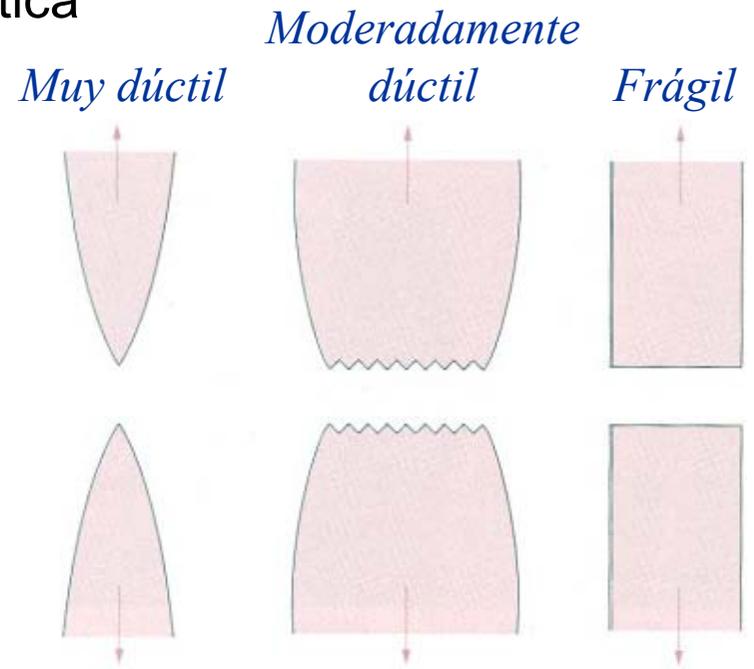
Separación de un cuerpo sólido en dos o más piezas como consecuencia de una tensión estática aplicada

✓ **Fractura dúctil** cuando el material experimenta deformación plástica con alta absorción de energía antes de la rotura

✓ **Fractura frágil** cuando no hay deformación plástica

- La ductilidad se cuantifica por el porcentaje de alargamiento y de reducción de la sección transversal antes de la rotura

- La ductilidad depende de la temperatura, la velocidad de deformación y las tensiones locales



Rotura

Fractura simple

En cualquier proceso de fractura se distinguen dos etapas:

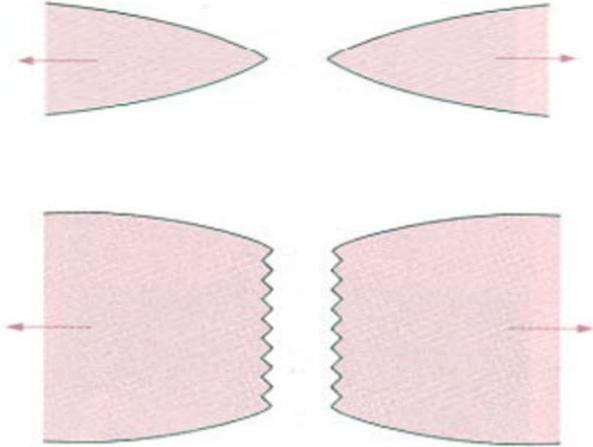
- 1) Formación de la grieta (defecto)
- 2) Propagación de la grieta

- ✓ En la fractura dúctil se produce mucha deformación plástica en torno al avance de la grieta. De este modo se absorbe energía y la grieta se propaga más lentamente \Rightarrow “*grietas estables*”
- ✓ En la fractura frágil el material no absorbe energía por deformación plástica y la grieta se propaga muy rápidamente \Rightarrow “*grietas inestables*”

En ingeniería, la fractura dúctil es siempre preferible a la fractura frágil, ya que en el segundo caso el fallo es siempre catastrófico. La rotura dúctil puede detectarse por la deformación, y además el avance de la grieta se produce más lentamente

