

**DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO**

---

1.- Con el diagrama de equilibrio Cu-Ni que se adjunta, describir el enfriamiento lento de una aleación del 30% de Ni y determinar su composición a 1200°C.

2.- Una aleación compuesta de 2 Kg de Cu y 2 Kg de Ni se fundió y posteriormente se enfrió lentamente hasta 1300°C. Utilizando el diagrama de equilibrio del sistema Cu-Ni, calcular la concentración y el peso de las fases presentes a dicha temperatura.

3.- Con el diagrama de equilibrio Cu-Ni, haga el análisis de fases para una aleación del 50% de Cu a: 1400°C, 1300°C, 1200°C 1100°C.

4.- El Pt y el Au son totalmente solubles tanto en fase líquida como sólida; el punto de fusión del Pt es 1774°C y el del Au es 1063°C. Una aleación formada por el 40% de Au, comienza a solidificar a 1599°C, dando cristales que contienen un 15% de Au. Otra aleación, que contiene 70% de Au, comienza a solidificar a 1399°C, formando cristales con un 37% de Au.

a) Dibujar el diagrama de equilibrio del sistema Au-Pt, indicando los puntos, líneas y zonas características del mismo.

b) Dada una aleación del 50% de Au, determinar las fases existentes y sus proporciones relativas a 1300°C.

5.- Suponiendo la misma aleación del problema anterior, definir el intervalo de temperaturas de la solidificación y su composición a temperatura ambiente. Si el enfriamiento no se verificara en condiciones de equilibrio, ¿cual sería el mayor gradiente de concentración que podría aparecer en los granos segregados?

6.- El Bi ( $T_f = 271.4^\circ\text{C}$ ) y el Sb ( $T_f = 630.5^\circ\text{C}$ ) son metales totalmente solubles en fase líquida y sólida. Mediante análisis térmico se han obtenido los siguientes resultados:

ALEACION (% de Sb)	TRA de LIQUIDO ( $^\circ\text{C}$ )	TRA de SOLIDO ( $^\circ\text{C}$ )
10	345	280
20	400	300
30	450	315
40	490	335
50	525	360
60	550	380
70	575	420
80	590	465
90	615	530

Con estos datos construir el diagrama de equilibrio, indicando las fases que coexisten y los grados de libertad de cada zona del diagrama.

**DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO**

---

Suponiendo una aleación del 45% de Sb, se pide:

- Transformaciones que experimenta en un enfriamiento lento desde el estado líquido hasta temperatura ambiente.
- Dibujar su curva de enfriamiento y solidificación.
- Si dicho enfriamiento no se verifica en condiciones de equilibrio, ¿cual será la máxima diferencia de concentración entre el centro de un grano y su periferia?
- ¿A qué temperatura habrá un 50% de la aleación en fase líquida?
- Calcular el % de fases a 400°C.

7.- El Bi ( $T_f = 271^\circ\text{C}$ ) y el Cd ( $T_f = 321^\circ\text{C}$ ) son totalmente solubles en fase líquida y totalmente insolubles en fase sólida, formando un eutéctico a  $143^\circ\text{C}$  con un contenido en Cd del 40%.

Dibujar el diagrama de equilibrio del sistema, indicando los puntos, líneas y zonas características y sus grados de libertad, suponiendo que las líneas del diagrama son rectas.

- Indicar el proceso de solidificación y su curva de enfriamiento para una aleación que contiene el 10% de Cd.
- En una aleación con un 25% de Bi, trazar la curva de enfriamiento y determinar el porcentaje de fases a  $200^\circ\text{C}$  y a temperatura ambiente.
- Calcular los porcentajes de fases presentes en la aleación de composición eutéctica y su densidad, sabiendo que la densidad del Bi es  $9.80\text{ g cm}^{-3}$  y la del Cd es  $8.65\text{ g cm}^{-3}$ .

