

## BLOQUE II.- ESTRUCTURA

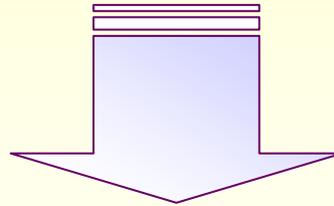
# Tema 5.- Diagramas de Equilibrio de Fases

\* William F. Smith  
"Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales".  
Tercera Edición. Ed. Mc-Graw Hill

\* James F. Shackelford  
"Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros".  
Cuarta edición. Ed. Prentice Hall (1998)

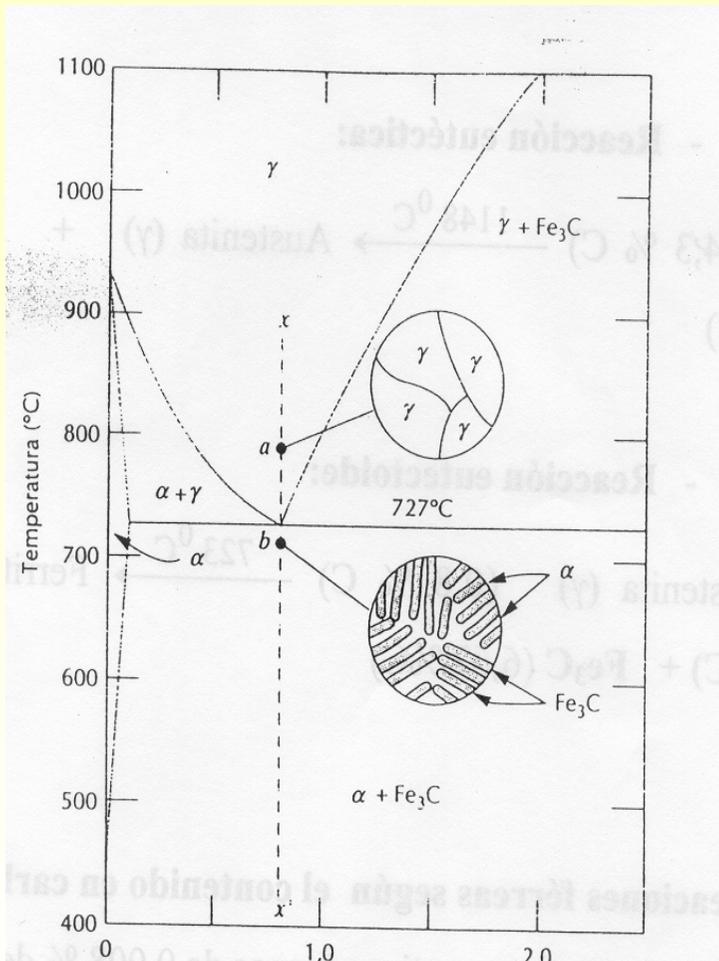
- Comprender que son los diagramas de fases y su significado.
- Aplicar la regla de las fases y regla de la palanca
- Determinación de las fases
- Tipos de diagramas binarios:
  - Solubilidad total en fase sólida
  - Solubilidad parcial en fase sólida
- Identificación de los puntos invariantes:
  - Punto eutéctico
  - Punto eutectoide
  - Punto peritético

- Representaciones gráficas- a varias temperaturas, presiones y composiciones)
- En condiciones de equilibrio:  $\Rightarrow$  Enfriamientos muy lentos

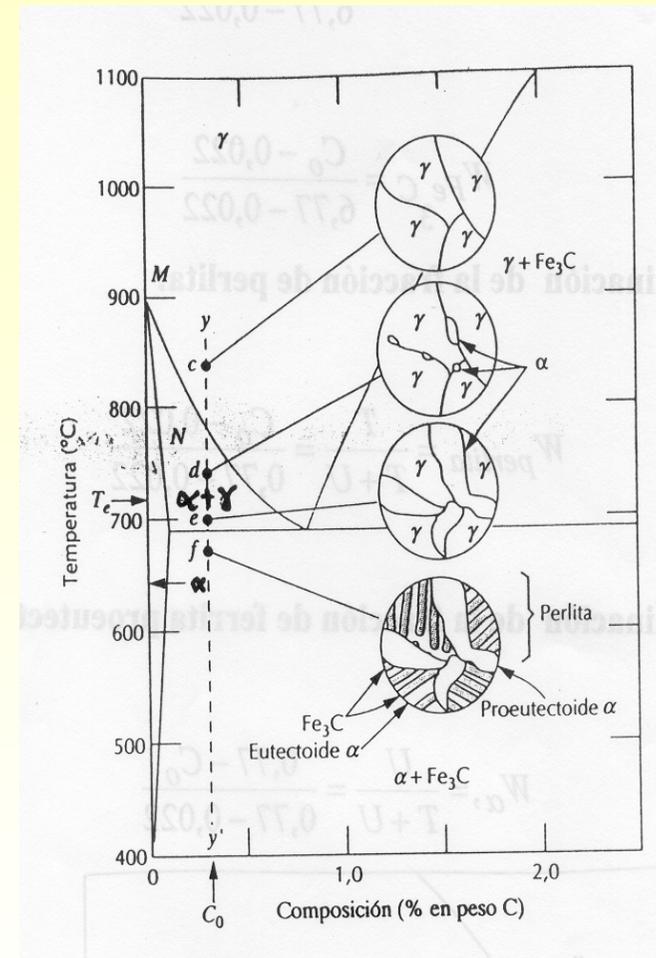


1. Fases existentes a diferentes composiciones y temperaturas
2. Composición de cada fase
3. Temperatura de transformación de fases
4. Solubilidad de un componente en estado sólido o líquido
5. Microestructura  $\Rightarrow$  Propiedades finales

# ¿qué significa?



**Acero eutectoide:**  
Perlita (ferrita- $\alpha$  y cementita (Fe<sub>3</sub>C))

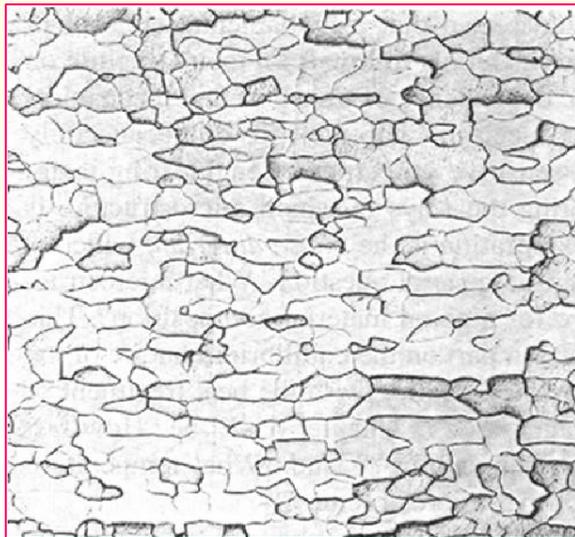


**Acero hipoeutectoide:**  
Ferrita proeutectoide y Perlita (ferrita- $\alpha$  y cementita (Fe<sub>3</sub>C))

# Ejemplos (I): Microestructuras

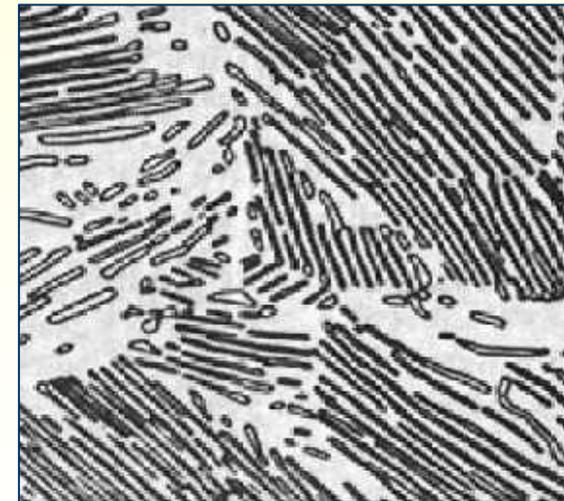
## Ferrita

Con este nombre se designa a la solución sólida alfa, la cual es una solución sólida intersticial de carbono en Fe- $\alpha$  (BCC). Esta estructura es la más blanda de todas las que aparecen en el diagrama binario.



