



**INGENIERÍA**  
**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
MÉRIDA VENEZUELA

# **SISTEMAS SÓLIDO-LÍQUIDO: Binarios**

**Capítulo IV**

**Curso: Físicoquímica para Ingenieros**

Prof. Silvia Margarita Calderón, PhD  
Departamento de Química Industrial y Aplicada

# OBSERVACIÓN IMPORTANTE

---

- ▶ Este material está diseñado para servir de apoyo visual durante el dictado de clases presenciales.
- ▶ Se recomienda al estudiante tomar apuntes durante las clases con aquellos aspectos que le resulten de interés
- ▶ Se recomienda al estudiante complementar la información dada durante las clases, con la lectura de los tópicos correspondientes en los libros texto (recomendados en la diapositiva final) y con la realización de los ejercicios resueltos y propuestos indicados en esta presentación, y/o en los libros texto recomendados.

# Contenido Programático del Capítulo

---

- ▶ Mezclas binarias con eutéctico.
- ▶ Mezclas binarias que forman compuestos estables.
- ▶ Mezclas con formación de compuestos inestables o peritéticos.
- ▶ Construcción de diagramas usando análisis térmico.
- ▶ Aplicación de los diagramas al cálculo de los procesos de cristalización.



# Objetivos

---

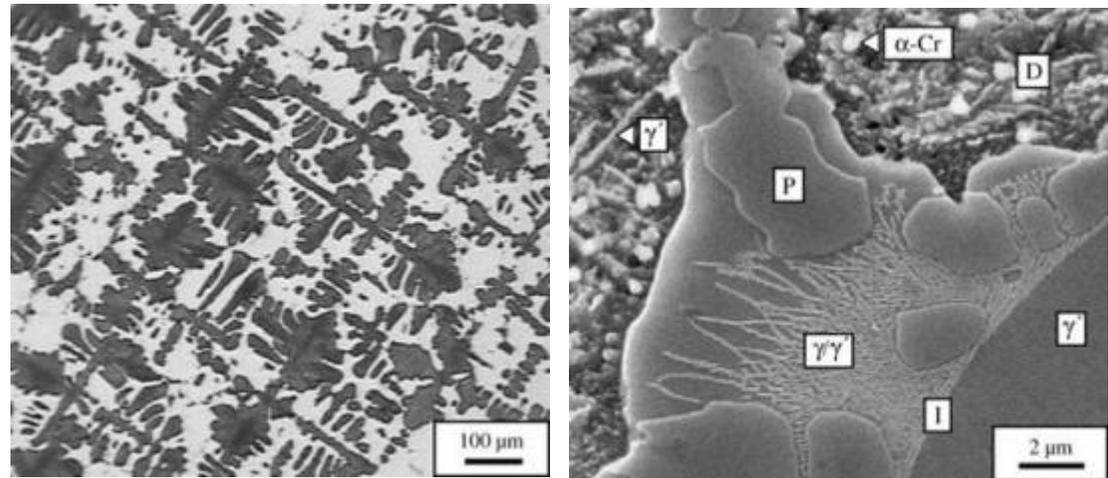
- ▶ Comprender con aplicación al estudio de sistemas binarios en equilibrio sólido-líquido:
- ▶ El concepto de fase y la Regla de las Fases de Gibbs
- ▶ Equilibrio termodinámico de fases y diagrama de fases
- ▶ Concepto de miscibilidad en fase sólida
- ▶ Clasificación de acuerdo a la miscibilidad en fase sólida de los sistemas binarios en equilibrio sólido-líquido



# FASE

(Askeland,1998)

1. Tiene la misma estructura o arreglo atómico en toda su extensión
2. Tiene la misma composición y propiedades
3. Está claramente definida de sus alrededores por medio de una interfase



Note la escala de las microfotografías y recuerde que el diámetro de un cabello esta en el orden de las  $70\mu\text{m}$   
Aunque a simple vista la aleación compuesta por Ni (21.9%p/p), Al (8.1%p/p), Cr(4.2%p/p), Ta (0.9%p/p), Zr (0.3p/p) parece homogénea, a escala microscópica se observan distintas fases sólidas, con distinta composición y forma de cristalización (Dendritas vs granos)

# Regla de Las Fases

---

$$F = C - P + 2$$

- ▶ F: Grados de Libertad
- ▶ C: Componentes
- ▶ P: Fases

Al equilibrio todo componente  $i$  del sistema debe cumplir con:

$$\mu_i|_{FaseA} = \mu_i|_{FaseB} = \dots = \mu_i|_{FaseP}$$

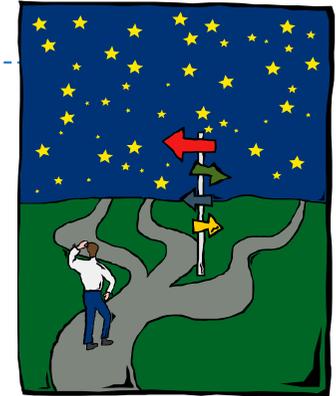
$$d\mu_i = \left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right) \Big|_{P,T,n_j \neq n_i} = -T d\bar{S}_i + \bar{V}_i dP$$

⇒ **C(P-1)**



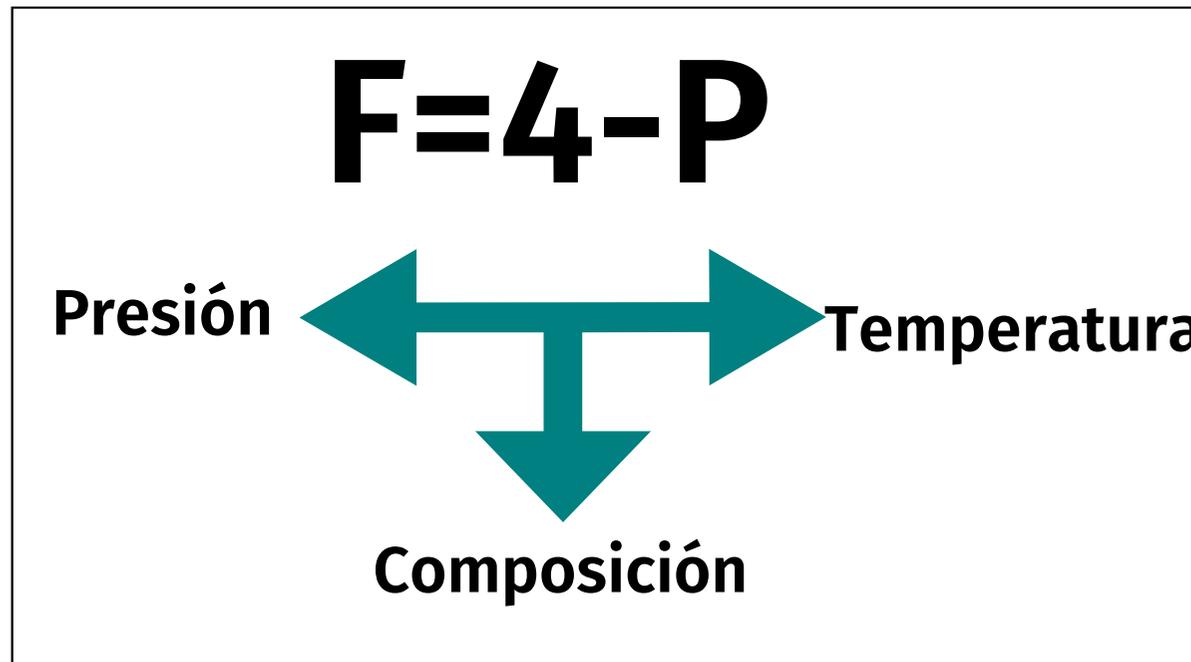
# ¿Cuáles son los grados de Libertad de un Sistema Binario?

---

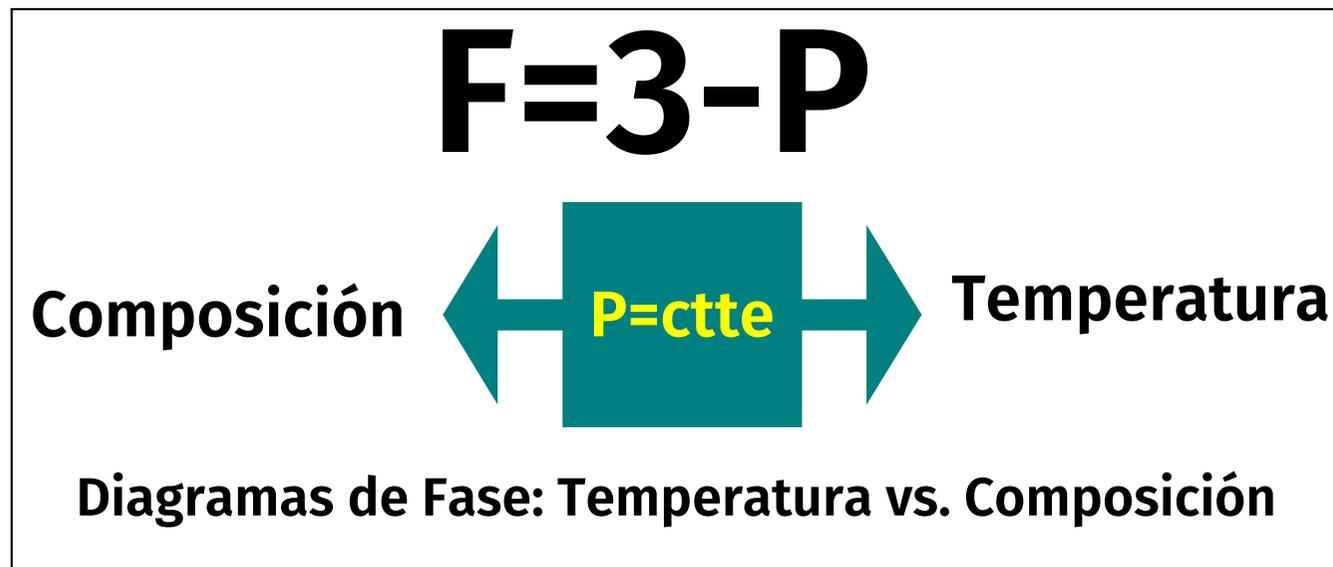


$$F = C - P + 2$$

C: Componentes C=2



# Las propiedades de sustancias en estado Sólido o Líquido No varían con cambios moderados de Presión



**Influencia de la Fase vapor Despreciable  
SISTEMAS CONDENSADOS**

---



# ¿Cómo se produce un cristal?

---

*El ordenamiento de los átomos en la red cristalina se da en tres etapas:*

- ❑ *Nucleación →*
- ❑ *Crecimiento o Formación de Estructura Granular →*
- ❑ *Terminación o Desaparición de Fases*

*Cualquier perturbación durante proceso ocasionará una falla o imperfección en la estructura cristalina*

---



# ¿Cómo se produce un cristal?

## ¿ *Que es la nucleacion?*

---

**Formación de grupos de átomos o moléculas con tamaño superior al crítico, capaces de servir como punto de cristalización u ordenamiento**

Puede ser:

- ❑ Homogénea: por formación de conglomerados de moléculas de radio crítico bajo grandes subenfriamientos
  - ❑ Heterogénea: por nucleación sobre una superficie externa
- 



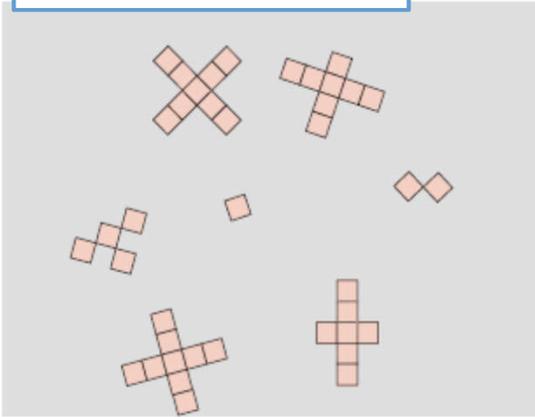
**TABLE 8-1** ■ Values for freezing temperature, latent heat of fusion, surface energy, and maximum undercooling for selected materials

	Freezing Temperature ( $T_m$ )	Heat of Fusion ( $\Delta H_f$ )	Solid-Liquid Interfacial Energy ( $\sigma_{sl}$ )	Typical Undercooling for Homogeneous Nucleation ( $\Delta T$ )
Metal	(°C)	(J/cm <sup>3</sup> )	(J/cm <sup>2</sup> )	(°C)
Ga	30	488	$56 \times 10^{-7}$	76
Bi	271	543	$54 \times 10^{-7}$	90
Pb	327	237	$33 \times 10^{-7}$	80
Ag	962	965	$126 \times 10^{-7}$	250
Cu	1085	1628	$177 \times 10^{-7}$	236
Ni	1453	2756	$255 \times 10^{-7}$	480
Fe	1538	1737	$204 \times 10^{-7}$	420
NaCl	801			169
CsCl	645			152
H <sub>2</sub> O	0			40

Las temperaturas necesarias son muy bajas.  
La nucleación heterogénea procede con mayor facilidad

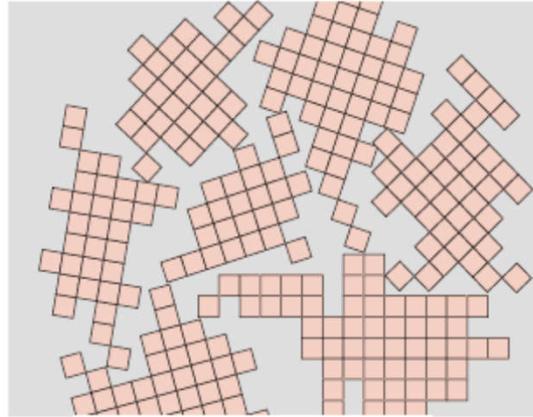
# Cómo ocurre la cristalización

Inicio de la cristalización  
Formación de granos



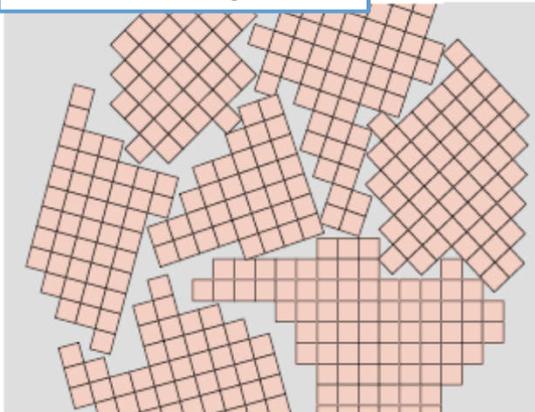
(a)

Crecimiento de granos



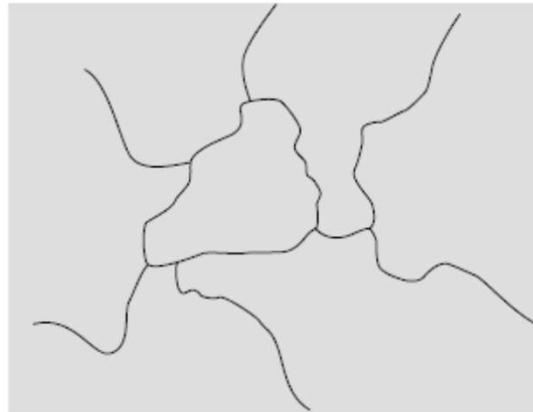
(b)

Crecimiento de granos



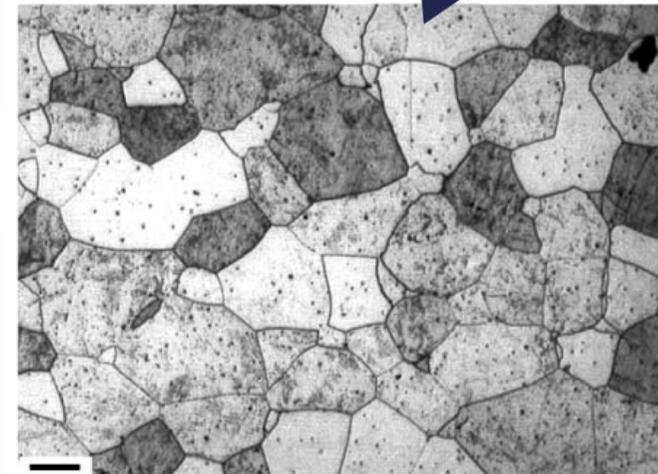
(c)

Estructura microscópica resultante



(d)

El ordenamiento de largo alcance se mantiene a lo largo de distancias desde  $1000 \text{ \AA} = 100 \text{ nm}$  a  $\text{cm}$  Formando microcristales llamados GRANOS



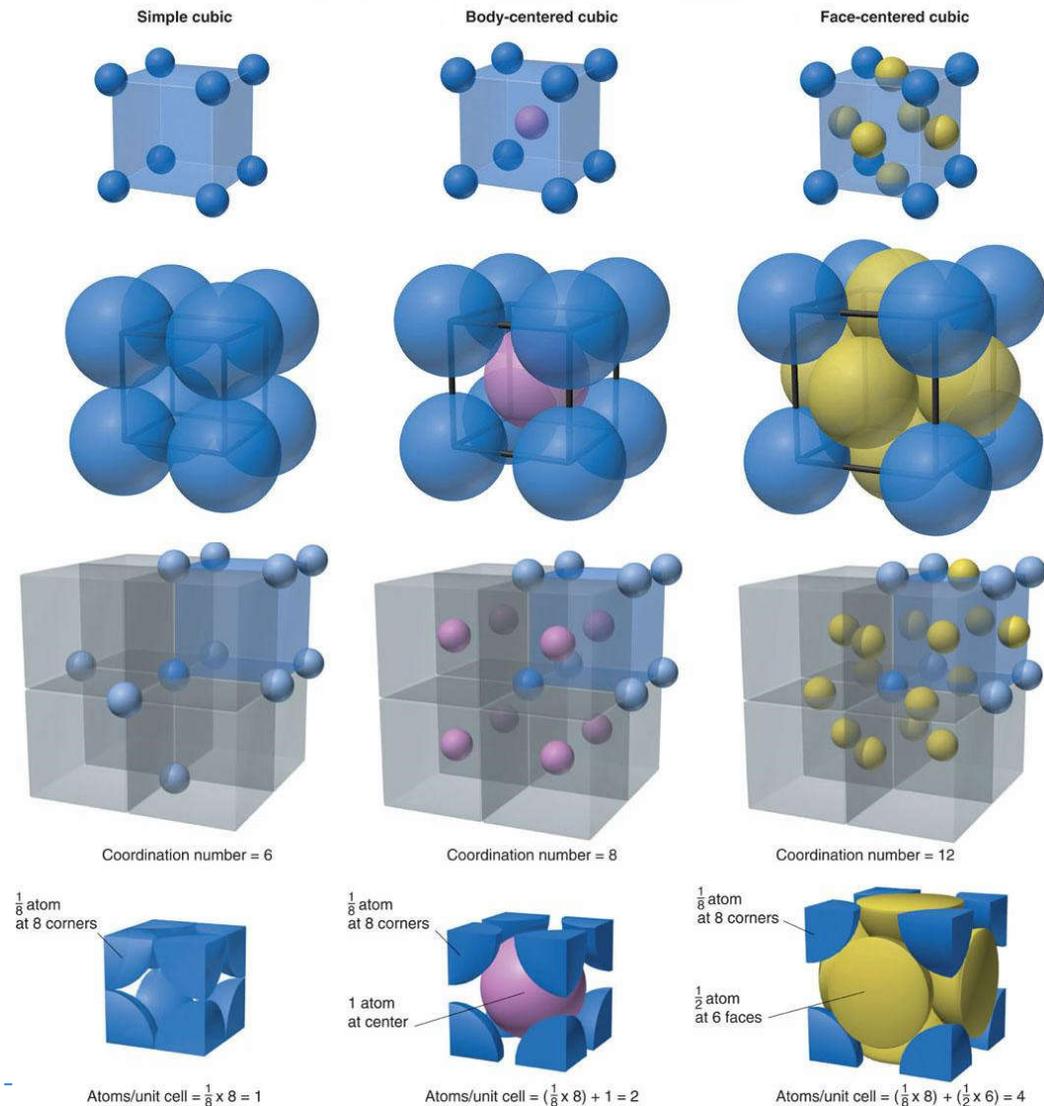
100  $\mu\text{m}$

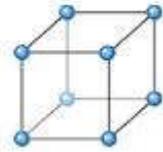
100  $\mu\text{m}$

Microestructura de un acero inoxidable

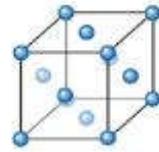
# Los sólidos regulares se ordenan en Celdas Unitarias

