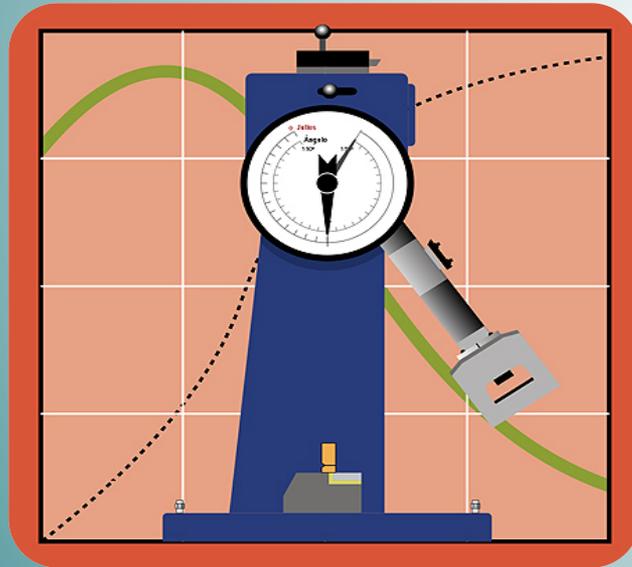


# Materiales-G704/G742

## Lección 10. Diagramas de fase



**Jesús Setién Marquínez**  
**Jose Antonio Casado del Prado**  
**Soraya Diego Cavia**  
**Carlos Thomas García**

Departamento de Ciencia e Ingeniería del  
Terreno y de los Materiales

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 10.1 INTRODUCCIÓN

En un material, en términos de microestructura, una **Fase** es una región macroscópicamente homogénea que difiere en estructura y/o composición de otra región.

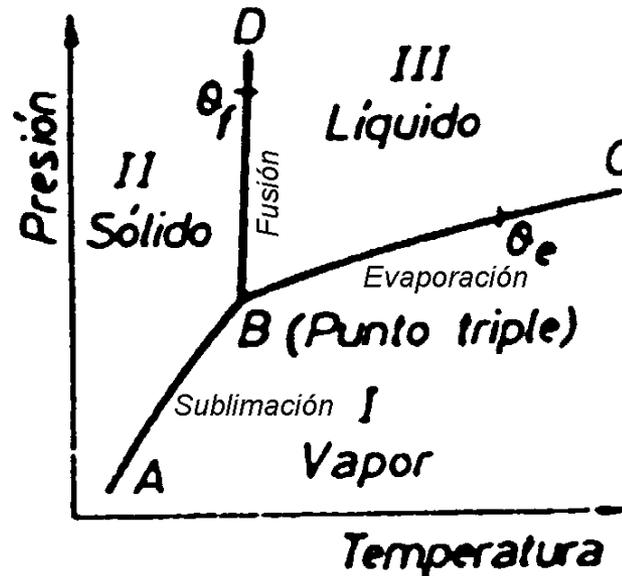
Los **Diagramas de Fases** (o Diagramas de Equilibrio) son representaciones gráficas de las fases presentes en un sistema material a varias temperaturas, presiones y composiciones.

La información importante que podemos obtener a partir de los diagramas de fases es:

1. Las fases presentes en el sistema a diferentes composiciones y temperaturas bajo condiciones de enfriamiento lento (equilibrio).
2. La temperatura a la cual las diferentes fases comienzan a fundirse.
3. La presencia de fenómenos de alotropía o polimorfismo en estado sólido.

## 10.2 DIAGRAMAS DE FASES DE UN COMPONENTE

Una sustancia pura como el agua puede existir en las fases sólida, líquida y gaseosa, dependiendo de las condiciones de temperatura y presión.



### 10.3 LA REGLA DE LAS FASES

La **regla de las fases** o **regla de Gibbs** permite obtener los grados de libertad (**F**) posibles para mantener una situación de equilibrio en un sistema material, en base al número de sus componentes (**C**) y fases presentes (**P**), teniendo en cuenta la existencia de dos variables termodinámicas independientes, usualmente presión y temperatura.

La regla se expresa por la relación:

$$F + P = C + 2$$

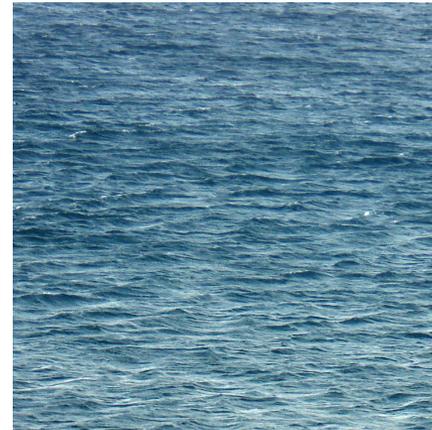
A presión constante (1 atmósfera): **F + P = C + 1** (regla de fases condensada)



$$\left. \begin{array}{l} C = 1 \\ P = 1 \end{array} \right\} F = 2 (P, T)$$



$$\left. \begin{array}{l} C = 1 \\ P = 2 \end{array} \right\} F = 1 ; P = P(T)$$



$$\left. \begin{array}{l} C = 2 \\ P = 1 \end{array} \right\} F = 3 (P, T, C)$$



$$\left. \begin{array}{l} C = 2 \\ P = 2 \end{array} \right\} F = 2 (P, T)$$

## 10.4 SOLUCIONES SÓLIDAS

**Solución:** mezcla macroscópicamente homogénea de una sustancia (solute) dispersa en otra (solvente).

**Solución sólida:** solución en que ambas sustancias son sólidas (ofrece la posibilidad de orden).

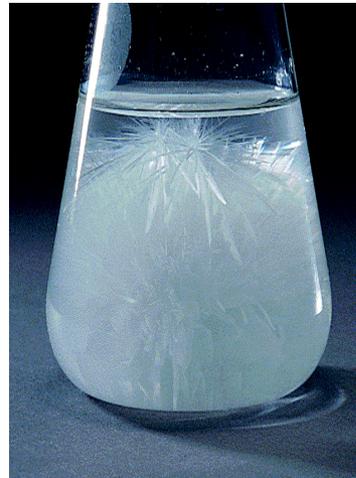
Al mezclarse dos o más sustancias en estado líquido puede suceder que sean:

Completamente solubles



agua  
y  
alcohol

Parcialmente solubles



agua  
y  
sal  
  
sal

Totalmente insolubles

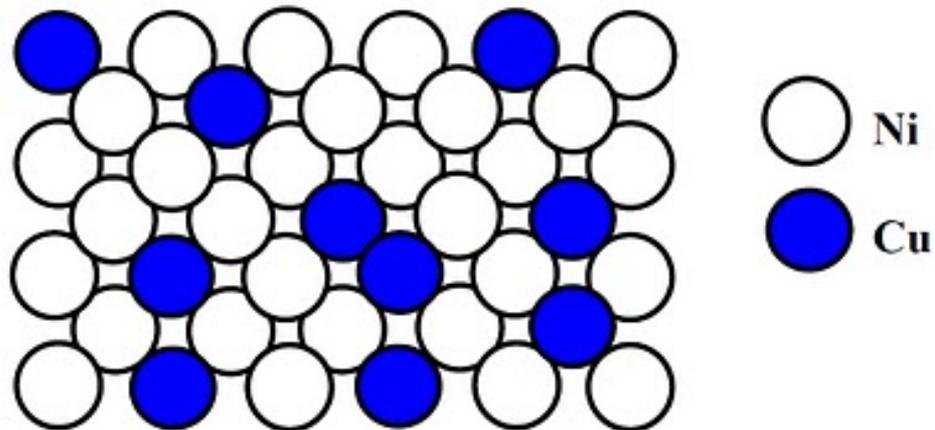


aceite  
  
agua

Al solidificar puede ocurrir:

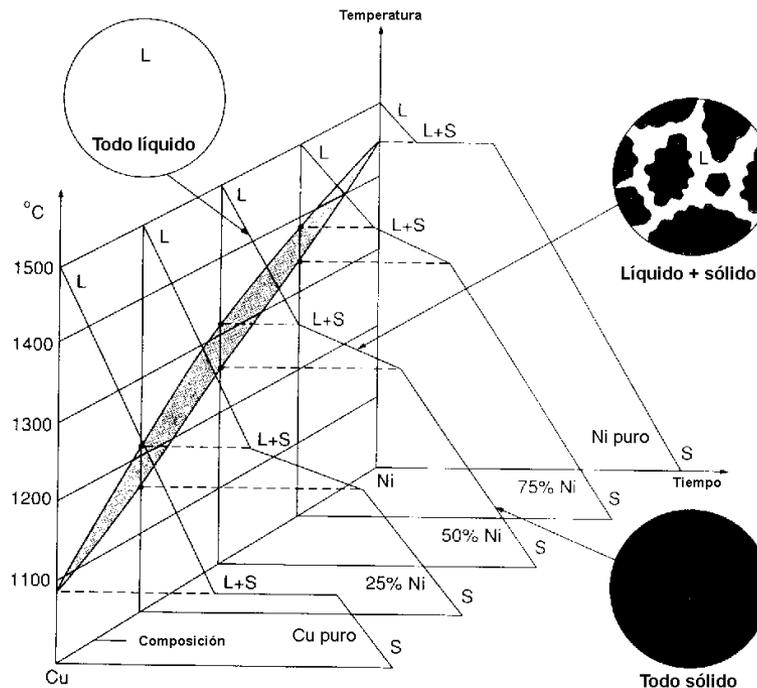
- Que la solubilidad sea total.
- Que la solubilidad sea parcial.
- Que la solubilidad sea nula.
- Que se formen nuevos compuestos químicos.

Todas estas posibilidades quedan reflejadas en los diagramas de fases.

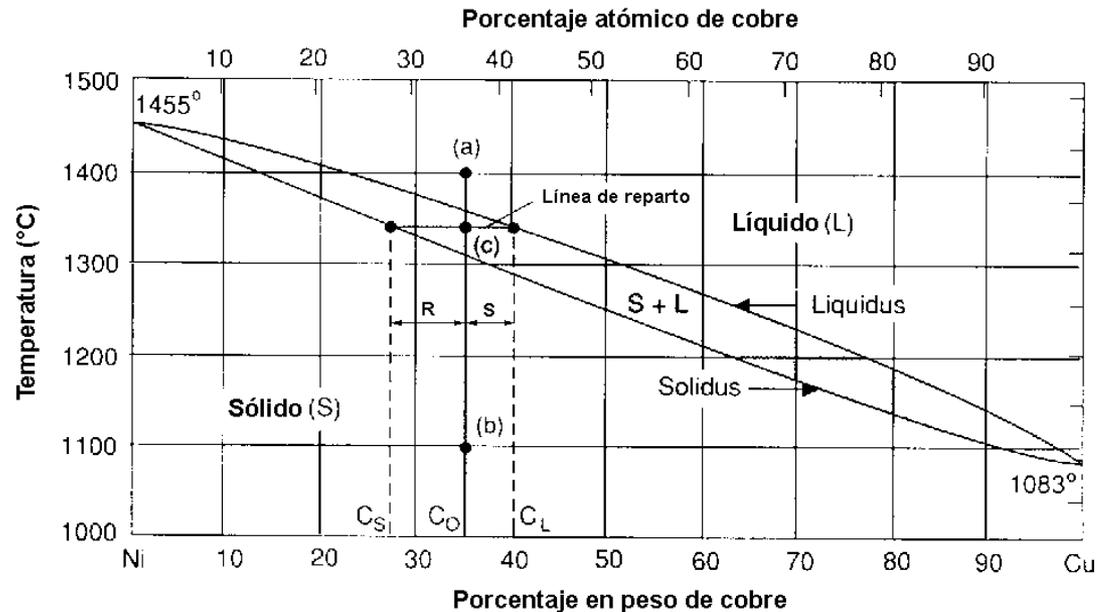


## 10.5 DIAGRAMAS DE FASES BINARIOS

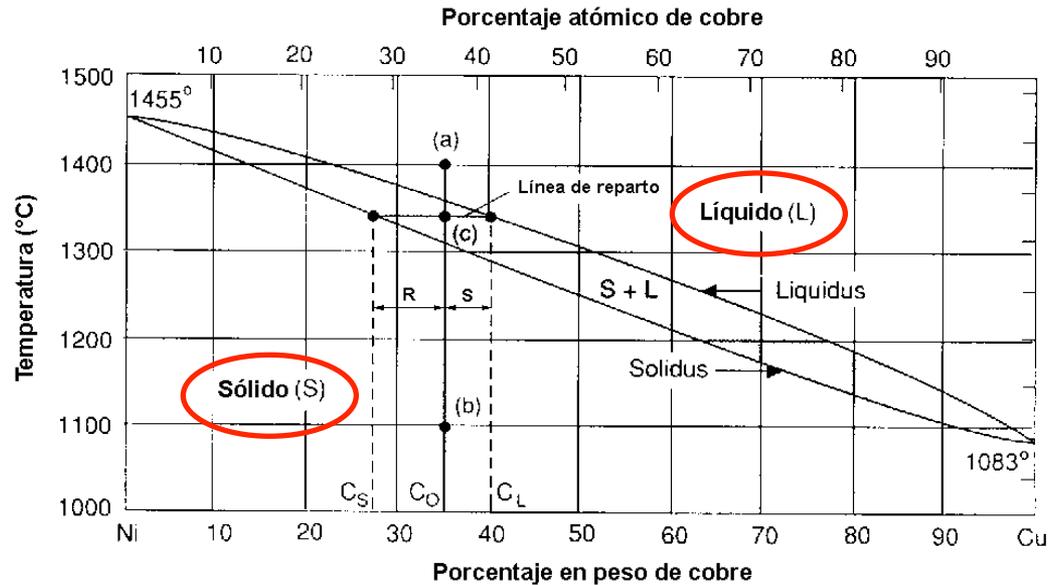
- Los diagramas de fases son mapas **temperatura – composición** de sistemas (a  $P = \text{cte.}$ ) que se obtienen a partir de series de curvas de enfriamiento.
- Muestran las **fases** presentes y sus **composiciones** para cualquier temperatura y composición de la aleación, permitiendo predecir las transformaciones entre fases y la **microestructura** resultante.