## Perlita

Compuesto laminar formado por láminas alternadas de ferrita y de cementita, (propiedades mecánicas intermedias)



# Conceptos generales

**Aleación:** material metálico constituido por la adición de un metal de uno o más elementos

**Componente:** elementos que constituyen una aleación.

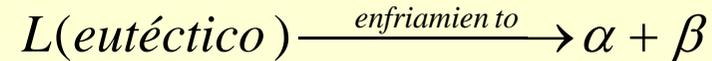
**Fase:** porción homogénea de un sistema con características físicas y químicas uniformes.

**Límite de Solubilidad:** concentración máxima de soluto en un anfitrión para formar Sol.Sol. ( $\Rightarrow$  Sol. Sol. es única fase).

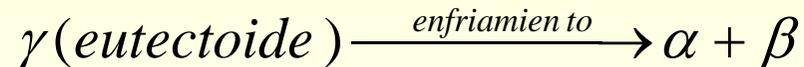
**Equilibrio:** condiciones de T, P, composición que producen una mínima Energía de Gibbs, G.

# Tipos de Reacciones Invariantes

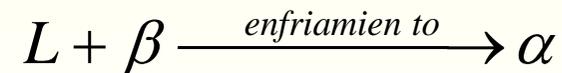
**Reacción Eutéctica:** transformación de un líquido L con la composición eutéctica en dos fases sólidas durante el enfriamiento



**Reacción Eutectoide:** transformación de un sólido  $\gamma$  con la composición eutectoide en dos fases sólidas durante el enfriamiento



**Reacción Peritética:** transformación de un sólido  $\beta$  y un líquido en un sólido inicial  $\alpha$  durante el enfriamiento



otras definiciones:

**Punto de Fusión Congruente**: un compuesto sólido al ser calentado mantiene su composición hasta el punto de fusión

**Punto de Fusión Incongruente**: un compuesto sólido al ser calentado sufre reacciones peritéticas en un líquido y en una fase sólida.

Regla de las fases de Gibbs: identifica el nº de fases microscópicas que coexisten en equilibrio asociadas a una condición de estado (T, P y composición dadas)

$$F + L = C + 2$$

**F**: número de fases que coexisten

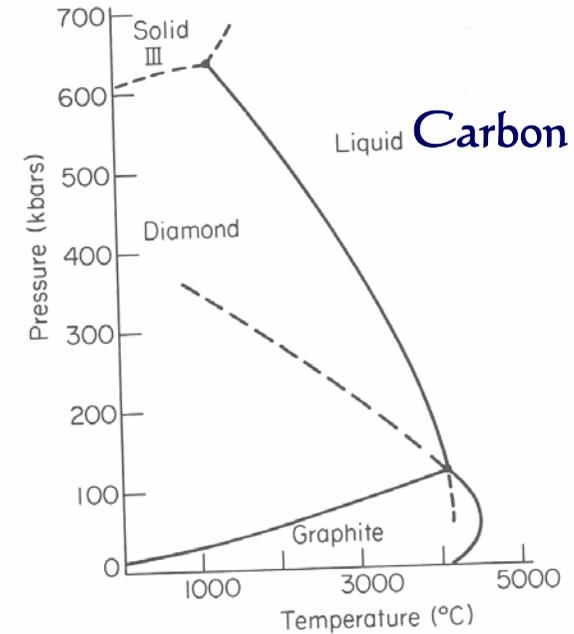
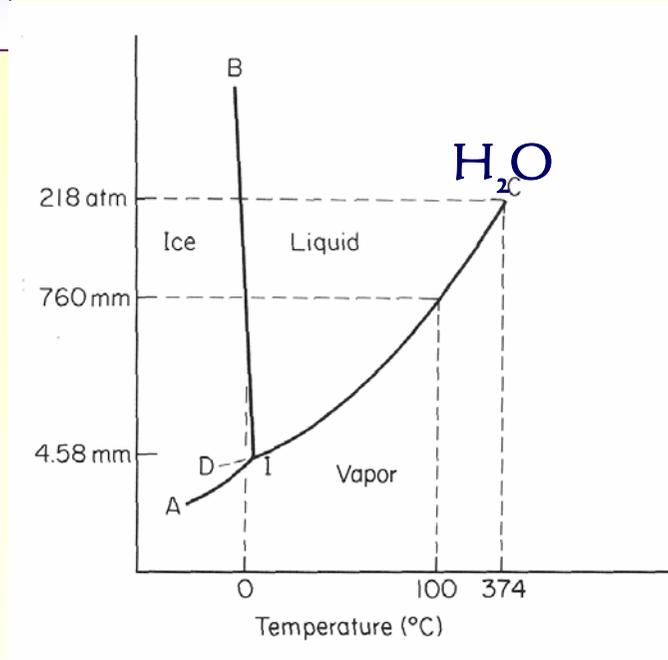
**L**: número de grados de libertad/variables independientes que se pueden modificar sin alterar el estado de la fase o de las fases en equilibrio

**C**: número de componentes del sistema (Ej: elemento, compuestos estequiométricos)

Como generalmente los diag. de fases son a **P : cte=1atm**

$$F + L = C + 1$$

## Sustancias Puras



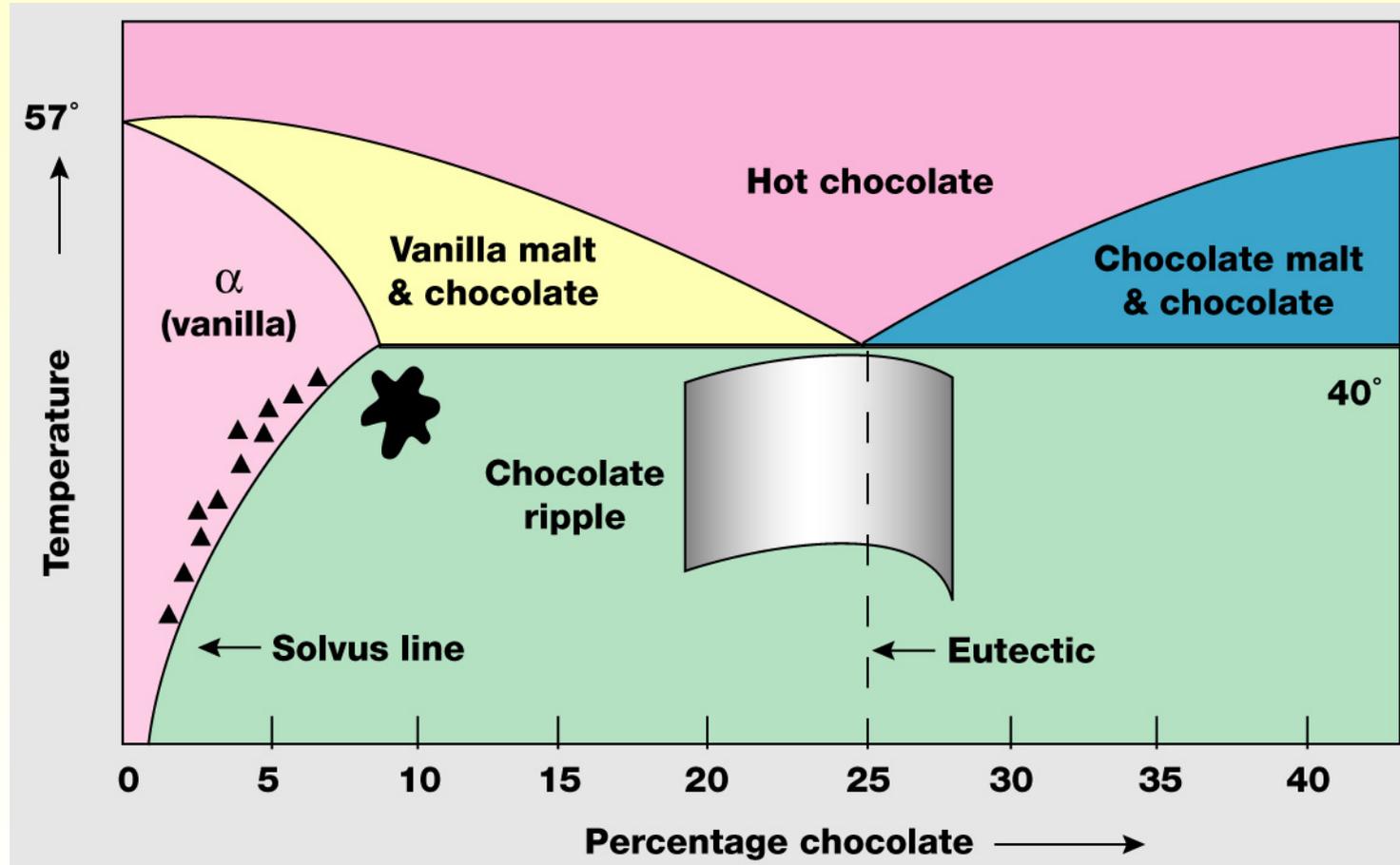
Both from Phase Diagrams for Ceramists, Vol. 1, American Ceramic Society, 1964