- ▶ Subdivisión de una red cristalina que muestra las características de la red total, y se repite de forma regular

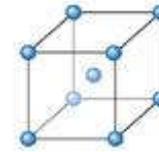




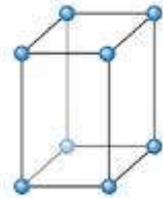
Simple cubic



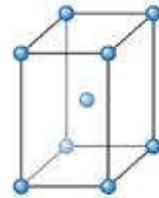
Face-centered cubic



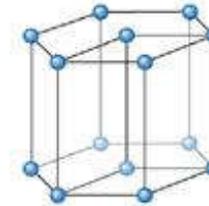
Body-centered cubic



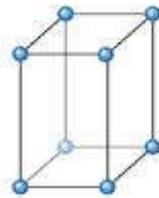
Simple tetragonal



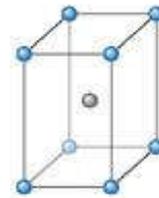
Body-centered tetragonal



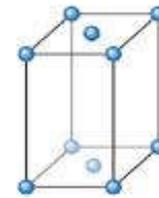
Hexagonal



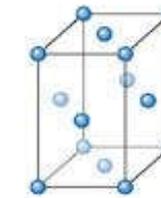
Simple orthorhombic



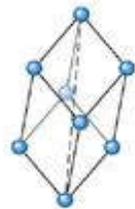
Body-centered orthorhombic



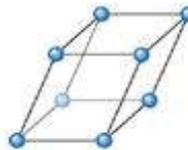
Base-centered orthorhombic



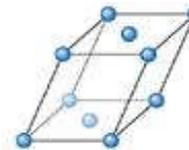
Face-centered orthorhombic



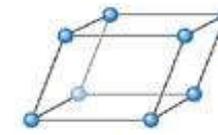
Rhombohedral



Simple monoclinic



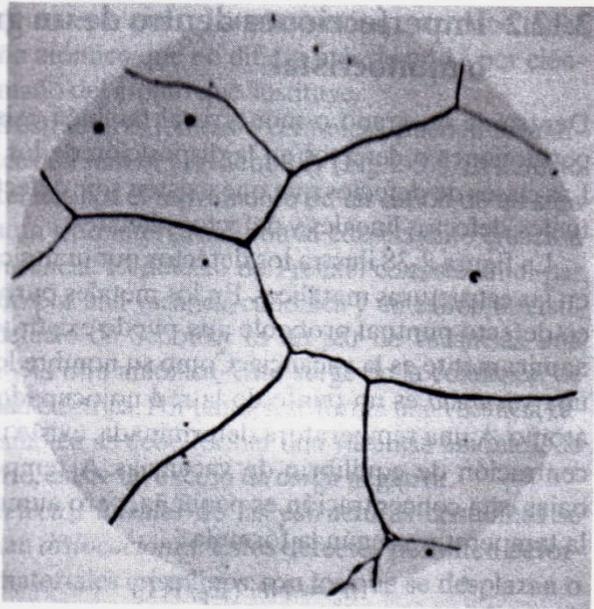
Base-centered monoclinic



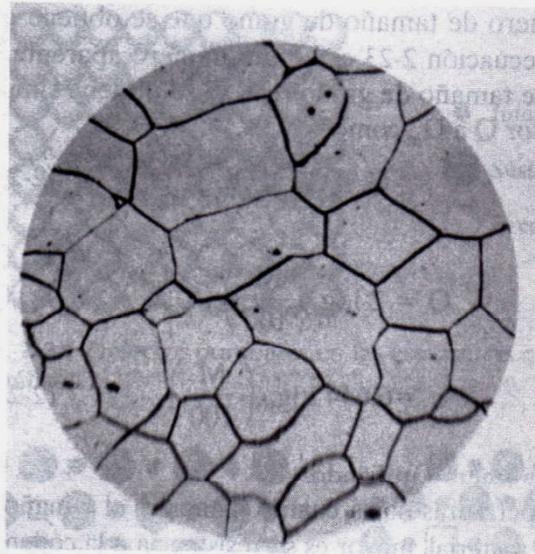
Triclinic

(c) 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning™

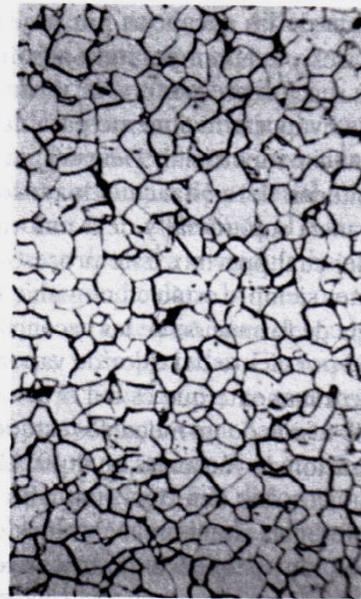
# ▶ 14 celdas de Bravais



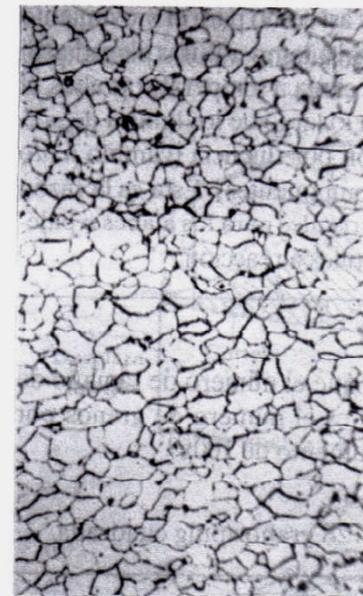
(a) Tamaño de grano:  $G = 1$



(b) Tamaño de grano:  $G = 4$



(c) Tamaño de grano:  $G = 7$



(d) Tamaño de grano:  $G = 8$

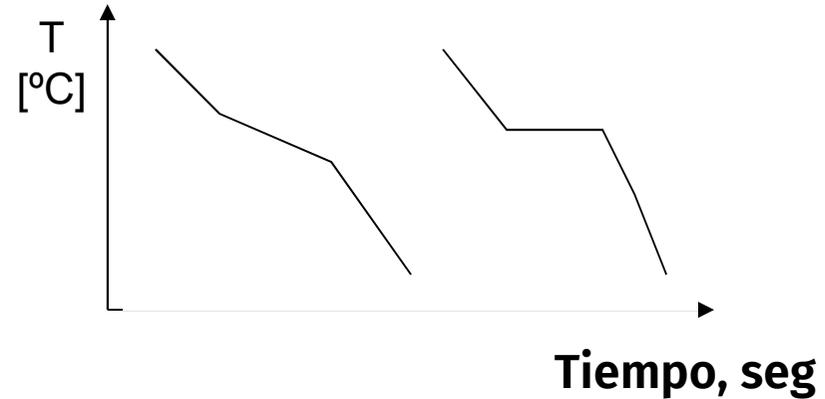
**Fig. 2-37** Ejemplos de tamaños de grano de aceros al bajo carbono. Aumento: 100X.

# ¿Cómo se determinan experimentalmente Los diagramas de fase para el equilibrio sólido-líquido?

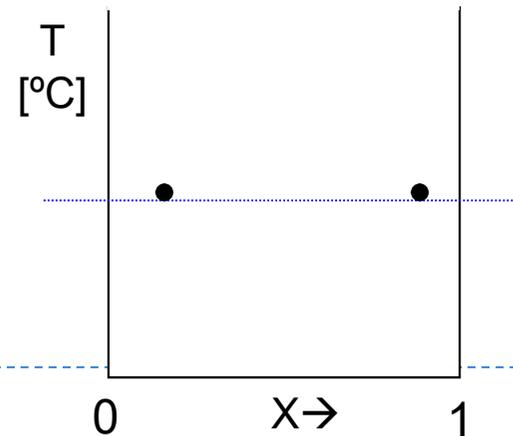
## Métodos

### •Análisis Térmico Diferencial

Isopleta  
( $x=cte$ )



### •De saturación o solubilidad



# Análisis Térmico Diferencial

---

## Equipo

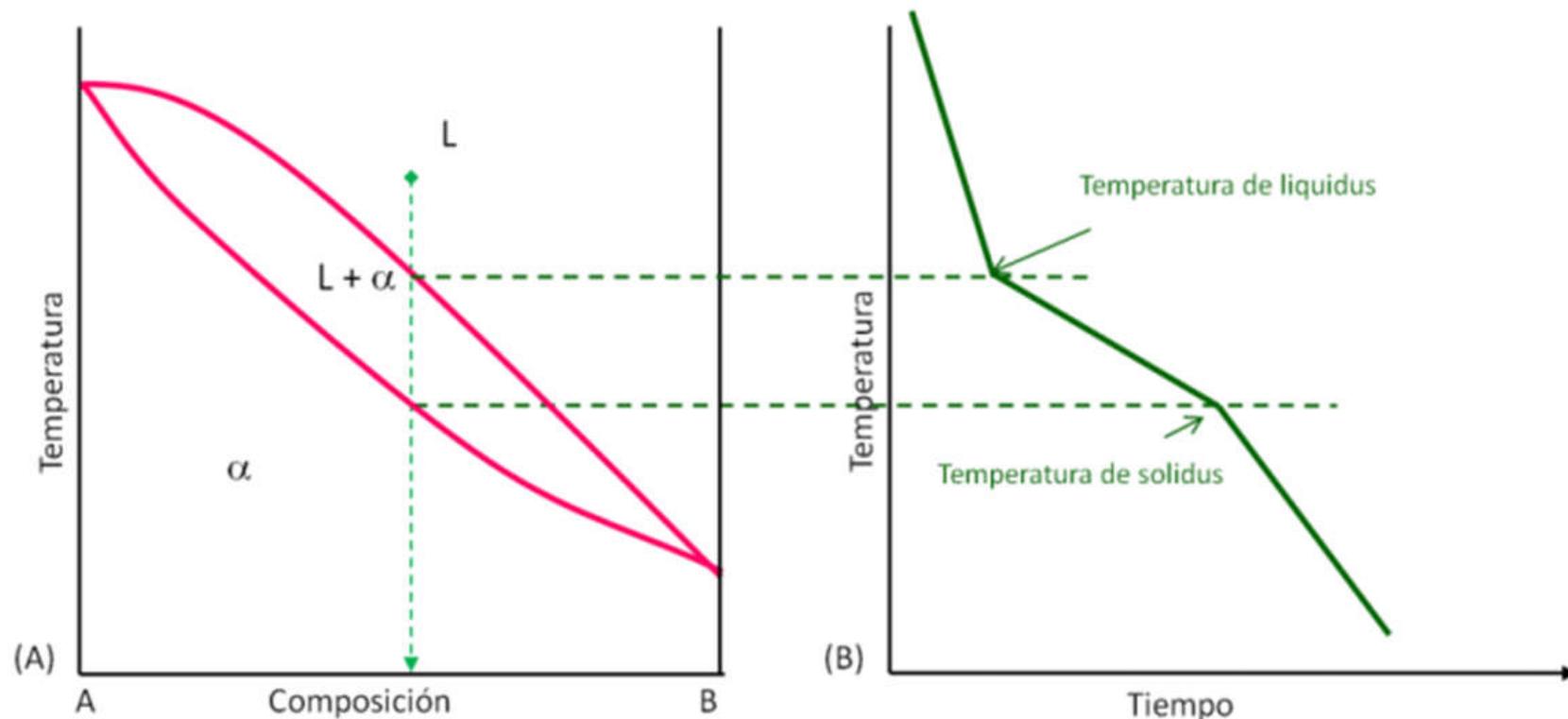
- ▶ **Analizador termogravimétrico Mettler- Toledo TGA/SDTA851**



## Aplicaciones

- ▶ Construcción de diagramas de fase
- ▶ Estudio de estabilidad de sólidos
- ▶ Detección de transiciones vítreas
- ▶ Medida de temperaturas de fusión
- ▶ Medida de temperaturas de cristalización
- ▶ Detección del punto de curado.
- ▶ Estudios de polimorfismo
- ▶ Medidas de capacidades caloríficas

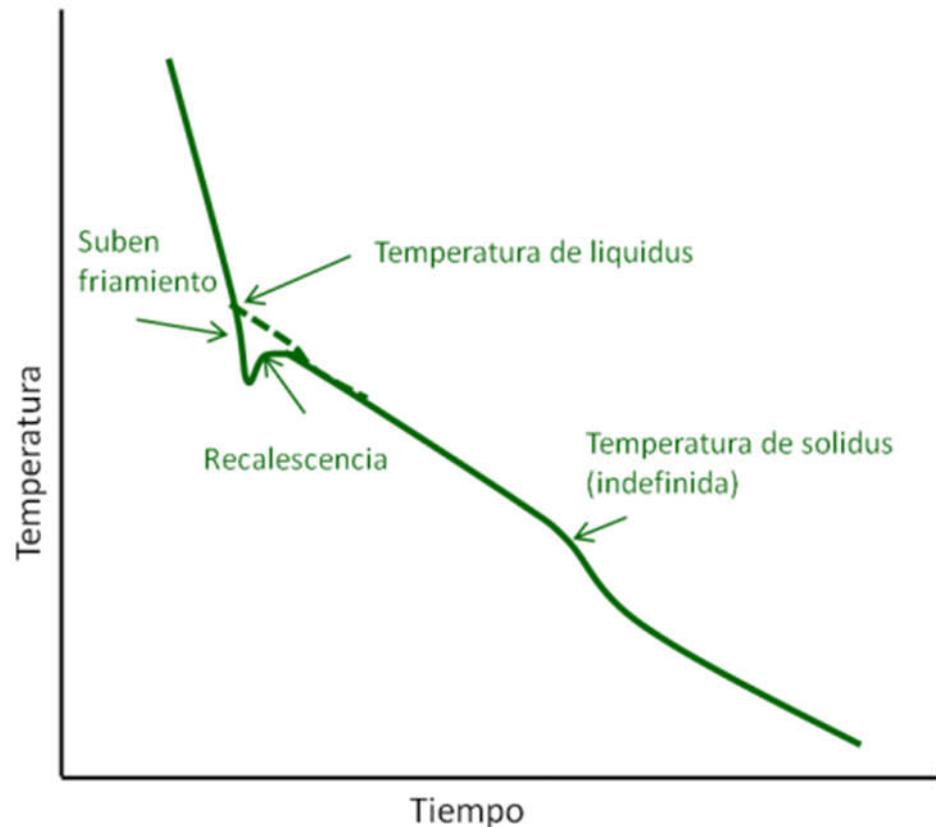
# Análisis Térmico Diferencial



**Al iniciarse la solidificación (durante enfriamiento) se inicia la liberación del calor de fusión, lo que retrasa la velocidad de descenso de temperatura con el tiempo, a una tasa constante de retiro de calor. Las discontinuidades marcan los puntos del diagrama de fases**

# Análisis Térmico Diferencial

---

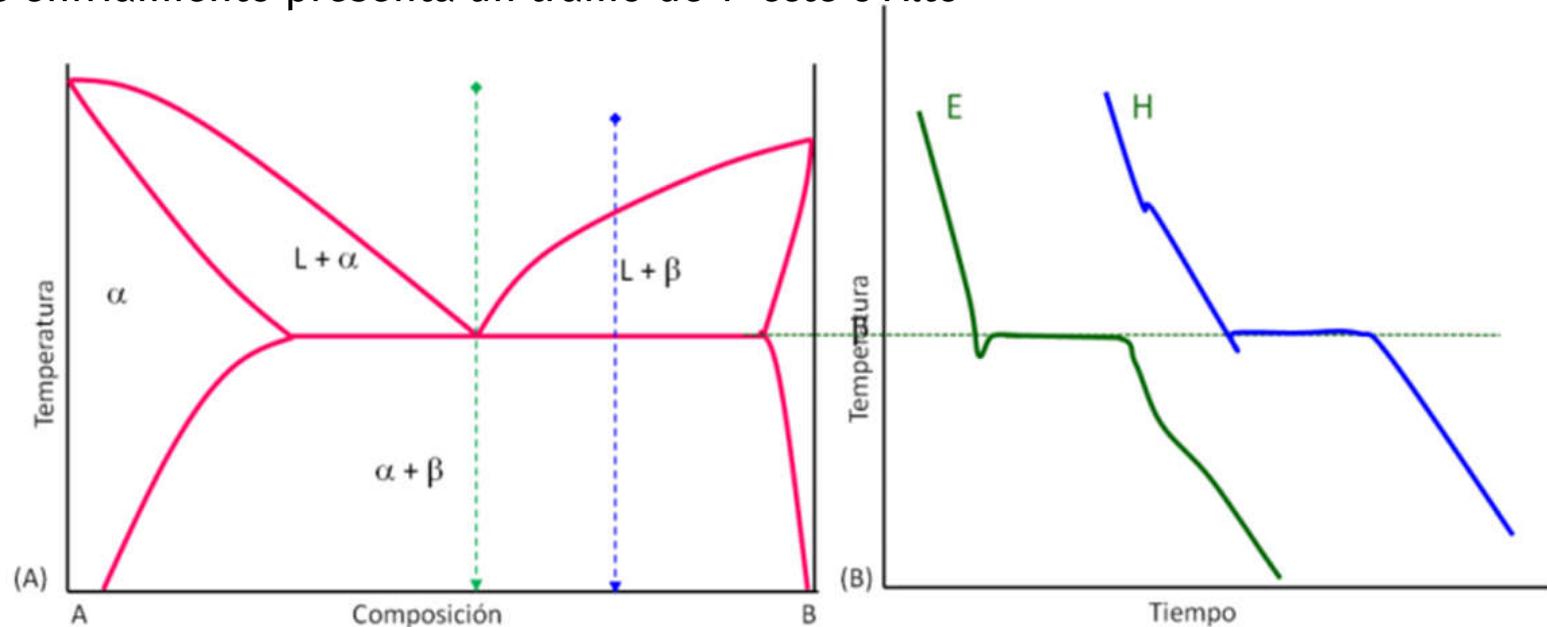


**Figura 8. Curva real de enfriamiento de una solución sólida.**

**En condiciones reales es difícil desplazarse a través de posiciones de equilibrio, puede presentarse el subenfriamiento o el recalentamiento (estados metaestables)**

