

Unidad 2: Aleaciones y diagramas de equilibrio

Aleación: es la unión de varios metales o de uno o varios metales con otros elementos no metálicos cuyo resultado es un metal.

Las aleaciones permiten mejorar las propiedades de los metales para aplicarlas al uso industrial.

Los metales puros no suelen ser útiles porque buena parte tienen deficiencias:

Hierro: se oxida con facilidad.

Aluminio: no es resistente.

Cobre: tampoco es resistente.

Disolvente y soluto: cuando se mezclan 2 sustancias, el elemento de mayor proporción es el disolvente y el soluto el de menor proporción. Sin embargo cuando los elementos tienen diferente red cristalina, aunque tenga menor proporción el disolvente es la sustancia que mantiene la red cristalina.

Concentración de la aleación.

ms = masa del soluto.

md = masa del disolvente.

Cd = concentración del disolvente en tanto por ciento.

Cs = concentración de soluto en tanto por ciento.

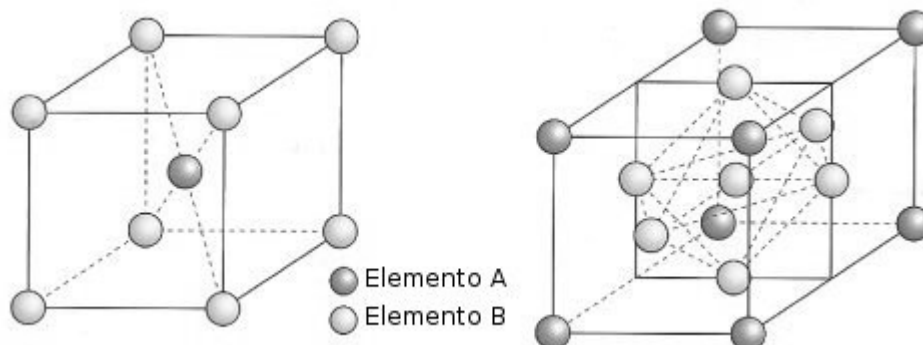
$$Cs = \frac{ms}{(md + ms)} * 100 \quad Cd = \frac{md}{(md + ms)} * 100$$

Tipos de disoluciones sólidas.

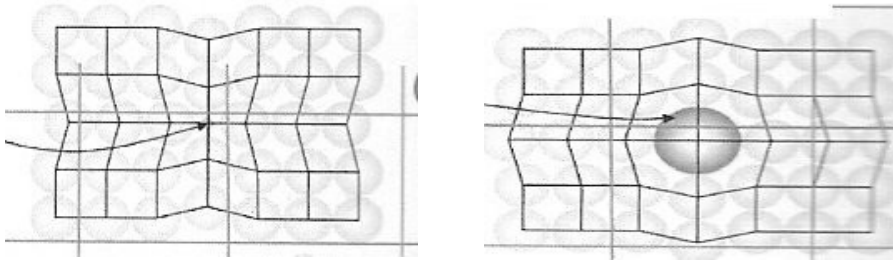
Solución por sustitución: teniendo la misma estructura cristalina se sustituyen átomos del disolvente por el del soluto.

Solución por inserción: los átomos del soluto son muy pequeños comparados con el disolvente. Se coloca el soluto en los intersticios de la red cristalina del disolvente.

Si los átomos del disolvente y el soluto tienen tamaños diferentes la estructura se deforma hacia dentro o hacia fuera, volviéndose frágil aunque aumenta la carga de rotura.