8.-El sistema de aleaciones Sb ( $T_f = 630.5^\circ\text{C}$ ) - Pb ( $T_f = 327.4^\circ\text{C}$ ), forma una eutéctica con un 13% de Sb y a una temperatura de solidificación de  $247^\circ\text{C}$ . Suponiendo que las líneas del diagrama son rectas y que estos metales son insolubles en fase sólida, trazar el diagrama de fases.

Determinar para estas tres aleaciones: 40% de Pb, 87% de Pb y 95% de Pb:

- Curva de enfriamiento y transformaciones desde líquido hasta temperatura ambiente.
- Porcentajes de fases a temperatura ambiente para todas.
- Si en este sistema el enfriamiento no pasa por estados de equilibrio, ¿qué defecto se produce?

9.- Una aleación compuesta por 1 Kg de Pb y 1Kg de Sb se fundió y se enfrió lentamente hasta  $350^\circ\text{C}$ . Aplicar el diagrama de equilibrio del problema anterior para determinar:

- Las fases que contiene la aleación
- Las concentraciones de cada fase
- Las cantidades en peso de cada fase.

**DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO**

---

10.- Enfriar lentamente desde 700°C una aleación que contiene un 75% de Sb y 25% de Pb. Describir el proceso de solidificación hasta temperatura ambiente y determinar la composición de la aleación a dicha temperatura.

11.- El diagrama de equilibrio del sistema Pb ( $T_f = 327.4^\circ\text{C}$ )-Ag ( $T_f = 960.5^\circ\text{C}$ ), forma una eutéctica con un 2.5% de Ag a 300°C .

Trazar el diagrama de equilibrio sabiendo que ambos metales son solubles en fase líquida e insolubles en fase sólida y que las líneas de líquido son rectas.

Calcular la densidad de la eutéctica ( $\rho_{\text{Ag}} = 10.49 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $\rho_{\text{Pb}} = 11.34 \text{ g cm}^{-3}$ ).

Describir el enfriamiento desde fase líquida a temperatura ambiente de las siguientes aleaciones: 1% de Ag, 10% de Ag y 90% de Ag.

12.- Haciendo uso del diagrama de equilibrio que se adjunta, describir el enfriamiento lento de una aleación de Pb y Bi que contiene el 50% de Bi desde fase líquida hasta temperatura ambiente, indicando su microestructura.

13.- Utilizando el diagrama de equilibrio del sistema Pb-Sn, calcular

- Los porcentajes de fases de la eutéctica.
- La densidad de la eutéctica ( $\rho_{\text{Pb}} = 11.34 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $\rho_{\text{Sn}} = 7.298 \text{ g cm}^{-3}$ )
- Los porcentajes de fases a 200°C, inmediatamente después de la solidificación y a temperatura ambiente de una aleación para soldadura con un 35% de Sn. Describir las transformaciones que experimenta, desde que se funde hasta que vuelve a la temperatura ambiente.
- Repetir el apartado anterior para una aleación que contiene un 90% de Sn.

14.- Verificar el enfriamiento en condiciones de equilibrio de 3 aleaciones de Pb y Sn, indicando las fases que aparecen así como sus composiciones y las temperaturas características, describiendo también la microestructura obtenida a temperatura ambiente:

- 30% Sn - 70% Pb
- 61.9% Sn - 38.1% Pb
- 80% Sn - 20% Pb

Si los enfriamientos no se verifican en condiciones de equilibrio, calcular la máxima magnitud del gradiente de concentraciones que se produce.

15.-Haciendo uso del diagrama de equilibrio del sistema Cu-Ag, determinar:

- Las fases presentes en las distintas regiones y sus grados de libertad.
- La relación de fases en la eutéctica.
- La densidad de la eutéctica ( $\rho_{\text{Ag}} = 10.49 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $\rho_{\text{Cu}} = 8.96 \text{ g cm}^{-3}$ ).

**DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO**

d) Describir las transformaciones que experimenta una aleación del 6% de Cu desde fase líquida hasta 400°C y calcular los porcentajes de fases a dicha temperatura.

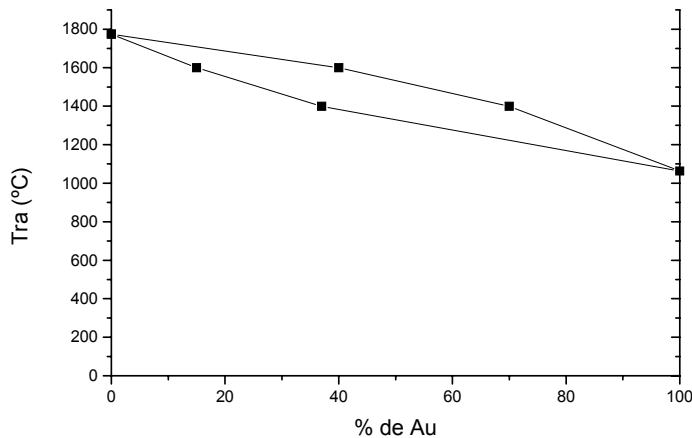
d) Repetir el apartado anterior para una aleación del 20% de Cu, calculando los porcentajes de fases a 780°C y 778°C y a temperatura ambiente.

- 16.- ¿Cuál es la diferencia entre la eutéctica del sistema Pb-Sb y la del Pb-Sn?  
 ¿Qué tipo de aleaciones funden a temperatura constante y cuales en un intervalo de temperatura?  
 ¿En qué se diferencia un enfriamiento de equilibrio de uno de no equilibrio?  
 ¿Qué consecuencias tiene para la estructura obtenida?

**SOLUCIONES:**

- 1.- 1200°C : Sólido (62% Ni) = 31.9% + Líquido (15% Ni) = 68.1%  
 2.- 1300°C : Sólido (80% Ni) = 1.27 Kg + Líquido (36% Ni) = 2.72 Kg  
 3.- 1400°C : Líquido (50% Ni) = 100%  
 1300°C : Sólido (80% Ni) = 31.7% + Líquido (36% Ni) = 68.3%  
 1200°C : Sólido (62% Ni) = 74.5% + Líquido (15% Ni) = 25.5%  
 1100°C : Sólido (50% Ni) = 100%

