

ÍNDICE

Prólogo	9
PARTE I: Introducción	11
I.1. Introducción a los diagramas de fase	13
I.2. Consideraciones generales de interés	14
I.3. Construcción de los diagramas de fase	18
I.3.1. Diagramas de un solo componente	18
I.3.2. Diagramas de dos componentes	21
I.4. Clasificación de los diagramas de fase binarios	27
PARTE II: Ejercicios básicos	29
II.1. Grupo primero: Solubilidad total en estado <i>L</i> y <i>S</i>	31
II.2. Grupo segundo: Solubilidad total en estado <i>L</i> e insolubilidad total en estado <i>S</i> . Transformación eutéctica	43
II.3. Grupo tercero: Solubilidad total en estado <i>L</i> y solubilidad parcial en estado <i>S</i> . Transformación eutéctica	57
II.4. Diagramas de fase con compuestos y fases intermedias. Transformación peritética	72
II.5. Grupo cuarto. Solubilidad parcial en estado <i>L</i> . Transformación monotética	113
II.6. Otras reacciones invariantes. Transformaciones en el estado sólido: eutectoide y peritectoide	126
II.7. Grupo quinto. Insolubilidad total en estado líquido y sólido	144

PARTE III: Problemas.....	147
PARTE IV: Problemas de diagramas de fase binarios reales.....	213
IV.1. El diagrama hierro-carbono	215
IV.2. Los diagramas de fase de las aleaciones de aluminio	233
IV.3. Los diagramas de fase de las aleaciones de cobre	243

1.1. INTRODUCCIÓN A LOS DIAGRAMAS DE FASE

La formación de una aleación y de las fases que presenta, depende de variables externas tales como presión, temperatura y volumen, además de la composición. Para unas condiciones fijas y en equilibrio termodinámico, el conocimiento de las fases y sus composiciones se obtiene a través de los denominados diagramas de equilibrio o de fase. Un sistema de aleación se encuentra en equilibrio termodinámico cuando su energía libre es mínima. Fundamentalmente, la energía libre es una función de la energía interna del sistema y de las configuraciones geométricas que puedan adoptar los átomos y moléculas para un determinado grado de ordenamiento.

Macroscópicamente, un sistema está en equilibrio cuando sus características no cambian con el tiempo, es decir, permanece estable. Cualquier variación tanto en la composición como en las condiciones externas, produce un aumento de la energía libre y entonces, de manera espontánea, el sistema cambia a otro estado de equilibrio en el que su energía libre es menor. Suponiendo que la presión permanece constante, el diagrama de fase mostrará los cambios estructurales debidos a la variación de temperatura y composición. Por lo tanto, el diagrama es una representación gráfica de un sistema de aleación.

Los diagramas de equilibrio muestran las relaciones existentes entre fases, bajo condiciones de equilibrio (no se producen cambios con el tiempo). A las condiciones de equilibrio nos podemos aproximar mediante el empleo de calentamientos y enfriamientos extremadamente lentos, de forma que se permita el cambio de fase. En la realidad, los cambios de fase tienden a producirse a temperaturas ligeramente diferentes a las previstas, todo ello dependerá de la velocidad a la que la aleación se caliente o enfríe. Rápidas variaciones en la temperatura, pueden impedir cambios de fase que en condiciones normales de equilibrio tendrían lugar.

A lo largo de este texto se estudiarán los diagramas de fase en aleaciones binarias bajo condiciones de equilibrio.

De los diagramas de fase se puede:

- Conocer qué fases se encuentran presentes a diferentes composiciones y temperaturas bajo condiciones de enfriamiento lento (o sea, en equilibrio).

- Averiguar la solubilidad en el estado sólido y en el equilibrio de los distintos componentes.
- Determinar la temperatura a la cual una aleación, enfriada bajo condiciones de equilibrio, comienza a solidificar y la temperatura a la cual se produce la solidificación.
- Conocer la temperatura a la que comienzan a fundirse las diferentes fases.

Por último, para concluir este apartado se puede asegurar que los diagramas de fase basan su utilidad en la posibilidad de predecir las transformaciones que tienen lugar y las microestructuras que de ellas resultan.

