

UNIDAD
DIDÁCTICA

8

DIAGRAMAS DE FASE

OBJETIVOS DE LA UNIDAD

1. Introducción
2. Solidificación de equilibrio. Regla de la palanca
3. Reacciones invariantes
4. Solidificación eutéctica
5. Conclusiones

CONCEPTOS BÁSICOS A RETENER

ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

EJERCICIOS VOLUNTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



OBJETIVOS DE LA UNIDAD

Como se ha estudiado a lo largo de este libro, los diagramas de fase es una parte fundamental para la interpretación de los materiales ya que nos muestran cuáles son las fases que termodinámicamente prevalecerán, es decir cuáles serán las fases estables si se deja evolucionar un sistema durante el tiempo suficiente para que se produzcan las transformaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Los diagramas de fase nos indican que fases serán estables para cada temperatura y composición. En este capítulo abordaremos fundamentalmente los diagramas de fase binarios es decir los formados por dos componentes.

Estos diagramas son una herramienta muy importante ya que nos servirá como guía o mapa para poder encontrar la microestructura que debería existir para una composición dada y a una temperatura determinada. Estaremos hablando siempre de termodinámica, y por tanto de la tendencia a formarse las fases siempre que le confiera el suficiente tiempo.

En el tema siguiente, cuando tratemos los tratamientos térmicos, ya podremos relacionarlo con la el tiempo que necesitara una cierta transformación para producirse por tanto introduciremos la cinética y veremos con qué rapidez se formará una cierta microestructura para una temperatura o velocidad de enfriamiento dadas, o la velocidad de enfriamiento requerida para conseguir la microestructura deseada.

Antes de nada vamos a necesitar definir algunos términos que usaremos durante este y los siguientes capítulos, y que a veces se usan de forma inadecuada.

Fase: Cada una de las partes homogéneas físicamente separables en un sistema formado por uno o varios componentes. Por ejemplo dos líquidos que sean inmiscibles como el agua y el aceite son dos fases líquidas distintas. Así mismo pasa en estado sólido, puede existir un sólido pero que esté formado por dos fases con distinta composición (en el granito se puede apreciar a simple vista las distintas fases que lo componen)

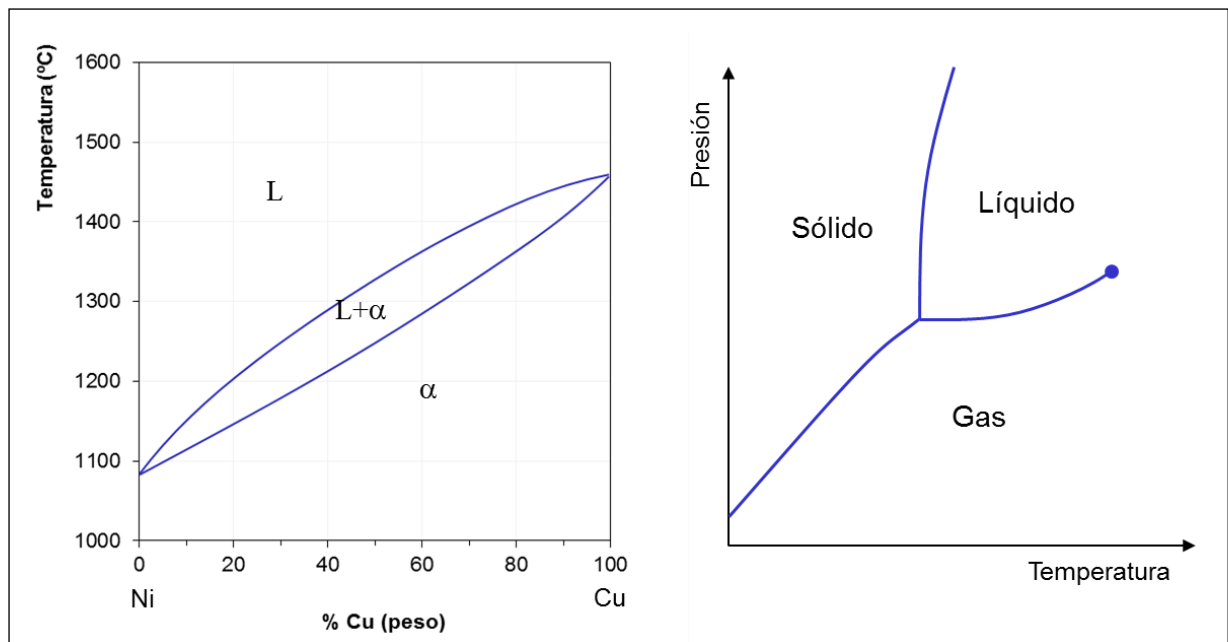
Componente: Cada uno de los elementos (o compuestos) que forman parte un sistema. Por ejemplo en el sistema Fe-Ni los componentes serían el hierro y el níquel, y la *composición* de una determinada aleación de este sistema, sería la cantidad de hierro y níquel que contiene. Otro ejemplo podría ser el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ cuyos componentes serían Al_2O_3 y SiO_2 , muy usado en diseño de cerámicas y vidrios.