Disoluciones por sustitución y por inserción respectivamente

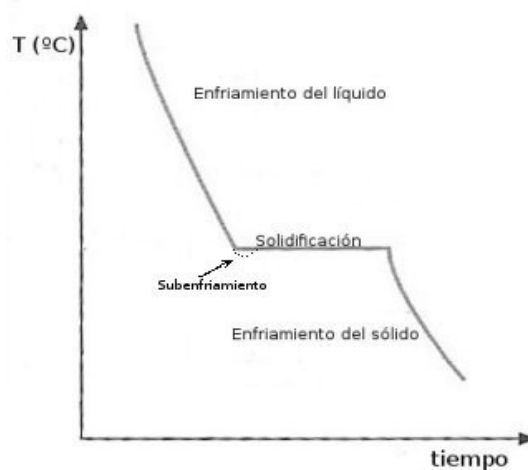


Las estructuras se pueden deformar hacia dentro o hacia fuera

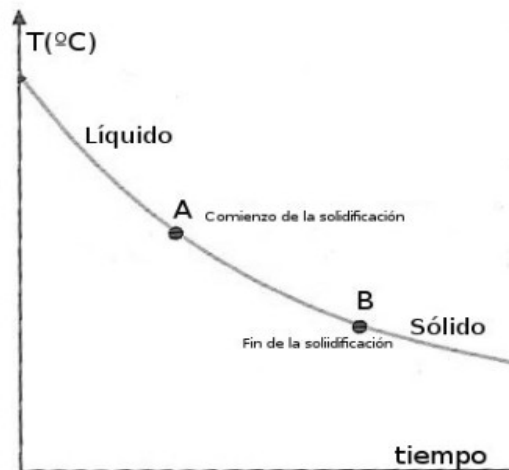
Proceso de cristalización

Mediante el proceso de solidificación se producen los cristales que forman la estructura del metal. Se produce un descenso de temperatura y se pasa del estado líquido al sólido.

En los metales puros y en las eutécticas el proceso de solidificación se representa en la siguiente gráfica:



En las aleaciones el proceso de solidificación:



Subenfriamiento o subfusión: la masa líquida permanece por debajo de la temperatura de fusión, empieza la solidificación al absorber más calor. Punto inestable. Característico de los metales puros en su cristalización.

Velocidad de nucleación: número de cristales que se forman en la unidad de tiempo.

Velocidad lineal de cristalización : aumento de la longitud de los cristales en la unidad de tiempo.

Energía para llevar a un metal al estado líquido.

$$Q1 = m C1 \Delta T$$

Q1 = energía necesaria para aumentar la temperatura hasta la de fusión.

m = masa del metal a fundir.

C1= calor específico del metal a fundir.

ΔT = incremento de temperatura o variación de la temperatura.

Energía necesaria para cambiar de estado.

$$Q2 = m C2$$

Q2 = energía necesaria para el cambio de estado.

m = masa del metal a fundir.

C2= calor latente de fusión.

Es evidente que para conseguir aumentar la temperatura y el cambio de estado es la siguiente ecuación, donde Q_T es la energía total:

$$Q_T = Q1 + Q2$$

Etapas de solidificación.

Nucleación: es la formación de núcleos estables en la masa fundida. Es necesario que se produzca el subenfriamiento.

Cristalización: es el crecimiento de cada núcleo en 3 dimensiones. Se le denominan dendritas.

Formación del grano: estructura cristalina que ha crecido hasta llegar al límite con

otros cristales. Desde el microscopio se ven como pequeños granos unidos en toda la superficie de corte de la probeta.

Cuando el tamaño del grano es menor el material tiene mejores propiedades mecánicas. Cuando la velocidad de enfriamiento es muy rápida se obtienen sólidos amorfos.

Cuando la solidificación no es correcta, se producen defectos interiores (**sopladuras**) e exteriores (**rechupes**).

Regla de las fases de Gibbs

Para tratar este apartado hay que definir los siguientes términos:

Componentes (C): son cada una de las sustancias o elementos químicos que forman un sistema. Por ejemplo el hierro y la cementita.