I.2. CONSIDERACIONES GENERALES DE INTERÉS

En este apartado se exponen una serie de consideraciones: unas partiendo de definiciones bien conocidas por el lector y otras de conceptos teóricos básicos que permitirán entender mejor la realización práctica de los ejercicios que en este texto se van a presentar. Además, se expondrán al inicio de cada uno de los grupos en que se han dividido los diferentes diagramas de fase, las bases teóricas necesarias para la mejor comprensión de los diagramas de equilibrio, haciendo especial hincapié en las evoluciones microestructurales que tienen lugar como consecuencia de las transformaciones de fases.

Aleaciones

Una aleación metálica es un material con enlace metálico, producto de la mezcla de un metal con otro metal. Existen otros tipos de aleaciones entre metales y no metales e incluso los cerámicos pueden mezclarse para dar aleaciones.

El conjunto de todas las aleaciones que se pueden formar con dos o más metales, variando su concentración, dan lugar a los sistemas metálicos, produciéndose entre ellos transformaciones físicas, químicas, etc. El sistema más conocido, por su amplia utilización, es el sistema hierro-carbono.

La aleación se describe por las fases presentes, por el porcentaje en peso o cantidad relativa de cada una de ellas y por la composición química de las mismas.

Componentes

Los componentes son los elementos químicos que dan lugar a la aleación. Por ejemplo, en un latón los componentes son el cobre y el zinc. En los sistemas metálicos coinciden con los elementos que forman la aleación, presentando diferentes tipos de afinidades entre ellos, tales como la intermetálica o la correspondiente a la disolución sólida que da lugar a soluciones sólidas, bien de sustitución o de inserción.

Concentración

Una aleación se describe por el estado de sus componentes y sus concentraciones. Por ello, se debe conocer en cada punto del diagrama de fases cuáles son las características de los distintos componentes. Así, el porcentaje en peso del compuesto X será el cociente entre el peso de ese componente, dividido por la suma de los pesos de todos los componentes, multiplicando el resultado por 100. De la misma forma, el porcentaje atómico del compuesto X corresponderá al número de átomos del compuesto X, dividido por la suma de los átomos de todos los compuestos, multiplicando el resultado por 100.

Microestructura

Una aleación binaria puede tomar una de las cuatro formas siguientes:

- Solución sólida única.
- Dos componentes separados fundamentalmente puros.
- Dos soluciones sólidas separadas.
- Un componente químico junto con una solución sólida.

Para poder conocer cuál de las cuatro formas ha alcanzado la aleación, hay que recurrir a la observación de la microestructura. Su conocimiento es de gran importancia ya que el comportamiento mecánico del material depende fundamentalmente de ella.

Se resume, a continuación, el proceso que se ha de seguir para preparar las muestras metalográficas y poder observar la microestructura a través de un microscopio óptico.

Se efectúa, en primer lugar, un corte de tamaño adecuado de la muestra o probeta a estudiar, después de empastillarla en resinas o en otro material que resulte duro y resistente una vez polimerizado. Seguidamente se desbasta, utilizando cada vez más finos tamaños de grano de esmeril. A continuación, comienza el pulido mediante la utilización de pasta de diamante en una serie de pasos en los que el tamaño de la dispersión disminuye progresivamente, completando en muchos casos dicho proceso con un pulido final a base de alúmina.

La probeta pulida se ataca con un ácido o un álcali para que revele su microestructura, permitiendo su observación, a través del microscopio óptico. Los bordes de grano se revelan con mayor rapidez que el resto de la matriz, como consecuencia del ataque preferente que en ellos se produce. Las fases se distinguen entre sí debido a las diferentes velocidades de reacción que entre ellas existen, dando como resultado diferentes morfologías.

En las aleaciones metálicas la microestructura se caracteriza por el número, proporción y distribución de las distintas fases, de ahí que dependa del número

de aleantes, de la concentración de cada uno de ellos y de la temperatura y tiempo del calentamiento y fundamentalmente de la velocidad de enfriamiento.

