

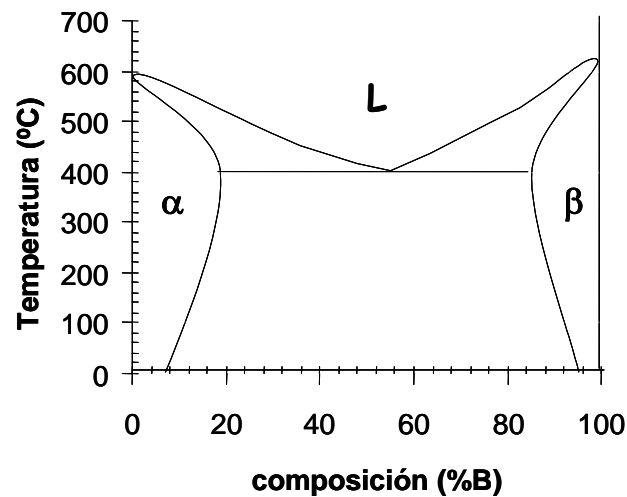


EJERCICIOS RESUELTOS

Tras el estudio de esta unidad didáctica, el estudiante puede realizar los siguientes ejercicios que vienen resueltos paso a paso para su fácil comprensión.

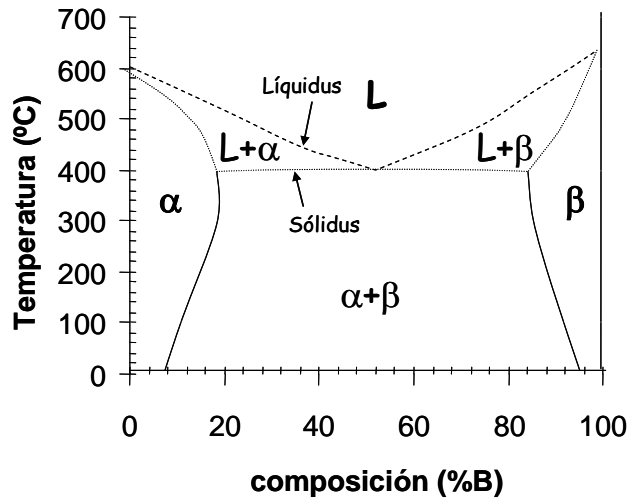
PROBLEMA 1

En el siguiente diagrama, completa los campos vacíos, señala las líneas de líquidus, sólidos y solvus e indica un punto invariante nombrando la reacción que tiene lugar por enfriamiento a partir del mismo.



SOLUCIÓN

Falta rellenar los campos bifásicos, que lógicamente son $(L+\alpha)$, $(L+\beta)$ y $(\alpha+\beta)$.



Las líneas de líquidus y sólidas vienen también indicadas en el diagrama de fases.

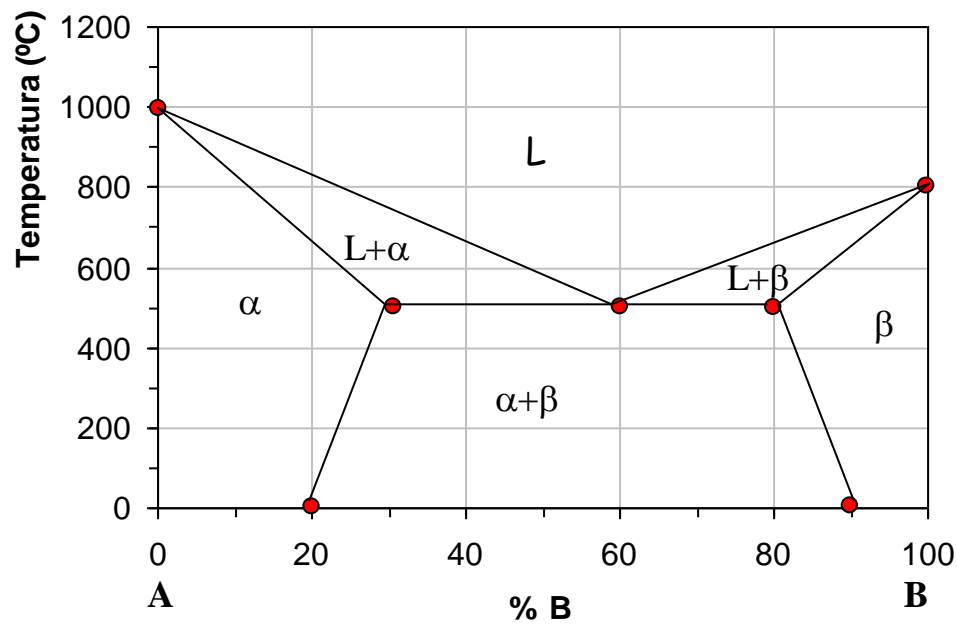
La reacción invariante es eutéctica $L \rightarrow \alpha + \beta$

PROBLEMA 2

Dos metales presentan solubilidad parcial entre si. El metal A, con punto de fusión de 1000 °C, puede disolver un 20% de B a 0 °C y su máxima solubilidad se produce a 500 °C siendo de un 30% de B. El metal B, cuyo punto de fusión es de 800 °C, puede disolver 10% de A a 0 °C y su máxima solubilidad se produce a 500 °C siendo de un 20% de A. A 500 °C hay una reacción eutéctica con un contenido de B del 60%. Dibuje e identifique las partes del diagrama de fases en equilibrio (suponga que todas las líneas son rectas).