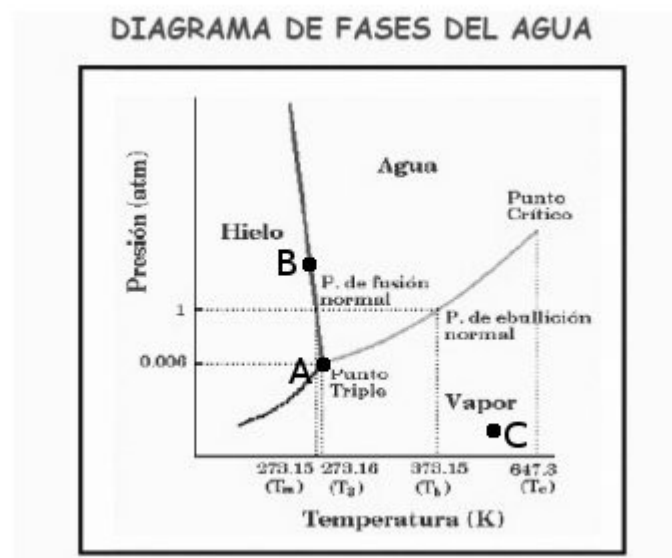
Fases (F): son los diferentes estados de la materia de la materia (sólido, líquido y gaseoso) que son homogéneas y que se diferencian físicamente del resto.

Grados de libertad (N): son el número de variables modificables en un sistema.

Un diagrama de equilibrio para una o más sustancias combinadas nos permite conocer variando diferentes parámetros su comportamiento y propiedades al ser modificados. Al modificar la temperatura o la presión de una sustancia puede pasar dicha sustancia de estado sólido al líquido o viceversa.

Si tenemos dos sustancias en diferentes proporciones al modificar la temperatura podemos obtener diferentes fases, diferentes puntos de fusión, así como diferentes propiedades en el material o estado final de dicha combinación.

En un diagrama de equilibrio, por ejemplo presión y temperatura para el agua pura podemos modificar dichas variables y obtener gas, líquido o sólido.



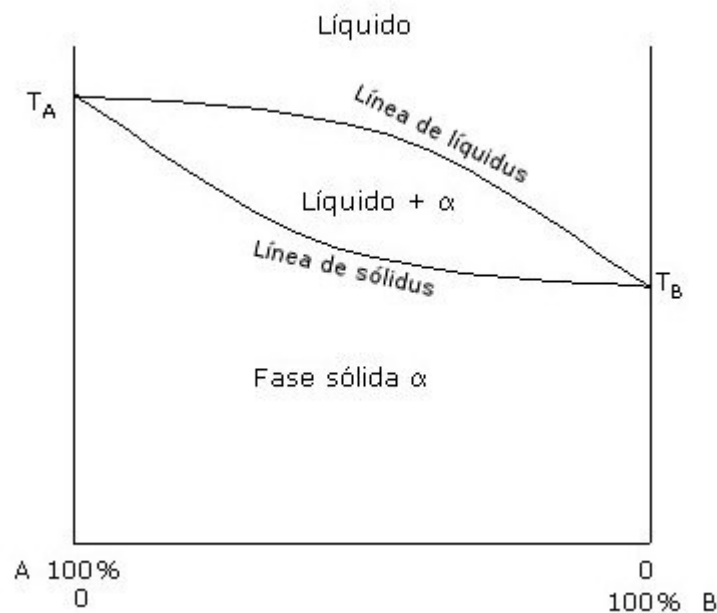
Regla de Gibbs: $F + N = C + 2$

En el punto triple (**A**) de la gráfica $F=3$ (sólido, líquido y gaseoso), $C=1$ (agua). Despejando $N=0$, lo que quiere decir que modificando presión o temperatura se variaría el estado del punto triple, pasando a otro estado. Esto quiere decir que sería un punto muy inestable para que siga manteniéndose.

En la línea del punto de fusión (**B**) (hielo y agua) $F=2$ y $C=1$ (agua) deduciríamos por la ecuación que $N=1$, lo que querría decir que modificando las variables de una determinada forma mantendríamos este estado (línea casi vertical).