Rotura

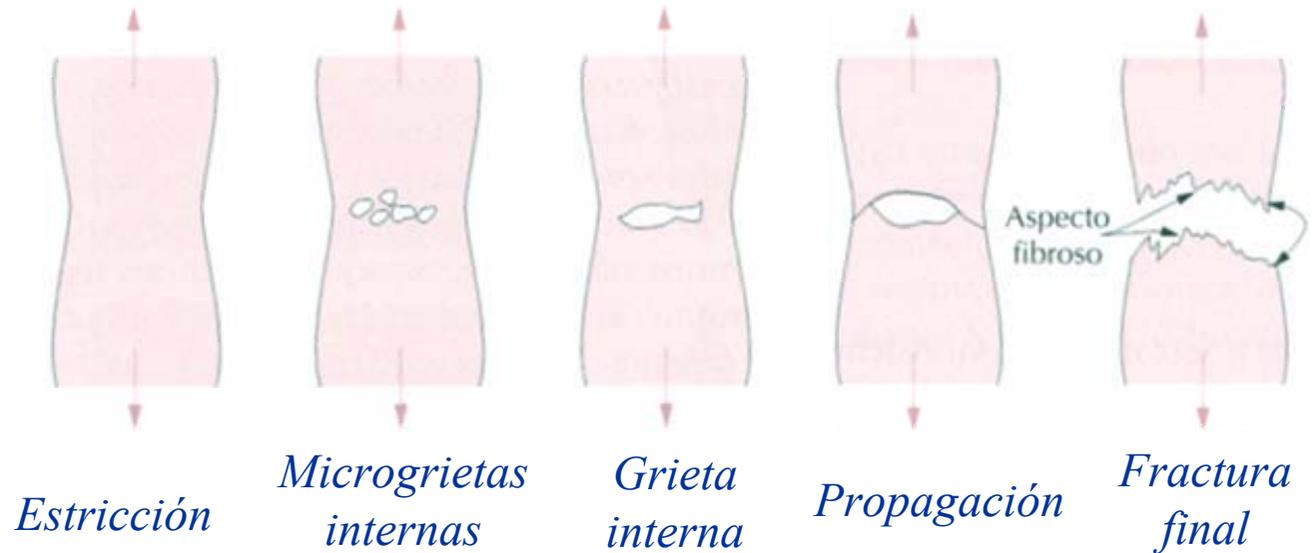
Fractura dúctil



- Muy dúctil. Típica de metales muy blandos

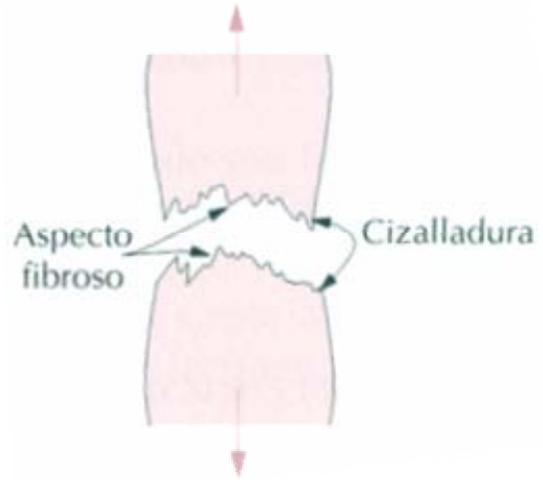
- Moderadamente dúctil. Es el perfil de fractura más común en los materiales dúctiles a temperatura ambiente. El proceso ocurre en varias etapas:

La rotura final es por cizalladura. La superficie de fractura forma un ángulo de 45° respecto de la dirección de la tensión. Por su forma esta fractura se denomina **copa-cono**