## 10.6 INTERPRETACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FASES BINARIOS

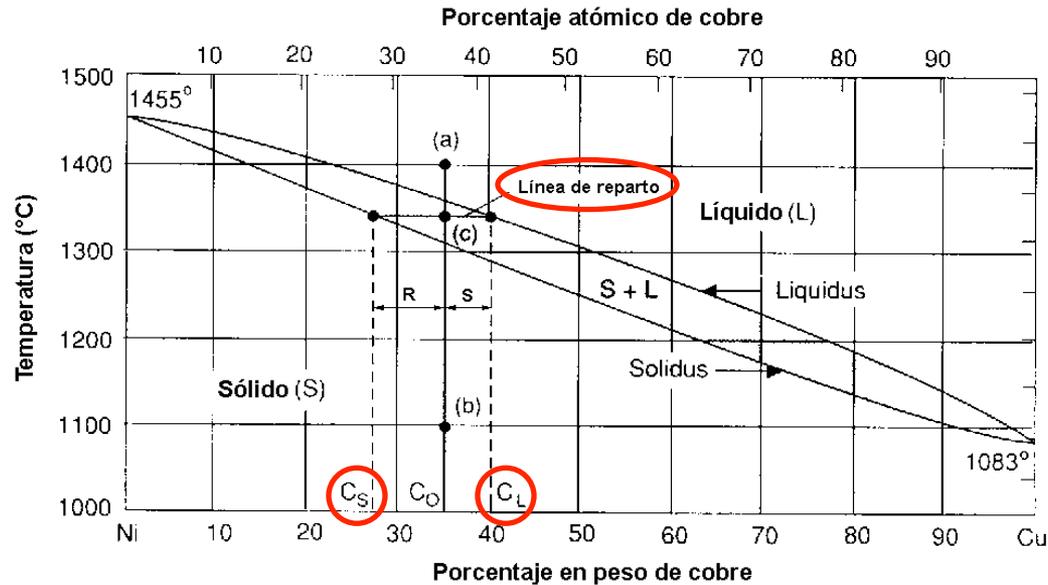


- La constitución de una aleación queda descrita por:
  - La **composición global** de la aleación.
  - El número de **fases** presentes.
  - La **composición** de cada fase.
  - La fracción, **porcentaje o proporción** en peso de cada fase.



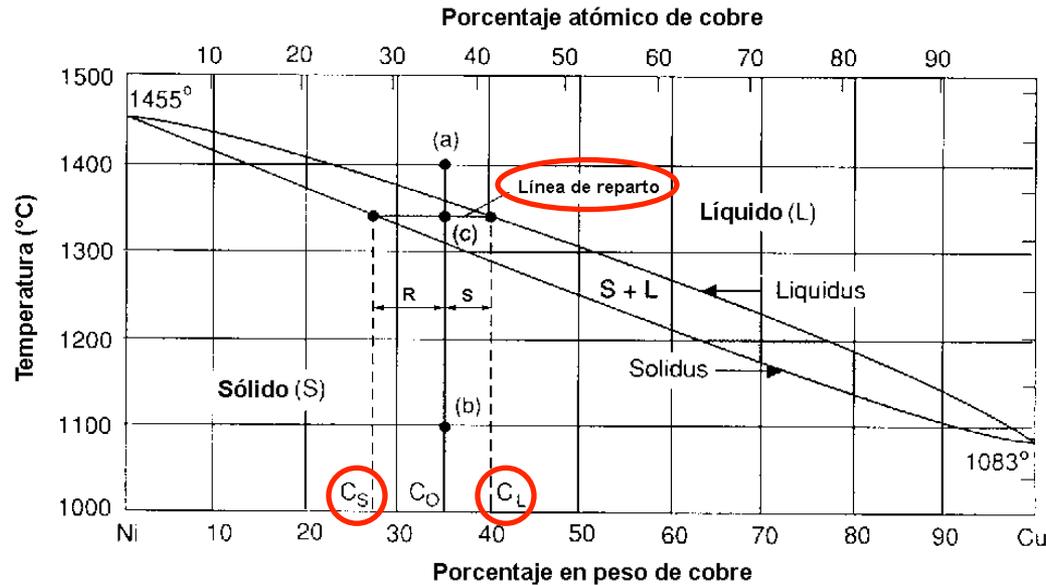
• Regiones monofásicas:

1. La composición química de la fase coincide con la composición total de la aleación original.
2. Físicamente la aleación estará constituida por 100% de fase líquida homogénea o bien 100% de fase sólida homogénea.



• **Regiones bifásicas:**

1. A la temperatura de interés para la aleación considerada se construye la **línea de reparto** (isoterma), que conecta dos fases (L y S, en este caso) a través de la región bifásica.
2. La composición química de las dos fases ( $C_L$  y  $C_S$ ) viene dada por las intersecciones de dicha línea con las de los límites de fase en cada extremo, trasladadas verticalmente hacia abajo y leídas directamente sobre el eje horizontal de las composiciones.
3. La proporción o porcentaje de cada fase se calcula en base a la **Regla de la Palanca**.



Porcentaje de fase líquida de composición  $C_L$ :

$$W_L = \frac{R}{R + S} = \frac{C_0 - C_S}{C_L - C_S}$$

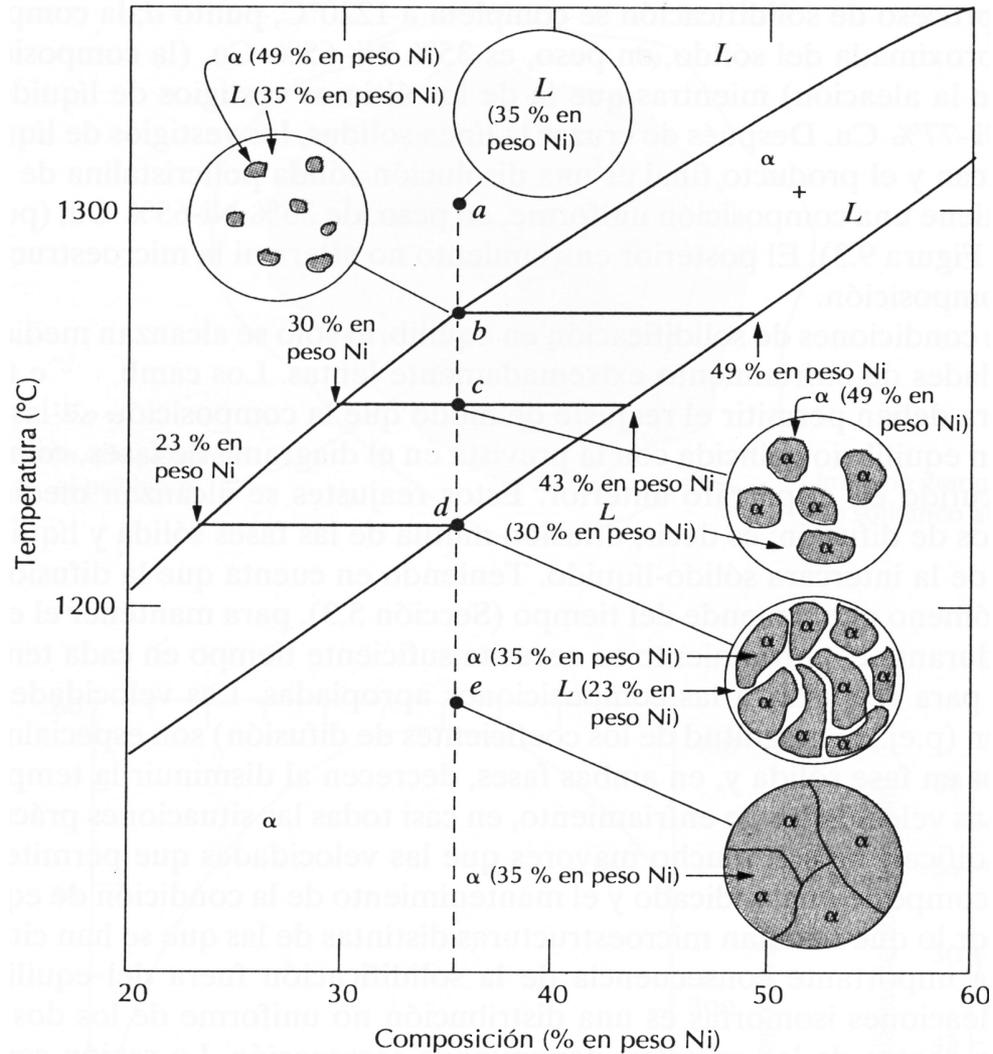
Porcentaje de fase sólida de composición  $C_S$ :