En el punto "C" $F=1$ (vapor) y $C=1$ (agua) deducimos que $N=2$. Esto quiere decir que podemos modificar tanto la presión como la temperatura para obtener el mismo estado (gaseoso) en ciertos márgenes.

Diagrama de equilibrio con disolución total en estado líquido y sólido



En este diagrama hay 2 fases:

Fase líquida: es una mezcla de A y B

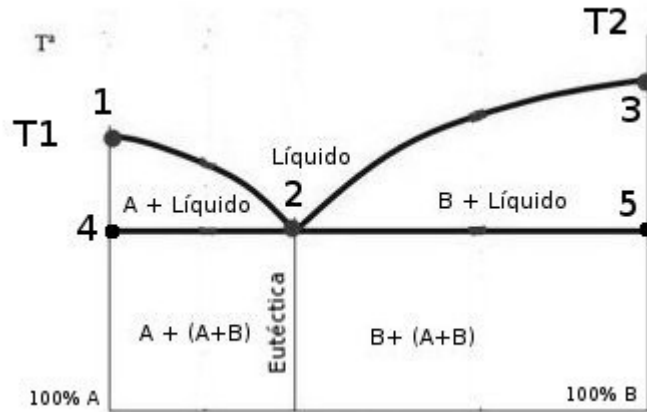
Fase sólida α : también es una mezcla de A y B.

En esta gráfica se puede identificar dos líneas:

Línea de liquidus: para cada proporción de A y B establece cuando en la aleación empieza la solidificación a partir de la fase líquida. Por debajo hay una proporción de fase líquida y fase sólida α .

Línea de solidus: es la línea en donde para una proporción de A y B termina la solidificación. Sólo en los elementos puros (A al 100% o B al 100%) la temperatura de comienzo de solidificación y el final de la solidificación es la misma (T_A y T_B).

Diagrama de equilibrio con disolución total en estado líquido e insoluble en estado sólido



En este diagrama se identifican 3 fases:

Líquida: disolución líquida de A y B.

A: fase sólida del elemento A.

B: fase sólida del elemento B.

También se identifica una combinación (E) de los elementos A y B, que no es una fase, sino que es la eutética. La eutética es el punto de la gráfica donde se consigue la solidificación a la menor temperatura. En este punto la aleación se comporta como un elemento puro, es decir la solidificación empieza y acaba a la misma temperatura.

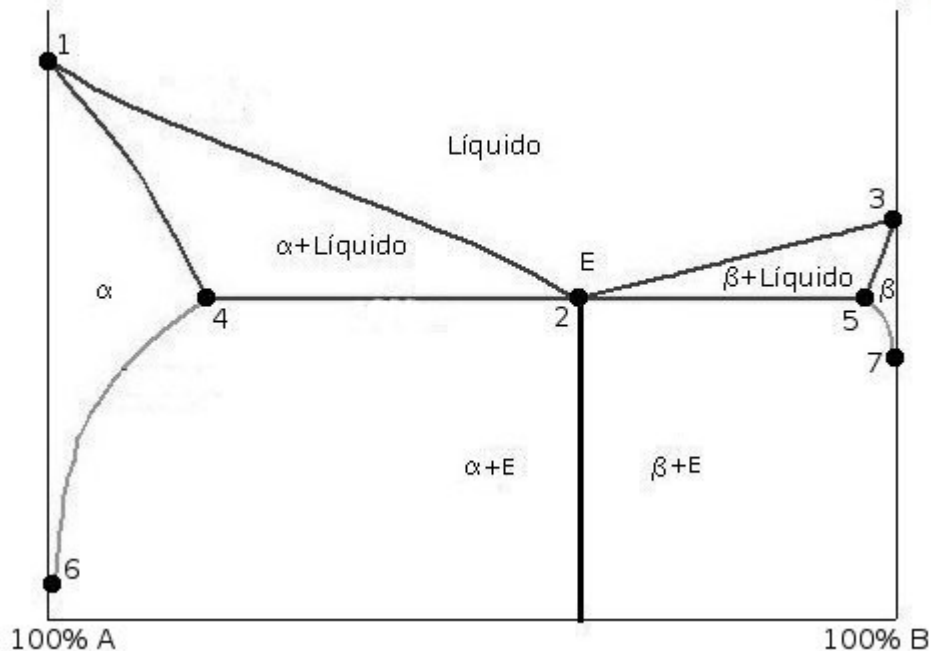
Las líneas significativas son:

Línea de líquidus: está trazada por los puntos 1-2-3.

Línea de sólidus: está trazada por los puntos 4-2-5.

La eutética: en el punto 2.

Diagrama de equilibrio con disolución total en estado líquido y parcial en estado sólido



En este diagrama se identifican 3 fases:

Líquido: disolución líquida de los elementos A y B.

α : fase sólida de los elementos A y B.

β : fase sólida de los elementos A y B.

También se identifica una combinación (E) de las fases α y β , que no es una fase, sino que es la eutéctica, que es una combinación de ambas. La eutéctica es el punto de la gráfica donde se consigue la solidificación a la menor temperatura. En este punto la aleación se comporta como un elemento puro, es decir la solidificación empieza y acaba a la misma temperatura.

Las líneas significativas son:

Línea de liquidus: está trazada por los puntos 1-2-3.

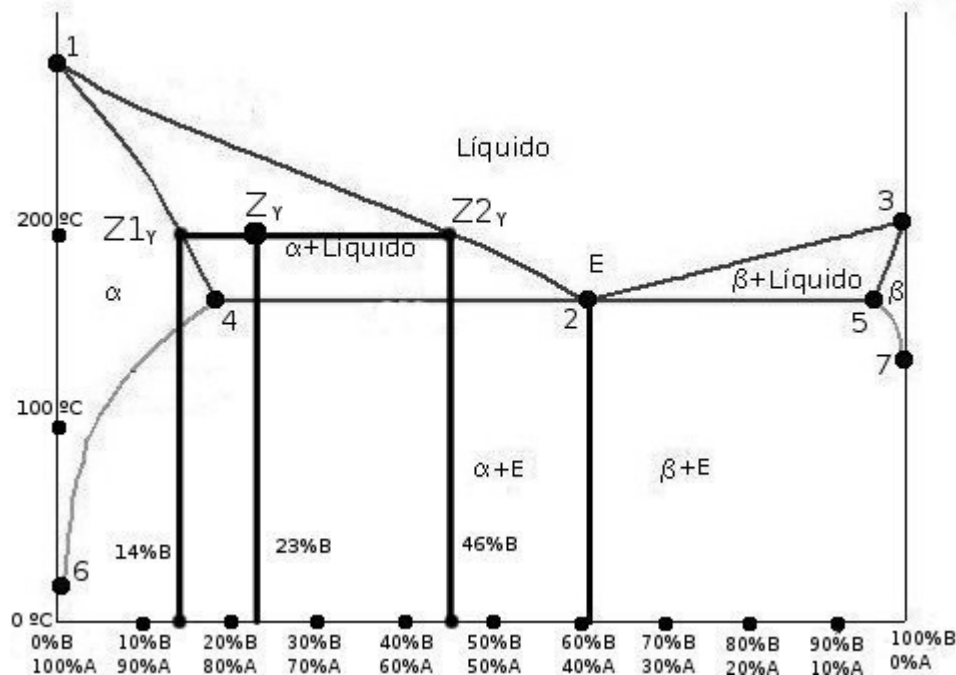
Línea de solidus: está trazada por los puntos 1-4-2-5-3.

La eutéctica: en el punto 2.

Ley de la palanca.