Fases

Todas las partes de una aleación con las mismas propiedades físicas y químicas y con la misma composición dan lugar a una fase determinada. O sea, una fase es una porción del material (aleación) físicamente homogénea. Si en un sistema hay más de una fase, cada una de ellas tiene sus propias características y un límite de separación entre ellas. En ese límite, aparece el cambio de características físicas o químicas, no siendo necesario que las diferencias existan en ambos tipos de propiedades, ya que es suficiente la diferencia en una de ellas. Por ejemplo, si tenemos agua y hielo juntos, podemos decir que existen dos fases diferentes ya que físicamente son distintas, pues el hielo es sólido y el agua es líquido, sin embargo las dos son químicamente idénticas.

Equilibrio de fases

Un sistema se encuentra en equilibrio cuando la energía libre, que depende de la energía interna del sistema y de la entropía del mismo, es mínima en condiciones determinadas tanto de temperatura como de presión y composición. Esto significa que las características del sistema no varían con el tiempo, lo que implica la estabilidad del mismo. Un cambio de las condiciones de temperatura, presión o de composición en un sistema en equilibrio, dan lugar a un aumento de la energía libre del sistema.

En muchos casos el estado de equilibrio nunca se alcanza totalmente, debido a que la velocidad necesaria para alcanzar el equilibrio es extraordinariamente lenta, lo que da lugar a estados metaestables, que experimentan cambios insignificantes a lo largo del tiempo. Este tipo de estados tiene, en muchos casos, mayor interés práctico que los estados de equilibrio. Así por ejemplo, existen una serie de aleaciones de aluminio que alcanzan importantes y prácticos niveles de dureza como consecuencia del desarrollo de microestructuras metaestables producidas durante determinados tratamientos térmicos.

Por todo ello es necesario, no sólo conocer los estados de equilibrios y las microestructuras resultantes sino también la velocidad con que se alcanza el equilibrio y los factores que influyen en esa velocidad.

Las condiciones de solidificación en los sistemas de equilibrio se alcanzan únicamente mediante velocidades de enfriamiento extraordinariamente lentas. Los campos de temperatura deben permitir los reajustes necesarios para que la composición de las fases en equilibrio coincida con la prevista en el diagrama de fase. Los reajustes tienen lugar mediante procesos de difusión entre las fases sólidas y líquidas a través de sus interfases. Como consecuencia de la dependencia del tiempo en

los procesos de difusión, para mantener el equilibrio durante el enfriamiento, se necesitará un tiempo suficiente, a cada temperatura, para que tenga lugar el reajuste a las composiciones apropiadas. Debido a la diferencia de las velocidades de difusión y de las de enfriamiento durante la solidificación, se puede deducir la dificultad de mantener las condiciones de equilibrio y en consecuencia resultan microestructuras distintas a las previstas.

Si la solidificación se produce fuera de equilibrio, en aleaciones en las que las solubilidades de los componentes de los estados sólido y líquido son totales, tiene lugar una distribución no uniforme de los dos elementos dentro de los cristales. A esta distribución se la denomina segregación y se puede explicar su formación pensando en que la región central de cada grano es la primera en solidificarse, siendo más rica en el elemento de mayor temperatura de fusión, mientras que el otro elemento va aumentando desde el centro del grano hasta su propio borde. Esta estructura induce propiedades inferiores a las previamente estimadas, pudiéndose eliminar mediante la aplicación de tratamientos térmicos de homogenización.

Solubilidad total en estado sólido

Se dice que dos metales en estado sólido son solubles entre sí, cuando en la red cristalina de uno de ellos, denominado disolvente, se puede sustituir de forma aleatoria parte de sus átomos por los de otro metal, dando lugar a las denominadas soluciones sólidas de sustitución. Si átomos de un metal se insertan en los espacios interatómicos del metal disolvente, las soluciones sólidas serán de inserción.

Soluciones sólidas de sustitución

Estas soluciones se caracterizan porque los átomos de soluto se sustituyen en los nudos de la red en posiciones aleatorias, y porque el enlace que mantiene unidos los átomos es de tipo metálico. Si fuera de otro tipo no darían lugar a soluciones sólidas sino a compuestos químicos intermetálicos.