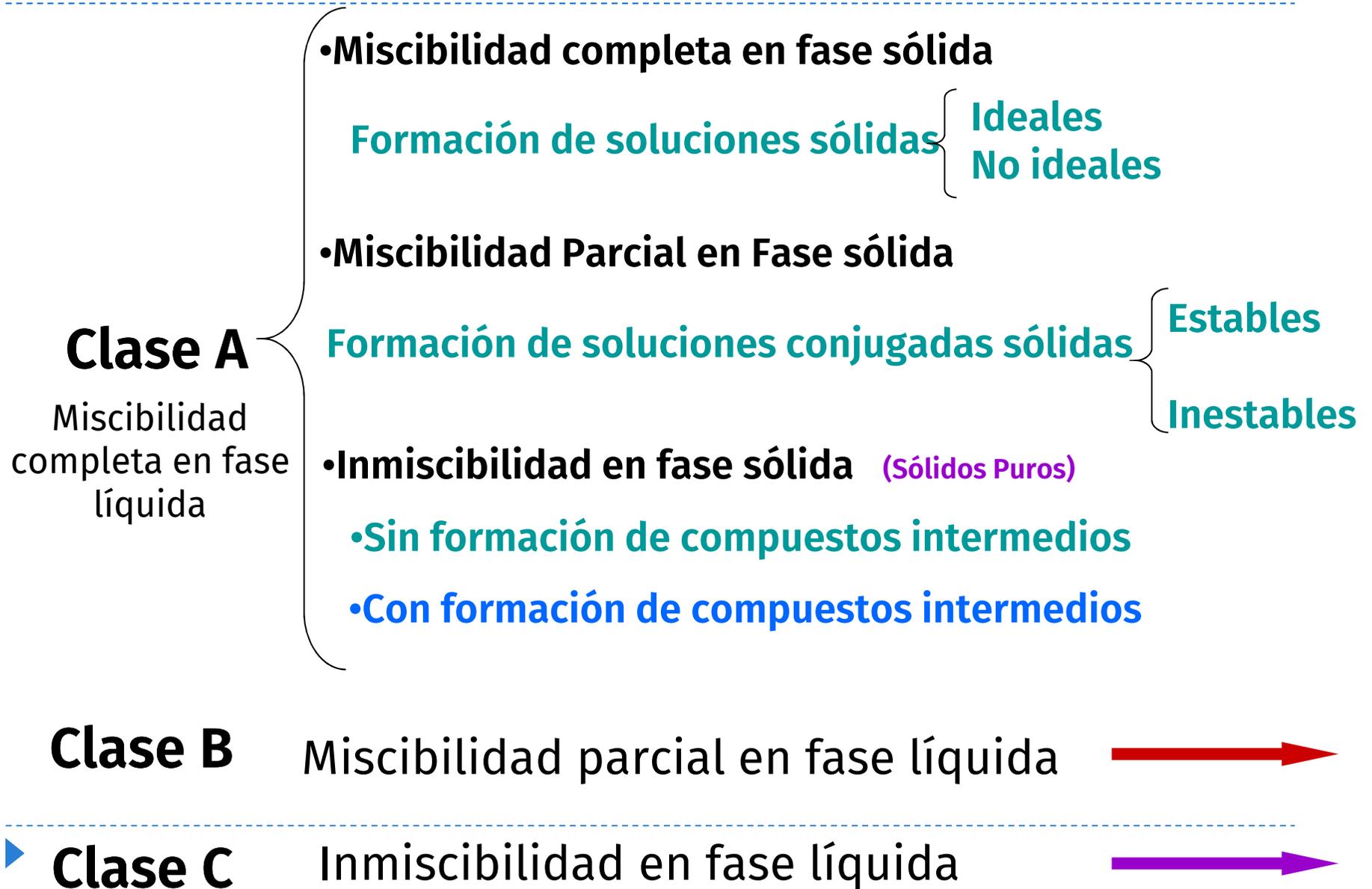
# Análisis Térmico Diferencial

Para sistemas binarios ( $C=2$ ), cuando se tienen tres fases en equilibrio ( $P=3$ ), en este caso un líquido y dos sólidos,  $F=2-3+2=1$ , se tiene un único grado de libertad. Dado que la presión es constante, el sistema se comporta como un sistema invariante. La curva de enfriamiento presenta un tramo de  $T=ccte$  o *Alto*



**Figura 9. Curvas reales de enfriamiento de una aleación eutéctica y una aleación hipereutéctica**

# Clasificación de los Equilibrios Sólidos-Líquidos



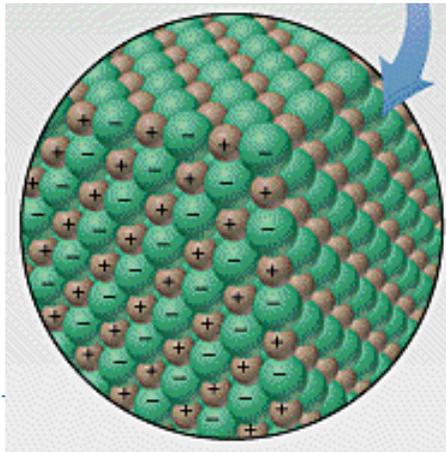
# Miscibilidad Completa en fase sólida

**A y B son ISOMORFOS**  
(del griego iso, igual; morphos, forma)

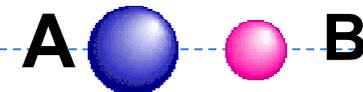
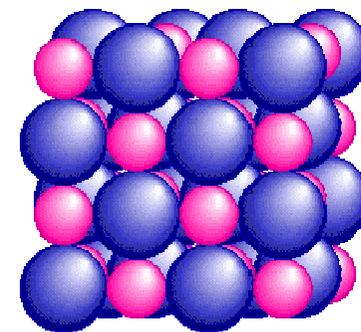
A y B poseen características comunes, como el sistema cristalográfico y el radio atómico, que permiten la formación de soluciones sólidas

por:

Sustitución



Introducción intersticial



# Miscibilidad Completa en fase sólida

## Condiciones de Hume-Rothery

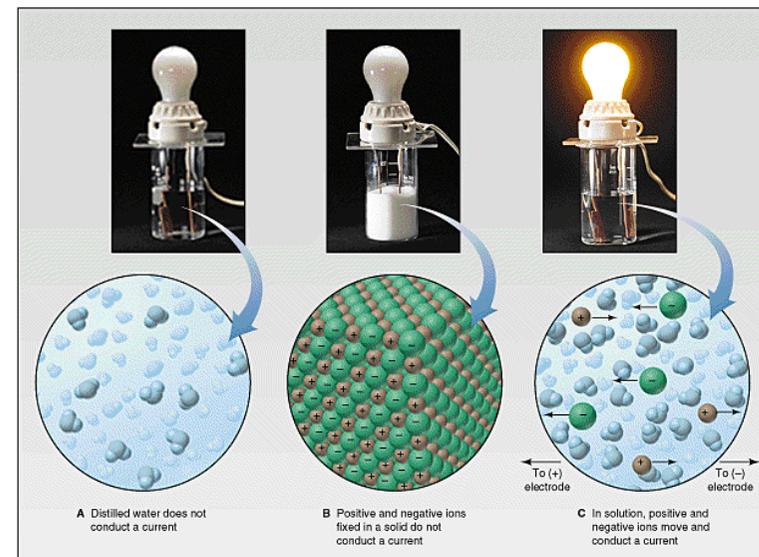
- ▶ Factor de tamaño

$$\frac{|(r_A - r_B)|}{r_A} \leq 0.15$$

- ▶ Estructura Cristalina

- ▶ Valencia

- ▶ Electronegatividad



# Miscibilidad Completa en fase sólida

## Ionic radii

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
$\text{Li}^+$ 0.60	$\text{Be}^{2+}$ 0.31			$\text{N}^{3-}$ 1.71	$\text{O}^{2-}$ 1.40	$\text{F}^-$ 1.36	
$\text{Na}^+$ 0.95	$\text{Mg}^{2+}$ 0.65	$\text{Al}^{3+}$ 0.50			$\text{S}^{2-}$ 1.84	$\text{Cl}^-$ 1.81	
$\text{K}^+$ 1.33	$\text{Ca}^{2+}$ 0.99	$\text{Ga}^{3+}$ 0.62			$\text{Se}^{2-}$ 1.98	$\text{Br}^-$ 1.85	
$\text{Rb}^+$ 1.48	$\text{Sr}^{2+}$ 1.13	$\text{In}^{3+}$ 0.81			$\text{Te}^{2-}$ 2.21	$\text{I}^-$ 2.16	
$\text{Cs}^+$ 1.69	$\text{Ba}^{2+}$ 1.35	$\text{Tl}^{3+}$ 0.95					

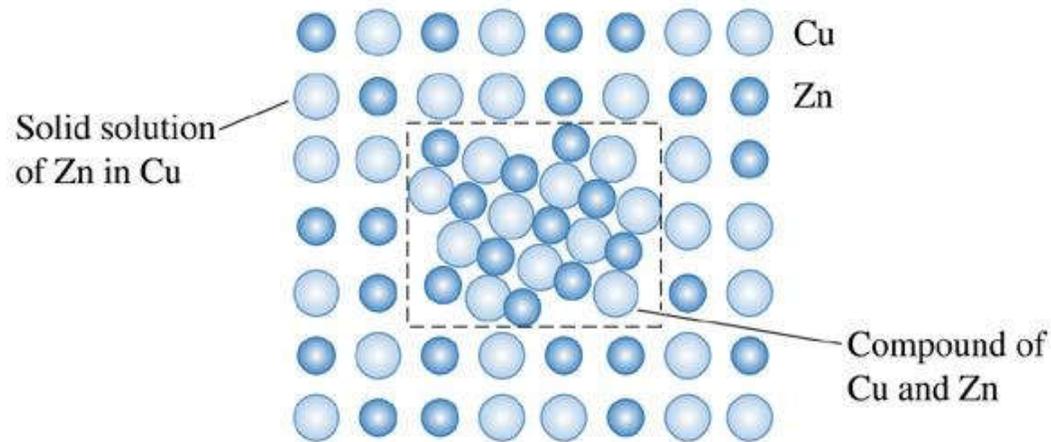
2 Å





(a)

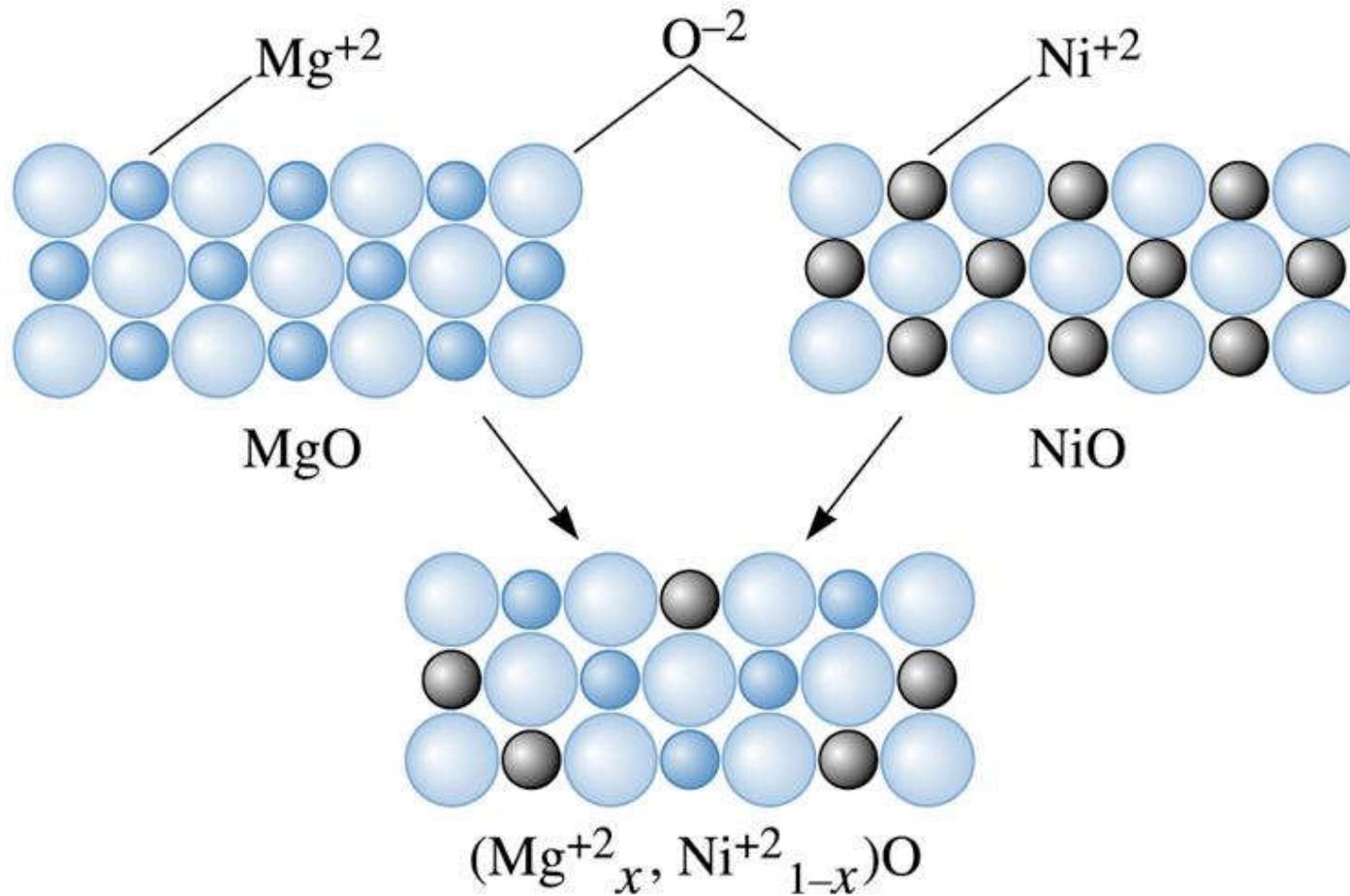
(b)



(c)

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>®</sup> is a trademark used herein under license.

**(a) En estado líquido el cobre y el níquel son completamente solubles. (b) En estado sólido forman soluciones o aleaciones donde los átomos ocupan sitios aleatorios en la red. C) En las aleaciones de Cobre y Zinc la solubilidad es limitada y por encima de 30% se forma una segunda fase**



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

## MgO and NiO pueden formar soluciones sólidas

# Miscibilidad Completa en fase sólida

**Caso I:** Las soluciones sólidas funden entre las temperaturas de fusión de los compuestos puros

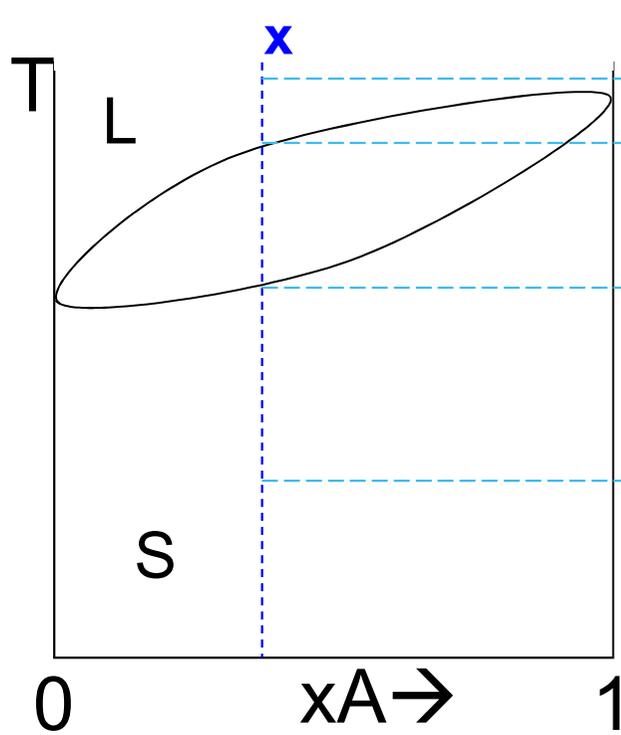
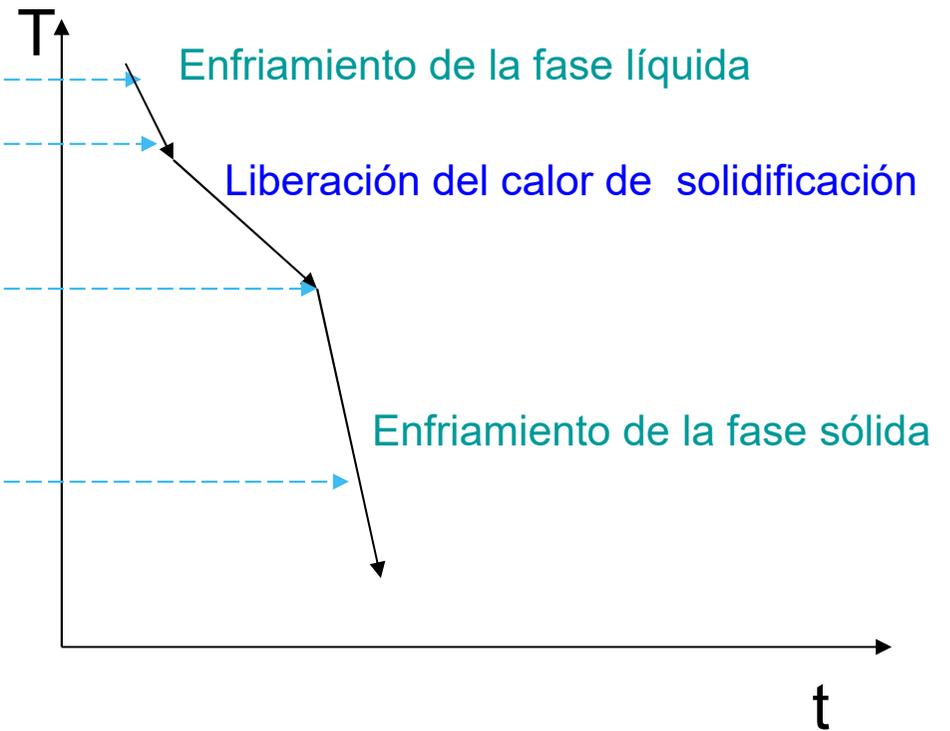