$$W_S = \frac{S}{R + S} = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_S}$$

Como únicamente hay dos fases implicadas se verifica que:

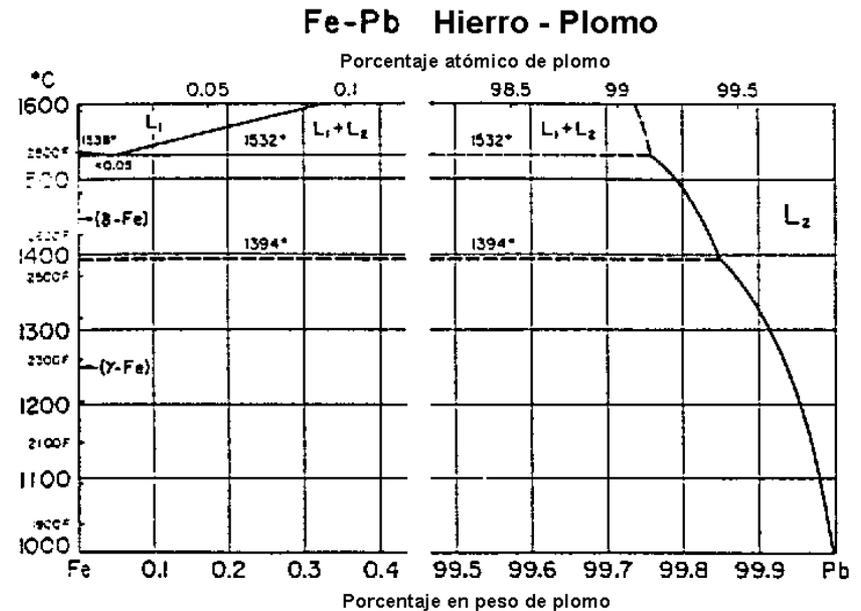
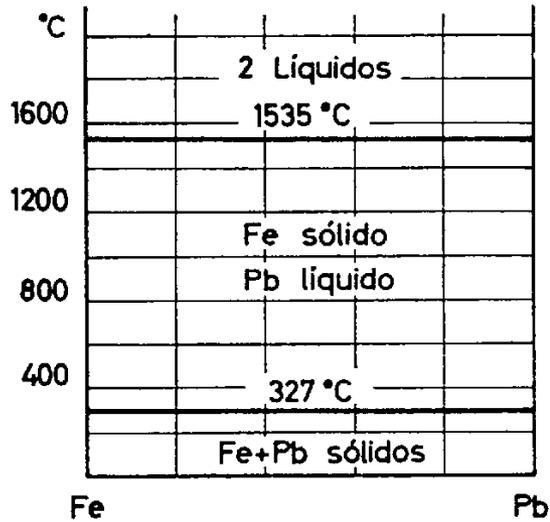
$$W_L + W_S = 1 \quad ; \quad W_L(\%) + W_S(\%) = 100$$

• Desarrollo de microestructuras:



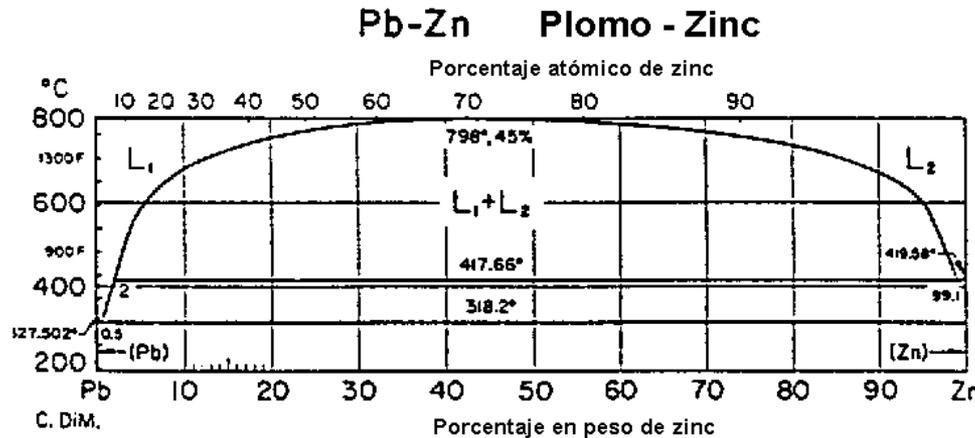
## 10.7 TIPOLOGÍA DE LOS DIAGRAMAS DE FASES

- **Inmiscibilidad total** en estado líquido:

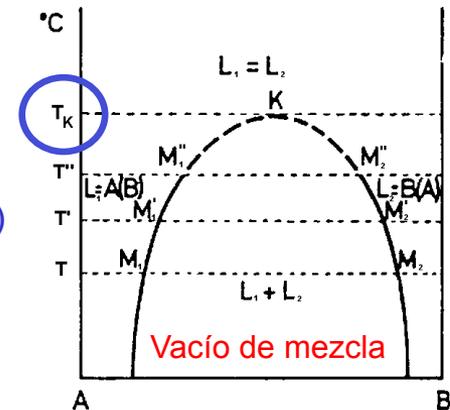
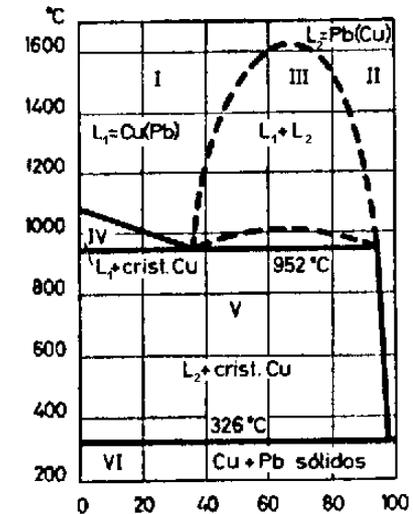


- **Miscibilidad parcial** en estado líquido. Diagramas con MONOTÉCTICO.