La ley de la palanca es un procedimiento matemático usado en los diagramas de equilibrio para averiguar los porcentajes de los elementos y fases que hay en ella en sus diferentes puntos.

Para la siguiente gráfica vamos a definir un punto Z_y que tiene proporción de B del 23% a una temperatura de 200 °C. Hay que calcular en ese punto la proporción de las fases que hay. También podemos averiguar la composición de cada fase.



Es evidente que en ese punto de la gráfica definida entre los puntos 1, 2 y 4 las fases que hay son: α y "Líquido". Proyectando horizontalmente el punto sobre la línea que define el área que es solamente fase "**Líquido**" (1-2) y sobre la línea que define el área que tiene sólo la fase α (1-4) y luego sobre los puntos que salen (Z1y y Z2y) se proyectan horizontalmente sobre el eje horizontal.

Vemos que sobre la línea horizontal obtenemos 3 porcentajes: 14% 46%.

La diferencia entre el porcentaje máximo y mínimo se le considera el 100% de la aleación:

$$46-14 = \mathbf{32}$$

Podemos observar en la gráfica que la proporción de la fase α es mayor que la de la fase "Líquido" puesto que el punto Z_y está más cerca de la línea que define la zona donde sólo hay fase α .

Por ello el porcentaje de la fase α es la porción mayor:

$$46 - 23 = 23$$

El porcentaje de "**Líquido**" es la menor, puesto que el punto **Z_y** está más lejano de la línea que define la zona que hay solo fase "**Líquido**" (1-2):

$$23-14 = 9$$

Para averiguar los porcentajes se hace con la siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ fase } \alpha = \frac{\text{cantidad de fase } \alpha}{\text{cantidad total de fases}} \cdot 100$$

$$\% \text{ fase "Líquido"} = \frac{\text{cantidad de fase Líquido}}{\text{cantidad total de fases}} \cdot 100$$

Matemáticamente:

$$\% \text{ fase } \alpha = \frac{23}{32} \cdot 100 = 72 \%$$

$$\% \text{ fase "Líquido"} = \frac{9}{32} \cdot 100 = 28 \%$$

También podemos averiguar la proporción de elementos que constituyen cada fase. Para ello sólo tenemos que mirar en la proyección sobre la horizontal de los puntos **Z1** y **Z2**.

La fase **α** está constituida por un 14% de B y por un 86% de A.

La fase "Líquido" está constituida por un 46% de B y un 54% de A.

Estados alotrópicos del hierro

A cada uno de los sistemas en que cristaliza el metal se le llaman **estados alotrópicos**.

Hierro **α** : aparece a temperaturas inferiores a 768 °C, tiene una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC), tiene carácter ferromagnético y es capaz de absorber un porcentaje de carbono comprendido entre el 0,008 y el 0,025 por ciento.

Hierro **β** : aparece entre las temperaturas de 768 y 912 °C, tiene estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC), no es ferromagnética. Es casi idéntica en propiedades que el hierro **α** , por lo que hay autores que no distinguen el hierro **α** con el hierro **β** .

Hierro **γ** : aparece en temperaturas que oscilan entre los 912 y 1394 °C, tiene una estructura cúbica centrada en las caras (FCC), que es la más densa del hierro y disuelve carbono hasta un 1,76%.

Hierro **δ** : aparece a temperaturas que oscilan entre 1394 y 1539, tiene una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC) y es capaz de disolver hasta un 0,07 % de carbono.

Constituyentes de las aleaciones hierro carbono.

Ferrita: es hierro **α** . El más blando y dúctil de los aceros. Tiene una dureza brinell (HB) DE 90 y una resistencia a la rotura de 28kp / mm² (**σ_r**). Tiene una capacidad de alargamiento de entre el 30 al 40%.

Cementita: Fe₃C o carburo de hierro, que es capaz de absorber hasta el 6,67% de carbono. Tiene una dureza Brinell de hasta 800 (HB). Es magnético hasta los 210 °C. Tiene una red ortorrómbica. Alargamiento casi nulo.