Diagrama Tipo



Curva de Enfriamiento Para la isopleta  $x$

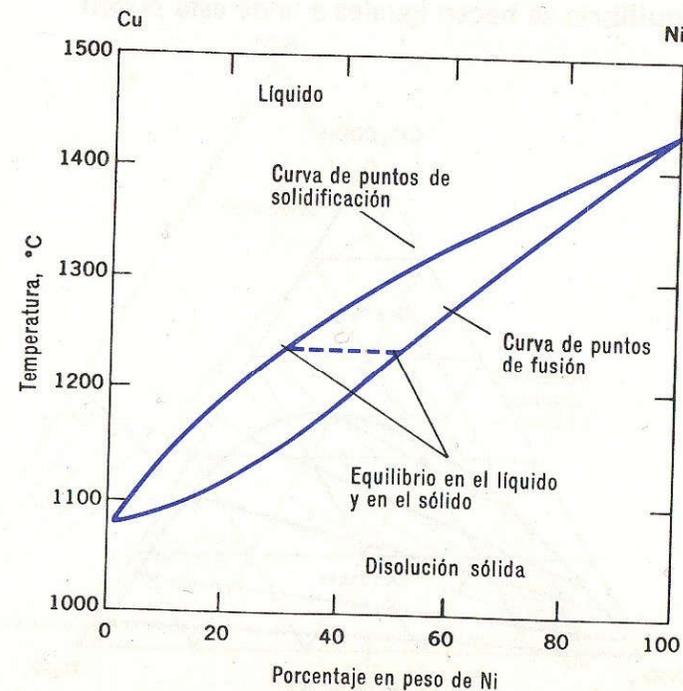


# Miscibilidad Completa en fase sólida

**Caso I:** Las soluciones sólidas funden entre las temperaturas de fusión de los compuestos puros

Elemento	Radio atómico (nm)	Estructura cristalina	Electronegatividad	Valencia
Cobre	0.128	FCC	1.8	+2
Níquel	0.125	FCC	1.8	+2

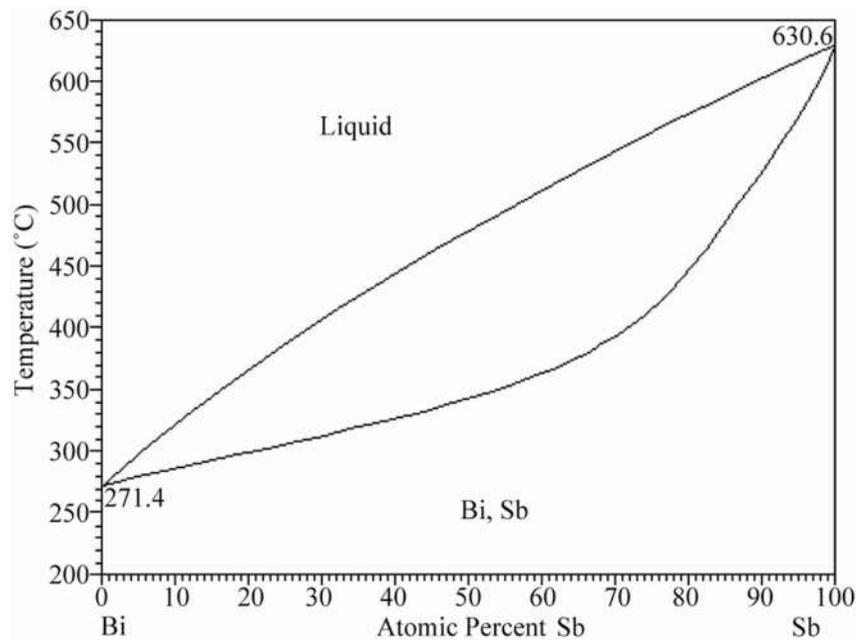
**FIGURA 20-19**  
Diagrama de fases sólido-líquido a 1 atm de presión, de un sistema que presenta miscibilidad total en los estados sólido y líquido. (Datos tomados en las *International Critical Tables*, vol. 2, p. 433, McGraw-Hill Book Company, New York, 1927.)



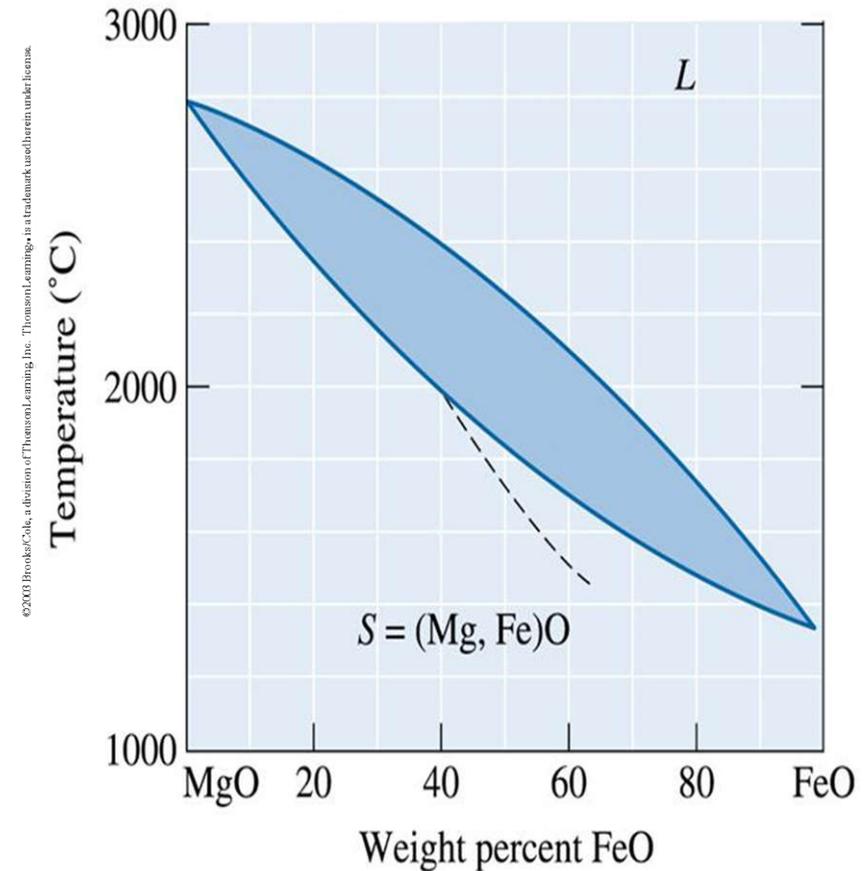
Otros ejemplos :

- Plata-Oro
- Cloruro de Plata-Cloruro de Sodio
- Naftaleno y b-Naftol

# Sistemas con miscibilidad total en fase sólida

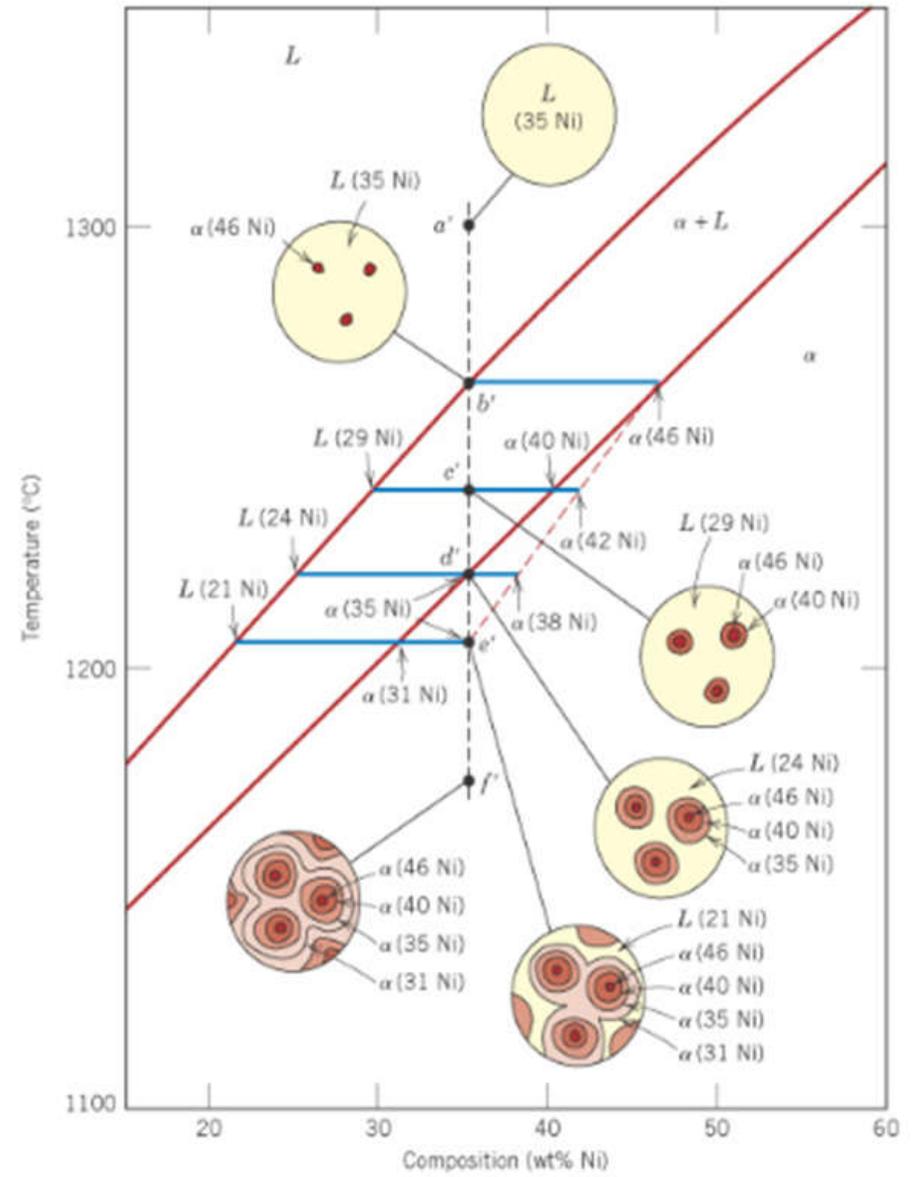
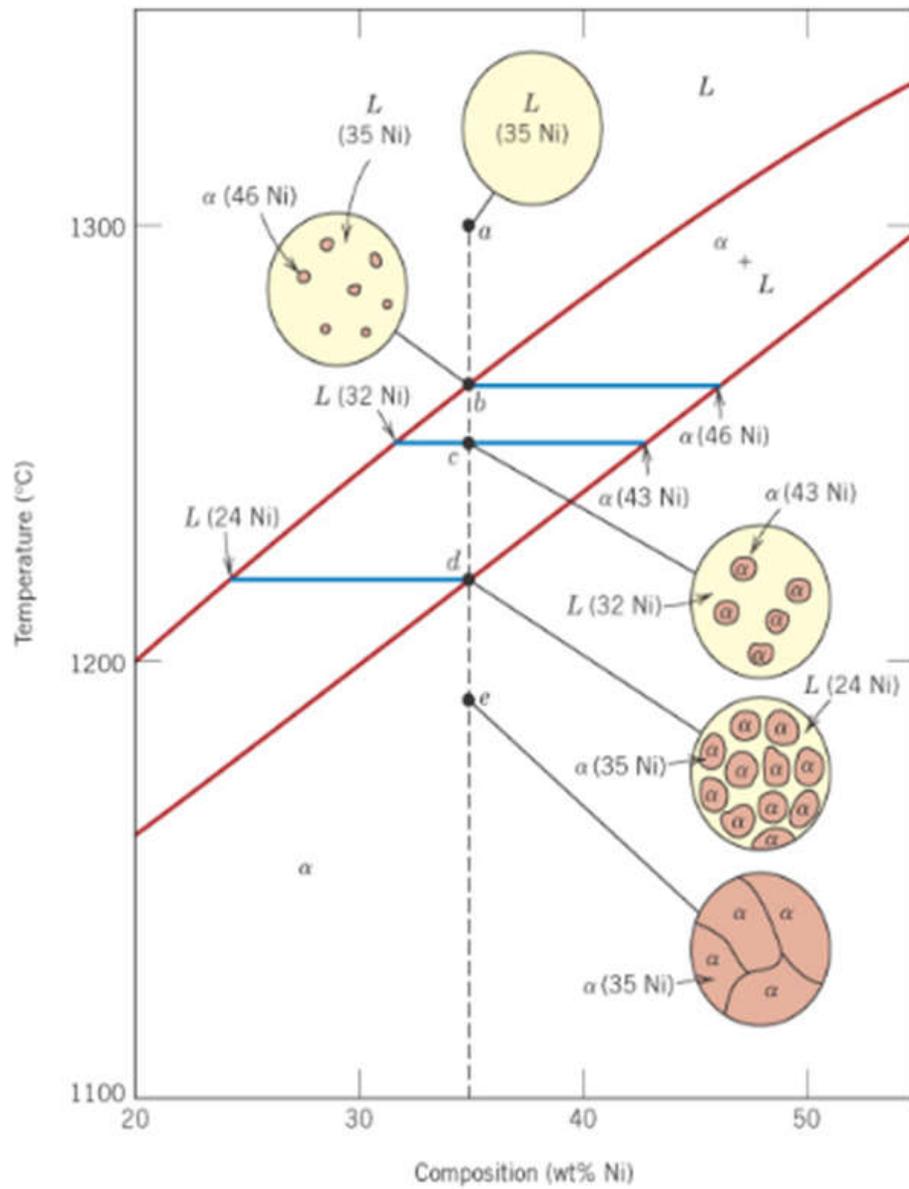


<http://file.scirp.org/Html/3-7700734/f17e197d-1127-41d0-ad1a-d640b4aa8d2c.jpg>



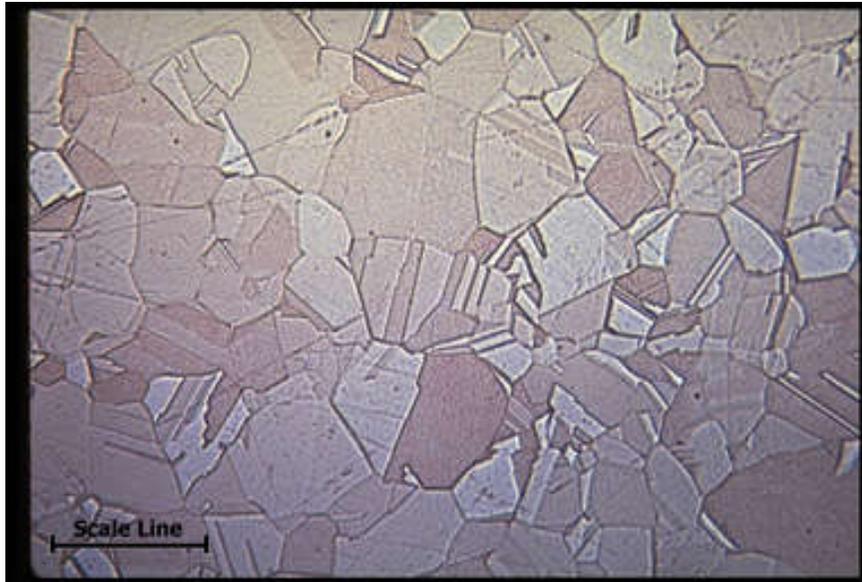
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning is a trademark used herein under license.

Askeland, D. (1998) "Ciencia e Ingeniería de los Materiales". International Thompson Editores.



# Miscibilidad Completa en fase sólida

---



[http://www.copper.org/resources/properties/microstructure/images/D2\\_039m.JPG](http://www.copper.org/resources/properties/microstructure/images/D2_039m.JPG)

Microestructura  
cristalina de una  
aleación:

- ▶ Cu 57.0- 61.0, Ni 11.0-13.5, Zn 24.65-31.15, Mn 0.50, Fe 0.25, Pb 0.10
- ▶ Escala (Scale Line): 25  $\mu\text{m}$



# Miscibilidad Completa en fase sólida

**Caso II:** Existe una solución sólida con punto de fusión mínimo

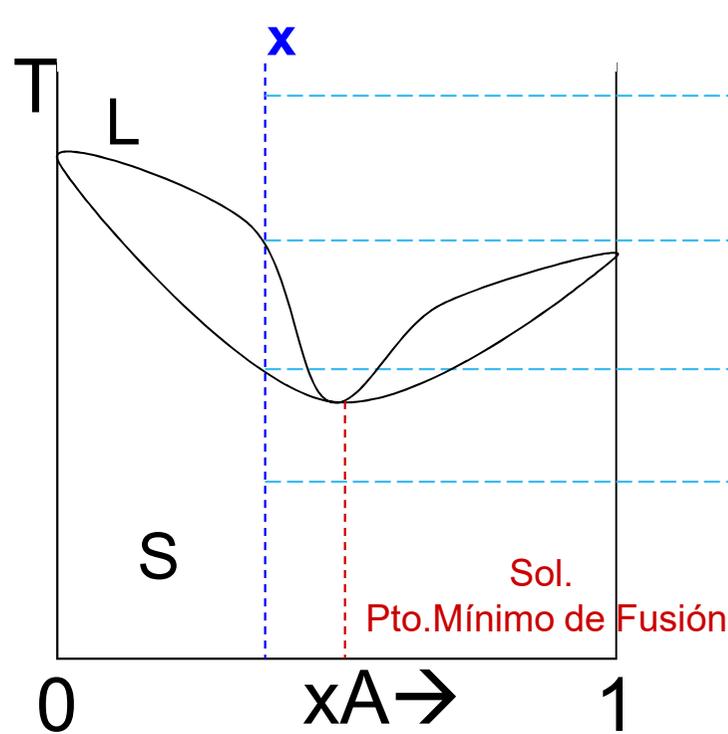
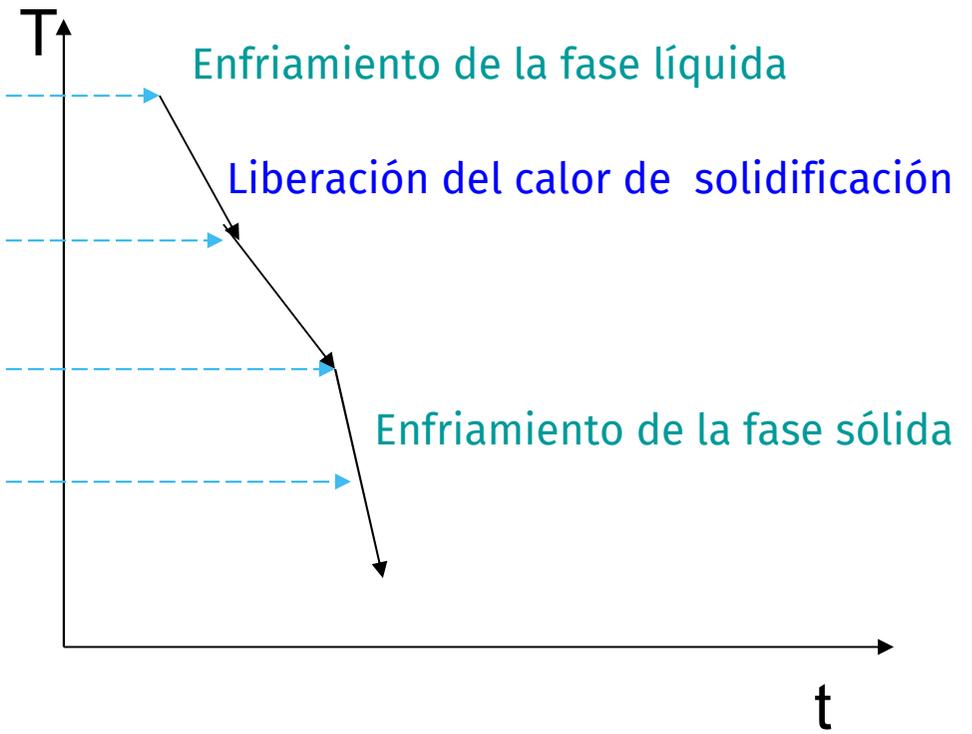