Las necesidades para que la solubilidad entre dos metales en estado sólido sea total (para todas las proporciones entre los dos metales) son:

- Que ambos metales cristalicen en el mismo sistema, de lo contrario la solubilidad será sólo parcial.
- Que los dos metales tengan la misma valencia, ya que al ser el enlace de tipo metálico el número de electrones que cede cada metal a la nube electrónica debe ser el mismo. Si esto no fuera así, se alcanza una cierta inestabilidad termodinámica que imposibilita la solución sólida, pudiendo dar lugar a la formación de compuestos electrónicos.

- Que los dos metales tengan el mismo carácter electroquímico, pues de lo contrario se producen compuestos intermetálicos en lugar de soluciones sólidas.
- Que los diámetros atómicos de los metales no difieran en más del 15%.

Soluciones sólidas de inserción

Cuando la diferencia de tamaño de los átomos de cada uno de los metales que forman solución sólida es muy grande, se produce la del tipo de inserción, en la que el soluto se inserta de forma aleatoria en los huecos o espacios interatómicos del disolvente, debido a su pequeño diámetro. El tamaño del espacio interatómico en el que se pueden insertar los átomos de soluto dependen, fundamentalmente, del sistema cristalino del metal disolvente.

Las soluciones sólidas de inserción sólo pueden formarse entre un metal y un elemento soluto de pequeño diámetro que, normalmente, corresponde a un elemento no metálico, siendo los más habituales el C, el N, el H y el O.

Como consecuencia de la distorsión que se produce en la red del disolvente al insertarse el soluto, debido a la diferencia de tamaños entre los diámetros reales del soluto y los huecos del cristal, así como a las diferencias de valencia existentes entre uno y otro, las soluciones sólidas de inserción presentan siempre una solubilidad limitada.

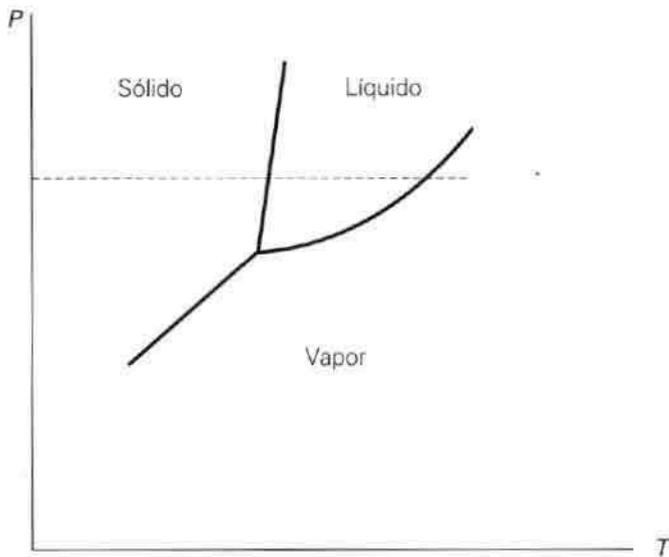
En resumen, para que dos metales formen solución completa en estado sólido es necesario que cristalicen en el mismo sistema, tengan análogo carácter electroquímico, la misma valencia y diámetros atómicos muy aproximados. No es frecuente que dos metales presenten todas las condiciones necesarias para que al alearse formen solución sólida total. Como ejemplos más significativos de formación de solución completa se pueden citar los sistemas cobre-níquel y plata-oro. Sin embargo, la mayoría de los metales forman entre sí soluciones sólidas limitadas, destacando entre ellos el aluminio, que no forma solución sólida total con ningún otro metal.

I.3. CONSTRUCCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FASE

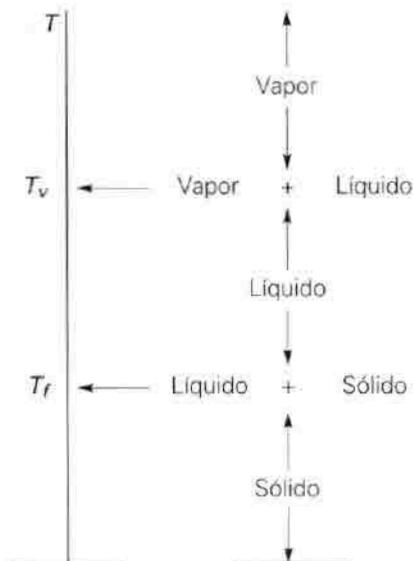
Aunque en este texto, como ya se ha indicado anteriormente, se van a estudiar los diagramas de fase binarios, es conveniente recordar en que consisten los diagramas de fase de sustancias puras (un único componente).