Perlita: es una combinación del ferrita (86,5%) y cementita (14,5%). Tiene una dureza Brinell 200 (HB) y una resistencia a la rotura de $80 \text{ kp} / \text{mm}^2$ (σ_r). Tiene capacidad de alargamiento de hasta el 15%.

Austenita: es hierro γ y carbono disuelto. Es el acero más denso. Tiene una dureza Brinell de 300 (HB) y una resistencia a la rotura de $100 \text{ kp} / \text{mm}^2$ (σ_r). Tiene una capacidad de alargamiento de hasta el 30%.

Martensita: tras la cementita es el más duro. Se obtiene por enfriamiento rápido de la austenita. Tiene sistema tetragonal. Tiene una dureza Rockwell cónica entre 50 y 68 (HRC) y una resistencia a la rotura entre 175 y $250 \text{ kp} / \text{mm}^2$ (σ_r). Tiene propiedades magnético y escaso alargamiento.

Troostita: se enfría rápidamente la estructura austenítica hasta las temperaturas de 500 a 600 °C. Tiene una dureza Brinell de 450 (HB) y una resistencia a la rotura de $250 \text{ kp} / \text{mm}^2$ (σ_r).

Sorbita: se enfría rápidamente la estructura austenítica hasta las temperaturas de 600 a 650 °C. Tiene una dureza Brinell de 350 (HB) y una resistencia a la rotura de $100 \text{ kp} / \text{mm}^2$ (σ_r).

Bainita: es idéntica a la Sorbita aunque se enfría rápidamente la estructura austenítica hasta las temperaturas de 250 a 500 °C.

Fundiciones.

Son productos siderúrgicos con un contenido en carbono del 1,76% al 6,67% (valores ideales), aunque en la práctica va del 2% al 4% aproximadamente.

Sus propiedades dependen de su composición, velocidad de enfriamiento y las temperaturas alcanzadas.

Debido a su alto contenido en carbono la temperatura de fusión es más baja.

El aumento de la velocidad de enfriamiento favorece la combinación del hierro y el carbono.

Propiedades generales:

Amplio intervalo de resistencia mecánica y dureza.

En general son difíciles de mecanizar.

Aleadas aumentan: la resistencia al desgaste, la abrasión y la corrosión.

Escasa ductilidad.

Poca resistencia al impacto (resiliencia).

Bajo coste.

Con tratamientos térmicos mejoran sus propiedades.

Clasificación de las fundiciones:

Por su composición:

Eutécticas: concentración de carbono del 4,3%

Hipoeutéticas: composición de carbono entre el 1,76 y el 4,3%.

Hipereutéticas: composición de carbono entre 4,3 y el 6,67%.

Por el proceso de elaboración:

Fundición de primera fusión: del alto horno sale el arrabio.

Fundición de segunda fusión: fusión en horno de cubilote de los lingotes de la primera fusión y chatarra.

Fundición sintética: se alea el acero con otros elementos.

Otra clasificación:

Fundiciones aleadas.

Fundiciones no aleadas.

Fundiciones más frecuentes:

Fundición blanca: se obtiene tras un enfriamiento rápido y se obtiene cementita. Se caracteriza por su color blanquecino.

Características:

Alta dureza.

Resistente al desgaste.

Fragilidad elevada y poca resiliencia.

Difícil de mecanizar.

Inmecanizable en frío.

Aplicaciones:

Esferas de molino (resistencia a la abrasión y al desgaste)

Laminación y embutición.

Para obtener fundición maleable.

Para obtener acero y hierro dulce.

Fundición gris: se obtiene cuando la velocidad de enfriamiento no es muy rápida y favorece la formación del grafito.

Características:

Pequeña contracción al enfriarse.

Frágiles, fáciles de mecanizar y resistencia a la corrosión frente al agua.