SOLUCIÓN

Primeramente se van marcando los puntos que se indican en el enunciado. Una vez marcados se unen las líneas, para obtener el diagrama de fases.



PROBLEMA 3

Una aleación plomo-estaño de composición 30% Sn-70% Pb se calienta lentamente a partir de los 150 °C

¿A qué temperatura empieza a formarse el líquido?

¿Cuál es la composición de las fases líquida y sólida a esta temperatura?

¿Cuál es la cantidad de líquido y sólido a esta temperatura?

¿a qué temperatura funde completamente la aleación?

¿Cuál es la composición de la última parte sólida antes de que se complete la fusión?

SOLUCIÓN

Como se puede ver en el diagrama de fases al calentar la aleación se empieza a formar la fase líquida cuando se rebasan los 183°C

La composición de la fase líquida se puede ver en la línea de liquidus que es de 61,9% de Sn y 38,1% de Pb, y la de la fase sólida en la línea de sólidos que es de 19,2 de Sn y 80,8% de Pb

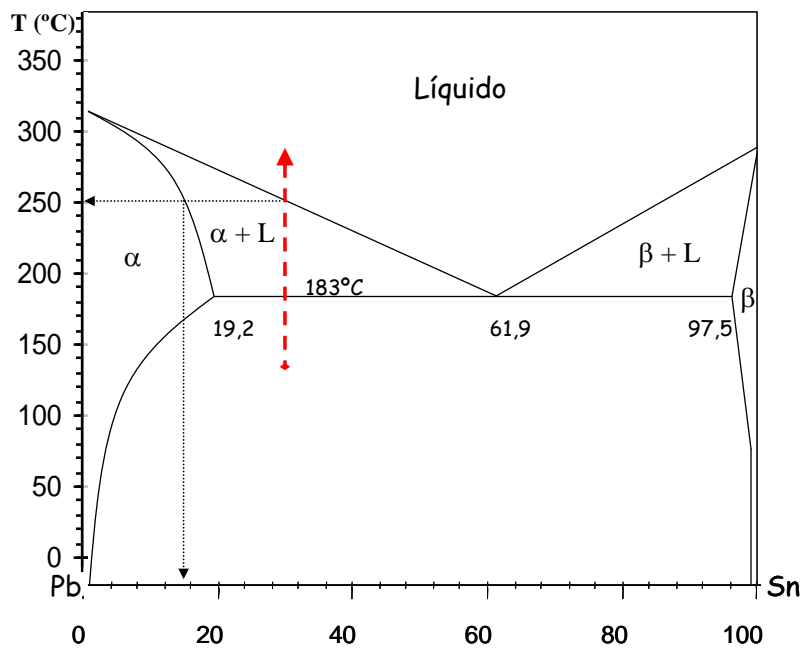
La cantidad de líquido y sólido α se pueden calcular a una temperatura ligeramente superior a la 183 °C.

$$\% liq = \frac{30 - 19,2}{61,9 - 19,2} 100 = 25,3\%$$

$$\% \alpha = \frac{61,9 - 30}{61,9 - 19,2} 100 = 74,7\%$$

La aleación funde completamente cuando la temperatura es superior a la de líquidus por tanto 250°C.

La composición de la última fase sólida se puede ver en la línea de sólidos que es aproximadamente de 15 de Sn y 85% de Pb.



PROBLEMA 4

Dos metales presentan solubilidad parcial entre sí. El metal A, con punto de fusión de 800 °C, puede disolver un 10% de B a 0 °C y su máxima solubilidad se produce a 400 °C siendo de un 20% de B. El metal B tiene su punto de fusión a 600°C. A 400 °C hay una reacción eutéctica con un contenido de B desconocido.

Se sabe que una aleación con un contenido de B del 30% contiene un 14,28% de fase rica en B (β) a 399 °C.

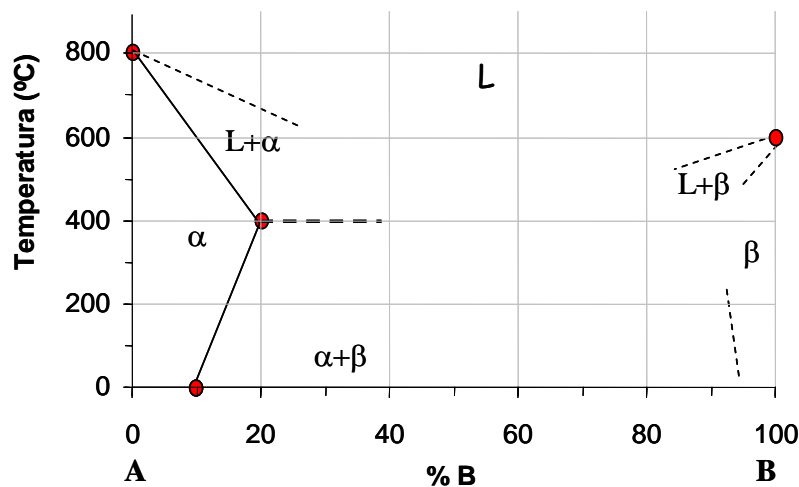
La misma aleación contiene un 75% de fase sólida a 401 °C.

La misma aleación contiene un 76,47% de fase rica en A (α) a 0 °C.

Dibuje e identifique las partes del diagrama de fases en equilibrio (suponga que todas las líneas son rectas).