I.3.1. DIAGRAMAS DE FASE DE UN SOLO COMPONENTE

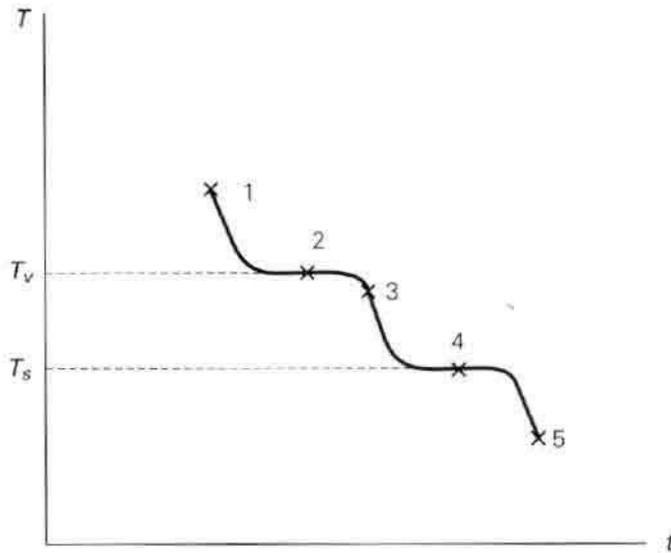
En la figura siguiente se presenta un diagrama de presiones frente a temperaturas, pudiéndose observar las áreas de las regiones de cada fase (sólida, líquida y vapor), así como las fases coexistentes y el punto triple común para las tres.



A presión constante, el sólido funde a la temperatura de fusión (T_f) y se vaporiza a la temperatura de vaporización (T_v), esquematizado a continuación.



En la figura siguiente se presenta la curva completa de enfriamiento de un sistema de un único componente, que se enfría lentamente a presión constante, siendo la temperatura una función del tiempo.



El punto 1 corresponde a la fase vapor, en el punto 2 se produce el cambio de vapor a líquido a la temperatura de vaporización (T_v), mientras que el punto 3 corresponde a la fase líquido. En el punto 4 se pasa de fase líquida a sólida, a la temperatura de solidificación (T_s) y en el punto 5 la fase es totalmente sólida.

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

En el diagrama de fases presión-temperatura (PT) del agua, del tipo presentado en la primera figura, existe un punto triple a baja presión y baja temperatura, donde las fases sólida, líquida y gaseosa coexisten. Las fases líquida y gaseosa existen a lo largo de la línea de vaporización y las fases líquida y sólida a lo largo de la línea de solidificación. Estas líneas son las que representan el equilibrio entre dos fases.

Regla de las fases

A partir de consideraciones termodinámicas, J. W. Gibbs desarrolló una relación entre el número de fases, cantidad de componentes y de variables de un sistema en equilibrio. Esta relación, llamada regla de fases de Gibbs, viene dada por:

$$P + F = C + 2$$

donde P es el número de fases que pueden coexistir en el sistema elegido, C es el número de componentes (elemento, compuesto o solución) en el sistema, y F

corresponde a los grados de libertad, es decir, el número de variables (presión, temperatura y composición) que se pueden cambiar independientemente, sin variar el número de fases en equilibrio en el sistema elegido.

Considérese, como ejemplo, la aplicación de la regla de Gibbs al diagrama de fases presión-temperatura (PT) del agua pura. En el punto triple coexisten tres fases en equilibrio ($P = 3$), y como el único componente del sistema es la molécula de agua ($C = 1$), el número de grados de libertad, será:

$$3 + F = 1 + 2$$

luego $F = 0$ (cero grados de libertad), por lo tanto el punto triple es un punto invariante.