Sistema 2 o más componentes

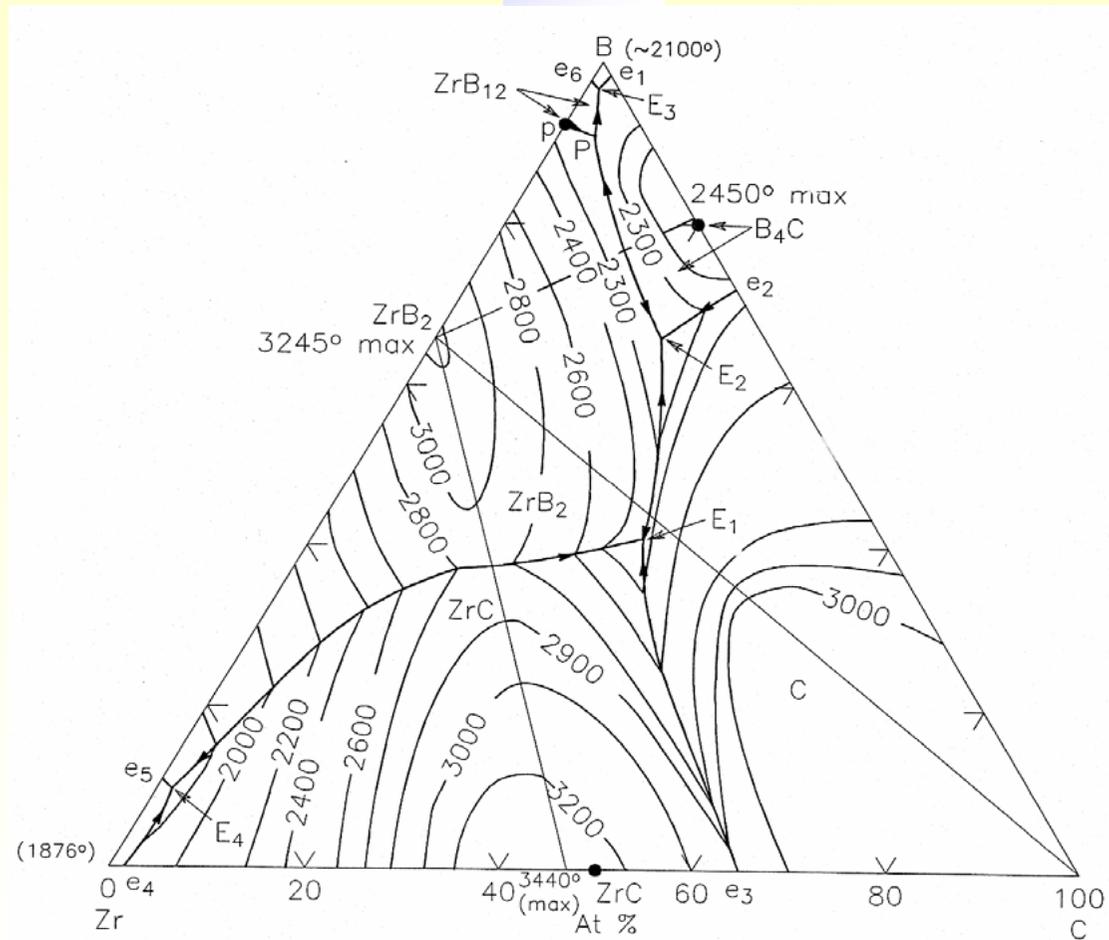


Diagramas de fases Binarios  
Diagramas de fases Ternarios

# Diagrama de Fases: Vainilla-Chocolate



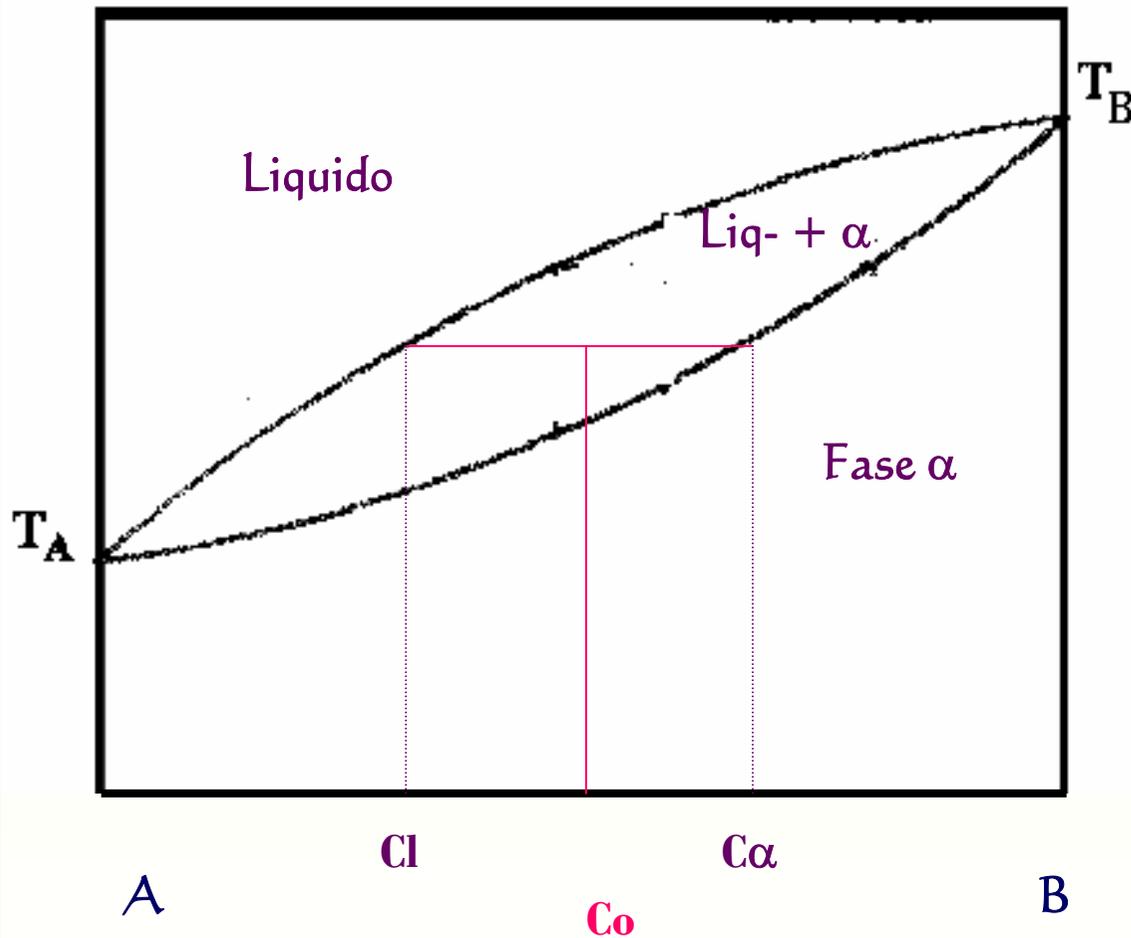
## Fase I



Fase II

Fase III

# Regla de la Palanca: Fracción en peso



En zonas bifásicas:

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L}$$

$$W_\alpha = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L}$$

- Mezcla de 2 componentes (A y B)
- Dependiendo de la **Solubilidad en estado sólido**:
  - Sist. Binario con **Solubilidad TOTAL**:  $\Rightarrow$  **Sistema Isomorfo (Regla de Hume-Rothery)**
  - Sist. Binario con **Solubilidad PARCIAL**
  - Sist. Binario con **Insolubilidad TOTAL**
- Se representa P o T frente a composición

Diagramas Eutéticos

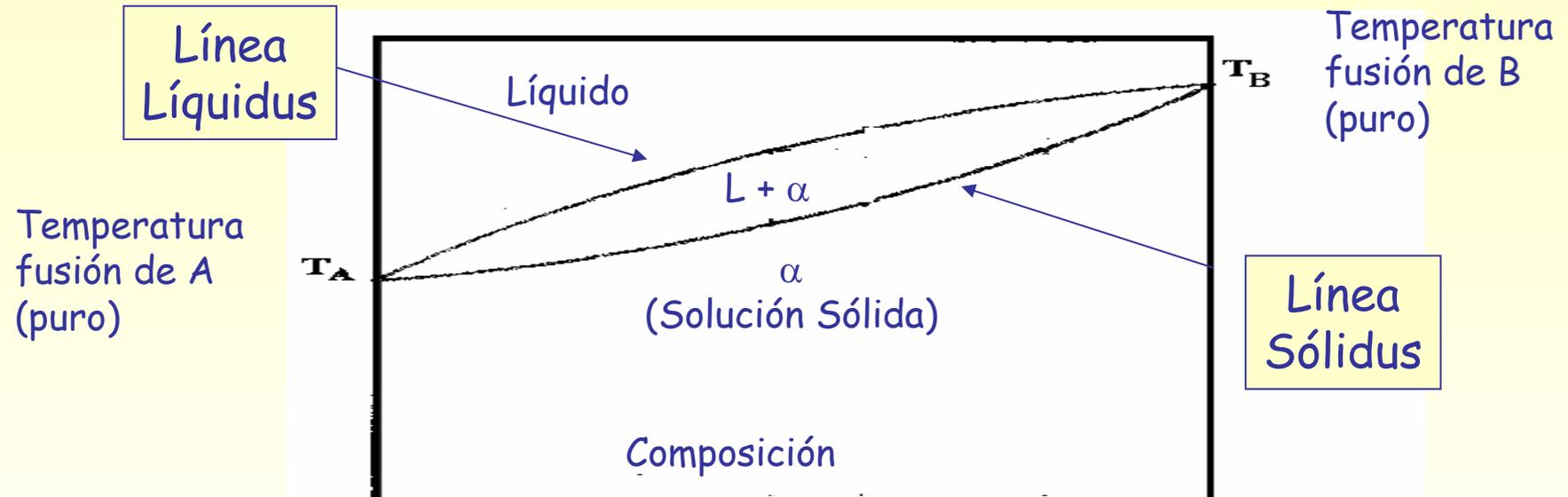
Fracción Molar: (0-1)

$$X_A = \frac{\text{moles}_A}{\text{moles}_A + \text{moles}_B}$$

Porcentaje en Peso: (0-100)

$$\% \text{ Wt (A)} = \frac{W_A}{W_A + W_B} \times 100$$

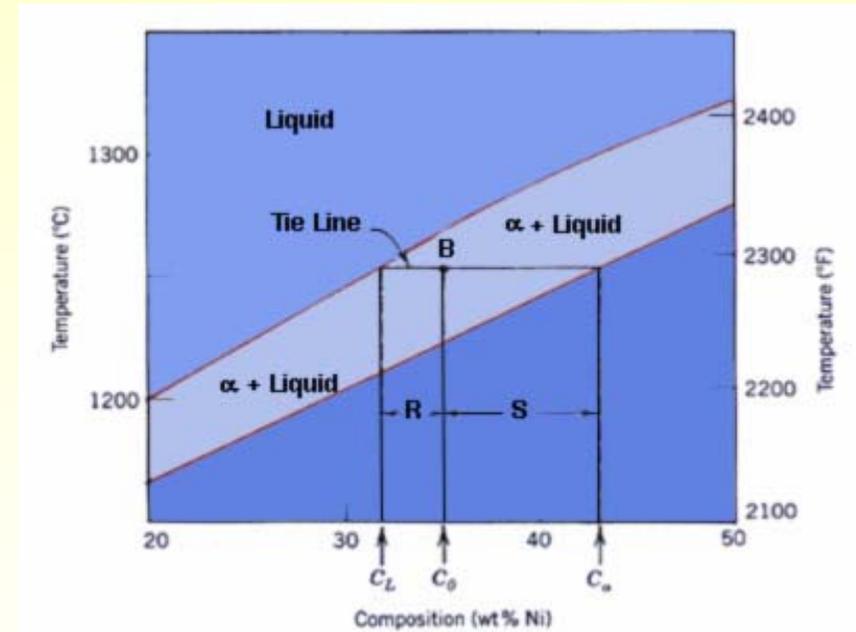
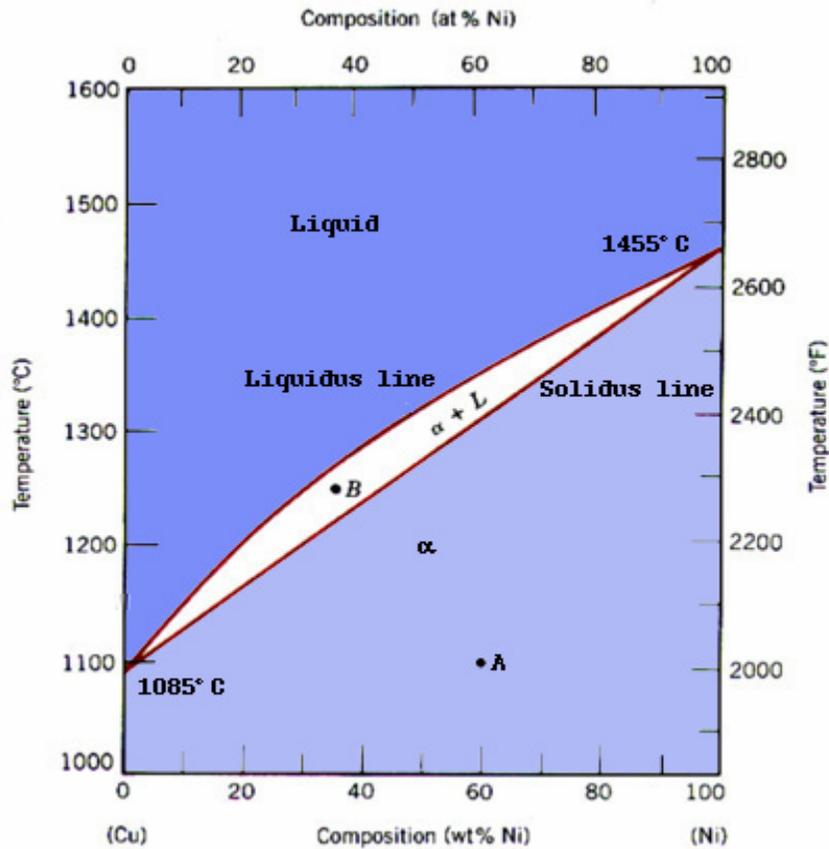
# Solubilidad Total en Estado sólido