SOLUCIÓN

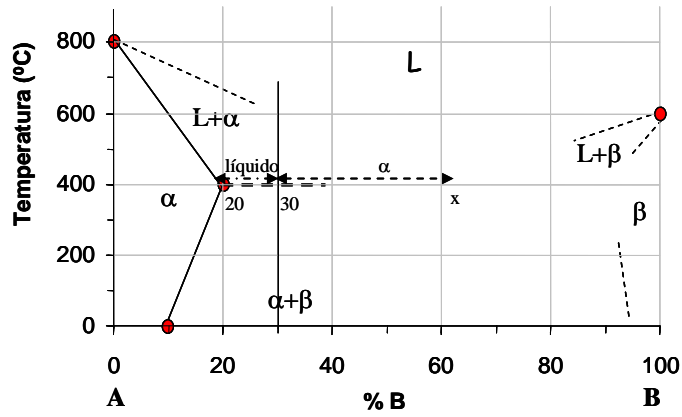
Primeramente se colocan los puntos que vienen directamente fijados en el enunciado, con lo que podemos dibujar un diagrama de fases aproximado.



Faltarían tres puntos:

Solubilidad a temperatura ambiente de A en B, solubilidad a la temperatura eutéctica de A en B y la composición del punto eutéctico.

Para determinar la composición del eutéctico se aplica la regla de la palanca sabiendo que la aleación con un contenido del 30% de B contiene un 75% de fase sólida a 401 °C, es decir de fase α proeutéctica, y por tanto $100-75=25\%$ de líquido a 401 °C, por tanto para obtener la composición del eutéctico podemos aplicar la regla de la palanca con el contenido de sólido α a 401 °C.

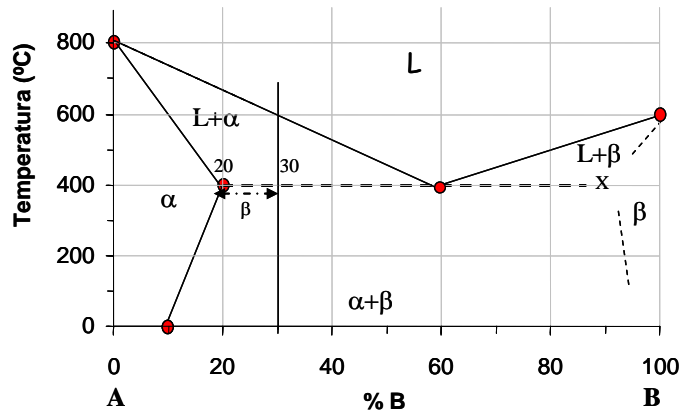


$$\% liq = 25\% = \frac{30 - 20}{x - 20} 100 \Rightarrow x = \frac{10}{0,25} + 20 = 60$$

o de líquido a 401 °C:

$$\% \alpha_{pro} = 75\% = \frac{x - 30}{x - 20} 100 \Rightarrow x = 60$$

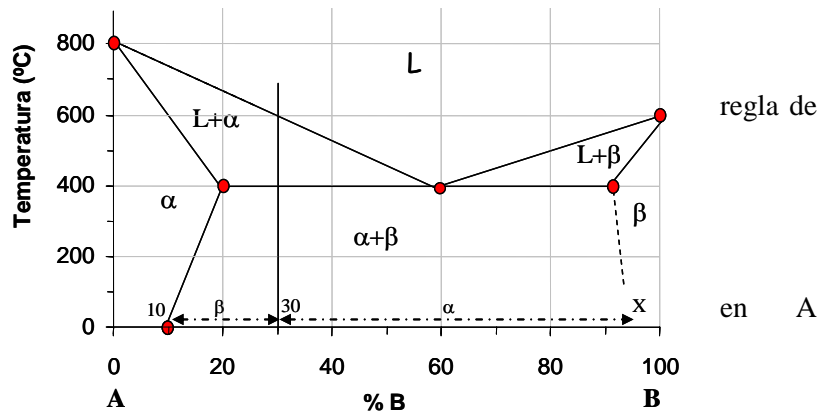
Para determinar la solubilidad a la temperatura eutéctica de A en B se aplica la regla de la palanca sabiendo que la aleación con un contenido del B contiene un 14,28% de fase β °C.



regla de
30% de
a 399

$$\% \beta = 14,28\% = \frac{30 - 20}{x - 20} 100 \Rightarrow x = \frac{10}{0,1428} + 20 = 90$$

Para determinar la solubilidad a 0 °C se aplica la palanca a esta temperatura sabiendo que la aleación con un contenido del 30% de B contiene un 76,47% de fase rica en A (α) a 0 °C.

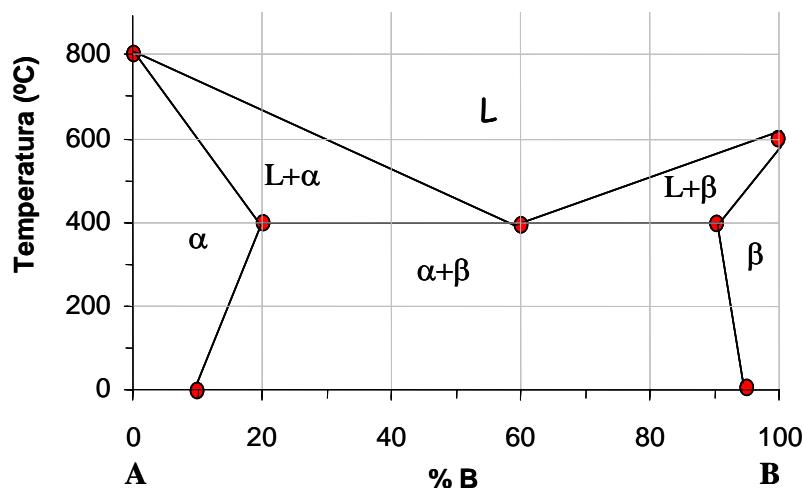


$$\% \alpha = 76,5\% = \frac{x - 30}{x - 10} 100 \Rightarrow x = 95$$

También se puede de hacer con la cantidad de fase rica en B (β) ya que de esta fase habrá 100 - 76,47 = 23,53%