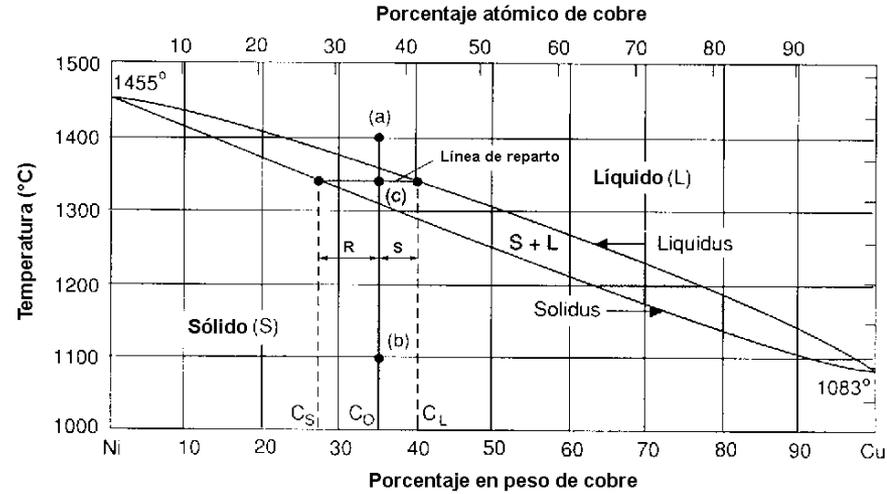
**Monotéctico:** punto invariante ( $f = 0$ ) en el que un líquido ( $L_1$ ) se transforma en otro líquido ( $L_2$ ) y un sólido  $\alpha$ .



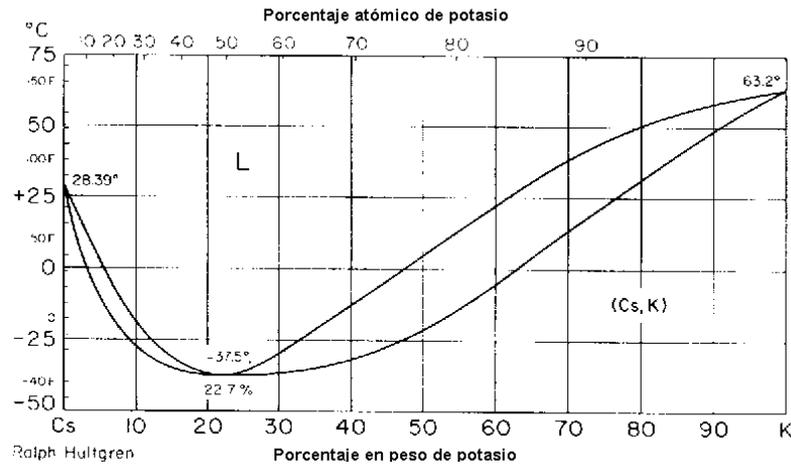
Temperatura crítica de solubilidad ( $T_K$ )



- **Solubilidad total** en estado sólido y líquido. Sistemas isomorfos.



Cs-K Cesio - Potasio



- **Solubilidad total** en estado líquido y **nula** en sólido. Diagrama EUTÉCTICO.

**Eutéctico:** punto invariante ( $f = 0$ ) en el que un líquido (L) se transforma en otros dos sólidos diferentes ( $\alpha$  y  $\beta$ ).

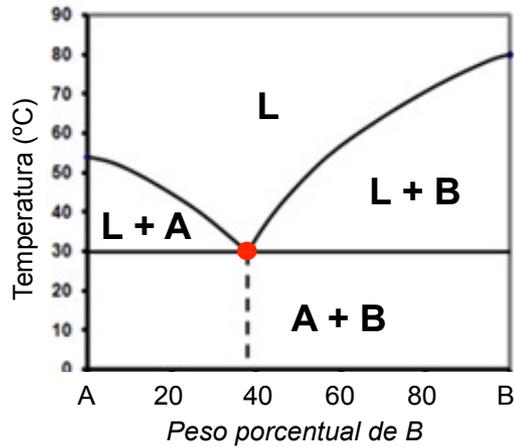
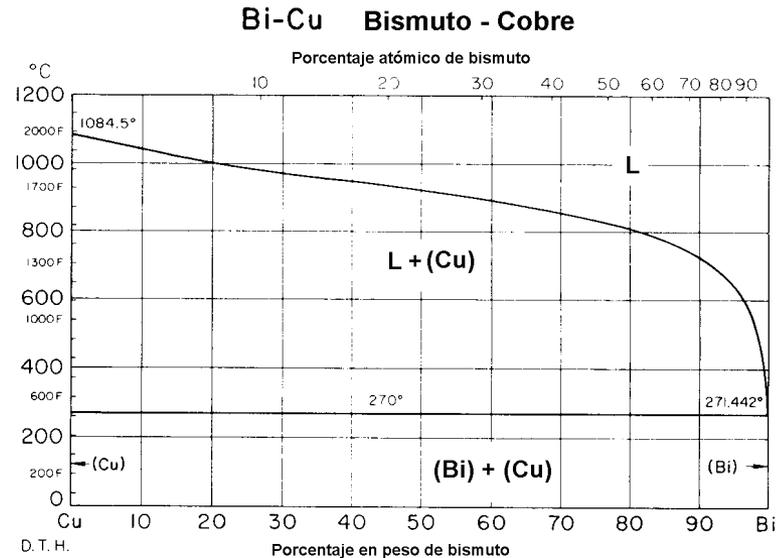
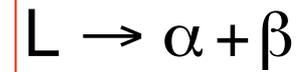
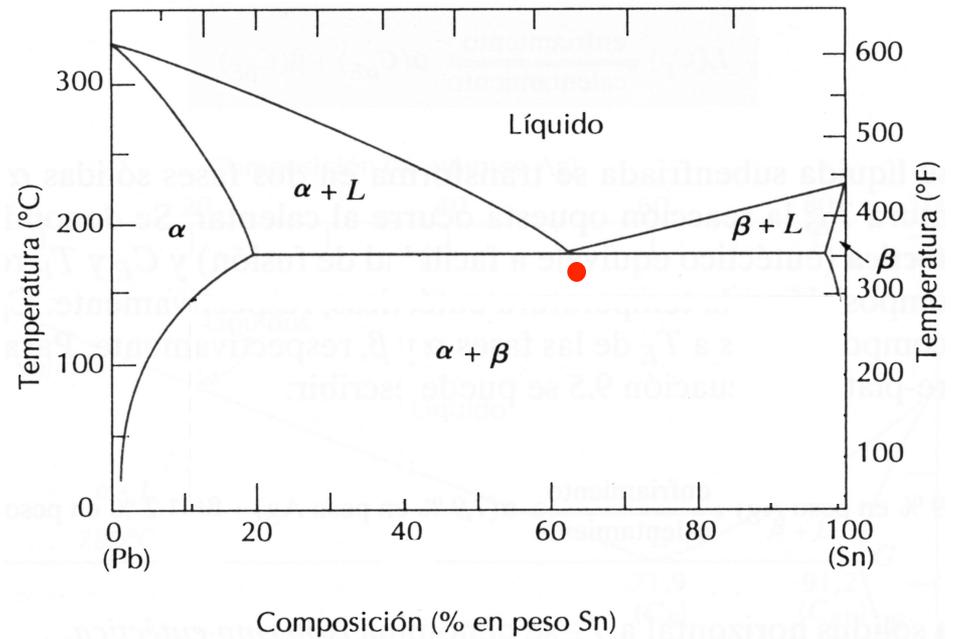
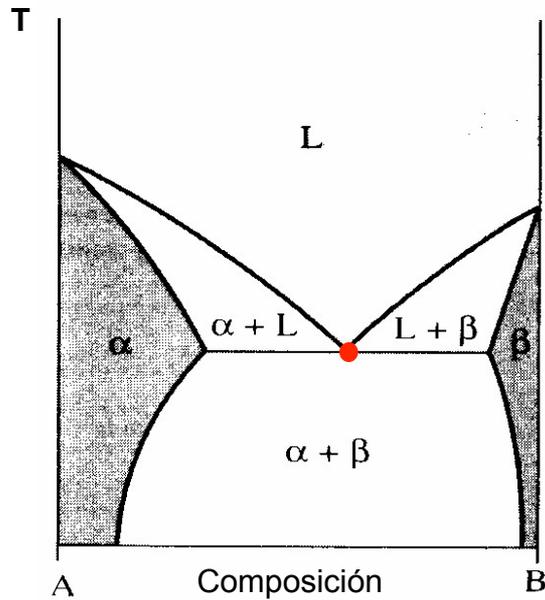