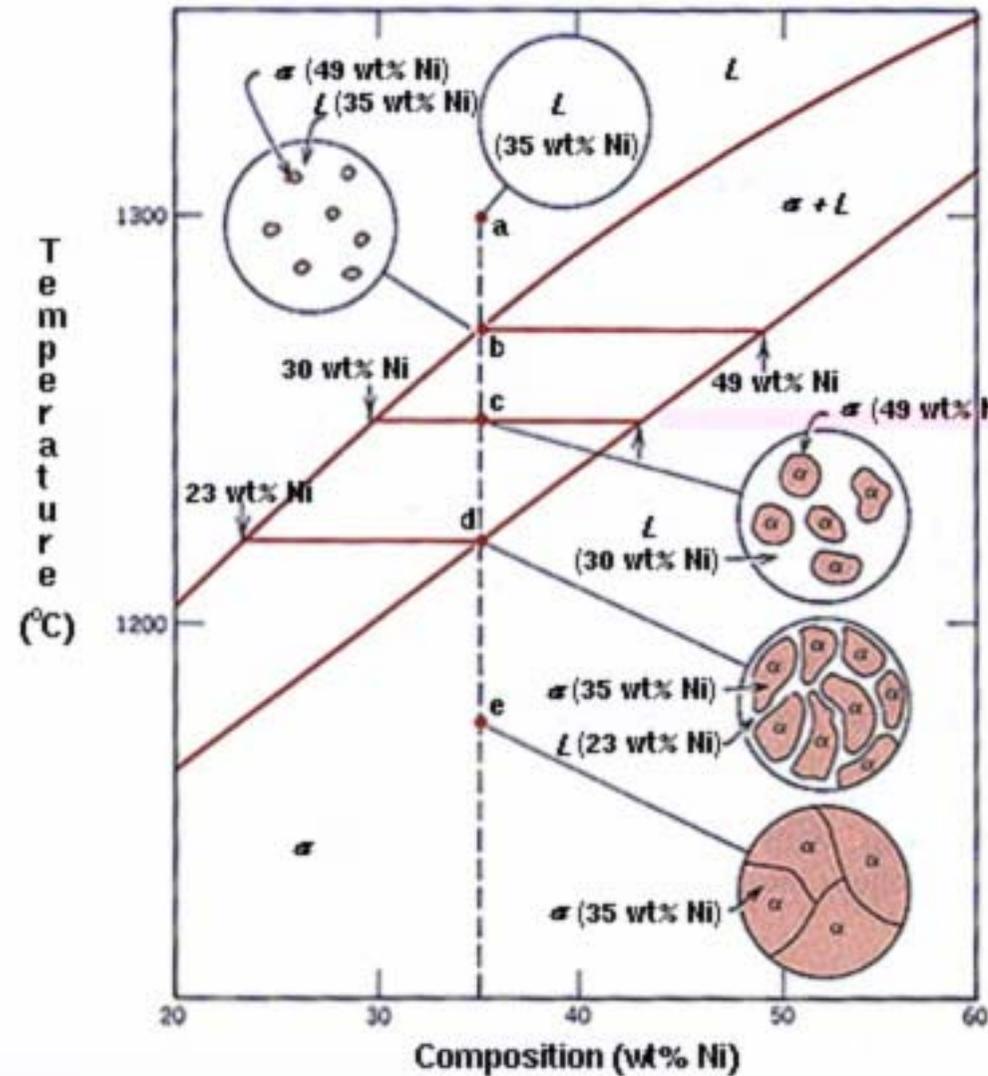
Hay tres zonas diferentes:

- 2 regiones **monofásicas**
  - $L$  (líquido): única fase líquida (A y B son completamente solubles)
  - $\alpha$  : única fase sólida: Sol. Sól. Con una estuct. cristalina definida (A y B son completamente solubles)
- 1 región **bifásica** (coexistencia de dos fases: sólida + líquida)
  - $L + \alpha$

# Diag. Solubilidad Total: Sistema Cu-Ni (I)



# Diag. Solubilidad Total: Sistema Cu-Ni (II)



# Diag. Solubilidad Total: Sistema Cu-Ni (III)

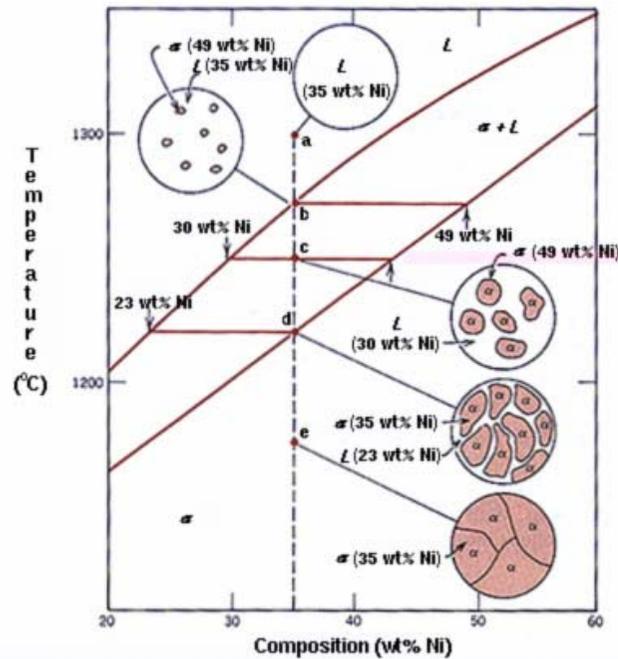


Diagrama Ni-Cu  
(Solubilidad total:  
aleación isomórfica)

## Enfriamiento lento desde 1300 hasta 1100°C

Punto a)  $\Rightarrow$  todo líquido (composición L=35% Ni y 65% Cu)

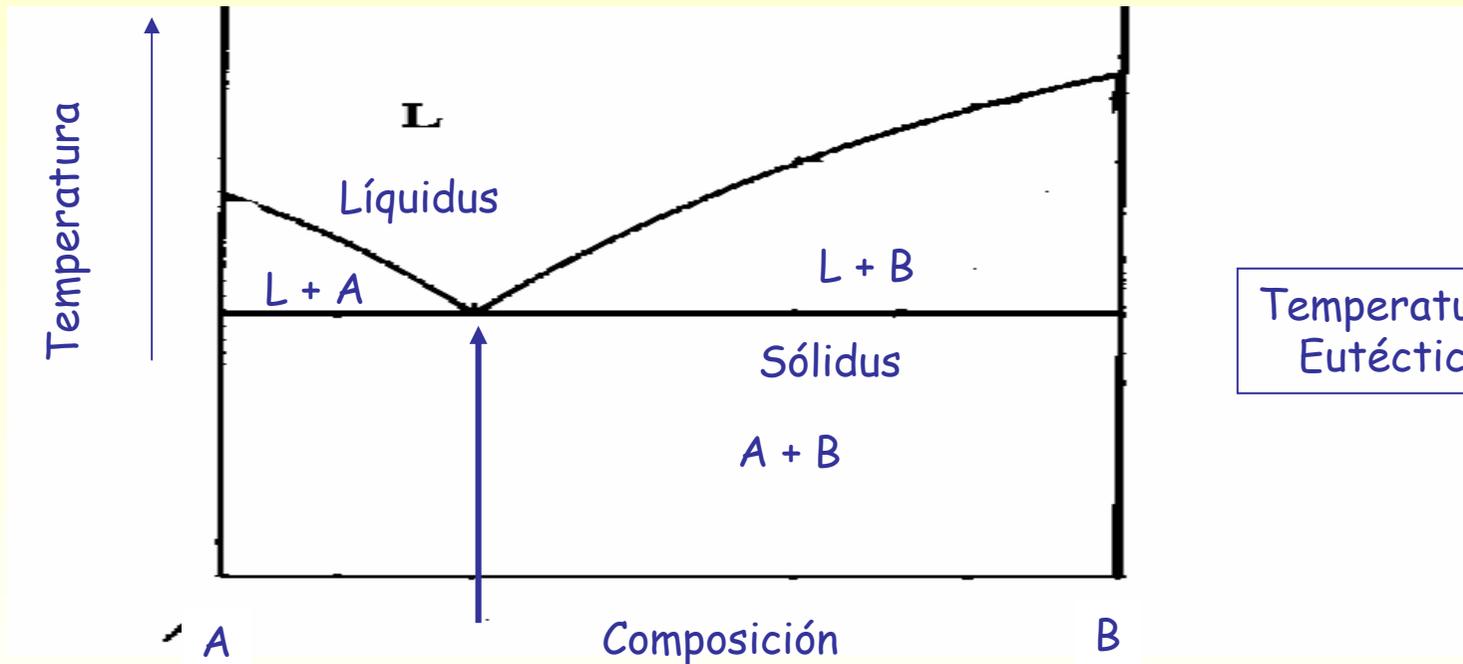
Punto b)  $\Rightarrow$  Corte con la “línea Liquidus”  $\Rightarrow$  Aparición “ $\alpha$ ”  
(1250°C) Composición : L=35% Ni y 65% Cu  
 $\alpha$ =49% Ni y 51% Cu