4.-

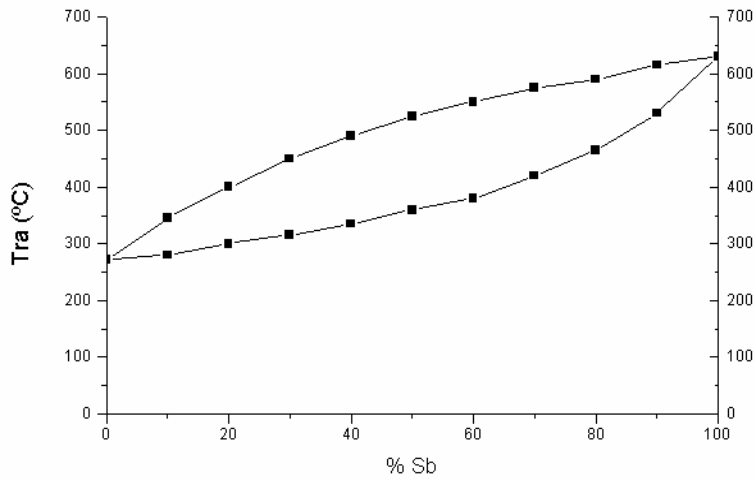


b) Sólido (50% Au) 100%

5.- a) Comienza la solidificación a 1440°C y termina a 1300°C

b)  $\Delta c$  sólido = 20% - 50% = 30%

6.-

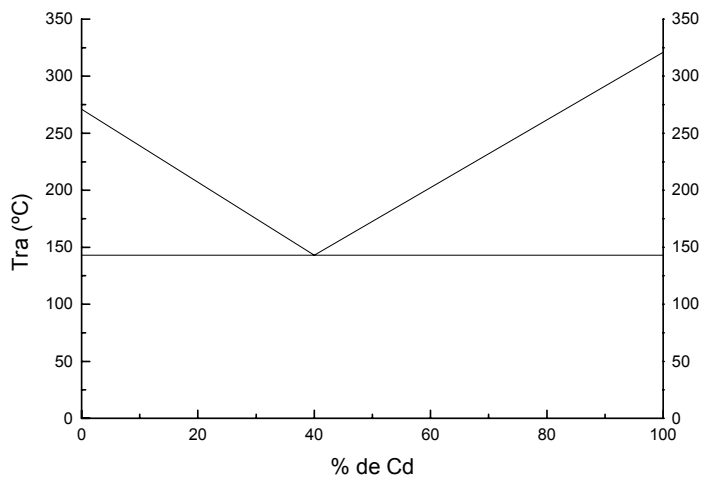


c)  $\Delta c \text{ sólido} = 85\% - 45\% = 40\%$

d) Gráficamente  $T_{ra} = 400^\circ\text{C}$  Sólido (20% Sb)  $\Leftrightarrow$  Líquido (70% Sb)

e) 50% Sólido (20% Sb)  $\Leftrightarrow$  50% Líquido (70% Sb)

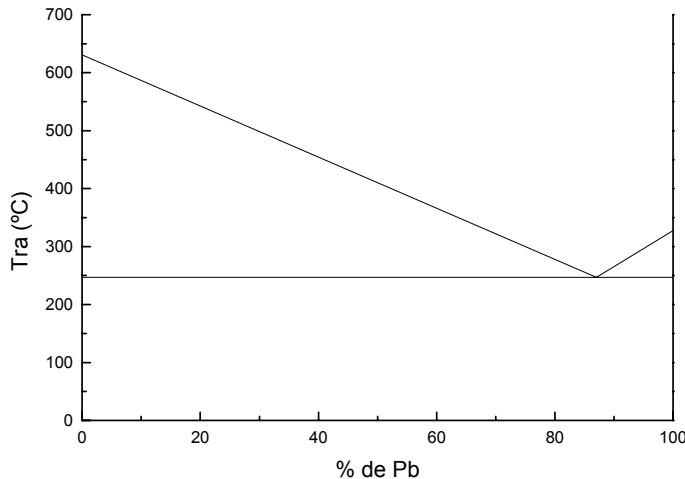
7.-



b)  $200^\circ\text{C}$  : Líquido (25%Bi) = 100% homogéneo

c) Eutéctica : 60% Bi puro + 40% Cd puro ;  $\rho_{eutectica} = 9.31 \text{ g cm}^{-3}$

8.-



b) 40% Pb + 60% Sb ; 87% Pb + 13% Sb ; 95% Pb + 5% Sb

c) Ninguno.

9.- 350 °C : 28.6% Sólido (100% Sb)  $\Leftrightarrow$  71.4% Líquido (70% Sb)

10.- 75% Sb puro + 25% Pb puro

11.- a)  $\rho_{\text{eutectica}} = 11.32 \text{ g cm}^{-3}$

b)

ALEACION	PROEUTECTICO	EUTECTICO
1% Ag	(Pb puro) = 60%	(2.5% Ag) = 40%
10% Ag	(Ag puro) = 7.7%	( " ) = 92.3%
90% Ag	( " ) = 89.7%	( " ) = 10.3%

12.- 170°C =  $T_1$  : Sólido proeutec. (24% Bi) = 0% + Líquido (50% Bi) = 100%

126°C : Sólido proeutec. (37% Bi) = 38.1% + Líquido (58% Bi) = 61.9%

125°C : Líquido (58% Bi)  $\Leftrightarrow$   $\alpha$  (37% Bi) = 64.8% +  $\beta$  (3.3% Pb) = 35.2%