Si se considera un punto del mismo diagrama que corresponda a la línea que separa los estados sólido y líquido podemos ver que en cualquier punto de esa línea hay dos fases que coexisten. Así pues, aplicando la regla de fases:

$$2 + F = 1 + 2; \text{ luego } F = 1 \text{ (un grado de libertad)}$$

Este resultado nos indica que tenemos un grado de libertad, y así, una variable (T o P) se puede cambiar, manteniendo aun un sistema con dos fases que coexisten. Por tanto, si se especifica una presión determinada, solo hay una temperatura en la que las fases sólida y líquida coexisten.

Del mismo modo, si se considera un punto, dentro de una fase única, en el diagrama de fases (PT) del agua. Solo habrá una fase presente ($P = 1$), y en consecuencia:

$$1 + F = 1 + 2 ; \text{ es decir que } F = 2 \text{ (dos grados de libertad)}$$

Este resultado indica que pueden ser cambiadas dos variables independientemente (presión y temperatura), y el sistema permanecerá en una única fase.

La mayor parte de los diagramas de fase binarios que se utilizan son diagramas temperatura-composición, en los que la presión se mantiene constante, por lo que la regla de las fases se puede escribir:

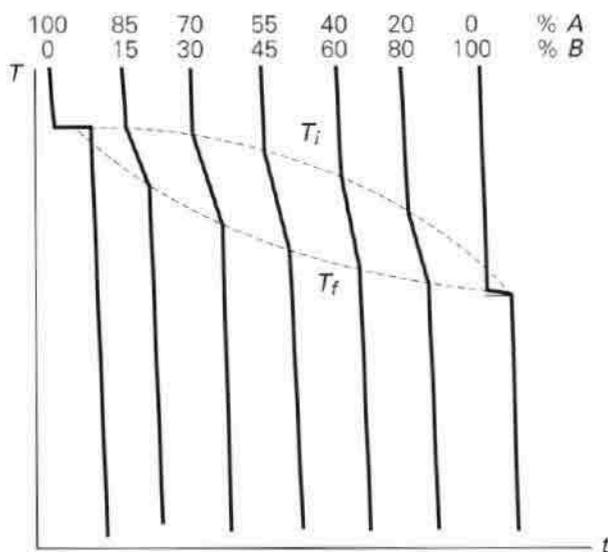
$$P + F = C + 1$$

1.3.2. DIAGRAMAS DE FASE DE DOS COMPONENTES

Para la construcción de un diagrama de fase binario se considera, una mezcla o aleación de dos componentes que son completamente solubles en todo el intervalo de composición y temperatura.

Como los dos componentes son completamente solubles en el estado sólido y en el líquido, el único tipo de fase sólida formada para todas las composiciones de los dos componentes será una solución sólida sustitucional, en la que los dos componentes tienen, generalmente, el mismo tipo de estructura cristalina.

Se supone que el resultado de realizar una serie de curvas de enfriamiento para distintas aleaciones de dos metales A y B , variando su composición desde el 100% de A y el 0% de B hasta el 0% de A y el 100% de B , es el representado en la figura siguiente:



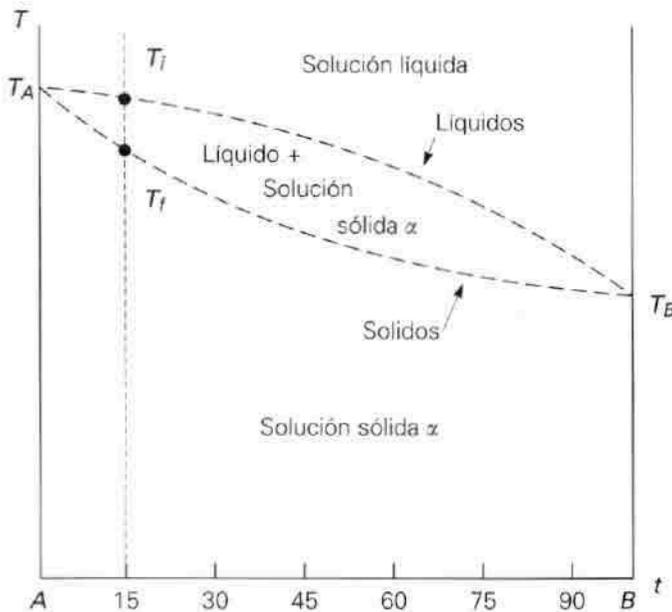
Las curvas de enfriamiento para los metales puros A y B muestran sólo una línea horizontal, porque el inicio y el final de la solidificación tienen lugar a una temperatura constante; sin embargo, como las composiciones intermedias forman una solución sólida, todas las curvas de enfriamiento muestran dos cambios de pendiente. El conocimiento de los puntos en los que se producen esos cambios de pendiente es de gran importancia, como se verá posteriormente.