Punto c)  $\Rightarrow$  Región bifásica  $\Rightarrow$  L+ $\alpha$   
(1250°C) Composición : L=30% Ni y 70% Cu  
 $\alpha$ =43% Ni y 57% Cu

Punto d)  $\Rightarrow$  Corte con la “línea Sólidas”  $\Rightarrow$  desaparición “L”  
(1220°C) Composición : L=23% Ni y 77% Cu  
 $\alpha$ =35% Ni y 65% Cu

Punto e)  $\Rightarrow$  todo sólido “ $\alpha$ ” (composición  $\alpha$ =35% Ni y 65% Cu)

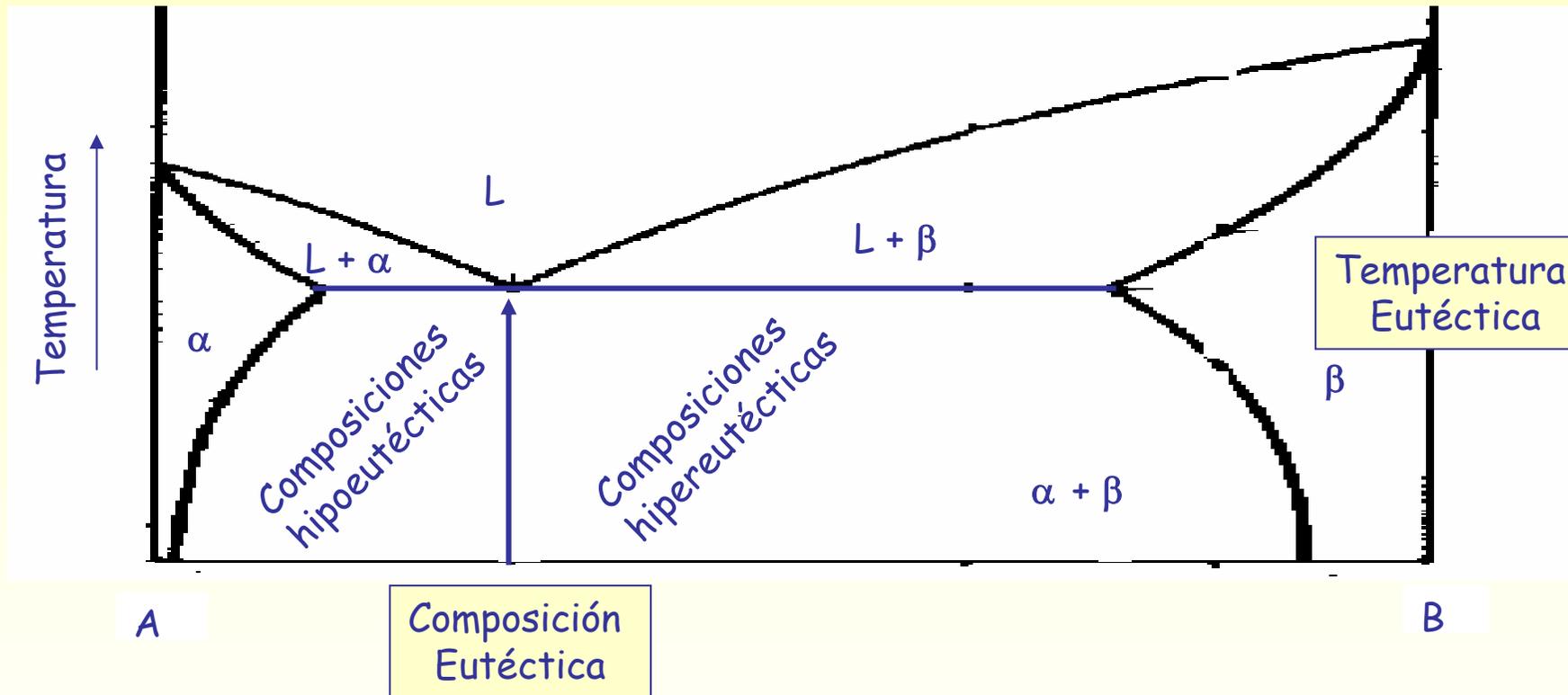
# Diag. Eutético con Insolubilidad Total



Temperatura Eutética

Composición Eutética

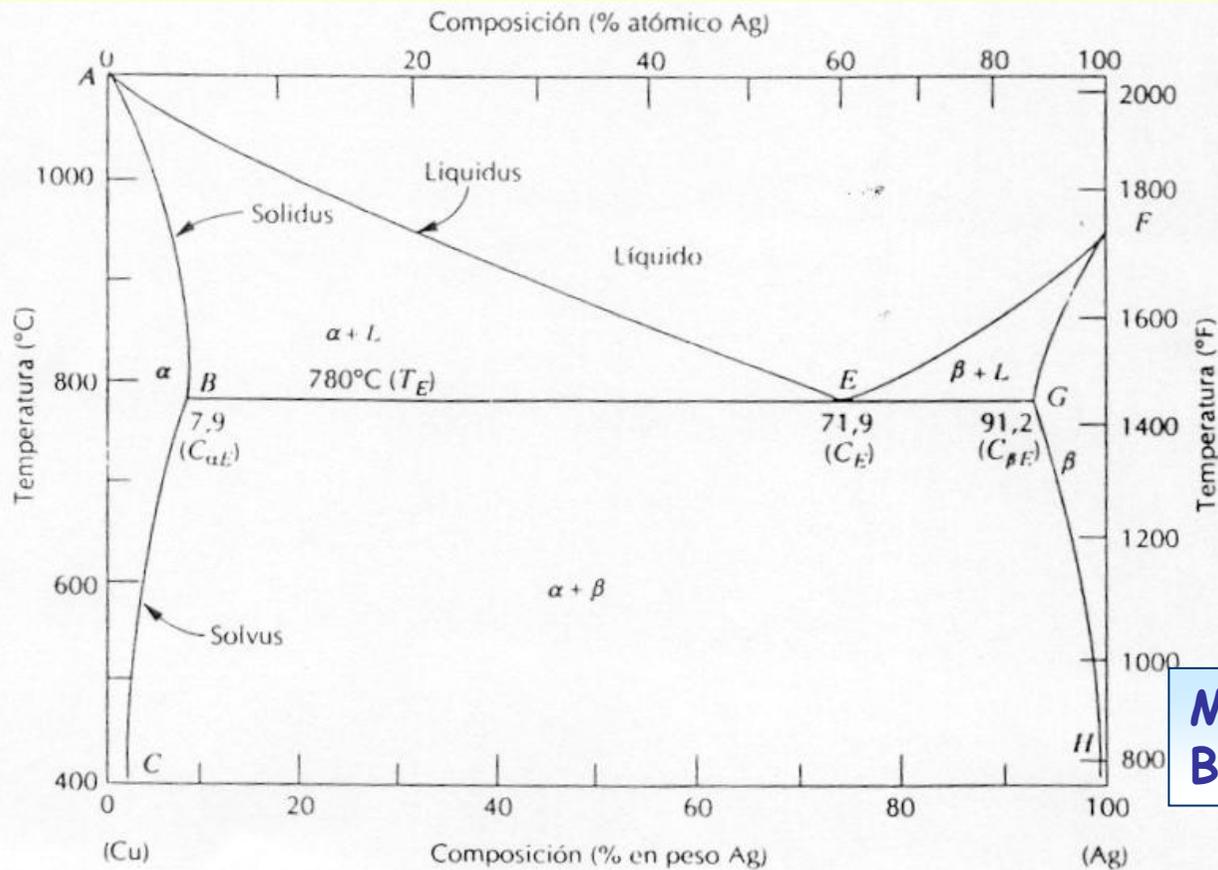
# Diag. Eutéctico con Solubilidad Parcial



∃n zonas de SS próximas a los extremos:  
α: SS con igual estruct. crist. que A  
β: SS con igual estruct. crist. que B