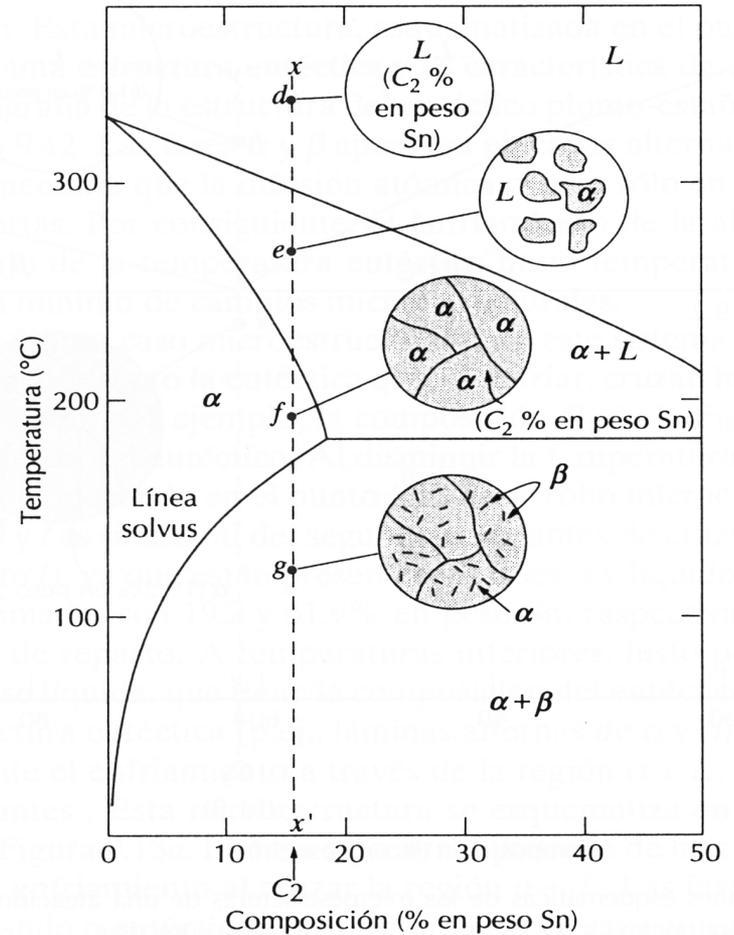
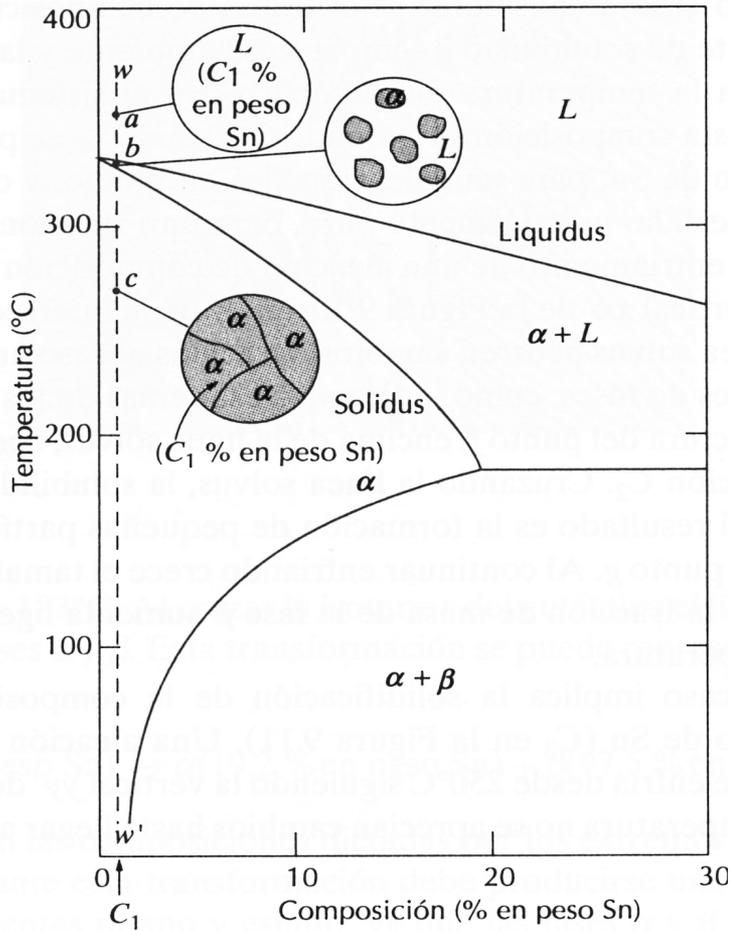
Diagrama «sin eutéctico»