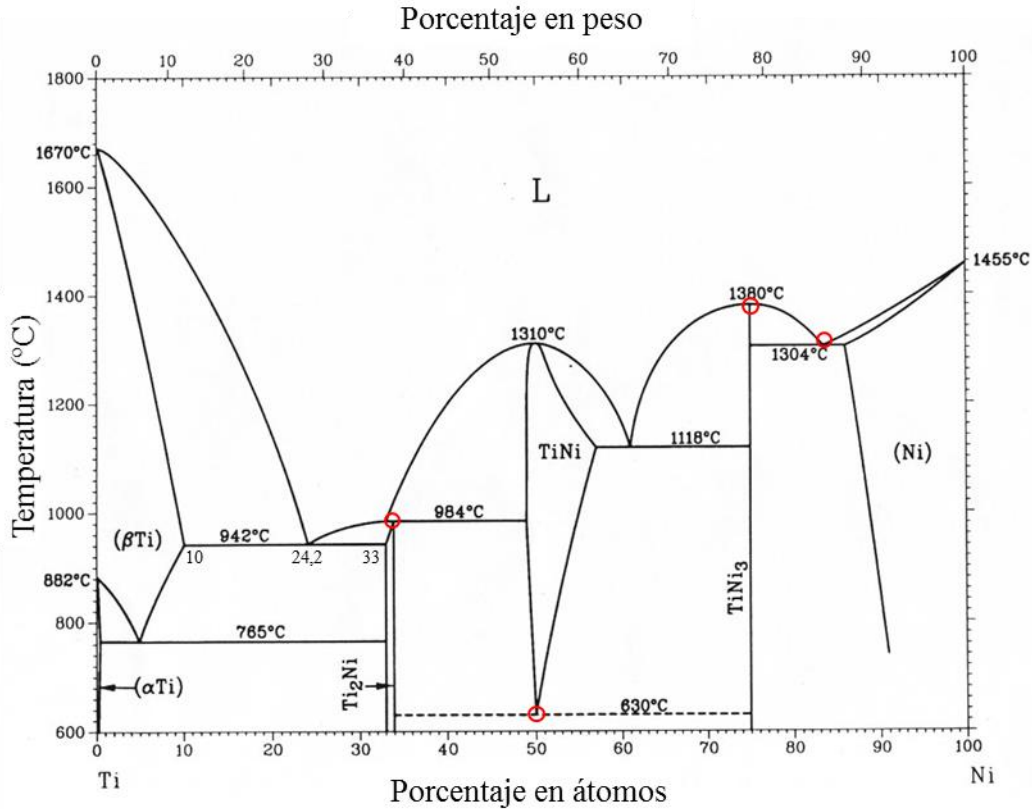
$$\% \beta = 23,5\% = \frac{30 - 10}{x - 10} 100 \Rightarrow x = \frac{20}{0,235} + 10 = 95$$

Por tanto el diagrama de fases quedará:



PROBLEMA 5

Considerando el diagrama de fases titanio-níquel (Ti-Ni) de la figura.



Completar el diagrama de fases indicando las fases presentes.

Indicar las líneas de líquidus y de sólidus del diagrama

Para cada uno de los cuatro puntos marcados en el diagrama como, ○ escriba la reacción invariante que ocurre durante el enfriamiento lento de la aleación Ti-Ni a través de cada punto. Nombre el tipo de reacción invariante que tiene lugar en cada punto.

Se tiene una composición 17% en átomos de níquel (Ni) a 1400°C y enfriamos. ¿Cuál es la primera fase sólida que se forma? Indicar la temperatura a la cual se forma el primer sólido y la composición del mismo. ¿Qué composición tiene la última porción de líquido?

Se tiene una aleación con 17% en átomos de níquel (Ni) y se enfrían lentamente hasta una temperatura ligeramente inferior a 942°C, indicar las fases presentes, composiciones y proporciones de las mismas a dicha temperatura. Esquematisar la microestructura de la aleación a dicha temperatura.