Microconstituyente: fase o mezcla de fases que se han formado a una temperatura determinada. Por ejemplo el eutéctico que se forma en la aleación Pb-Sn a 183°C , como veremos más adelante.

Composición: es la cantidad de cada componente que contiene una fase, un microconstituyente o una aleación.

Diagrama de fases: Diagrama en el que se muestran las fases estables en función de dos variables, normalmente la composición y la temperatura. Se construyen para enfriamientos muy lentos, por lo tanto nos indicará las fases de equilibrio cuando se somete a una aleación del diagrama de fases a un enfriamiento muy lento. Si se realiza un enfriamiento rápido, puede ser necesario recurrir a otra serie de diagramas en que aparecen fases de no equilibrio, es decir fases metaestables, cuya tendencia a formar las fases estables para lo que se requerirá un cierto tiempo.

Figura 1. Diagramas de fase



Grados de libertad de un sistema son el número de variables independientes de este sistema. Por poner un ejemplo, si tenemos un metal puro en estado líquido, a presión atmosférica, tiene un grado de libertad ya que puedo variar la temperatura en la zona líquida. Si ese mismo metal lo quiero a la temperatura de fusión, ya no tengo ningún grado de libertad, ya que es un valor fijo.

Regla de las fases de Gibbs, es la regla que relaciona las distintas variables. En su expresión general es

$$F + L = C + 2$$

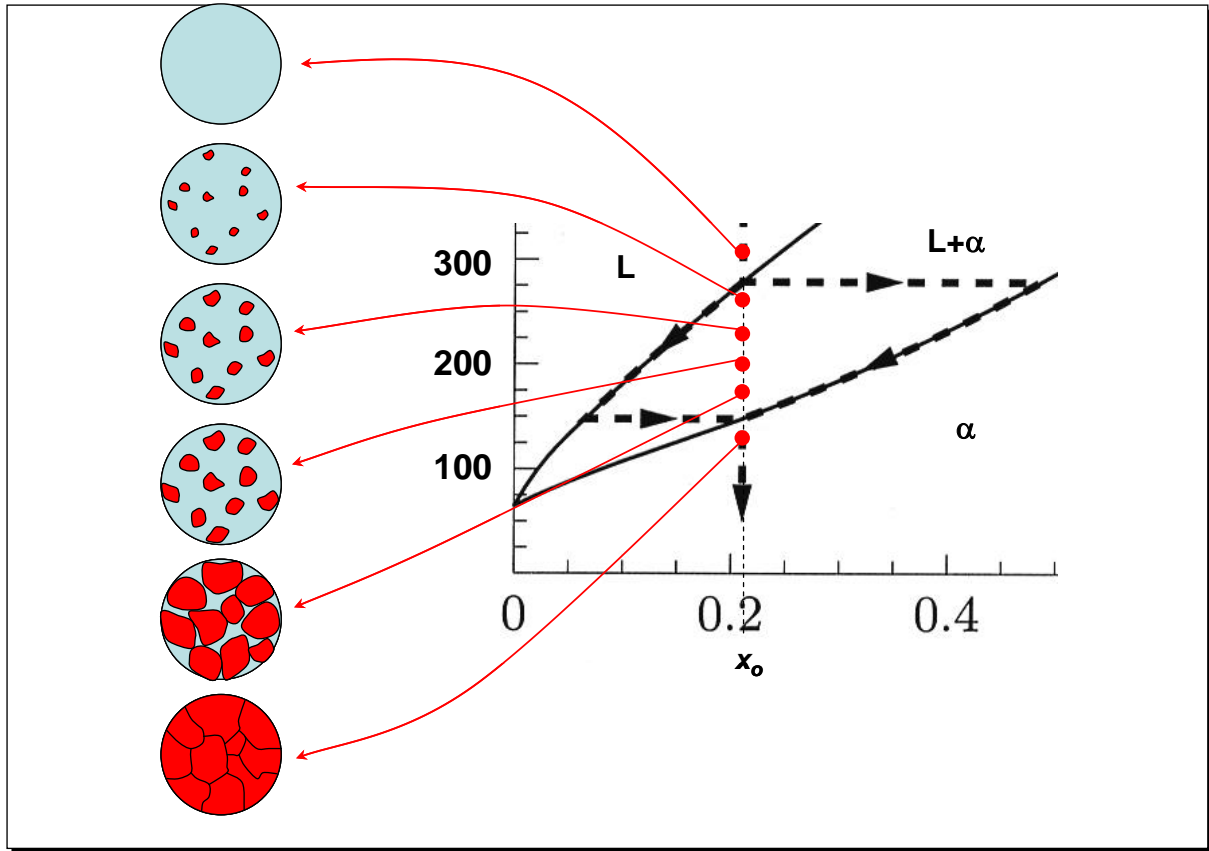
donde F es el número de fases, L los grados de libertad, C el número de componentes. El 2 viene limitar las variables a 2, que serían presión y temperatura. En el caso de que fijásemos por ejemplo la presión a la presión atmosférica, que es muy habitual nos quedaría como:

$$F + L = C + 1$$

2. SOLIDIFICACIÓN DE EQUILIBRIO. REGLA DE LA PALANCA

Cuando se enfría la aleación marcada en la **Figura 2** con una composición X_0 (21% del componente X), al llegar a la línea de líquidus comienza a solidificar el sólido α , y la composición de líquido en el rango de temperaturas de fusión (275-150 °C) vendrá dada por la línea de líquidus, mientras que la del sólido por la línea de sólidus. Una vez que ha terminado la solidificación la composición del sólido es X_0 .

Figura 2. Ejemplo de diagrama de fases, con su solidificación



REGLA DE LA PALANCA

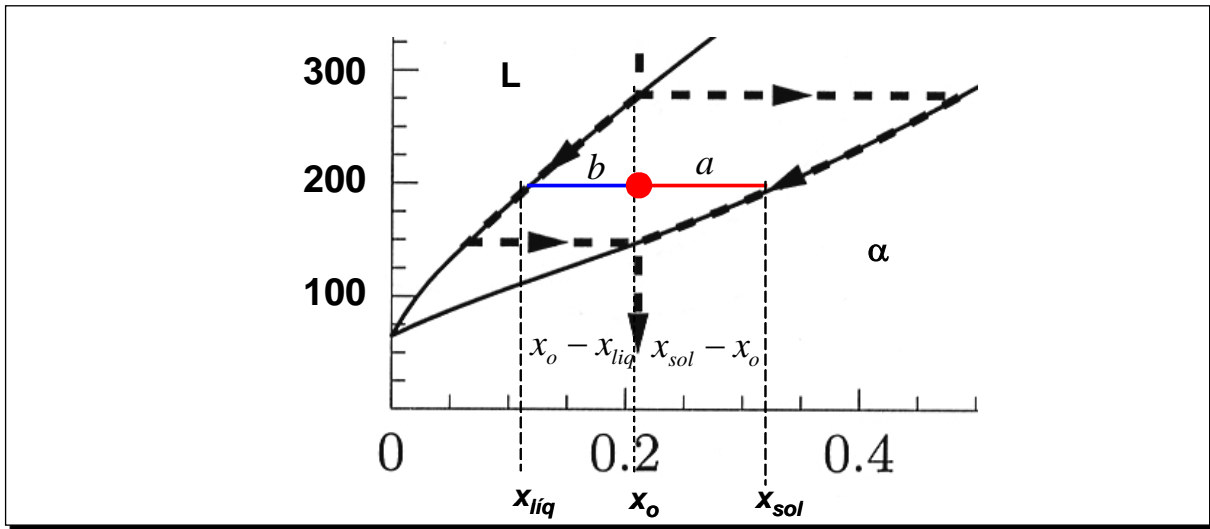
La regla de la palanca sirve para determinar la cantidad de fases que existe para una aleación a una temperatura determinada, siempre en campos bifásicos. Por tanto, para la aleación anterior por encima de 275°C, sólo existe líquido, al llegar bajar de 275°C, empieza la nucleación del sólido α , y la cantidad de sólido aumentará al ir enfriando, hasta llegar 150°C donde termina la solidificación y no queda nada de líquido. Para la determinación de las cantidades de líquido y sólido α , entre 275 y 150°C, se utiliza la regla de la palanca.