Diagrama Tipo



Curva de Enfriamiento Para la isopleta  $x$



# Miscibilidad Completa en fase sólida

**Caso II:** Existe una solución sólida con punto de fusión mínimo

- Plata-Antimonio
- Cobre-Oro
- Nitrato de Potasio-  
Nitrato de Sodio
- Carbonato de  
Potasio-Carbonato  
de Sodio

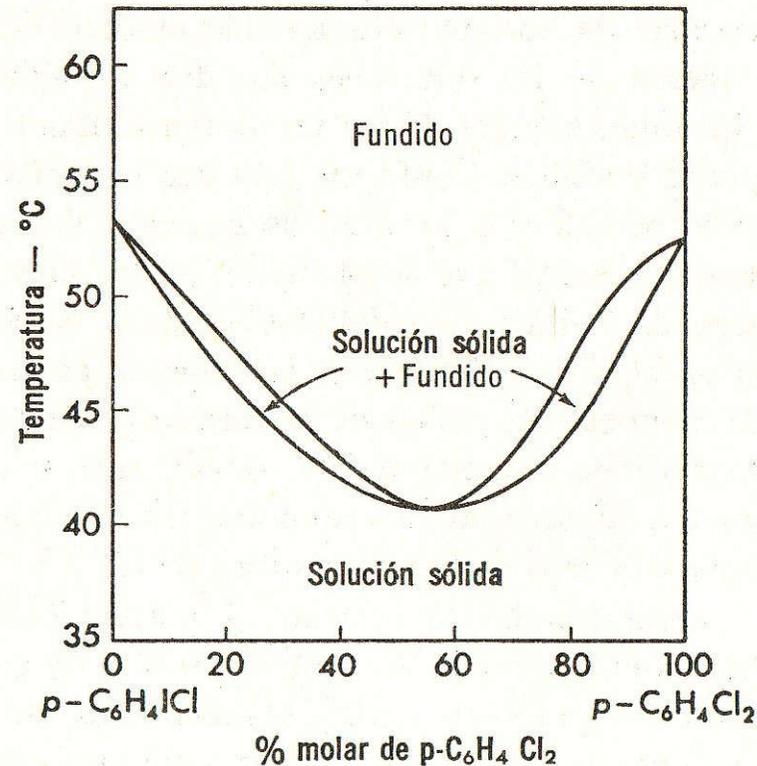


Figura 10-13. Diagrama de fases del sistema  $p\text{-C}_6\text{H}_4\text{ICl}-p\text{-C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$

# Miscibilidad Completa en fase sólida

**Caso II:** Existe una solución sólida con punto de fusión máximo

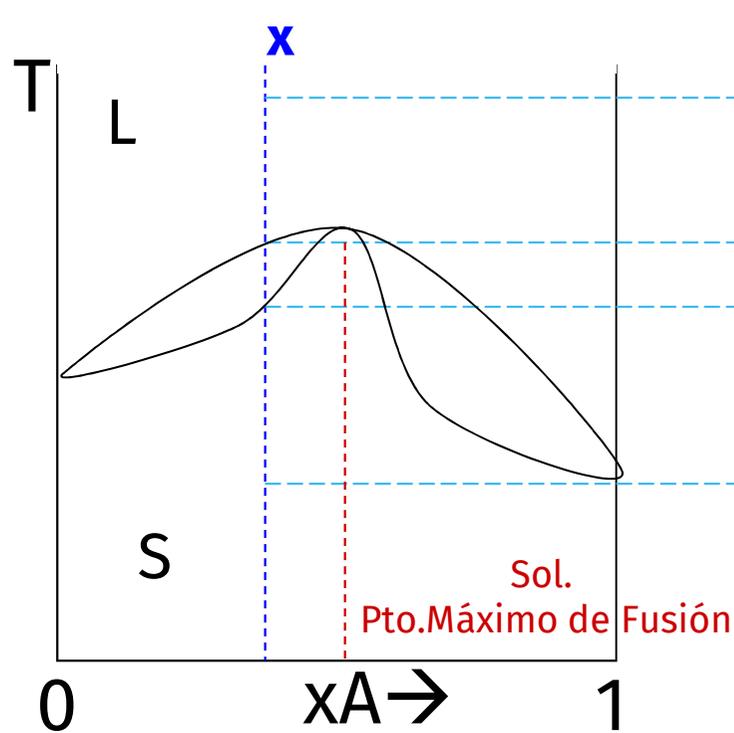
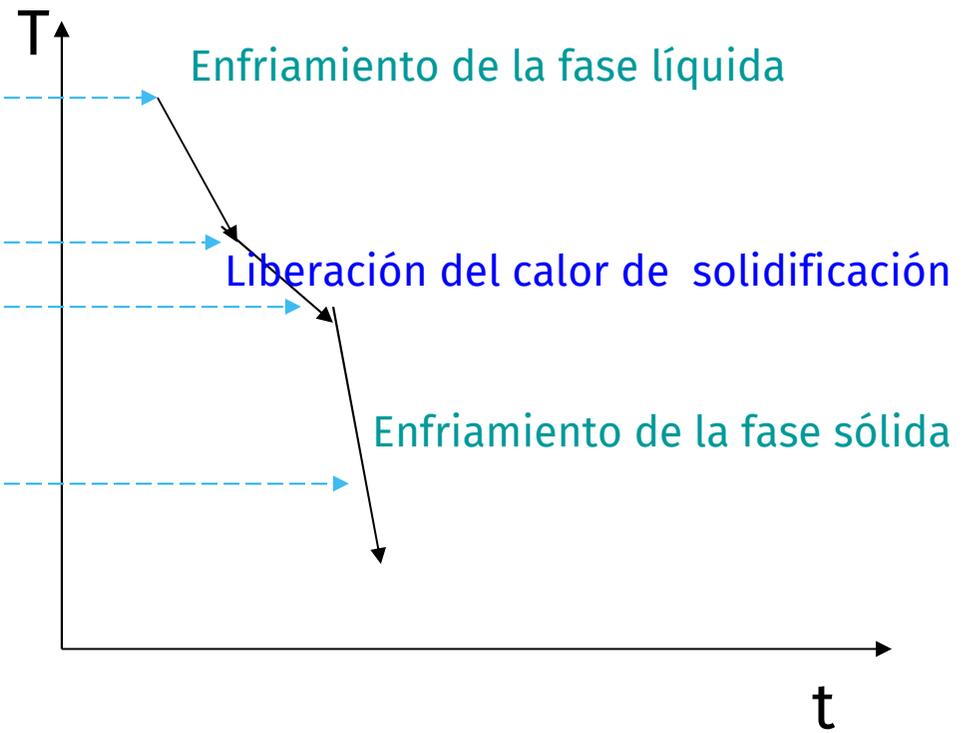


Diagrama Tipo



Curva de Enfriamiento  
Para la isopleta  $x$



# Miscibilidad Completa en fase sólida

**Caso II:** Existe una solución sólida con punto de fusión máximo

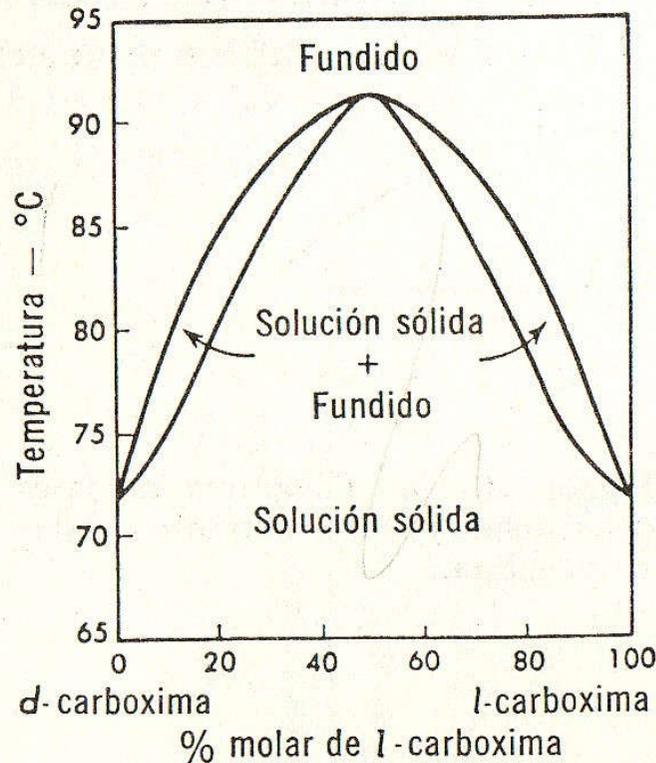


Figura 10-14. Diagrama de fases del sistema *d*-carboxima-*l*-carboxima.

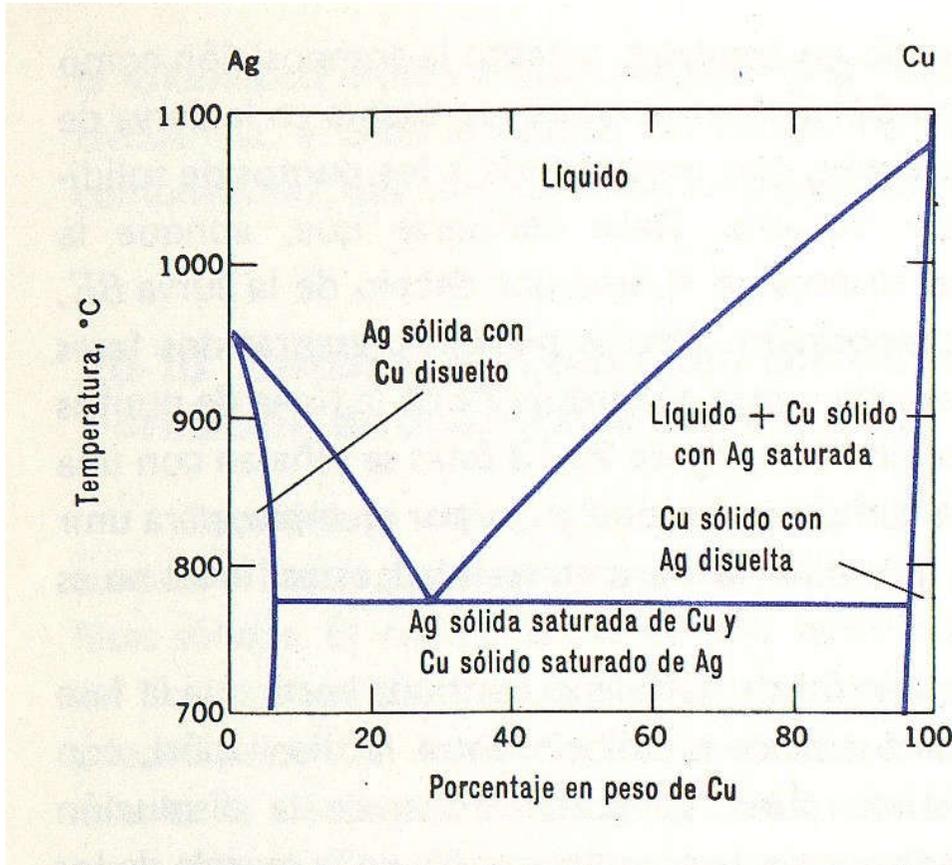
Maron, S., F. Prutton. (2004) Fundamentos de Físicoquímica. Limusa Noriega Editores.

Comportamiento poco común en la naturaleza

- ▶ •D-carvoxima – L-Carvoxima ( $C_{10}H_{14}NOH$ )

# Miscibilidad Parcial en fase sólida

## Caso I: Fases Sólidas Estables



**FIGURA 20-15**  
Diagrama de solidificación del sistema plata-cobre a 1 atm de presión.

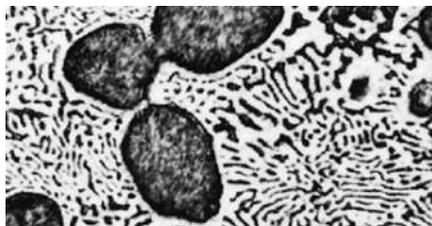
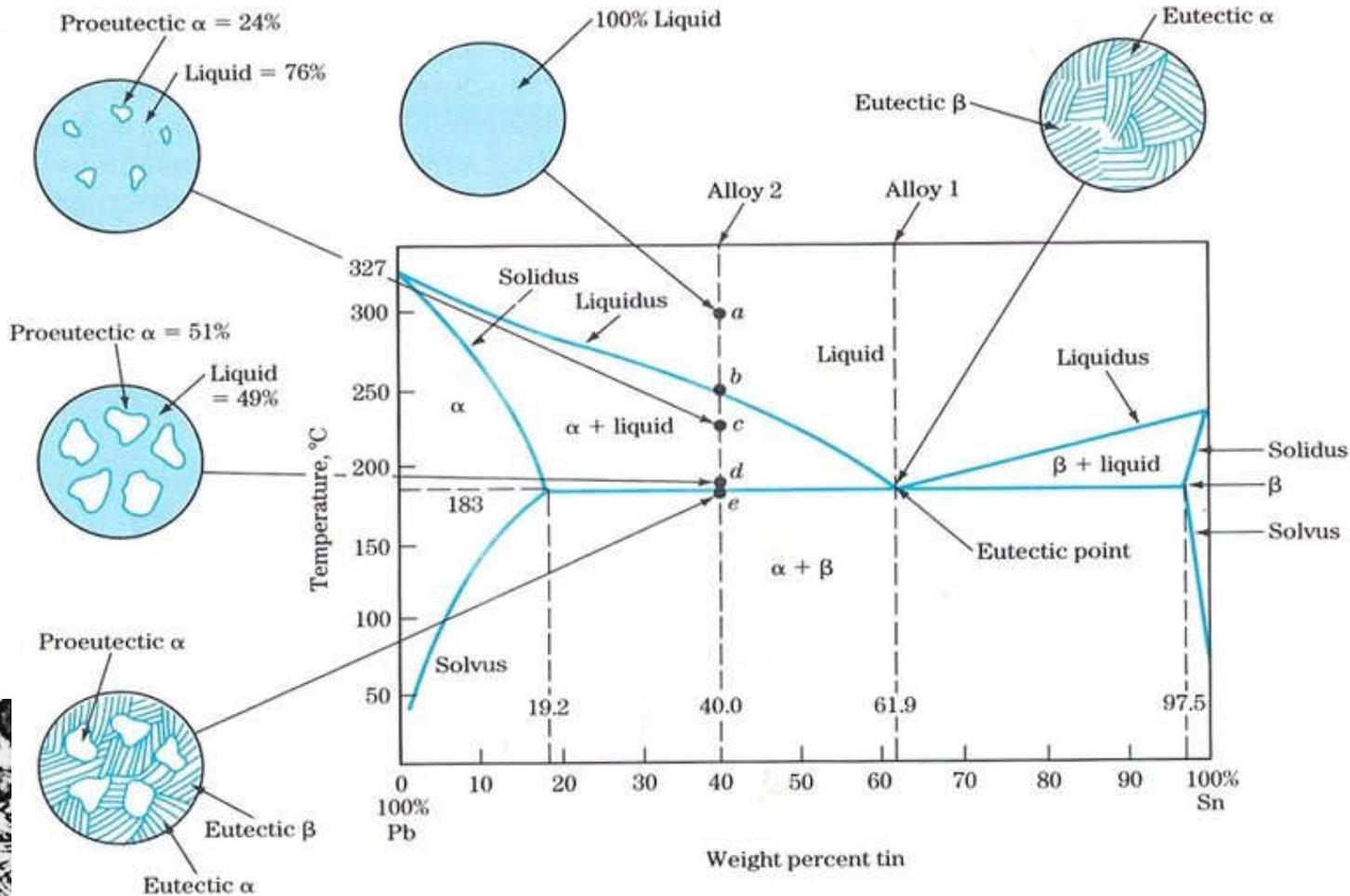
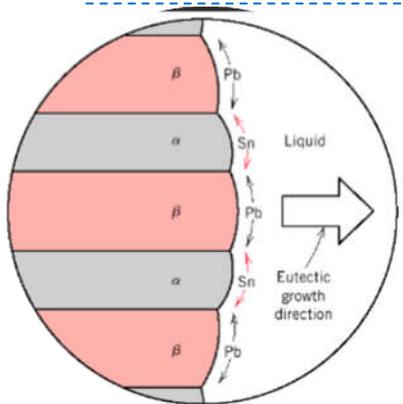
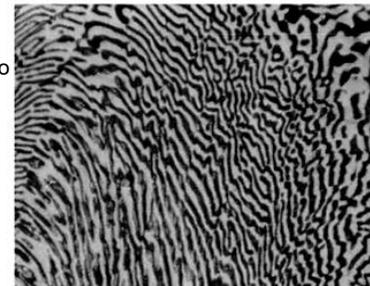
- Plata-Cobre
- Cadmio-Zinc



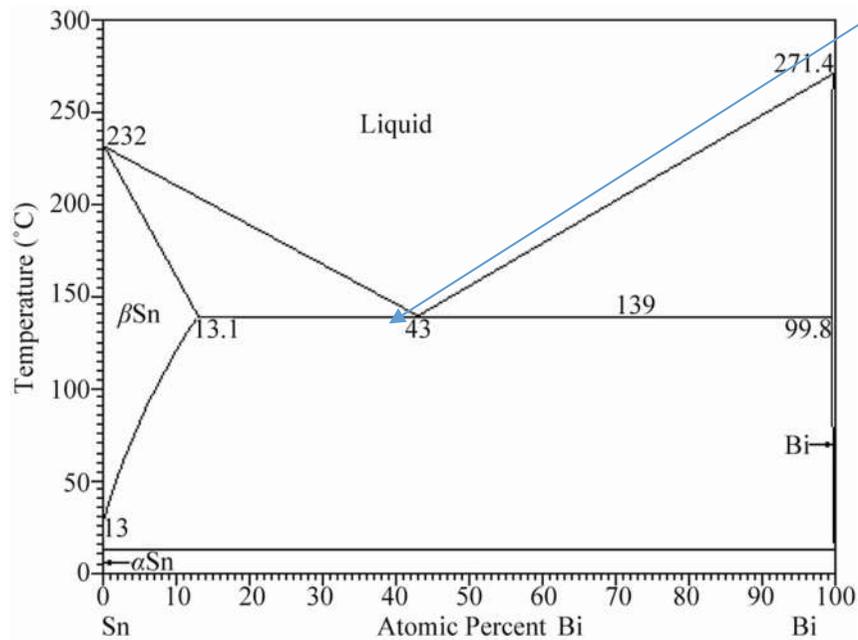
- Plomo-Antimonio
- Cloruro de Plata-Cloruro Cuproso