Cada curva experimental de enfriamiento se inicia en el tiempo cero. En el ejemplo representado en la figura, el primer cambio de pendiente ocurre a la temperatura T_i , lo que indica el principio de la solidificación, y el segundo cambio de pendiente se produce a la temperatura T_f , que corresponde al final de la solidificación. Todas las composiciones de aleaciones intermedias presentan un tipo de curva de enfriamiento similar, tal y como se puede observar en dicha figura.

El sentido del diagrama de fase, o alguna idea de su forma, puede obtenerse al dibujar una línea que relacione todos los puntos que corresponden al principio de la solidificación (línea superior de puntos de la figura) y otra a los puntos en los que se produce el final de la solidificación (línea inferior de puntos de la figura).

El diagrama de fase real se determina representando gráficamente la temperatura frente a la composición. Los puntos a representar se toman de la serie de curvas de enfriamiento de la figura, y se llevan al diagrama, que resulta tal y como se presenta en la figura siguiente. En ordenadas, a la izquierda se representa al metal puro A y a la derecha al metal B .

Se dibuja una serie de líneas verticales que representan diferentes aleaciones, en este caso corresponderá la aleación 85A-15B, siendo los puntos T_i y T_f los obtenidos en la figura anterior. El mismo procedimiento se sigue para todas las demás composiciones, dando lugar al diagrama de la figura siguiente.



El diagrama de fase resultante consta de dos puntos, dos líneas y tres áreas. Los puntos T_A y T_B representan los puntos de solidificación de los dos metales puros. La línea superior, obtenida al unir los puntos que corresponden al inicio de la solidificación, se llama línea líquidos, en tanto que la línea inferior, determinada al unir los puntos que muestran el final de la solidificación, se llama línea sólidos. El área que se encuentra por encima de la línea líquidos es una región unifásica, y cualquier aleación en esta región consiste en una solución líquida homogénea. Así mismo, el área que se encuentra por debajo de la línea sólidos es una región unifásica, y cualquier aleación en esta región constará de una solución sólida homogénea.

En los diagramas de equilibrio se representan las soluciones sólidas y algunas veces compuestos intermedios con letras griegas. En este caso, la solución sólida se identifica con la letra α . Las letras mayúsculas, como A y B , se usan para representar los metales puros. Entre las líneas líquidos y sólidos existe una región bifásica. Cualquier aleación en esta región está constituida por una mezcla de una solución líquida y de una sólida.

Especificar la temperatura y la composición de una aleación en un área de dos fases, indica que la aleación consta de una mezcla de dos fases, pero no da ninguna información referente a la constitución de la mezcla. Para conocer la

composición química real y las cantidades relativas de las dos fases presentes se utiliza la denominada regla de la palanca.

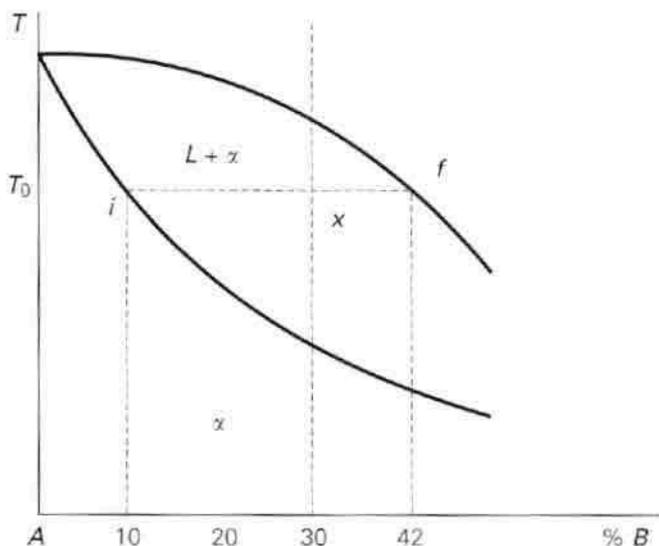
Regla de la palanca

Una vez que se tiene construido el diagrama de fase, se está en condiciones de poder conocer, tanto las composiciones químicas de las fases como las cantidades relativas de cada una de ellas.