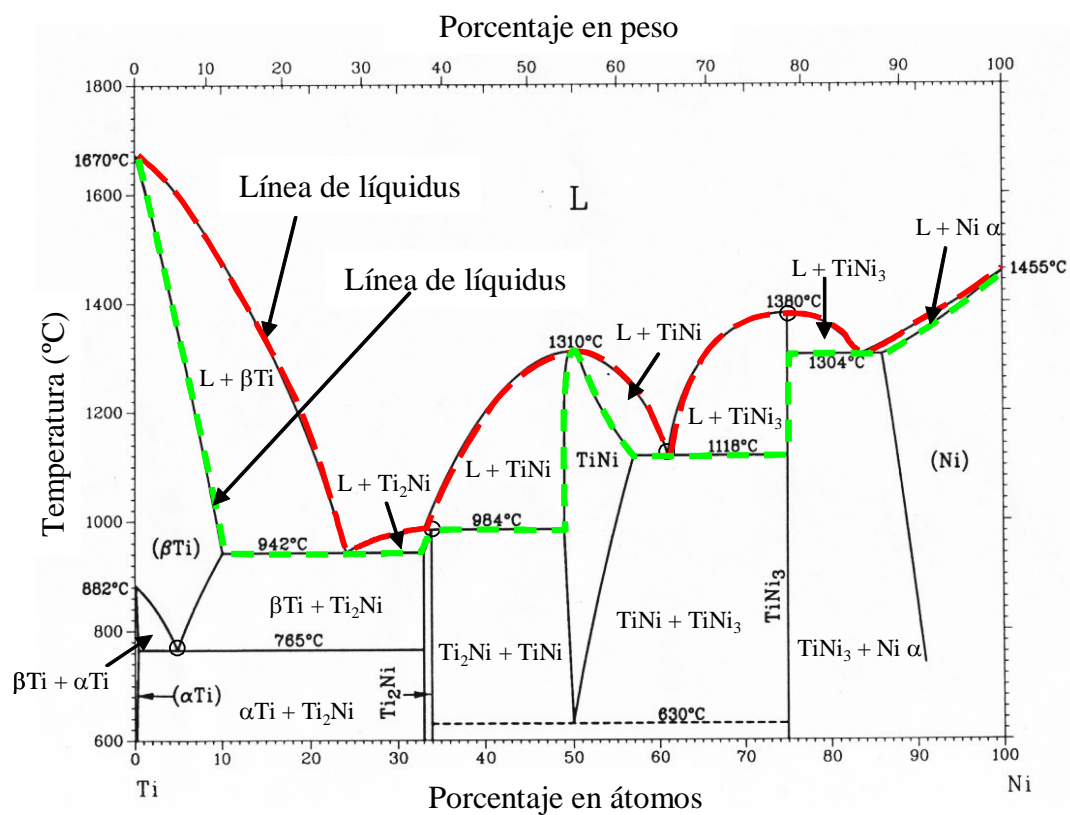
Calcular cuál sería la proporción en átomos y en peso teórica del Ti₂Ni sabiendo que los pesos atómicos son: Ti 47,9 g/mol Ni 58,7 g/mol

SOLUCIÓN

Primeramente debemos darnos cuenta de que los porcentajes en peso y en átomos (o en volumen) no coinciden debido a que los pesos atómicos de los elementos no son iguales.

Primeramente completamos los campos bifásicos que faltan en el diagrama para ello lo que haremos buscar las fases que aparecen a la izquierda y a la derecha de cada uno de estos campos bifásicos.

Las líneas de líquidus y de sólidus también se han marcado en el diagrama.



Los puntos marcados en el diagrama comenzando de izquierda a derecha son:

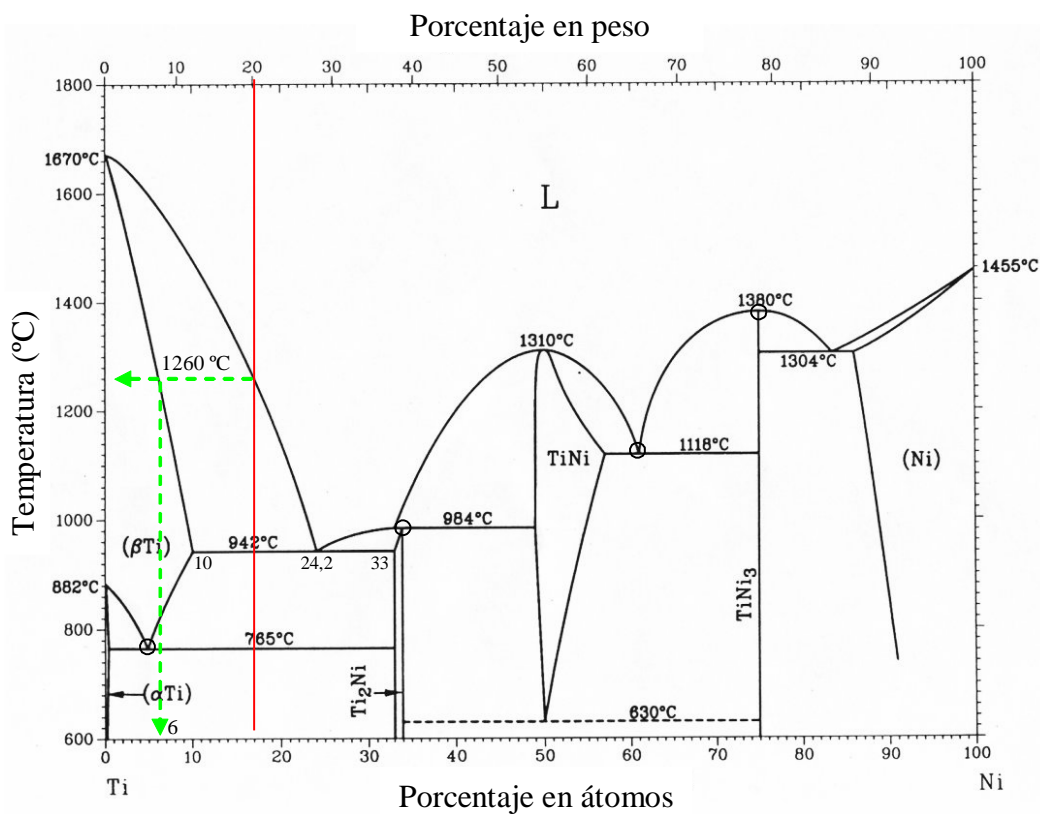
Reacción peritética (964°C) $L + TiNi \rightarrow Ti_2Ni$