# Matriz Eutéctica

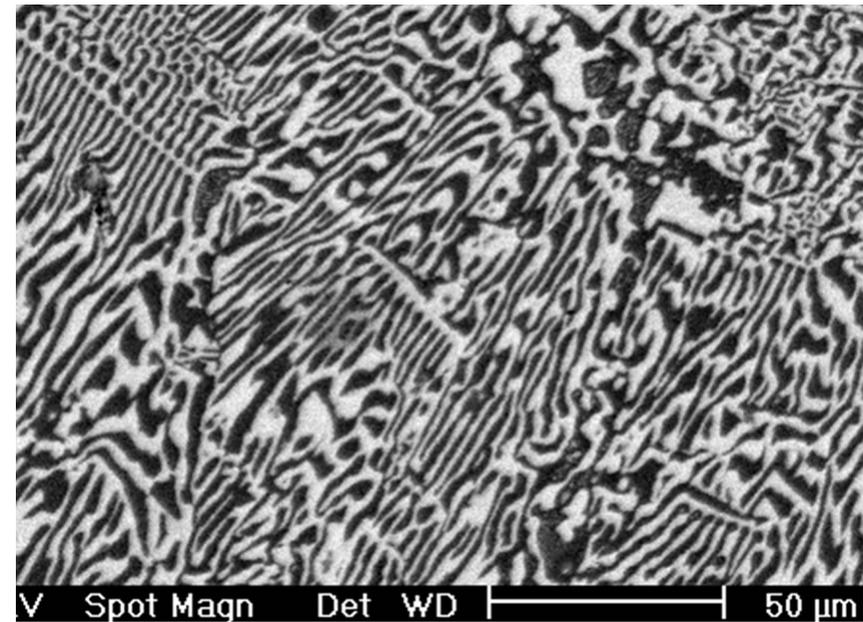
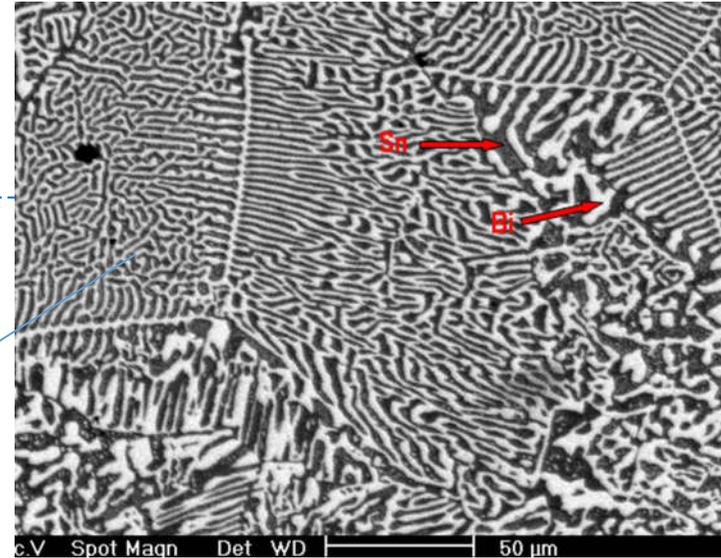
Fotomicrografía del microconstituyente eutéctico plomo-estano (400x)



# Matriz Eutéctica



<http://file.scirp.org/Html/3-7700734/d14ca94e-e40d-4132-ba48-b5e6dedf860b.jpg>

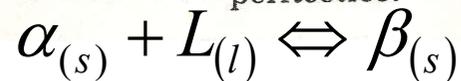
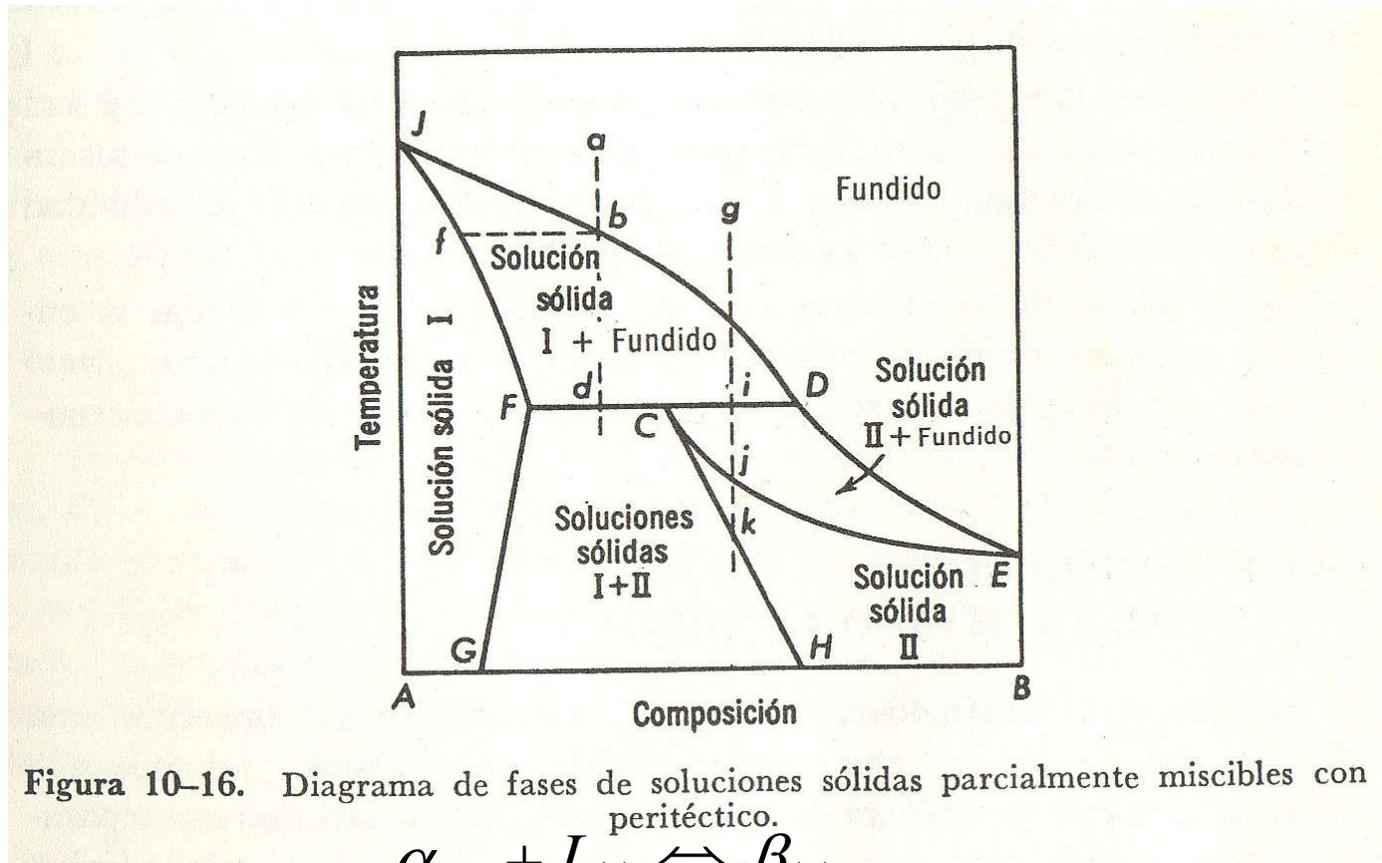


<http://file.scirp.org/Html/3-7700734/f9af1355-cdfa-454d-961b-365e93e21151.jpg>



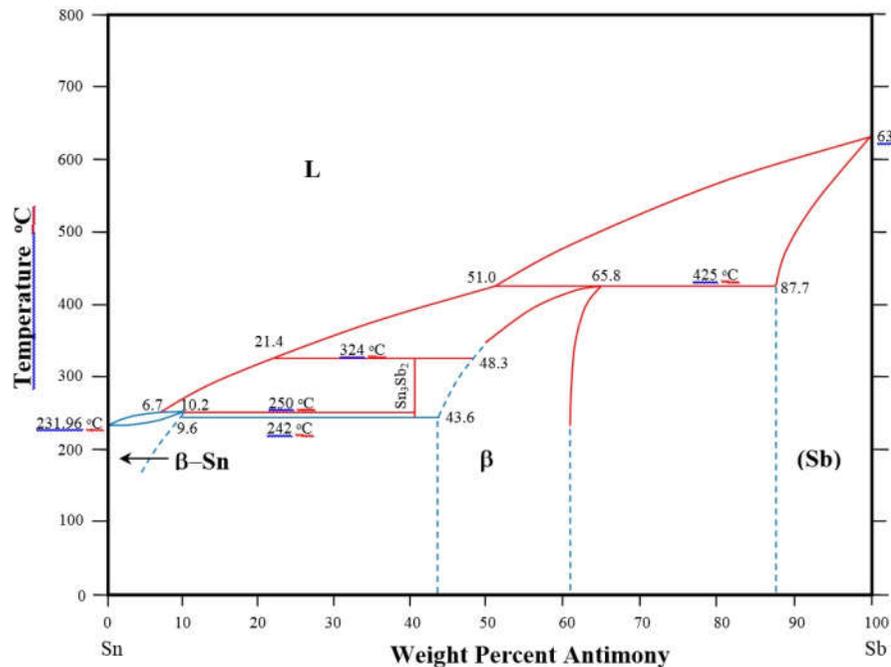
# Miscibilidad Parcial en fase sólida

## Caso II: Fases Sólidas Inestables

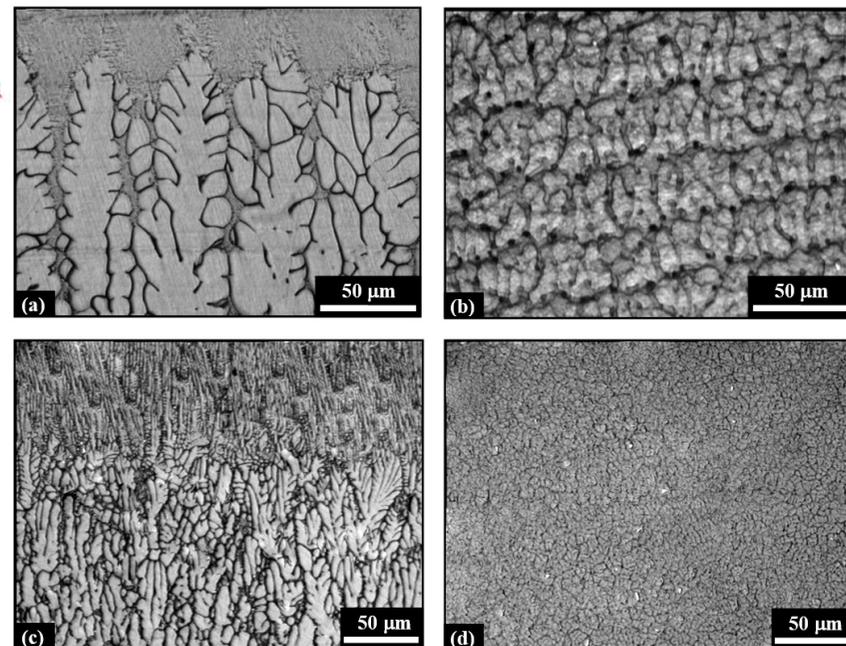


- Cobalto-Hierro
- Indio-Talio
- Nitrato de Plata-Nitrato de Sodio
- Cloruro de Plata-Cloruro de Litio

# Microestructura cristalina



<http://www.scielo.br/img/revistas/mr/v19n2/1516-1439-mr-1980-5373-MR-2015-0104-gf01.jpg>



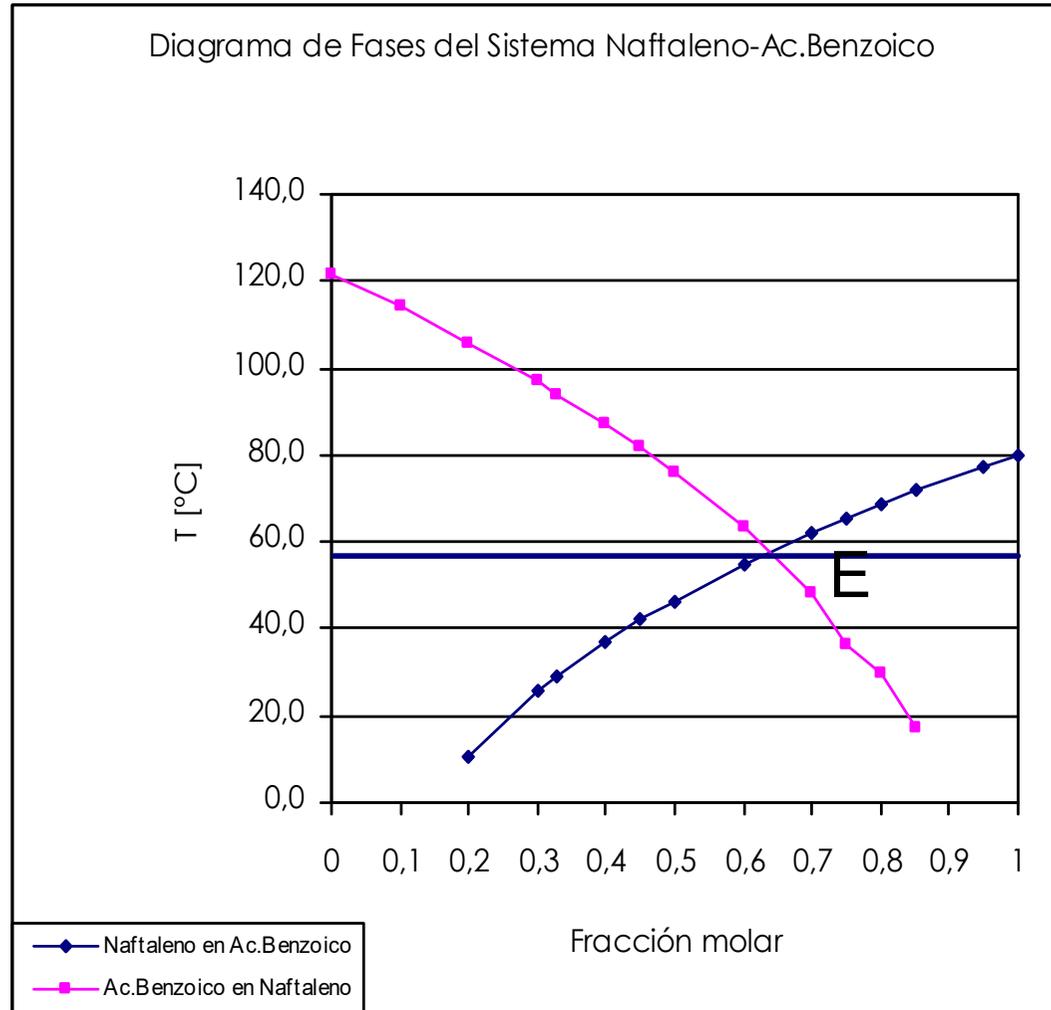
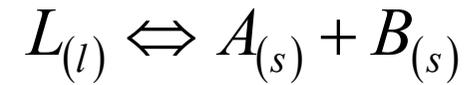
Microstructures of the directionally solidified Sn-10.2 Sb peritectic alloy:  
 (a) longitudinal section;  
 (b) transverse section ( $G=4.5 \text{ K. mm}^{-1}$ ,  $V = 26.7 \text{ } \mu\text{m. s}^{-1}$ );  
 (c) longitudinal section;  
 (d) transverse section ( $G=4.5 \text{ K. mm}^{-1}$ ,  $V = 266.7 \text{ } \mu\text{m. s}^{-1}$ )

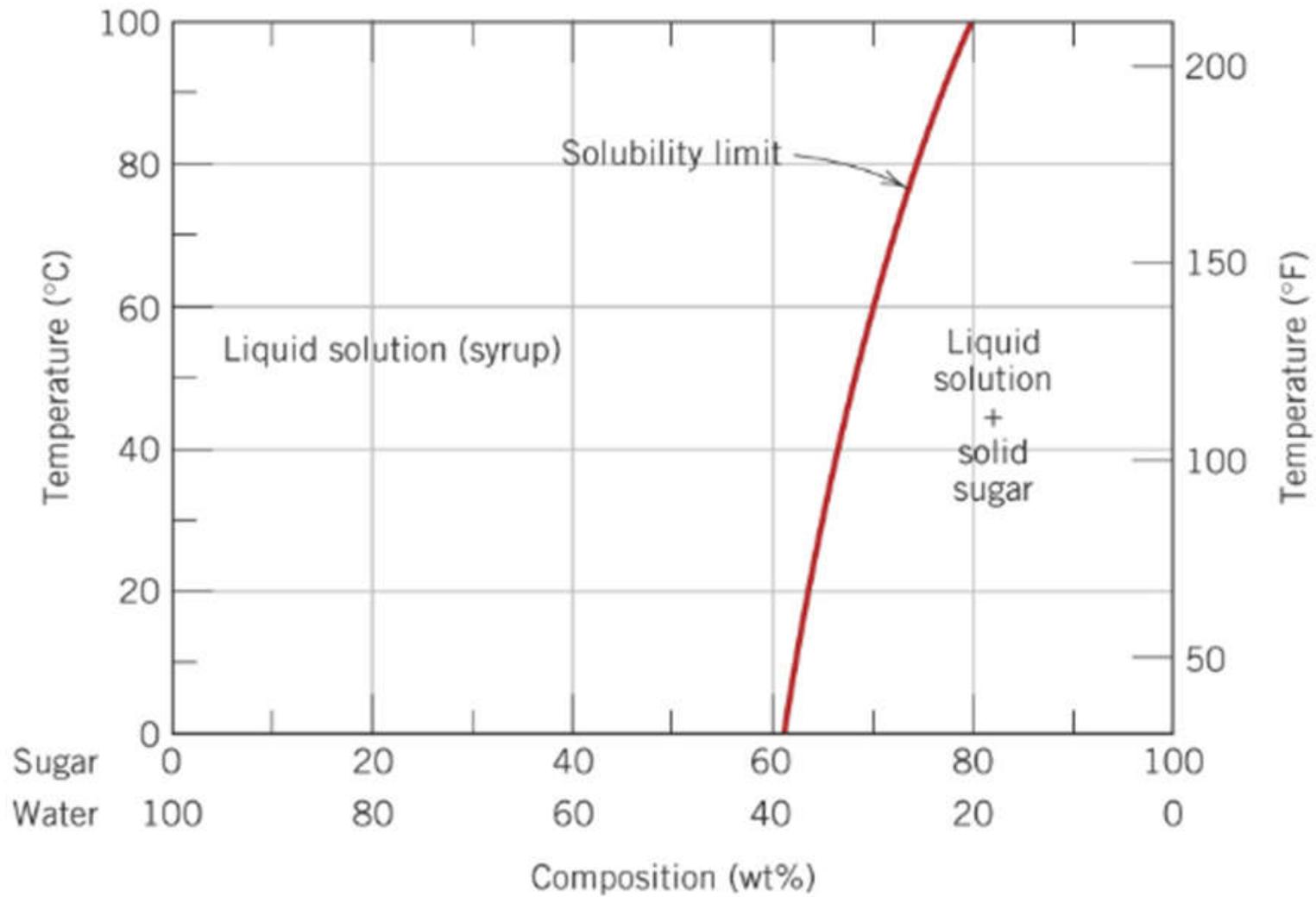
# Inmiscibilidad en fase sólida

## Caso I: Sin formación de compuestos Intermedios

Reacción Eutéctica

A TE





# Inmiscibilidad en fase sólida

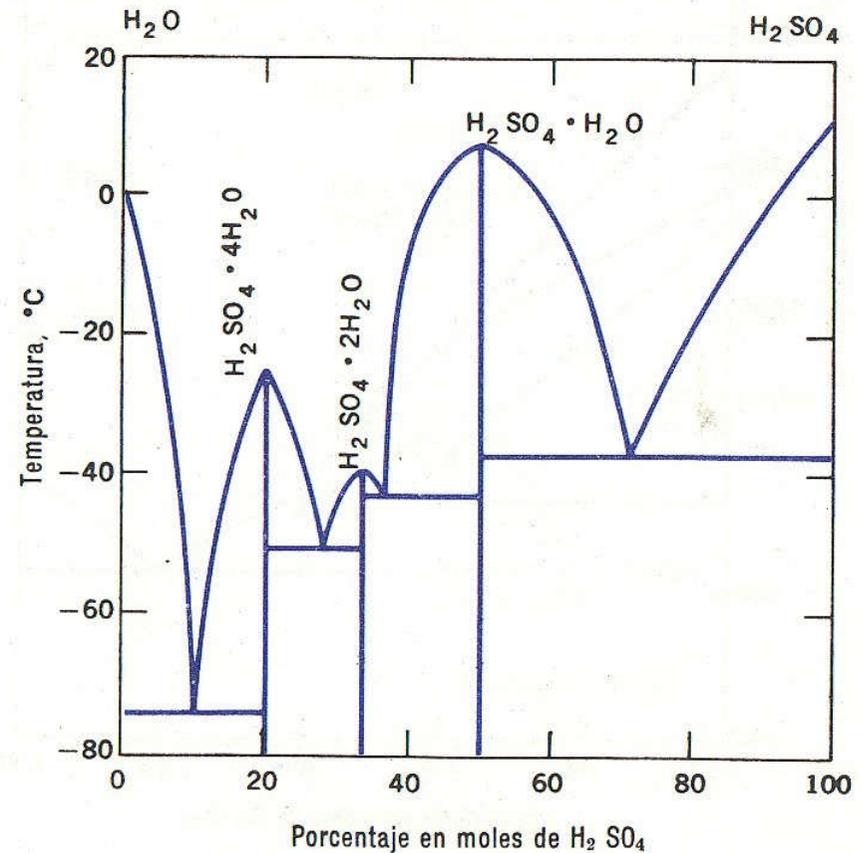
## Caso II: Formación de compuestos Intermedios