En la zona central, ∃n dos fases sólidas presentes:  
α y β

# Diag. Solubilidad Parcial: Cu-Ag (I)

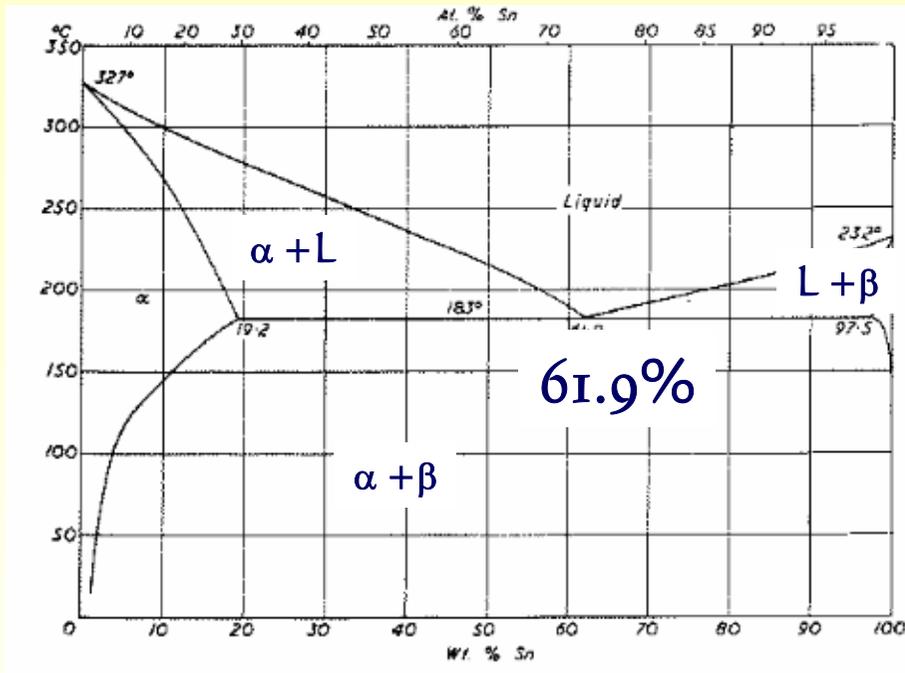


Monofásicas: L,  $\alpha$ ,  $\beta$   
Bifásicas:  $\alpha + \beta$ ,  $\alpha + L$ ,  $\beta + L$

Punto Eutético ( $T = 780^\circ\text{C}$ ): E (71.9% Ag y 28.1% Cu)

Líneas: Líquidus, Sólidos y Solvus

# Diag. Solubilidad parcial: Pb-Sn



Regiones:

Monofásicas: L,  $\alpha$ ,  $\beta$

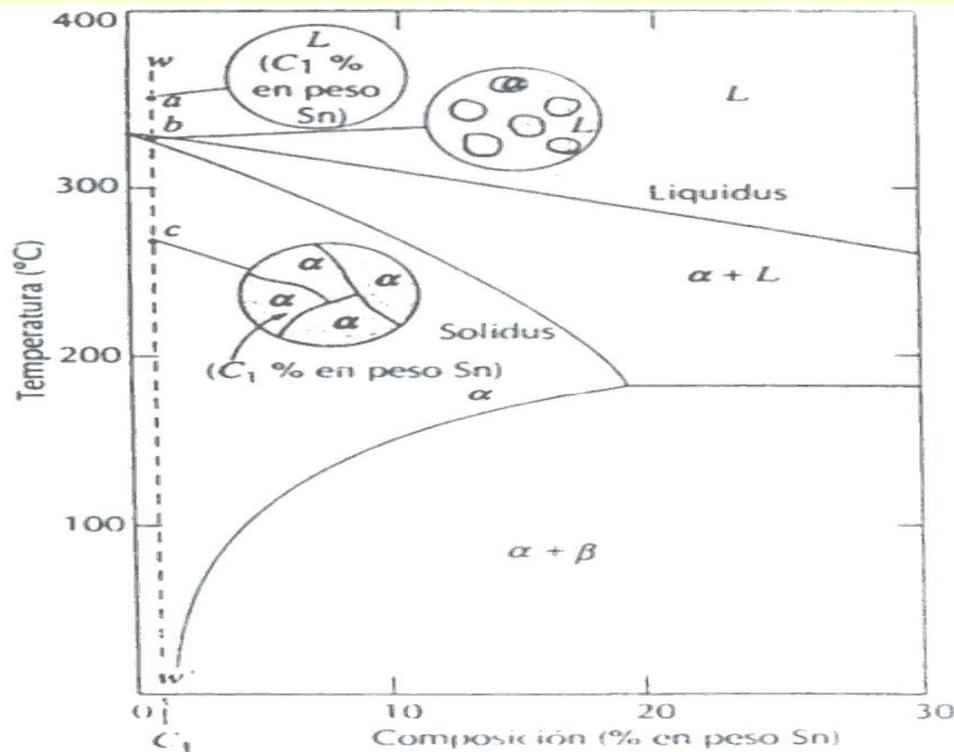
Bifásicas:  $\alpha+\beta$ ,  $\alpha+L$ ,  $\beta+L$

Punto Eutético: E (61.9% Ag y 38.1% Cu)  
T=183°C

Líneas: Líquidus, Sólidus y Solvus

# Diag. Solubilidad parcial: Pb-Sn (II)

entre componente puro y la máxima solubilidad sólida a temp. ambiente



Punto a: todo líquido (2% Sn y 98% Pb)

Punto b: Corte con la línea liquidus.  
Aparece "α"

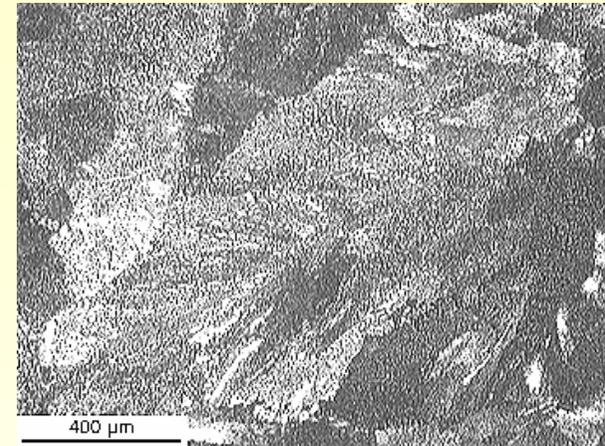
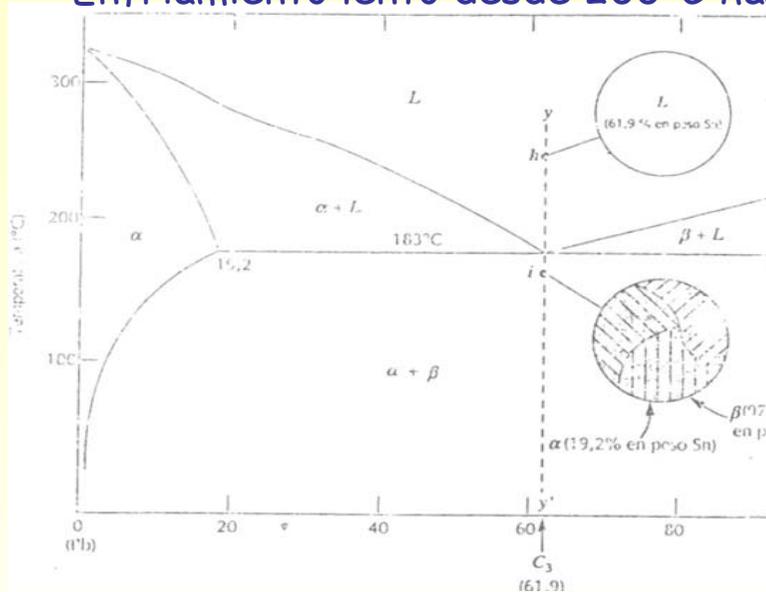
fase L: 3% Sn y 97% Pb

fase α: 1% Sn y 99% Pb

Punto c: fase α

# Diag. Solubilidad parcial: Pb-Sn (III)

Enfriamiento lento desde 200°C hasta T.amb.