Reacción eutéctica () $TiNi \rightarrow Ti_2Ni + Ti_3Ni$

Punto de fusión congruente $L \rightarrow TiNi_3$

Reacción eutéctica $L \rightarrow TiNi_3 + Ni(\alpha)$

La aleación con un 17% en átomos en Ni es la marcada sobre el diagrama y al enfriar desde 1400°C, la primera fase sólida que se forma es β Ti, y lo hará a 1260°C, y la composición de este sólido es del 6 % de Ni (en átomos). Al ir enfriando la composición del líquido va por la línea de líquidus por tanto la solidificación terminaría a 942°C y la composición del último líquido sería 24,2 % de Ni (en átomos).

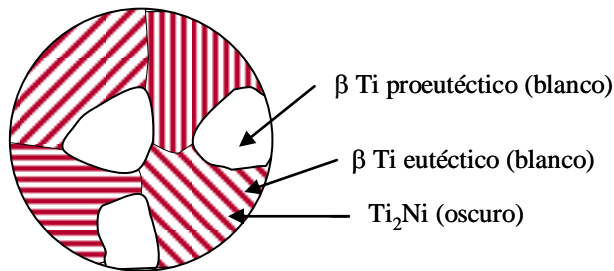


A una temperatura ligeramente inferior a 942 °C las fases presentes son β Ti y Ti_2Ni . La composición del β Ti es de 10% de Ni (en átomos), y la del Ti_2Ni es de 33% de Ni (en átomos). La cantidad de fases se determina con la regla de la palanca a esta temperatura

$$\% \beta Ti = \frac{33 - 17}{33 - 10} 100 = 69,6\%$$

$$\% Ti_2Ni = \frac{17 - 10}{33 - 10} 100 = 30,4\%$$

La microestructura de la aleación sería la que se esquematiza



El Ti_2Ni presenta 2 átomos de titanio por cada átomo de níquel, por tanto la proporción en átomos teórica será de 66,6% de Ti y 33,3% de Ni.

El peso del Ti_2Ni será la suma del peso de los átomos de titanio y los de níquel por tanto el peso del Ti_2Ni será $2(47,9) + 58,7 = 154,5 \text{ g/mol}$.

Los porcentajes de níquel y titanio serán los siguientes:

$$\% Ni = \frac{P_{Ni}}{P_{Ti_2Ni}} 100 = \frac{58,7}{154,5} 100 = 38\%$$

$$\% Ti = \frac{2P_{Ti}}{P_{Ti_2Ni}} 100 = \frac{95,8}{154,5} 100 = 62\%$$

1.1. PROBLEMA 6

Considerando el diagrama de fases $SiO_2-Al_2O_3$ que se muestra en la figura.

¿Cuál es la solubilidad del Al_2O_3 en el SiO_2 ?

¿Cuál es la fórmula teórica de la mullita?

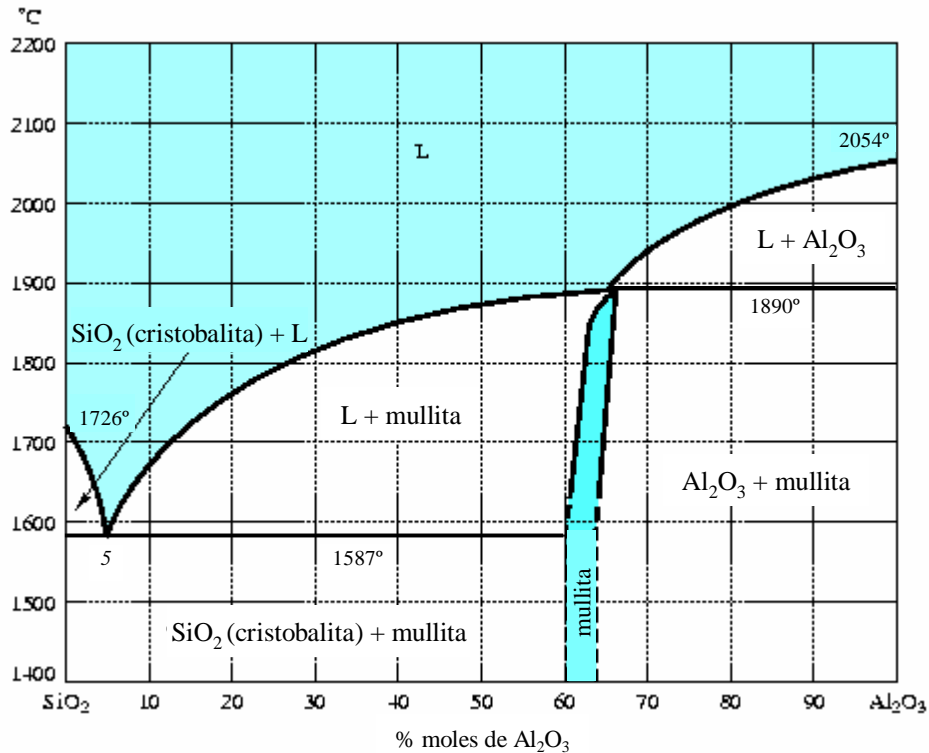
Se prepara un cerámico con una composición con un 70% de SiO_2 y un 30% de Al_2O_3 . Determinar:

Temperatura de formación del primer sólido y cuál es su composición.