Si nos fijamos en la Figura 3, para determinar la cantidad de fases, es decir la cantidad de sólido y líquido a 200 °C se traza la línea de reparto que es la línea que horizontal que une los dos campos monofásicos a la temperatura indicada. Una vez trazada, la cantidad de sólido viene dada por el tramo **b**, mientras que la cantidad de líquido viene dada por el tramo **a**. Por tanto las cantidades serán:

$$\% \text{ liquido} = \frac{a}{a+b} \cdot 100 = \frac{x_{sol} - x_o}{x_{sol} - x_{liq}} \cdot 100 = \frac{0,32 - 0,21}{0,32 - 0,11} \cdot 100 = 52,38\%$$

$$\% \text{ solido} = \frac{b}{a+b} \cdot 100 = \frac{x_o - x_{liq}}{x_{sol} - x_{liq}} \cdot 100 = \frac{0,21 - 0,11}{0,32 - 0,11} \cdot 100 = 47,62\%$$

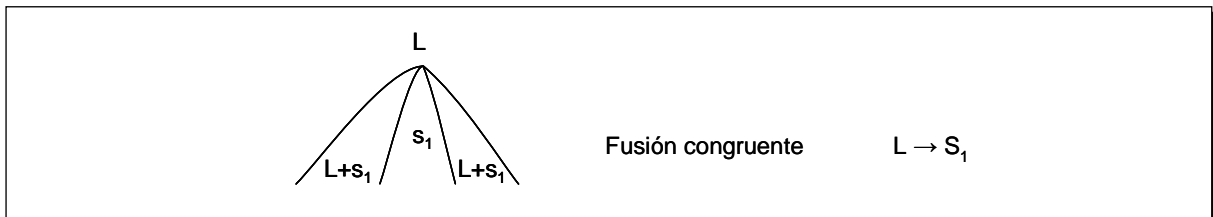
Figura 3. Aplicación de la regla de la palanca.



3. REACCIONES INVARIANTES

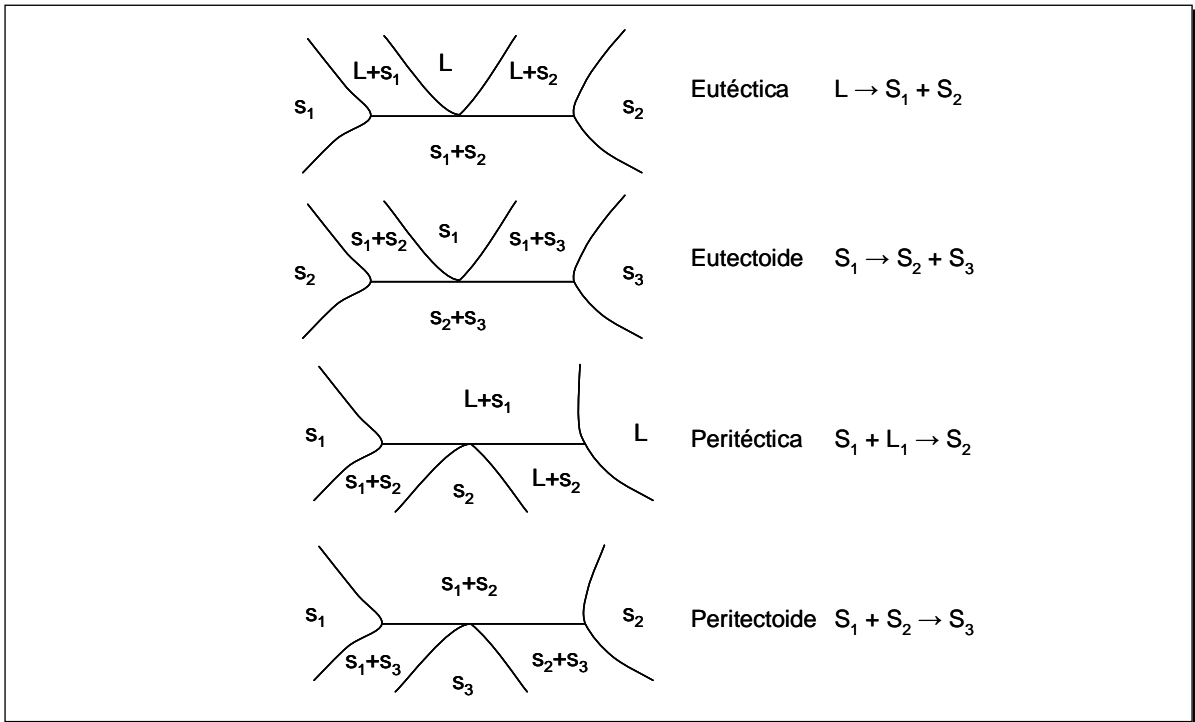
Los puntos de fusión congruentes se producen cuando a una determinada temperatura se produce por enfriamiento el paso de un líquido a un sólido. En la Figura 4, se muestra como sería un punto de fusión congruente. El término congruente es porque no existe variación en la composición de las fases.