Gran capacidad de absorber vibraciones.

Aplicaciones:

Piezas moldeadas por su pequeña contracción.

Bancadas de motores, piezas de motores y en general de máquinas.

Tapas de alcantarillado y piezas expuestas a la intemperie.

Fundición aturuchada: se obtiene mediante velocidades de enfriamiento intermedias que hacen que tengan propiedades intermedias entre la fundición blanca y gris.

Fundición maleable: se obtiene de la fundición blanca a través de un recocido de maleabilización. Tiene un núcleo duro con alto contenido en carbono y una superficie más blanda con menos carbono que el núcleo. En la capa externa se produce una descarburación o pérdida de carbono a través del proceso térmico. Con este procedimiento industrial la fundición se puede mecanizar.

Tipos de fundición maleable:

Fundición maleable de corazón blanco (europea): se realiza cubriendo la pieza de mineral de hierro (hematites) en cajas cerradas y se calienta a temperaturas próximas a los 100 °C durante unos 10 días. Se enfría lentamente. Mejora la capacidad de alargamiento de la pieza.

Fundición maleable de corazón gris (americana): las piezas son cubiertas en arena en cajas cerradas y calentadas a temperaturas próximas a los 900 °C durante unos 6 días y se enfría lentamente.

Fundición de grafito nodal o esferoidal: a la fundición se le añade cesio y magnesio y se forman unas estructuras esféricas que lo caracterizan. Se usa como acero porque presenta propiedades similares, pero es más barato. Se usa para usar todo tipo de mecanismos.

Aceros:

El hierro puro no posee la resistencia y dureza necesaria para las aplicaciones de uso común. El acero es hierro mezclado con carbono, que en diferentes proporciones y a través de variados procesos industriales les dan propiedades muy variadas.

El acero tiene una proporción de carbono del 0,025 al 1,76% aproximadamente. El hierro dulce tiene una proporción de carbono inferior al 0,025% de carbono.

Clasificación de los aceros

Según su composición química:

No aleados

Aleados: según sus elementos y según sus proporciones.

Aceros microaleados: proporción de elementos aleados muy pequeña.

Aceros de baja aleación. Elementos aleantes inferior al 10%.

Aceros de alta aleación. Concentración de elementos aleados superior al 10%.

Según su proporción de carbono:

Hipoeutectoide: proporción de carbono inferior al 0,89% de carbono. En algunos autores 0,77%.

Eutectoide: proporción de carbono igual al 0,89% de carbono. En algunos autores 0,77%.

Hipereutectoide: proporción de carbono entre 0,89% y el 1,76%

Según sus aplicaciones:

Construcción.

- Herramientas.
- Refractarios.
- Inoxidables.
- Resistentes al desgaste.
- Etc.

Según el método de obtención:

- Mediante el método Martin Siemens.
- Mediante convertidores
- Mediante hornos eléctricos.

Según la dureza proporcionada por el carbono:

- Acero extrasuave.
- Acero suave.
- Acero semisuave.
- Acero semiduro.
- Acero duro.

Según su estructura dependiente del tratamiento térmico: perlítico, martensíticos, austeníticos, ferríticos, con carburo, etc.

La resistencia mecánica aumenta con la concentración de carbono y disminuye la tenacidad y la plasticidad. Su coste es más bien bajo, pero en general más caro que las fundiciones, debido que su proceso de obtención es más largo y costoso.

Tienen en general poca resistencia a la oxidación y a la corrosión.

Con tratamientos térmicos mejoran la dureza y la tenacidad, por esto se pueden usar para todo tipo de mecanismos.

Como elementos aleados se usan: el carbono, cromo, níquel, wolframio, vanadio, silicio, manganeso, niobio, etc.

Otros elementos no son deseables en la aleación, como el fósforo y el azufre, que le dan al acero fragilidad y no deben estar en proporciones superiores al 0,05%.