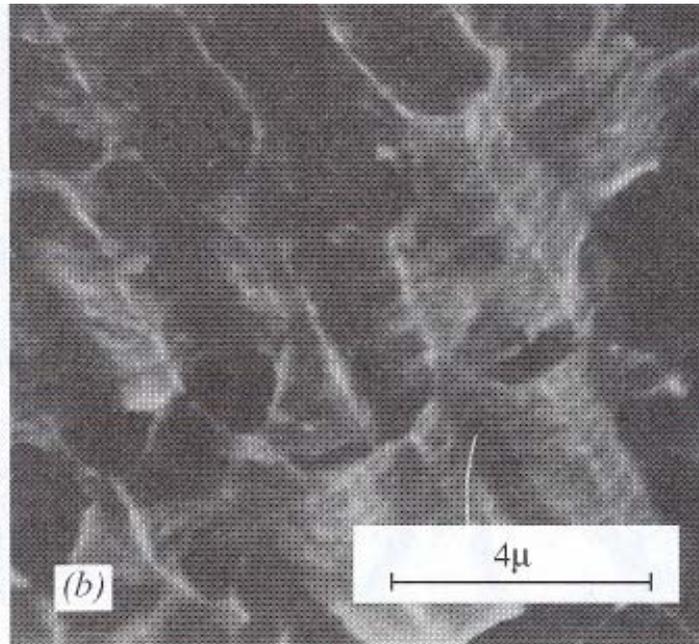
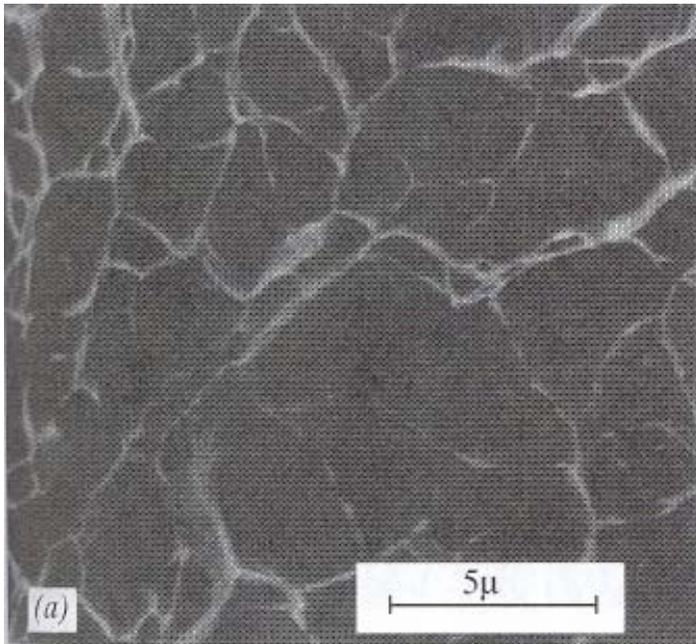
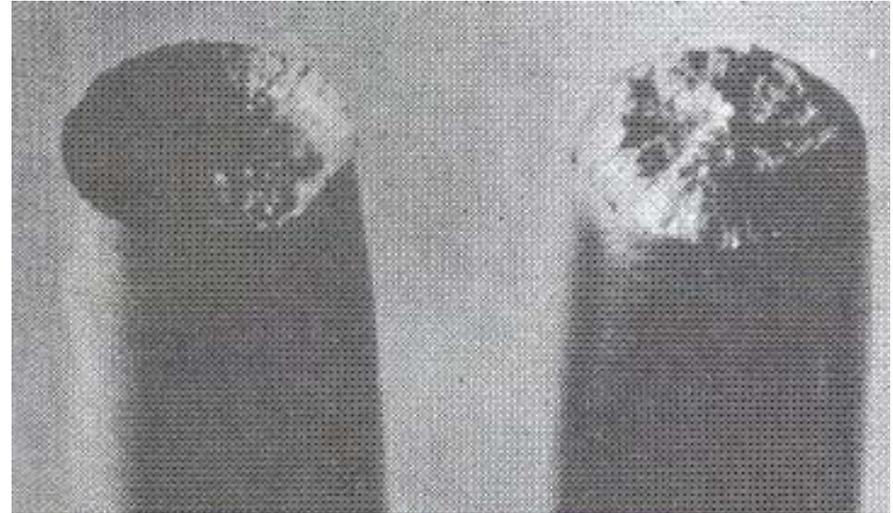