Figura 4. Punto de fusión congruente



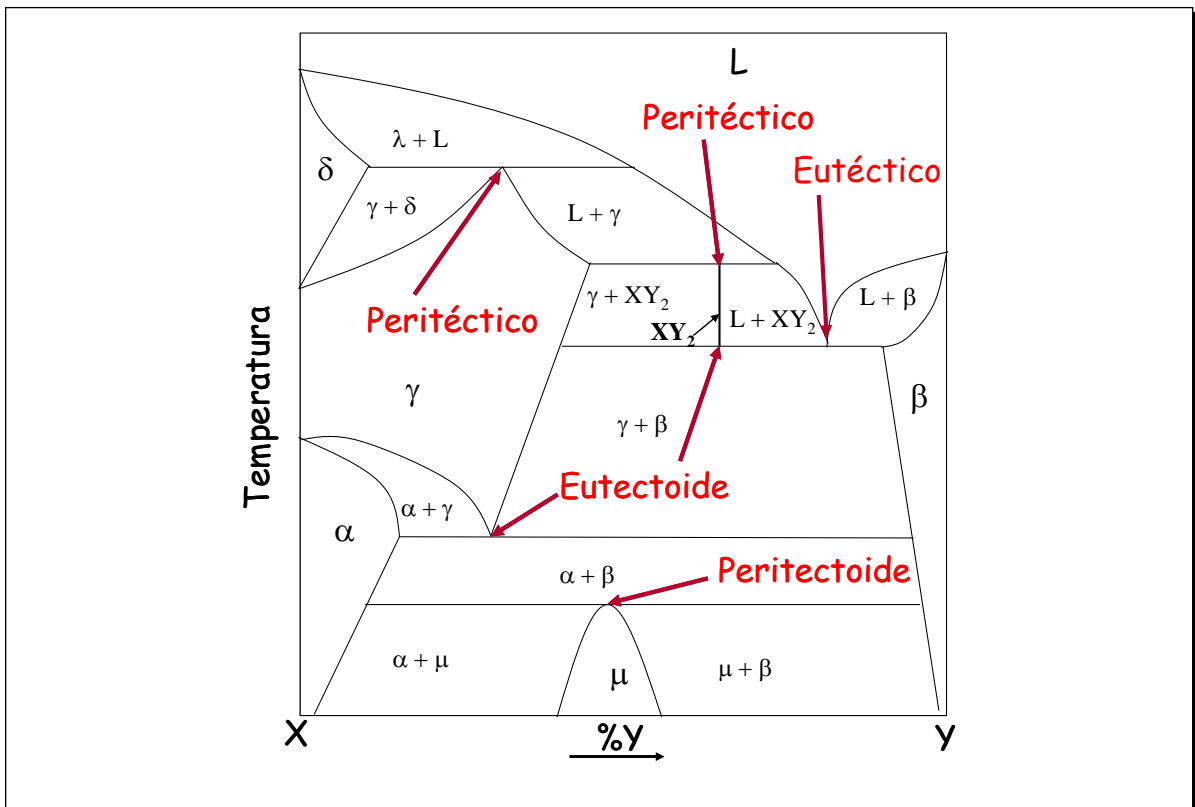
En un diagrama de fases además pueden aparecer reacciones invariantes que se producen a una temperatura fija, produciéndose una transformación en la estructura de la aleación. Las reacciones más comunes que se producen en los diagramas de fase durante el enfriamiento son las que se muestran en la Figura 5.

Figura 5. Reacciones invariantes más comunes.



En el diagrama de fases de la Figura 6 se muestra un diagrama de fases genérico de dos componentes X e Y. En él, aparecen c reacciones invariantes marcadas por las flechas.

Figura 6. Diagrama de fases genérico.