Temperatura de a la que desaparece la última porción de líquido y cuál es su composición.

A 1400°C ¿cuál es la cantidad de fases presentes?

A 1400°C ¿cuál es la cantidad de fase proeutectica?



SOLUCIÓN

Para los diagramas de fases de cerámicos el tratamiento es exactamente igual que en caso de las aleaciones metálicas consideradas anteriormente.

La solubilidad del Al_2O_3 en el SiO_2 es nula ya que no existe una solución sólida.

Como se puede apreciar en la figura la mullita está situada en 60% de Al_2O_3 y 40% de SiO_2 por tanto simplificando será 3 moles (o moléculas) de Al_2O_3 y 2 moles (o moléculas) de SiO_2 . Por tanto la fórmula teórica será $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

La temperatura de formación del primer sólido (mullita) es aproximadamente 1820°C y su composición a esa temperatura es de 62% de Al_2O_3 .

La temperatura a la que desaparece la última porción de líquido son 1587°C siendo la composición de este de un 5% de Al_2O_3 .

A 1400°C la cantidad de fases presentes se determina con la regla de la palanca

$$\% \text{SiO}_2(\text{cristobalita}) = \frac{60-30}{60-0} 100 = 50\%$$

$$\% \text{mullita} = \frac{30-0}{60-0} 100 = 50\%$$

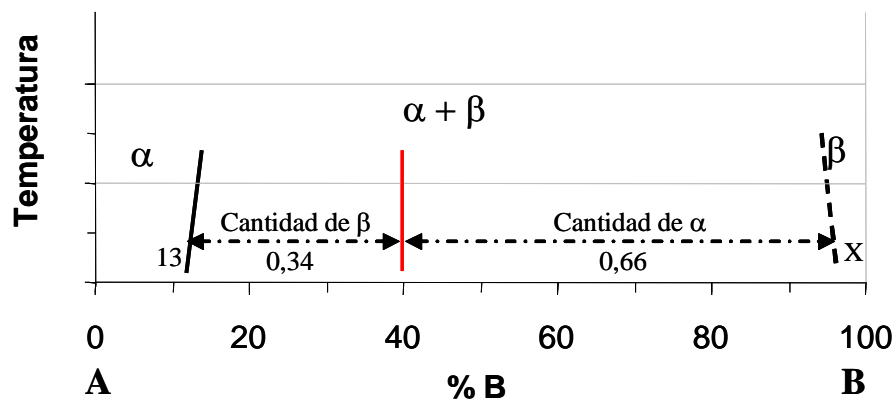
Para determinar la cantidad de fase proeutéctica se aplica la regla de la palanca a una temperatura ligeramente superior a la temperatura eutéctica.

$$\% \text{mullita pro} = \frac{60-30}{60-5} 100 = 45,45\%$$

1.2. PROBLEMA 7

Una hipotética aleación A-B de composición 40% B-60% de A está a una temperatura que las fracciones de masa para las fases alfa y beta son 0,66 y 0,34. Si la composición de la fase alfa es de 13% en peso de B y 87% de A. ¿Cuál es la composición de la fase beta?

Pasando los datos del problema a un diagrama de fases quedaría como se muestra en la siguiente figura.



Por tanto X es la cantidad de B en la fase β y lo podemos calcular sabiendo que la cantidad de fase β es 34%

$$\% \beta = 34 = \frac{40 - 13}{X - 13} 100$$

$$X = 92,4\%$$

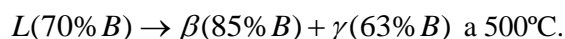
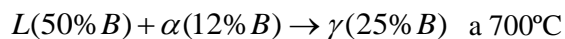
También se podría haber obtenido de la cantidad de fase α

$$\% \alpha = 66\% = \frac{X - 40}{X - 13} 100$$

1.3. PROBLEMA 8

En un sistema de dos componentes A y B que tienen puntos de fusión $T_A=1100^\circ\text{C}$ y $T_B=900^\circ$.

Además hay dos reacciones invariantes:



A temperatura de 0°C la solubilidad máxima de las fases es

α : 10% de B

β : 5% de A

γ : 80% de A

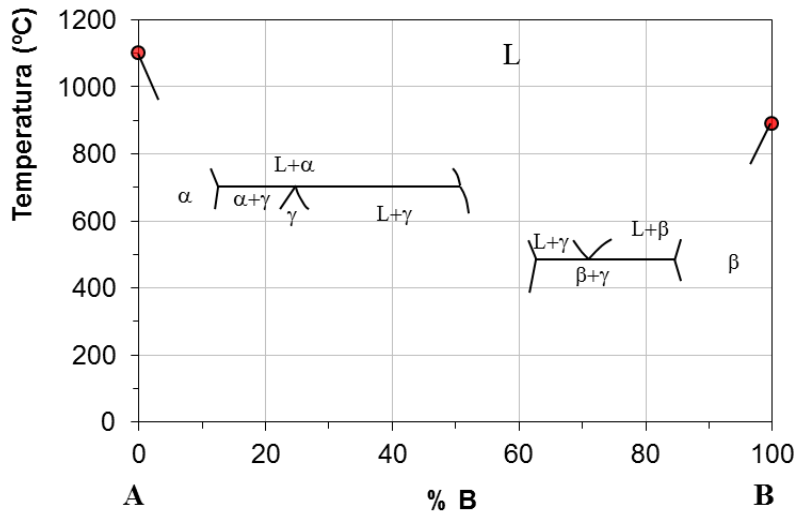
γ : 40% de B

Dibuje el diagrama de fases aproximado en función del % de B

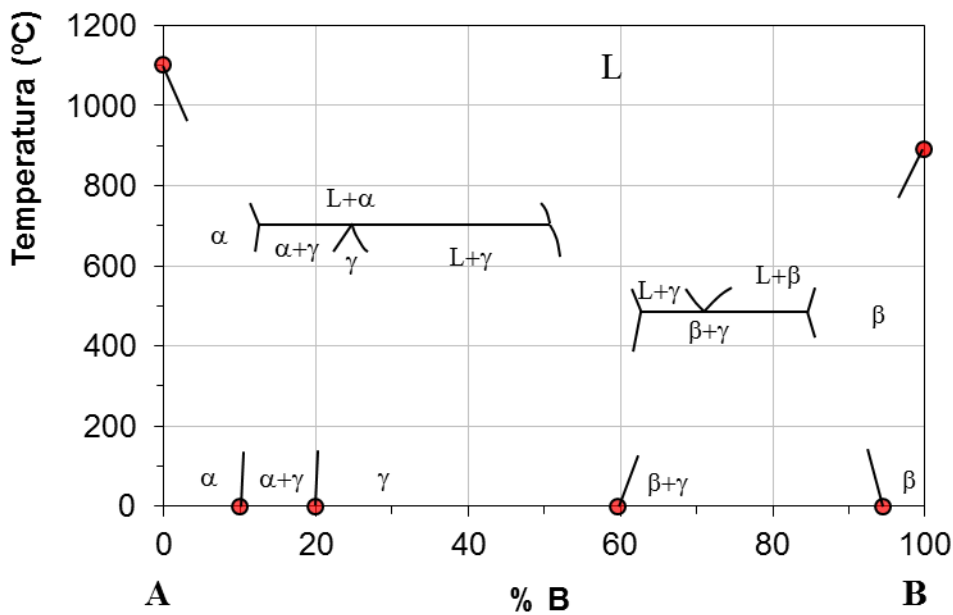
SOLUCIÓN

Lo primero que podemos colocar son los puntos de fusión de los compuestos A y B puros, que son los puntos gruesos marcados. También sabemos que a 700°C se produce una reacción peritética y a

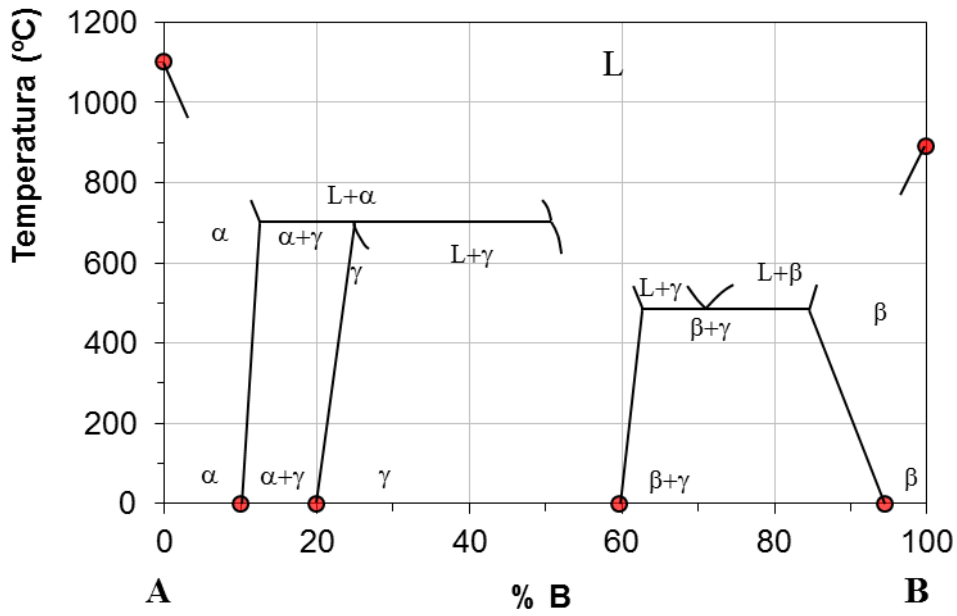
500°C una reacción eutéctica, y pasando los datos del problema al diagrama de fases quedaría como se muestra en la siguiente figura, hemos denominado α a la solución sólida de B en A ya que existe algo de solubilidad del componente B en A, y algo de solubilidad del componente A en B que llamaremos solución sólida β . También sabemos que hay una solución sólida intermedia γ ya que aparece en las dos reacciones y nos dan su solubilidad máxima en A y B a temperatura ambiente.



Teniendo en cuenta las solubilidades a cero grados de las fases, tanto en el componente A como el B, podemos seguir perfilando el diagrama de fases.



Ahora iremos poco a poco uniendo las líneas de los campos bifásicos, $\alpha+\gamma$, $\beta+\gamma$



Si terminamos de unir las líneas que nos quedan de los campos bifásicos $L+\alpha$, $L+\beta$ y $L+\gamma$ resultando finalmente el diagrama de fases, como se muestra a continuación