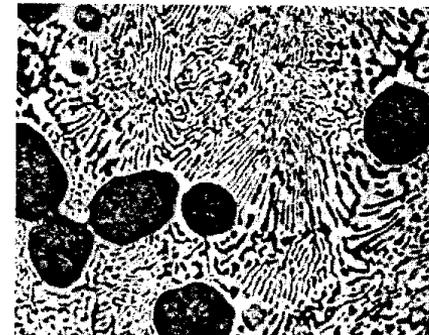
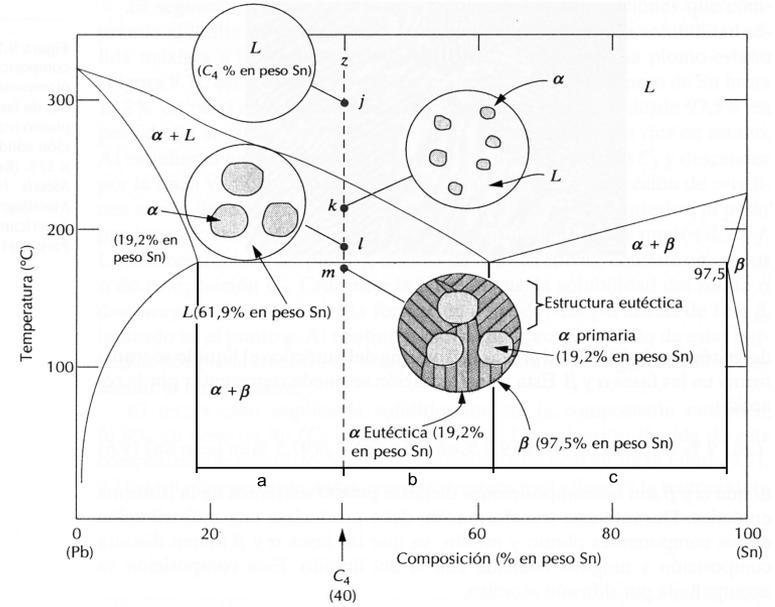
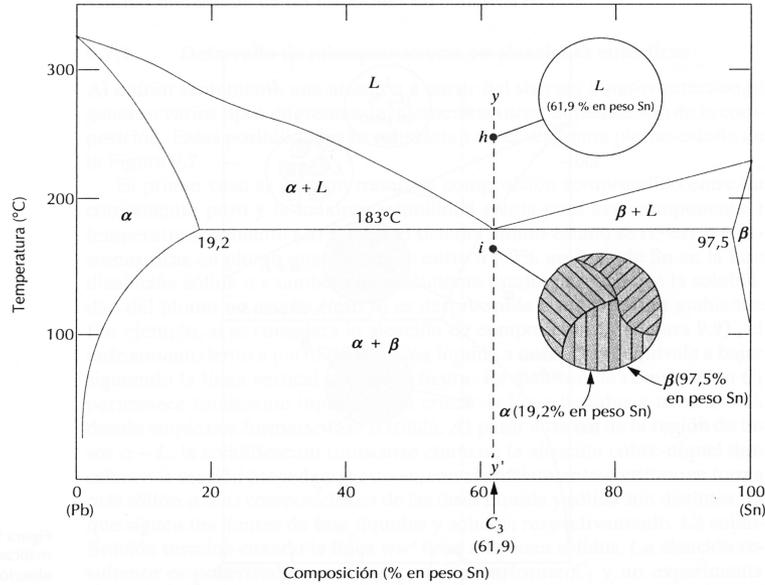
Reacción eutéctica:



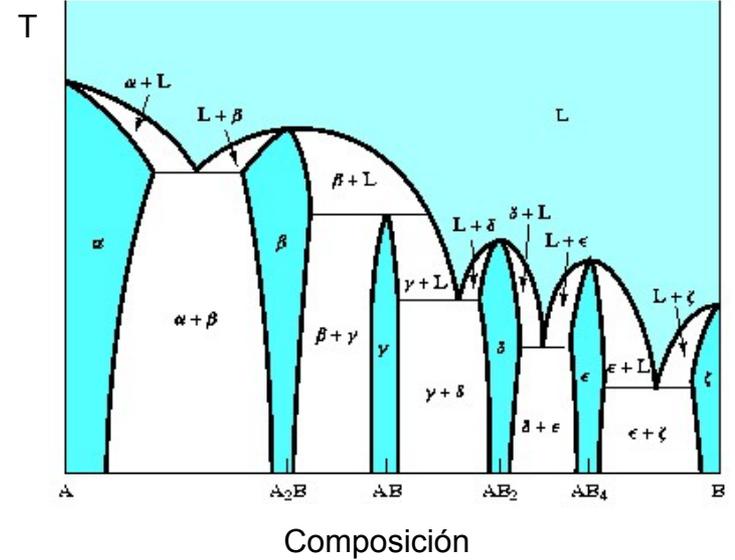
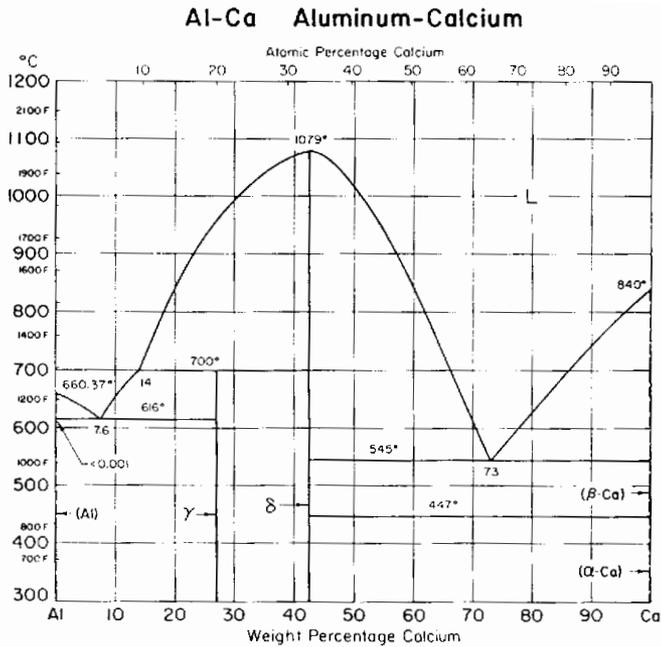
- **Solubilidad total** en estado líquido y **parcial** en sólido. Diagramas con EUTÉCTICO.