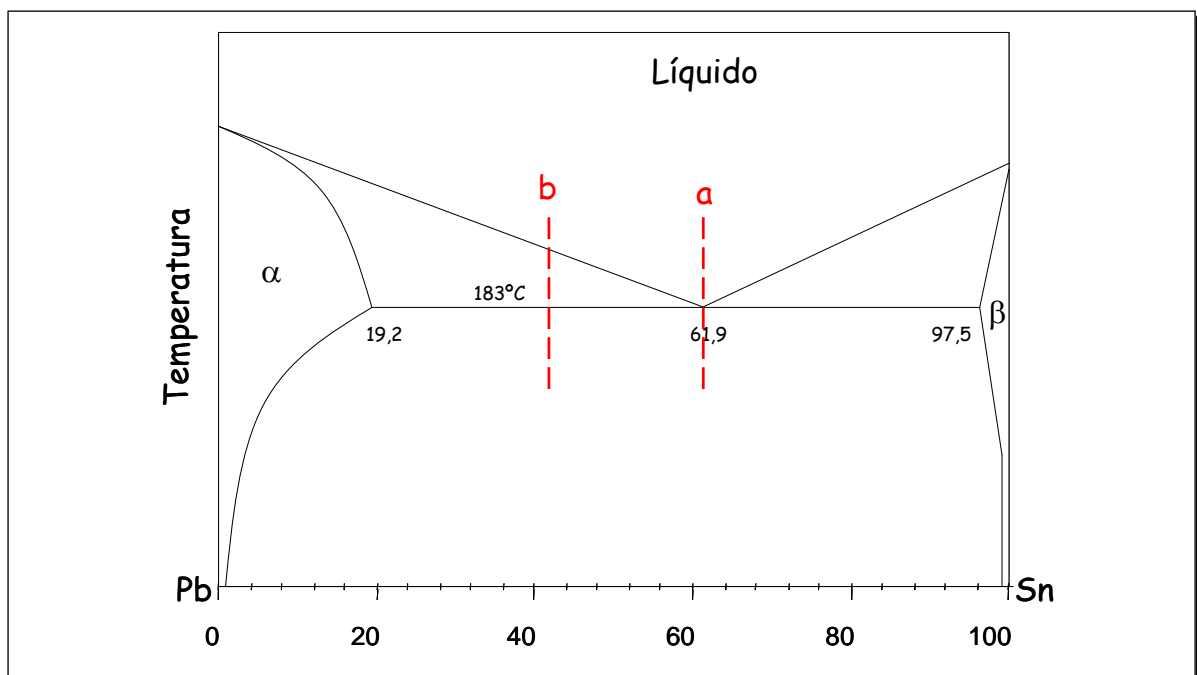


4. SOLIDIFICACIÓN EUTÉCTICA

Cuando un diagrama de fases presenta un eutéctico como el de la **Figura 7**, la aleación que contenga exactamente la composición del punto eutéctico se denomina composición eutéctica, si la composición es inferior a la composición del punto eutéctico se la denomina aleación hipoeutéctica y si la composición es superior se la denomina hipereutéctica.

Supongamos que tenemos una aleación plomo y estaño, con un 61,9 % de Sn se puede apreciar que es una aleación de composición eutéctica, es decir es la aleación marcada como “a” en el diagrama de fases Plomo – Estaño que se muestra en la **Figura 7**.

Figura 7. Diagrama Pb-Sn



Por encima de la temperatura eutéctica, 183 °C, la aleación está en estado líquido. Al enfriar la aleación hasta la temperatura eutectoide, empezará a formarse el eutéctico $\alpha + \beta$, con una microestructura laminar como se puede apreciar en la **Figura 8**.