Para determinar la composición química real de las distintas fases de una aleación, en equilibrio a una determinada temperatura y composición, se traza una línea recta horizontal para esa temperatura que alcance a las fronteras del campo del diagrama de fase. La línea recta que une los puntos representativos de las dos fases conjugadas se llama línea de conjugación o línea de vinculación (*tie line*). Los puntos de intersección entre la línea trazada y las fronteras del diagrama de fase, se llevan a la línea base (eje de abscisas), leyéndose directamente la composición correspondiente.

En la figura siguiente se representa un diagrama parcial de fase, para estudiar una aleación constituida por el 70% del metal *A* y el 30% del *B* a la temperatura T_0 .

La aleación 70*A*-30*B* se encuentra a la temperatura T_0 en una región de dos fases, una solución sólida y otra líquida. Para aplicar la regla de la palanca se deberá dibujar la línea *if* entre las fronteras de la región de dos fases. El punto *i* será el correspondiente a la intersección entre la línea recta horizontal con la línea sólidos. Al llevar el valor de ese punto al eje de abscisas, podremos ver que la composición de la fase que existe en esa frontera corresponde a la solución sólida de composición 90*A*-10*B*.



Cuando se lleva el punto f' al eje de abscisas, se podrá ver la composición de la otra fase, solución líquida, que en este caso es 58 A-42 B.

Para determinar las cantidades relativas de las dos fases en equilibrio a la temperatura T_0 se deberá trazar una línea vertical, que representa la composición de la aleación, y una línea horizontal, entre los límites del campo de las dos fases, que corresponda a dicha temperatura.

La línea vertical dividirá a la horizontal en dos partes cuyas longitudes son inversamente proporcionales a la cantidad de las fases presentes, razón por la que se la conoce como regla de la palanca.

El punto donde la línea vertical interseca a la horizontal se considera como el eje de oscilación de un sistema de palanca.

En la figura, la línea vertical, que representa la aleación 70 A-30 B divide la línea horizontal if en dos partes que son: ix y xf . Se toma toda la longitud de esa línea horizontal (if) para representar el 100%. Aplicando la regla de la palanca, el contenido de cada fase presente a la temperatura T_0 puede expresarse matemáticamente como:

$$\begin{aligned}\text{Líquido}(\%) &= \frac{ix}{if} \times 100 \\ \alpha(\%) &= \frac{xf}{if} \times 100\end{aligned}$$

Al introducir los valores numéricos del ejemplo en estas relaciones, se tiene:

$$\begin{aligned}\text{Líquido}(\%) &= \frac{20}{32} \times 100 = 62,5\% \\ \alpha(\%) &= \frac{12}{32} \times 100 = 37,5\%\end{aligned}$$

Los resultados obtenidos al aplicar la regla de la palanca a la aleación de composición 70 A-30 B a la temperatura T_0 indican la existencia de una mezcla de dos fases. Una es una solución líquida de composición 58 A-42 B que constituye el 62,5% de la masa total, y la otra es una solución sólida de composición 90 A-10 B que comprende el 37,5% del total.

Cambios de fase en el enfriamiento

En la figura siguiente se presenta el diagrama de fase parcial de una aleación. De dicho sistema de aleación, se ha elegido una composición 75 A-25 B con el fin de estudiar los cambios de fase que se producen durante el enfriamiento.

A la temperatura T_0 , esta aleación es una solución homogénea de una sola fase (líquida), permaneciendo así hasta que se alcanza la temperatura T_1 . Como T_1 se encuentra en la línea líquidos, la solidificación se inicia en ese momento.