Rotura

Fractura dúctil



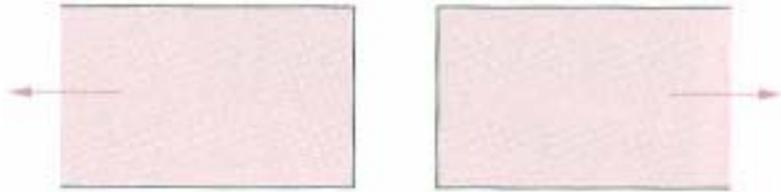
Fractura copa-cono



*Microcavidades
características de la
fractura dúctil:
hoyuelos y cavidades
parabólicas*

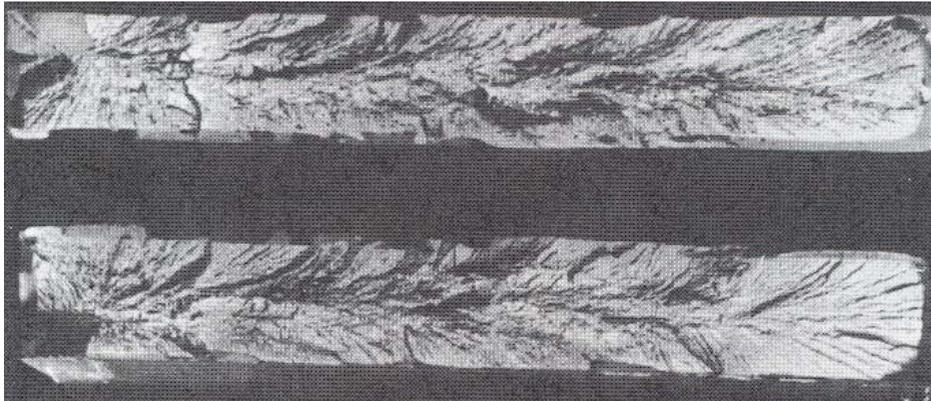
Rotura

Fractura frágil



- Frágil. En materiales frágiles

Fractura frágil



*Marcas en forma de V con salientes y entrantes.
El vértice está en el defecto inicial*

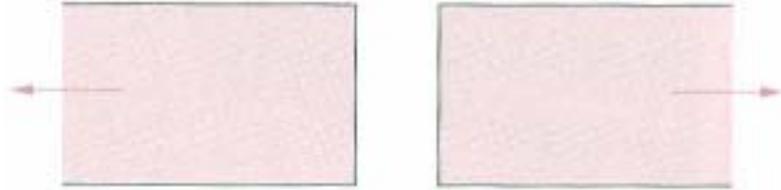


*Crestas en forma
de abanico. El
vértice indica el
defecto inicial*

- ✓ La propagación de la grieta es perpendicular a la dirección de la tensión
- ✓ La superficie de la fractura es muy plana

Rotura

Fractura frágil

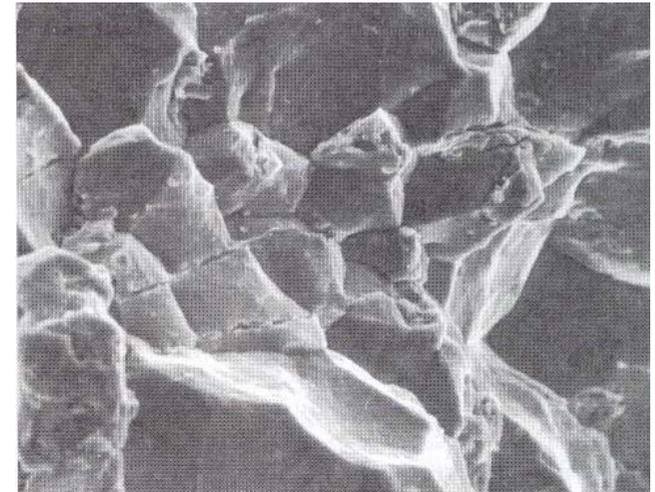


✓ **Fractura frágil transgranular** si se rompen los enlaces atómicos a lo largo de algún plano cristalográfico. Típica de materiales cristalinos frágiles

✓ **Fractura frágil intergranular** si la grieta se propaga a lo largo de los bordes de grano (interfases entre los granos). En aleaciones y materiales policristalinos con interfases más débiles que los granos



Fractura transgranular



Fractura intergranular