Figura 8. Microestructura de una aleación 61,9%Sn-38,1%Pb

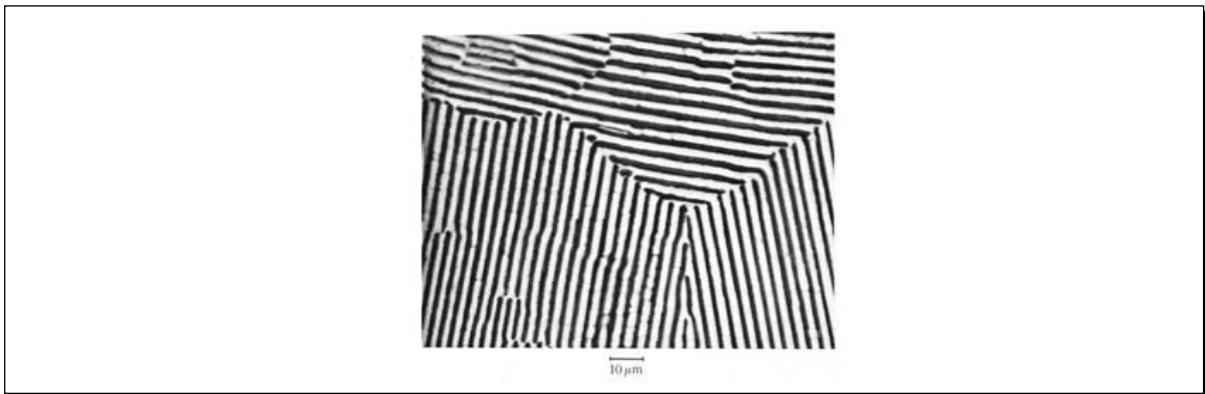
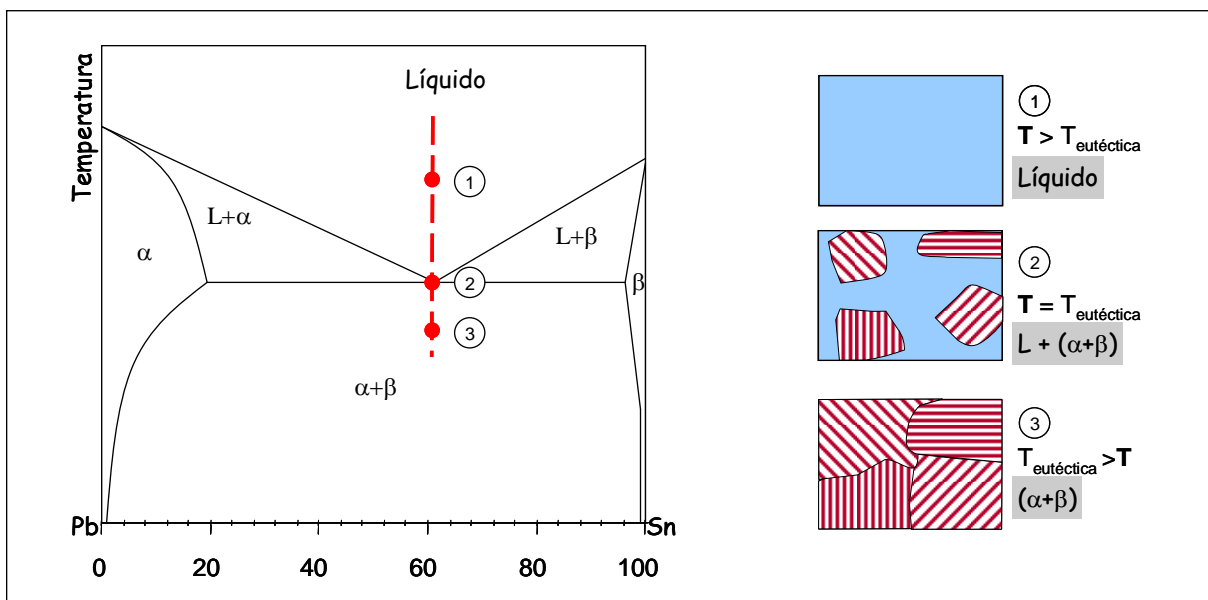