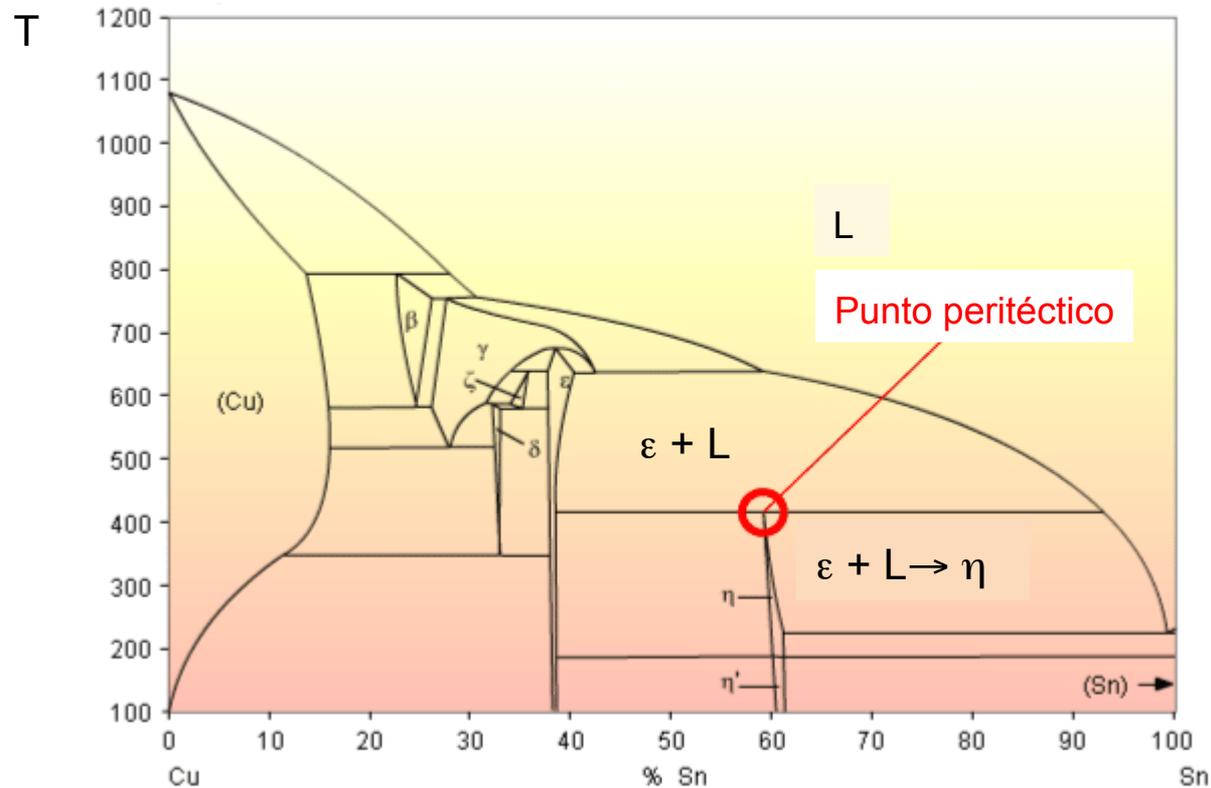
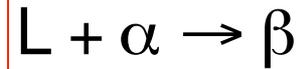
- Diagramas de equilibrio con **fases y/o compuestos intermedios**.



- Diagramas con PERITÉCTICO.

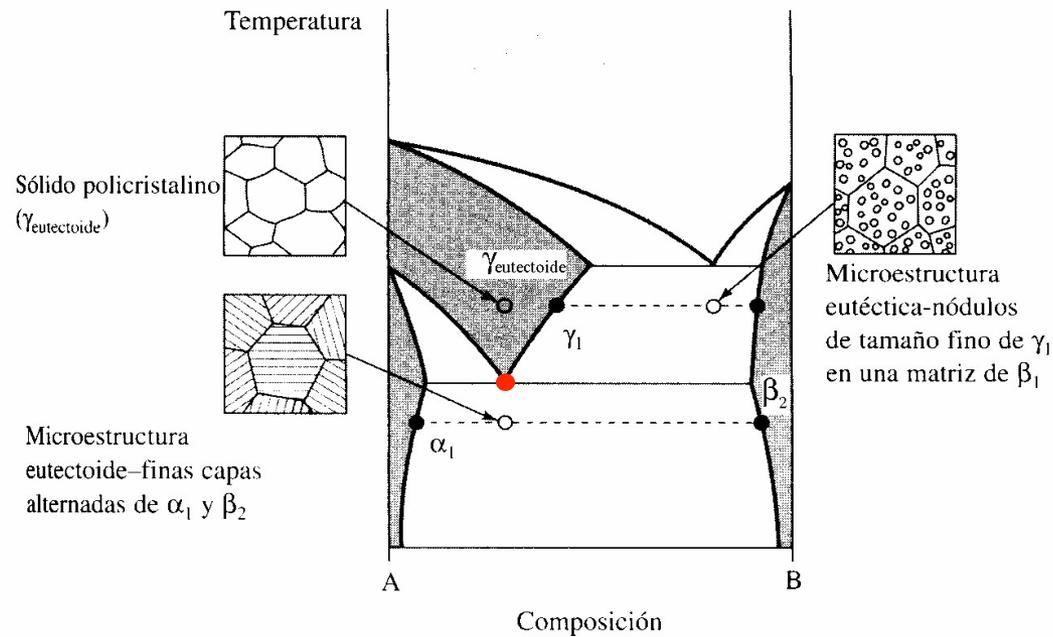
**Peritéctico:** punto invariante ( $f = 0$ ) en el que un líquido (L) y una fase sólida ( $\alpha$ ) se transforman en otra sólida distinta ( $\beta$ ).

Reacción peritéctica:



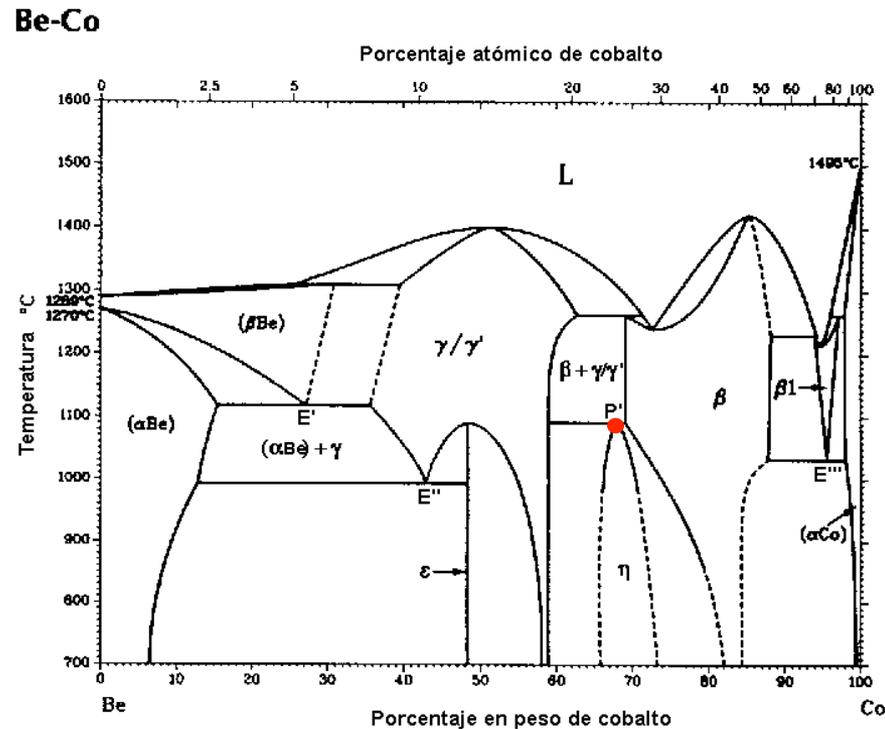
- Diagramas de equilibrio con EUTECTOIDE.

**Eutectoide:** punto invariante ( $f = 0$ ) en el que un sólido ( $\gamma$ ) se transforma en otros dos sólidos diferentes ( $\alpha$  y  $\beta$ ).



- Diagramas de equilibrio con PERITECTOIDE.

**Peritectoide:** punto invariante ( $f = 0$ ) en el que dos sólidos ( $\alpha$  y  $\beta$ ) se transforman en otro sólido diferente ( $\gamma$ ).



• Diagramas binarios generales:

- I. Peritético.
- II. Eutético.
- III. Eutectoide.
- IV. Monotético.
- V. Peritectoide.