**Aleación 1** (Composición Eutéctica : 61.9% Sn y 38.1% Pb)

$T > 183^\circ\text{C}$ , todo líquido

$T = 183^\circ\text{C}$  ( $T_E$ ) todo el líquido solidifica

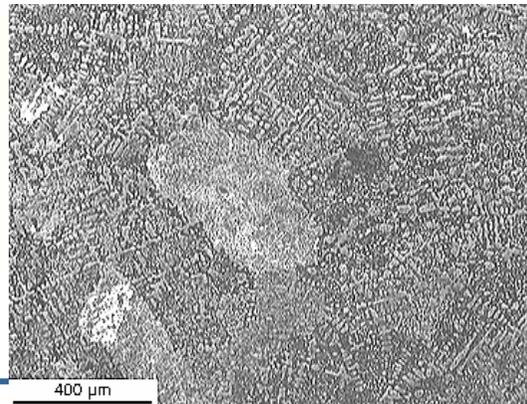
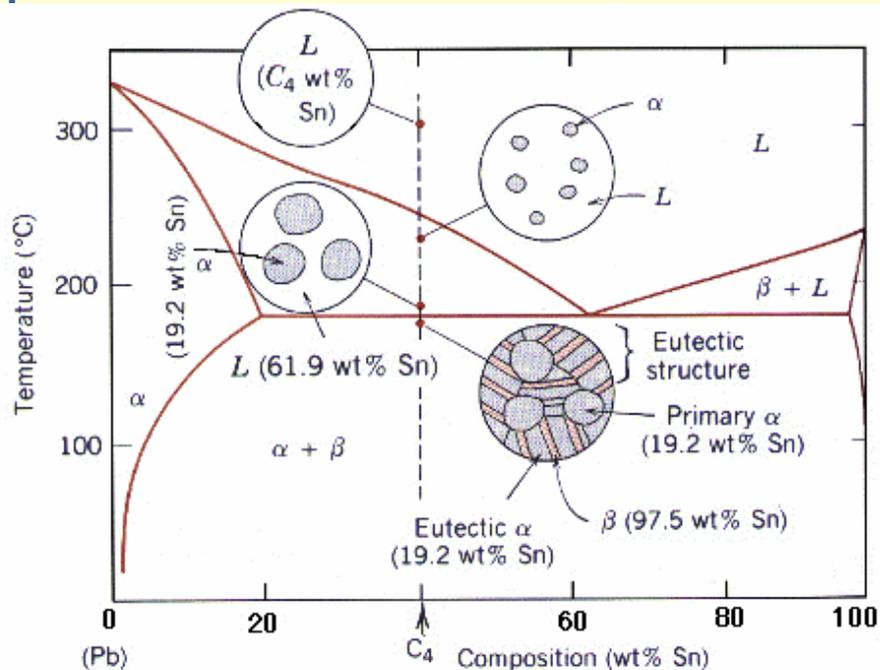
$L(61.9\% \text{ Sn}) \rightarrow \alpha(19.2\% \text{ Sn}) + \beta(97.5\% \text{ Sn})$

Microestructura: láminas alternadas de las fases  $\alpha$  y  $\beta$

$T < 183^\circ\text{C}$ , mezcla de fases:  $\alpha + \beta$ , en láminas alternadas

# Diag. Solubilidad parcial: Pb-Sn (IV)

Enfriamiento lento desde 300°C hasta T.amb. para una aleación de **composición C<sub>4</sub>**



Punto j: Todo líquido

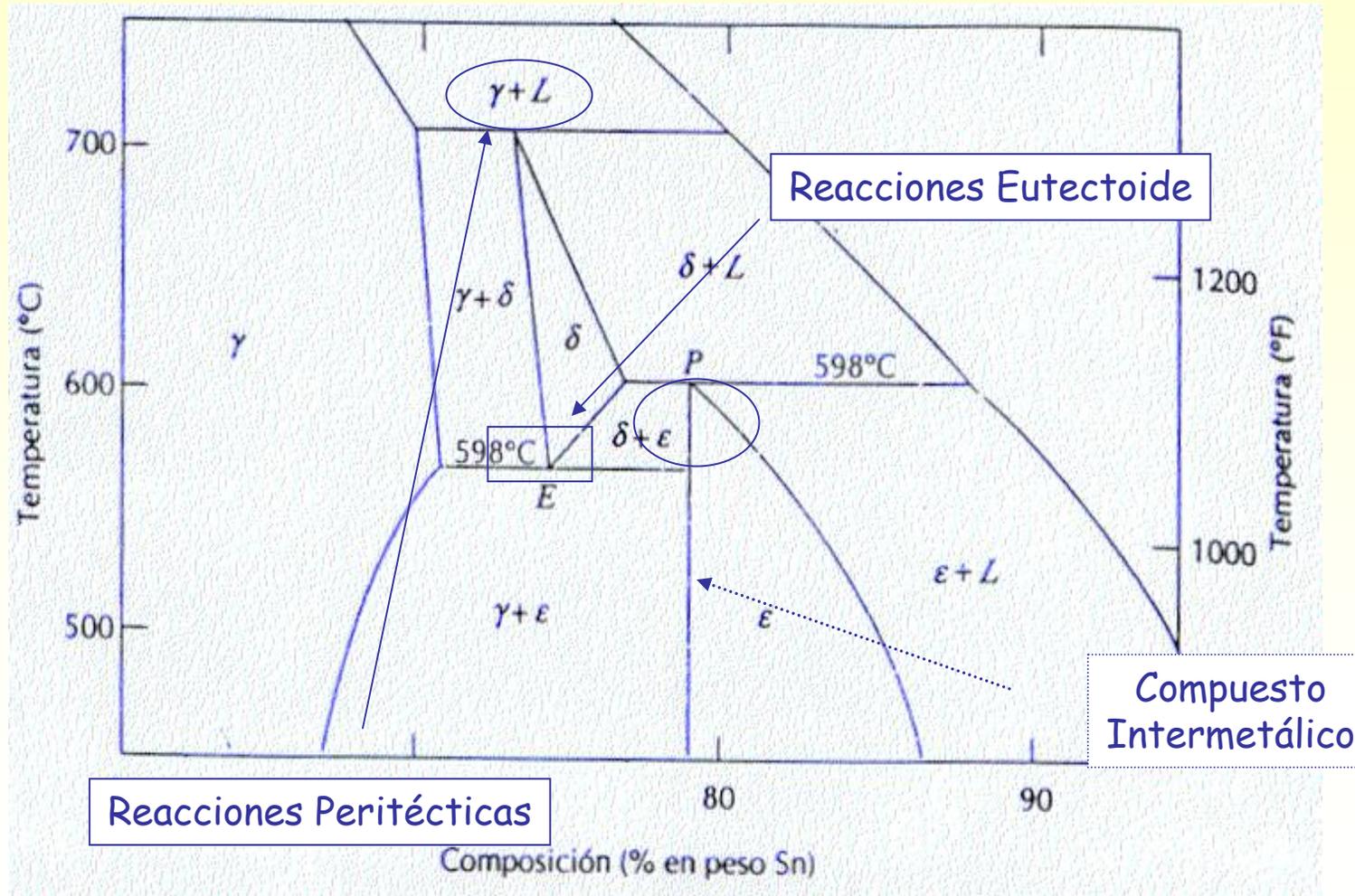
Punto k: fase L (45% Sn y 55% Pb)  
fase  $\alpha$ -proeutéctica (18% Sn)

Punto l: fase L (58% Sn y 42% Cu)  
fase  $\alpha$ - proeutéctica (19% Sn)

Punto m : fase  $\alpha$ -proeutéctica (partículas de  $\alpha$  )

fase eutéctica: mezcla de  $\alpha+\beta$  (láminas alternadas de  $\alpha$  y  $\beta$ )

# Diagramas más complejos



1. Buscar páginas WEB donde haya información de diagramas de fases binarios (buscar al menos tres)
2. Buscar y explicar (identificando los puntos invariantes) un ejemplo de cada uno de los tres tipos de diagramas binarios:
  1. Solubilidad total en estado sólido
  2. Solubilidad parcial en estado sólido
  3. Insolubilidad total en estado sólido
3. ¿Qué son los diagramas ternarios?. Explica un ejemplo.