Compuesto con Punto de Fusión congruente



Reacción de Formación del Compuesto

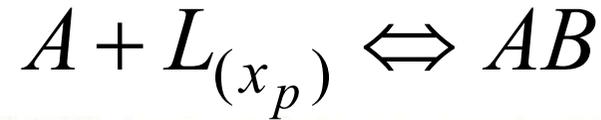
**FIGURA 20-17**  
Diagrama de solidificación del sistema  $H_2O \cdot H_2SO_4$ , en el que tiene lugar la formación de diversos compuestos sólidos.



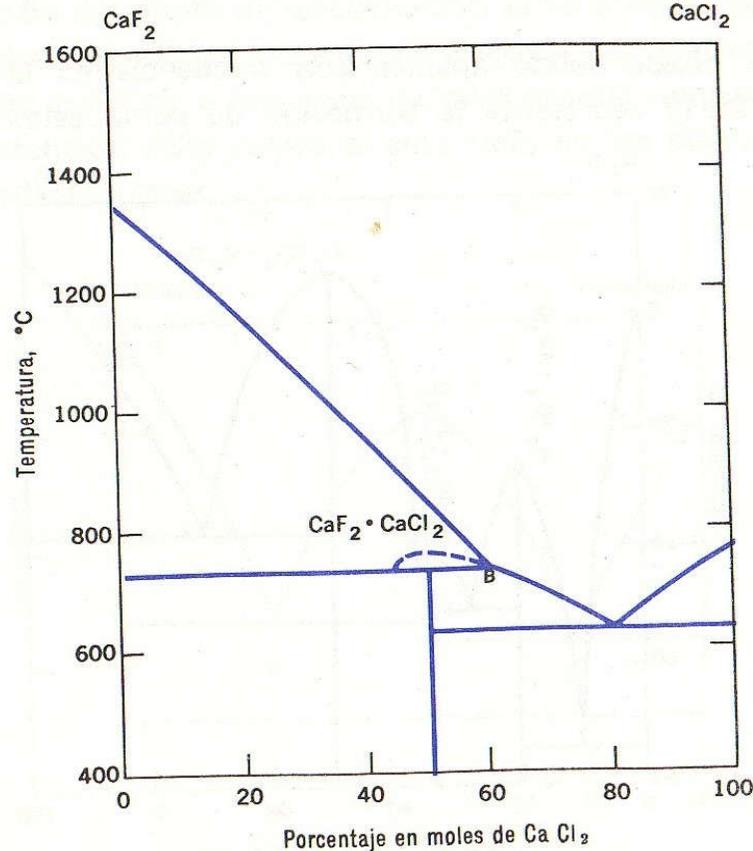
# Inmiscibilidad en fase sólida

## Caso II: Formación de compuestos Intermedios

Compuesto con Punto de Fusión incongruente



Reacción de Formación del Compuesto

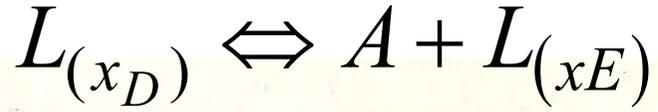


**FIGURA 20-18**

Diagrama de solidificación del sistema  $\text{CaF}_2 \cdot \text{CaCl}_2$  en el que tiene lugar la fusión incongruente del compuesto sólido  $\text{CaF}_2 \cdot \text{CaCl}_2$  a  $737^\circ\text{C}$ . (Datos tomados de las *International Critical Tables*, vol. 4, p. 63, McGraw-Hill Book Company, New York, 1927.)

# Clase B Miscibilidad parcial en fase líquida

Inmiscibilidad en fase sólida



Reacción Monotéctica

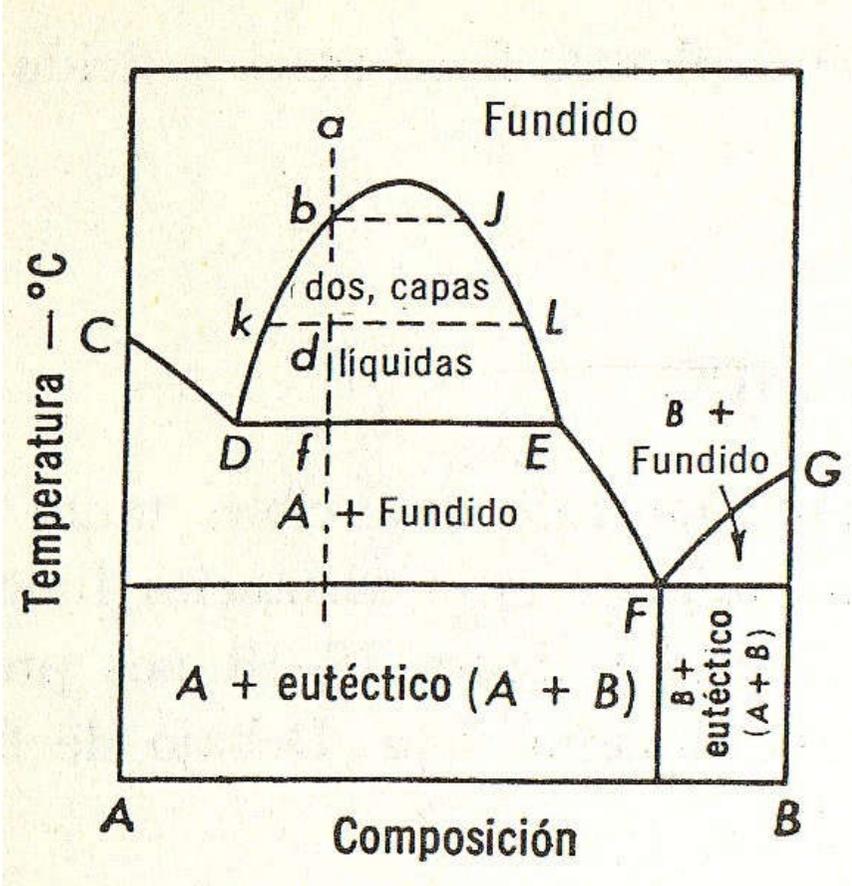


Figura 10-17. Diagrama de fases del sistema de sustancia fundida parcialmente miscible.

# Clase C Inmiscibilidad en fase líquida

Inmiscibilidad en fase sólida

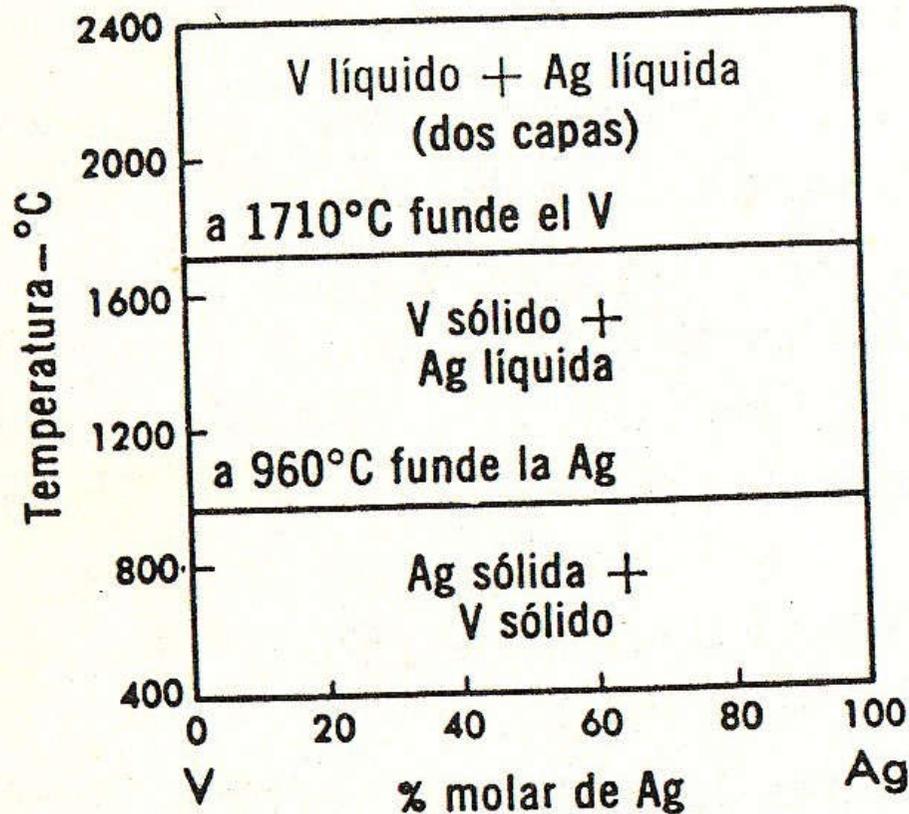
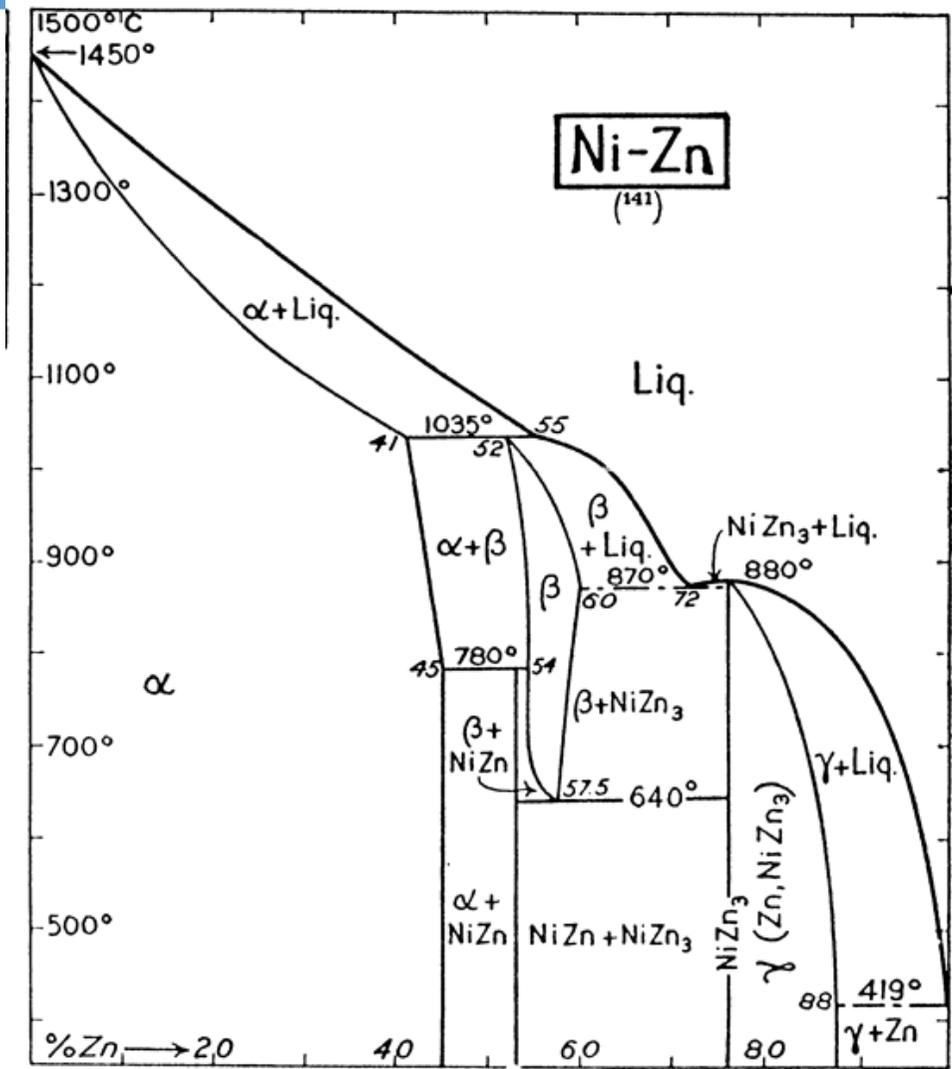


Figura 10-18. Diagrama de fases del sistema vanadio-plata.

Compuesto	Radio Atómico	Electronegatividad	Valencia	Estructura Cristalina	Factor Tamaño
Ni	1.243	1.8	+2	BCC	74%

Temperatura (°C)	Reacción	Nombre
1035	$\alpha + \text{Liq.} \rightarrow \beta$	Peritético
870	$\text{Liq.} \rightarrow \beta + \text{NiZn}_3$	Eutético
640	$\beta \rightarrow \text{NiZn} + \text{NiZn}_3$	Eutectoide



**En la realidad los diagramas lucen así**

Aleaciones Níquel-Zinc

Excelentes como recubrimientos debido a su resistencia a la corrosión



# Videos y páginas web para complementar

---

- ▶ Analisis Termico Diferencial  
(<http://www.expertsystemsolutions.com/busqueda-y-documentacion/glosario/a/analisis-termico-diferencial-atd-dta/>)
- ▶ Diagramas y transformaciones de fase Métodos experimentales para la determinación de diagramas de equilibrio M<sup>a</sup> Concepción Merino Casals  
<http://www.revistareduca.es/index.php/reduca/article/viewFile/944/961>



# Recursos para el aprendizaje

---

- ▶ Videos: Materia Cristalina y cristalización

<https://www.youtube.com/watch?v=b6ej8WVOA2Y>

- ▶ Videos: Orden de magnitud: escala atómica

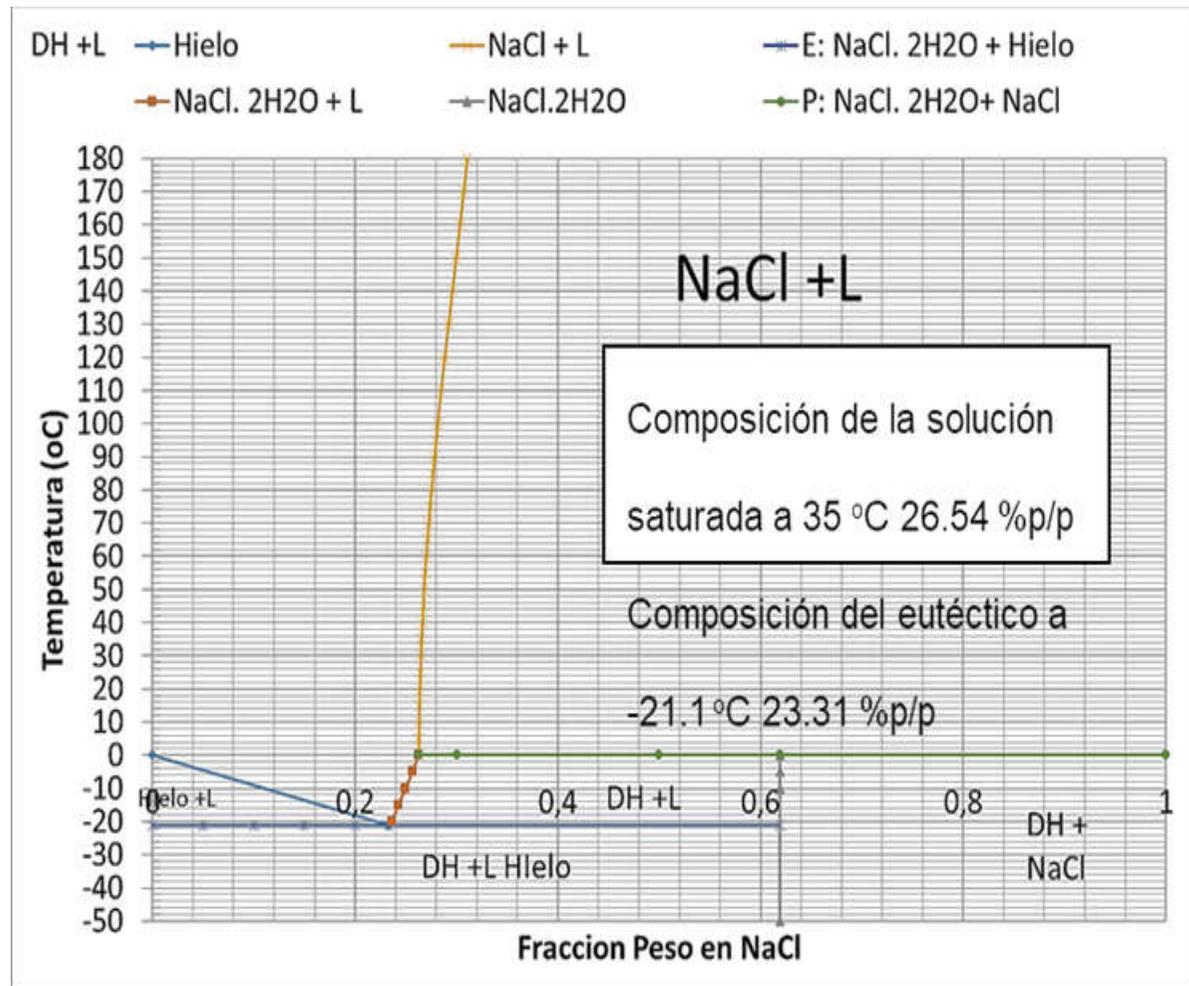
<https://www.youtube.com/watch?v=F87UPP6Fc3o>

- ▶ Diapositivas. Serie de Ejercicios.