124°C : Sólido  $\alpha$  (37% Bi) = 61.0% + Sólido  $\beta$  (3.3% Pb) = 39.0%

0°C : Sólido  $\alpha$  (18.6% Bi) = 60.8% + Sólido  $\beta$  (1.3% Pb) = 39.2%

13.- a) Sólido  $\alpha$  Pb (19% Sn) = 45.1% + Sólido  $\beta$  Sn (2.8% Pb) = 54.9%

b)  $\rho_{\text{eutectica}} = 8.45 \text{ g cm}^{-3}$

c) 200°C : Sólido proeutec. (17.8% Sn) = 53.7% + Líquido (55% Sn) = 46.3%

183°C : Sólido proeutec. (19.0% Sn) = 62.7% + Líquido (61.9% Sn) = 37.3%

0°C : Sólido  $\alpha$  Pb (1.5% Sn) = 65.8% + Sólido  $\beta$  Sn (0.5% Pb) = 34.2%

d) 200°C : Sólido proeutec. (1.5% Pb) = 76.7% + Líquido (23.5% Pb) = 23.3%

183°C : Sól. proeutec. (2.8% Pb) = 79.6% + Líq. eutec. (61.9% Sn) = 20.4%

0°C : Sólido  $\alpha$  Pb (1.5% Sn) = 9.7% + Sólido  $\beta$  Sn (0.5% Pb) = 90.3%

14.-

ALEACION	PROEUTECTICO	EUTECTICO	AMBIENTE
30% Sn-70% Pb	Pb(19%Sn)=74.35%	Pb(19%Sn)=45.1% Sn (2.8%Pb)=54.9%	Pb(1.5%Sn)=70.9% Sn (0.5%Pb)=29.1%
61.9% Sn-38.1% Pb		Pb(19%Sn)=45.1% Sn (2.8%Pb)=54.9%	Pb(1.5%Sn)=38.4% Sn (0.5%Pb)=61.6%
80% Sn-20% Pb	Sn (2.8%Pb)=51.6%	Pb(19%Sn)=45.1% Sn (2.8%Pb)=54.9%	Pb(1.5%Sn)=19.9% Sn (0.5%Pb)=80.1%

**DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO**

---

15.- b) Sólido  $\alpha$  Ag (8.8% Cu) = 76.3% + Sólido  $\beta$  Cu (8% Ag) = 23.7%

c)  $\rho_{\text{eutectica}} = 8.45 \text{ g cm}^{-3}$

d)  $400^\circ\text{C}$  : Ag (2.5% Cu) = 96.4% + Cu (1% Ag) = 3.6%

16.-

a) La eutéctica del sistema Pb-Sb está formada por una agrupación íntima de cristales de ambos metales puros puesto que estos metales son totalmente insolubles en fase sólida, mientras que la eutéctica del sistema Pb-Sn está formada por la mezcla íntima de dos soluciones sólidas :  $\alpha$  Pb (19,2% Sn) +  $\beta$  Sn (2,5% Pb)

b) Todas las aleaciones funden o solidifican en un intervalo de temperaturas a excepción de la aleación de composición eutéctica, que funde a temperatura constante y a la menor temperatura posible.

c) Un enfriamiento de equilibrio requiere un descenso térmico infinitamente lento de manera que para cada variación diferencial de la temperatura, se invierte el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio permitiendo con ello que se homogeneicen los sólidos formados mediante la difusión en fase sólida, mientras que en un enfriamiento de no equilibrio no se mantiene la temperatura constante el tiempo suficiente para que la difusión tenga lugar. Las consecuencias en la microestructura suponen la presencia de un defecto de la solidificación llamado "segregación" que implica que el sólido formado no es homogéneo en cuanto a su composición química. Este defecto no se produce en los sistemas de aleaciones que no presentan solubilidad parcial en fase sólida.