Figura 9. Esquema de solidificación de una aleación eutéctica



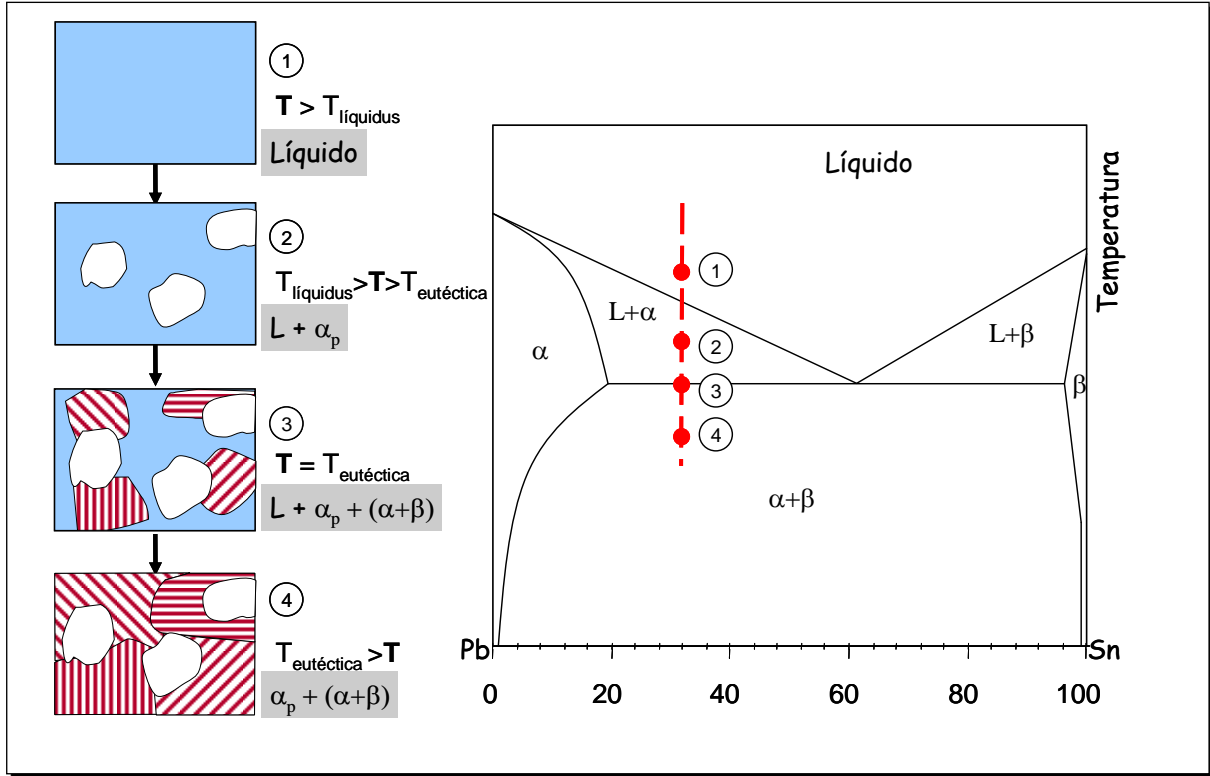
En caso de tener una aleación plomo y estaño, con una composición inferior al 61,9 % de Sn, (hipoeutécticas), por ejemplo la aleación marcada como “b” en el diagrama de fases Plomo – Estaño de la **Figura 7**, por encima de la línea de líquidus está en estado líquido, cuando atraviesa la línea de líquidus, comienza la solidificación, empezándose a formar la fase α . La cantidad de α va aumentando al ir disminuyendo la temperatura, hasta llegar a la temperatura eutéctica. Un infinitésimo por encima de la temperatura eutéctica tendremos el α que se ha formado por encima de la temperatura eutéctica, denominado *proeutéctico*, y líquido sin transformar. La cantidad de cada una de las fases se puede obtener aplicando la regla de la palanca por encima de 183 °C, en el campo bifásico $L + \alpha$. La composición del líquido a esta temperatura es de aproximadamente 61,9% de Sn, justamente la de la aleación anteriormente estudiada como “a”.

Cuando se enfría por debajo de 183 °C, el líquido (que tiene composición eutéctica 61,9 % Sn) empezará a transformarse en el eutéctico $\alpha + \beta$, con una microestructura laminar como se puede apreciar en la **Figura 8**.

En la **Figura 9**, se muestra el esquema de las transformaciones que se van produciendo en la microestructura de la aleación eutéctica según va produciéndose el enfriamiento, y en la **Figura 10**, las

transformaciones que se van produciendo en la microestructura de la aleación hipoeutéctica. En este caso

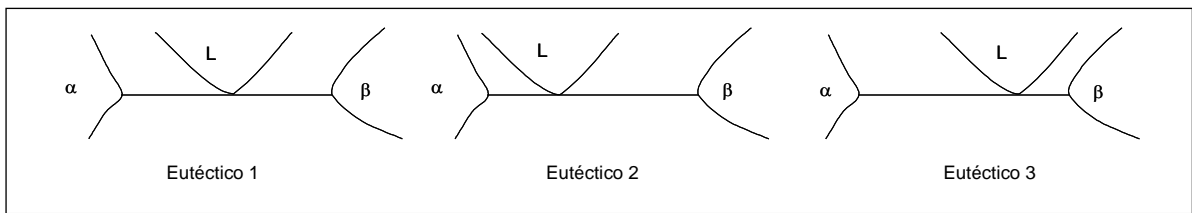
Figura 10. Esquema de solidificación de una aleación hipoeutéctica



En el caso de que la aleación fuese hipereutéctica, es decir el contenido en estaño fuese superior al 61,9%, la fase proeutéctica que aparecería sería β en vez de α , pero la solidificación transcurriría de forma similar.

La cantidad de fases dentro de un eutéctico depende la forma del diagrama de fases, veamos estos tres ejemplos que se muestran en la **Figura 11**.

Figura 11. Tres ejemplos de eutécticos



En el primer caso, el punto eutéctico está centrado en la mitad de la línea, lo que indica que se formará la misma cantidad de fase α que de β , dentro del agregado eutéctico.

En el segundo caso, el punto eutéctico está situado a la parte izquierda de la línea eutéctica, más próximo a la fase α que a la β . Cuando se forme el agregado eutéctico la cantidad de fase α será mayor que la de β .

En el tercer caso, el punto eutéctico está situado a la parte derecha de la línea eutéctica, más próximo a la fase β que a la fase α . Cuando se forme el agregado eutéctico la cantidad de fase β será mayor que la de α .