- ▶ Libros Texto y complementarios.

El agua del mar del Norte tiene una salinidad promedio de 35 g/L (de los cuales 24 g/L son de cloruro de sodio aproximadamente).

Suponiendo que el agua de mar contiene sólo NaCl (35 g/L), determine el punto de congelación del agua de mar. Asuma que la densidad del agua de mar es de 1.02819 kg/L a los  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1.02811 a los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1.02778 a los  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si se alimentan 300 Kg de agua de mar a un evaporador que opera isotérmicamente a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una capacidad de evaporación de 95%, y la solución residual se usa para producir 100 Kg de hielo, determine composición y masa de todas las corrientes del proceso, y la temperatura de operación para la recuperación de la máxima cantidad de Agua pura (Hielo)

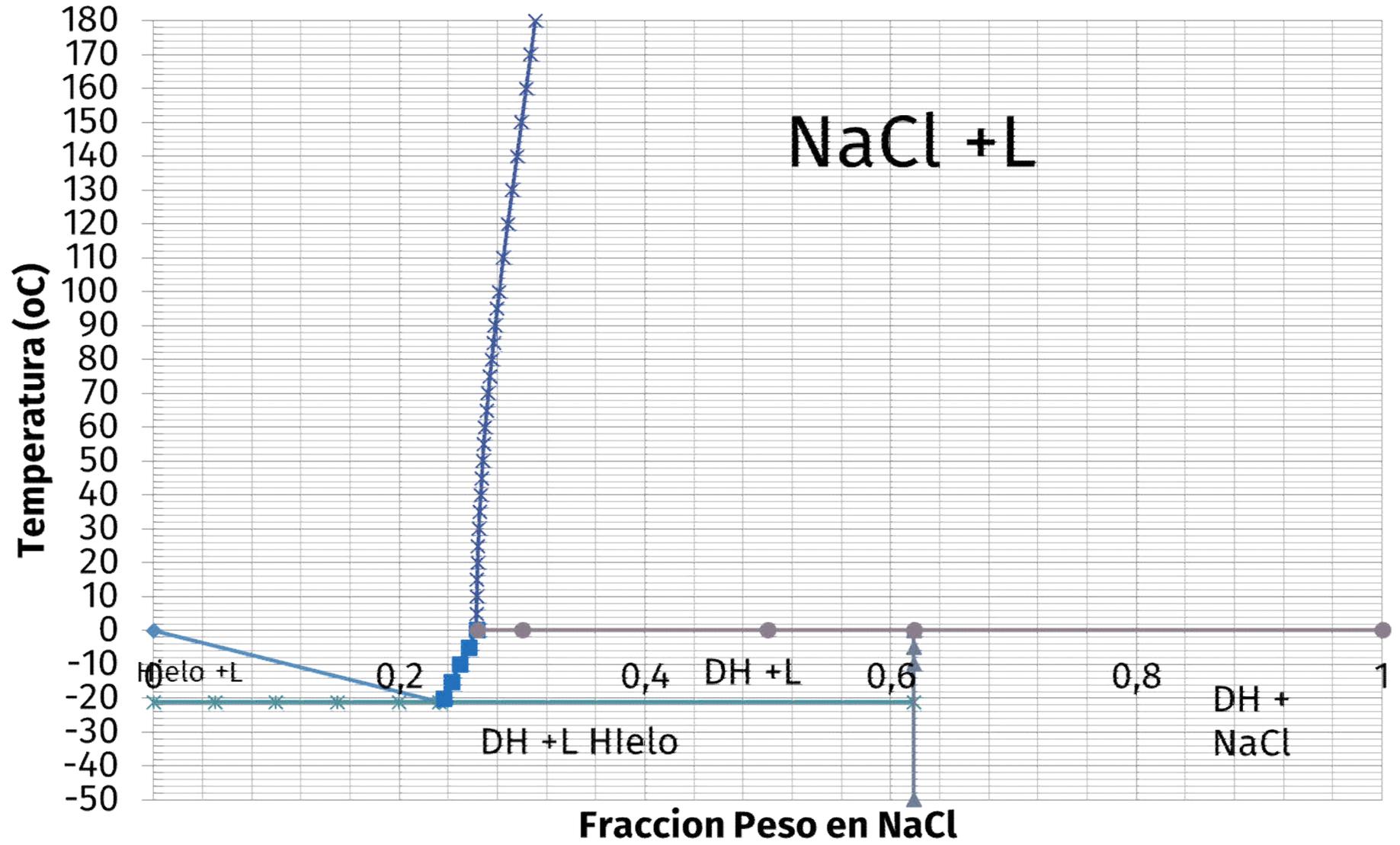


(6 puntos) Un ingeniero está interesado en recuperar las sales  $NaCl$  y  $NaCl \cdot 2H_2O$  a partir del agua del mar del norte. Se tiene conocimiento de que el agua del mar del norte tiene una salinidad promedio de  $35 \frac{g_{NaCl}}{L}$  y su densidad es de  $1.03 \frac{kg}{L}$ . Para recuperar las sales se dispone de agua de mar a  $25^\circ C$ . El ingeniero decide recuperar la sal  $NaCl$  mediante evaporación isotérmica a  $25^\circ C$ , posteriormente la solución saturada residual de la evaporación es aprovechada para recuperar para recuperar a partir de ella la máxima cantidad posible de cristales de  $NaCl \cdot 2H_2O$ . Si la cantidad de cristales recuperados de  $NaCl \cdot 2H_2O$  es de  $1000 \frac{kg}{h}$  y el porcentaje de recuperación del  $NaCl$  durante la evaporación isotérmica es del 75% (porcentaje de la sal efectivamente cristalizado respecto al existente en el sistema). Use la figura 4 para determinar:

1. ¿A qué temperatura ocurre el enfriamiento?
2. Cantidad de agua evaporada
3. Cantidad de cristales de NaCl recuperados
4. Caudal de agua de mar alimentado al proceso en  $\frac{m^3}{h}$
5. ¿Qué tamaño de cristales de  $NaCl$  y  $NaCl \cdot 2H_2O$  cabe esperar?



- DH + L ◆ Hielo
- ◆ NaCl + L
- ◆ E: NaCl. 2H2O + Hielo
- NaCl. 2H2O + L
- ▲ NaCl.2H2O
- P: NaCl. 2H2O+ NaCl



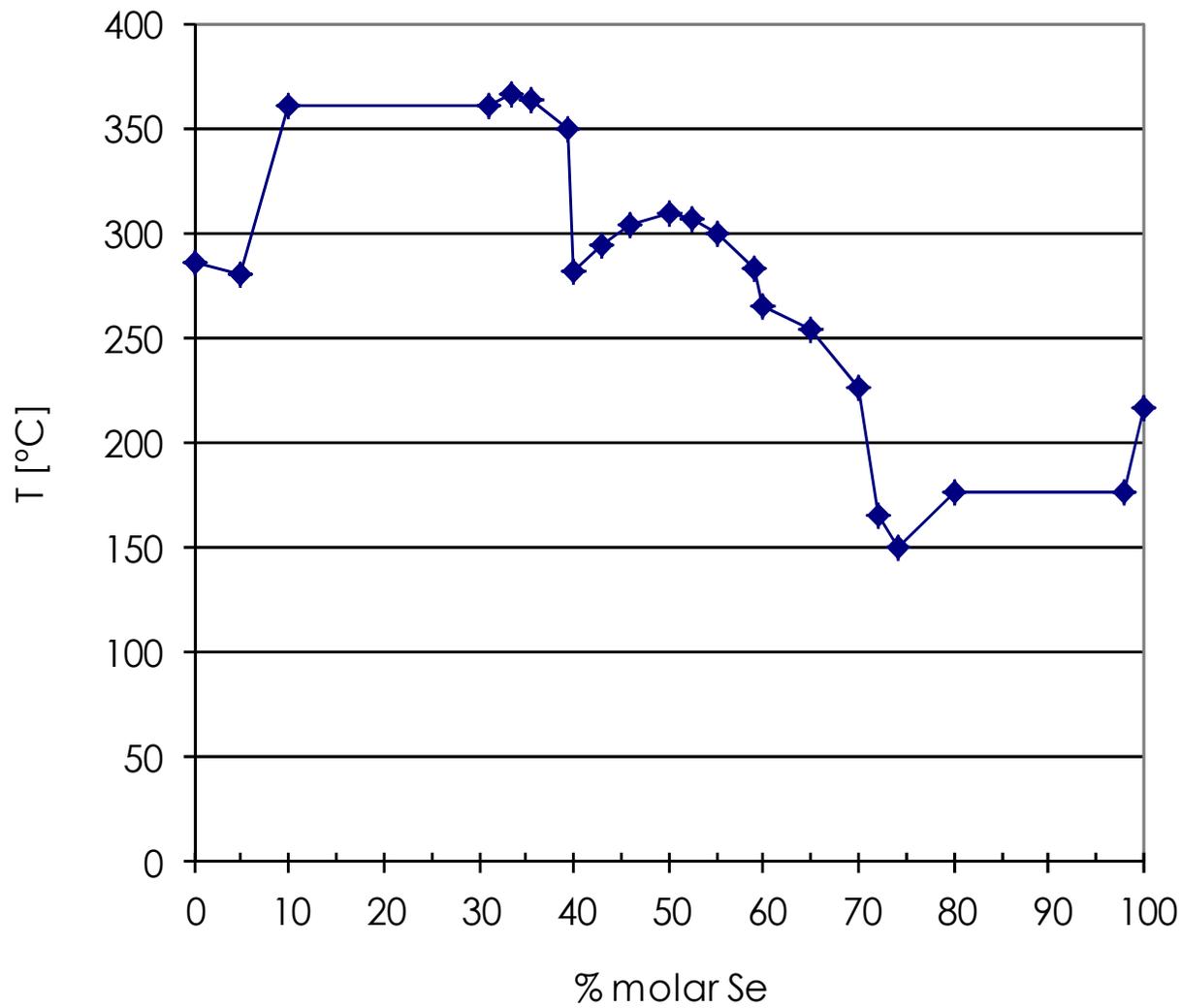
# Ejercicio

---

- ▶ El equilibrio sólido-líquido para el sistema Selenio (A) –Talio (B) (Se/Tl) se muestra en la figura II. (2 puntos c/u)
  - ▶ Si A y B forman compuestos cuyas fórmulas son  $AB_2$ , AB y  $A_3B_2$ , y éste último posee dos formas cristalinas de existencia;  $\alpha$  y  $\beta$ ; indicar en el diagrama las zonas y sus respectivas fases.
  - ▶ Se cuenta con dos sistemas fundidos P (35%Se) y Q(65%Se) y se quiere obtener a partir de ellos la máxima cantidad de cristales puros de los compuestos  $AB_2$  y  $A_3B_2$ , respectivamente. A su vez se quieren aprovechar las soluciones residuales de dichos procedimientos para producir cristales puros de AB. Si se obtienen 1000Kgmol de AB por enfriamiento de la resultante de la mezcla de estas soluciones residuales, determine:
    - ▶ Cantidades de P y Q que se emplean en el proceso global
    - ▶ Cantidades de sales puras que se obtienen por tratamiento de los sistemas P y Q
    - ▶ Cantidad y composición de las soluciones residuales empleadas en la producción de AB
    - ▶ Explique los procedimientos que deberá seguir el operario de la industria para obtener uniformidad de tamaño y pureza de los cristales para las sales de interés.
- 



Diagrama II : Sistema Se/Tl



T [°C]	% molar Te (A)
97,5	0
560	10
740	20
860	25
959	33,3
868	37,5
715	40
579	42,5
483	45
381	47,5
348	48,5 (P)
340	50
331	51,5
317	53,8 (E)
341	55
389	57,5
412	60
432	62,5 (*)
435	63 (*)
435	75
430	77,5
423	80
401,5	83,5 (E)
408	85
427	90
439	95
446	98
452	100

La siguiente data experimental corresponde al equilibrio sólido-líquido del sistema Te-Na . El par Te(A)-Sodio (B) forma los siguientes compuestos:

$AB_2$ ,  $A_2B_3$ ,  $A_7B_3$

1. Construir el diagrama de fases para el sistema Te-Na (Tarea previa). Indicar en el diagrama las zonas bifásicas y la naturaleza de las fases presentes en cada una de ellas (por ejemplo:  $B_{(s)}+Líquido$ )
2. (4 puntos) Dibujar en un diagrama T[°C] vs. Tiempo (t) las curvas de enfriamiento correspondientes a las isopletras de composición (en % molar de A): 35, 50,68,80. Explicar claramente las causas de los cambios en la velocidad de enfriamiento.
3. (2 puntos) Determinar la máxima cantidad obtenible del compuesto  $AB_2$  a partir de 1000 kgmol de una solución al 36% molar de A. Explicar detalladamente el procedimiento a seguir.
4. (3 puntos) Determinar la máxima cantidad obtenible del compuesto  $A_7B_3$  a partir de la mezcla de la solución residual del procedimiento anterior con:
  - a. La solución residual (180 Kgmol) de un proceso de obtención de  $A_7B_3$  a partir de una solución al 60% molar de A
  - b. La solución residual (180 Kgmol) de un proceso de obtención de A a partir de una solución al 90% molar de A

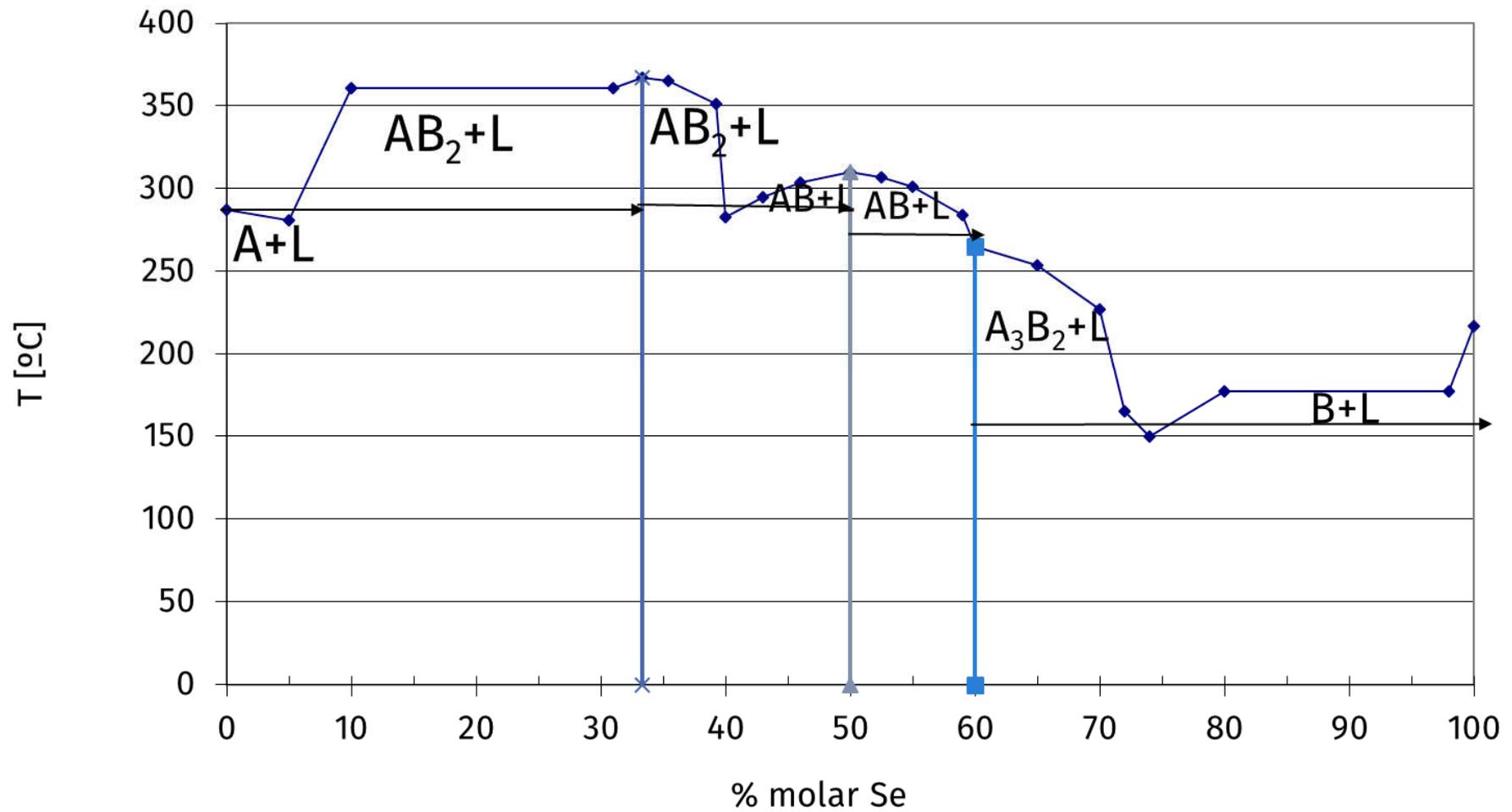
E: punto eutéctico

P: Punto peritético

\* : Dos capas líquidas



Diagrama II : Sistema Se/Tl



# Referencias para profundizar

---

- Maron, S., F. Prutton. (2004) Fundamentos de Fisicoquímica. Limusa Noriega Editores.
- ▶ **Química física** [Arthur W. Adamson](#) Reverte, 1979 , p. 1282,  
[http://books.google.co.ve/books/about/Qu%C3%ADmica\\_f%C3%ADsica.html?id=FGeC-mfCKe4C](http://books.google.co.ve/books/about/Qu%C3%ADmica_f%C3%ADsica.html?id=FGeC-mfCKe4C)
- Fisicoquímica para Ingenieros Químicos. Prof. Julián Suarez
- Atkins , de Paula Química Física  
<http://books.google.co.ve/books?id=dVGP7pmCh10C&printsec=frontcover&dq=atkins+fisicoquimica&hl=es-419&sa=X&ei=ZTF-VOqoCoukgwTln4OwDw&sqi=2&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=atkins%20fisicoquimica&f=false>



## Referencias a consultar

---

- ▶ **Titulo:** Tratado de química física / Samuel Glasstone ; traducido de la 2a. edición norteamericana por Juan Sáncho Gómez  
**Autor:** [Glasstone, Samuel, 1897-](#)  
**Cota:** [QD453 G53 1953](#)
- ▶ **Titulo:** Elementos de química-física / por Samuel Glasstone y David Lewis  
**Autor:** [Glasstone, Samuel, 1897-](#)  
**Cota:** [QD453 G53e 1965](#)
- ▶ **Titulo:** Problemas de química física / Arthur W. Adamson  
**Autor:** [Adamson, Arthur W](#)  
**Cota:** [QD456 A33 1975](#)

