

Unidad 6

Fundamentos de los tratamientos térmicos:

Los tratamientos térmicos afectan directamente en la naturaleza, tamaño y distribuciones de los constituyentes de la material y por ende en las propiedades del mismo.

Recordamos conceptos:

- Ferrita:** Es una solución solida **intersticial** de carbono en hierro  $\alpha$ . La solubilidad máxima de carbono a 727°C es de 0,025%C y a temperatura ambiente de 0,008%C  
  
Es el más blando y más dúctil de los aceros. Es magnética
- Austenita:** Solución sóiida **intersticial** de carbono en hierro  $\gamma$ . La solubilidad máxima de carbono a 1135°C es de 1,7%C y a 727°C solubiliza 0,87%C, a temperaturas menores precipita ferrita y cementita eutéctica en forma laminar o globular. La estructura FCC admite mayor cantidad de planos compactos y por ende, mayores planos de deslizamientos, por lo tanto suele ser más dúctil que la BCC. Es deformable, magnética, poco dura y resistente al desgaste, es muy densa.

- Cementita:** Es un carburo de hierro (CFe3) que contiene 6.67% de carbono y 93.33% de hierro. Su estructura es un paralelepípedo ortorrómbico.

Los átomos de carbono están situados **intersticialmente**, rodeando seis átomos de hierro a cada uno de carbono.

Es el constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono. Es muy resistente a la abrasión.

Es levemente magnética a la temperatura ambiente, pero pierde su magnetismo por encima de 218°C.

Este carburo ortorrómbico **es inestable**.

- Perlita:** Es un constituyente que posee 0.88%C y posee laminas yuxtapuestas alternadas y paralelas de ferrita y cementita. Proviene de un enfriamiento lo suficientemente lento. Las láminas se vuelven cada vez más finas si la velocidad de enfriamiento aumenta. Por lo tanto la composición de la misma depende directamente de la velocidad de enfriamiento.

Una forma de conocer el grosor de las láminas es observando la dureza de la perlita ya que a mayor velocidad de enfriamiento la perlita se vuelve mucha más fina y por lo tanto mucho mas dura.

Transformación de la Austenita:

La austenita es una solución sólida que durante el enfriamiento va variando su composición. Es de fase única (solución sólida) pero al disminuir de la temperatura eutectoide se desdobra en cementita y ferrita eutectoides.

La perlita es un microconstituyente de equilibrio estable (Se obtiene al enfriarla relativamente lento, esto se aclara en curvas ttt) pero en determinadas condiciones la descomposición de la austenita puede originar **estructuras metaestables. La gran mayoría de tratamientos térmicos se basan en la transformación de austenita.**

Existen dos formas de realizar los tratamientos:

- Con enfriamiento continuo: La transformación se hace en forma rápida y sucesiva a distintas temperaturas porque el material va a pasar por ellas durante el enfriamiento. Con el enfriamiento continuo **la variable del proceso es la velocidad de enfriamiento** y un cambio en esta puede cambiar completamente el resultado obtenido.
- A temperatura constante – Isotermicos: En este caso **la variable del proceso es la temperatura**. En este caso siempre obtendremos ferrita y cementita pero la estructura dependerá de la temperatura que elijamos. El tiempo que permanezca el material a esa temperatura influye en el porcentaje de la transformación.

DEFINICION DE **TRATAMIENTOS TERMICOS:**

Un tratamiento térmico es un **proceso** constituido por uno o más **ciclos térmicos (calentamientos y enfriamientos)** mediante los cuales se busca modificar su estructura interna con el **objetivo de obtener ciertas propiedades**

En un metal o aleación, **se distinguen dos tipos de estructuras:**

**La estructura cristalográfica:** Es muy poco modificable mediante tratamientos térmicos, generalmente solo se puede afectar mediante distorsiones en la red.

Un metal que usualmente cristaliza en sistema cubico no podría cristalizar en sistema hexagonal mediante un tratamiento térmico.

**La estructura granular:** Es la estructura que comprende tamaño, forma y distribución de granos. Esta estructura es altamente modificable mediante tratamientos térmicos.

Para hacer desaparecer una estructura y aparecer otra, deben seguirse todos los pasos de la transformación. Inicialmente el sistema tiene que adquirir cierta energía de activación para que pueda comenzar la germinación donde comienza el crecimiento de pequeños cristalitos de la nueva estructura que se van redisolviendo y formándose nuevamente hasta que se estabilizan y constituyen la nucleación y la transformación evoluciona hacia el estado de menor energía libre.

Se sabe que en un sistema cada partícula tiene su energía propia pero siguen una distribución de Gauss, es decir, que la gran mayoría de partículas tiene una cierta energía media pero existen algunas partículas con mayor y con menor energía. **Las partículas con energía interna mayor que la media, son las que suelen tener una energía de activación suficiente para formar granos elementales de la nueva estructura.**

Si se disminuye la energía del sistema la distribución de energía cambia y ahora hay muchas más partículas que poseen una energía mayor que la media del sistema previamente. Por lo tanto una mayor cantidad de partículas podrán comenzar a germinar y a poseer un radio mayor al radio crítico y por ende a formar nucleos.

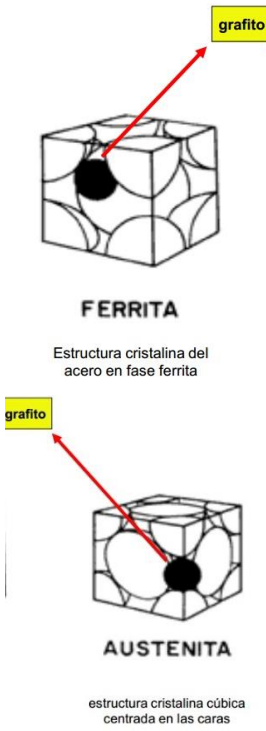
Por lo tanto tienen que darse las condiciones termodinámicas necesarias para que se produzca la nucleación y después el crecimiento de los granos de la nueva estructura.

El subenfriamiento favorece la nucleación pero en nuestro caso de aceros también influye otro factor importante:

Como se forma ferrita y cementita se requiere que ciertos atomos se desplacen de un lugar a otro, este desplazamiento se denomina difusión.

Por lo tanto los procesos de transformación de la austenita dependen de la **NUCLEACION**, la **DIFUSION** y del **CRECIMIENTO (tiempo de incubación y un tiempo de transformación)**

Como dijimos previamente las transformaciones pueden ser de forma isotérmica o con enfriamiento continuo. Analizaremos ambos casos:



Transformación con transformación isotérmica:

Para analizar esto en la práctica debemos tomar varias probetas de tamaño muy pequeño y calentarlas a todas en el mismo horno hasta superar la temperatura critica superior, las dejamos homogeneizar y obtendremos estuctuctas austeniticas.

Suponemos un acero eutectoide. Una vez que la temperatura se ha homogeneizado en todo el material procedemos a colocar las probetas a distintas temperaturas inferiores a A1.

Observaremos que todas las probetas enfriadas a distintas temperaturas resultaran con una estructura y propiedades diferentes.

Además, notaremos que la estructura de la probeta también depende del tiempo por lo que notamos que para una cierta temperatura existe un tiempo de incubación y un tiempo de transformación que varían con la temperatura.

Tiempo de incubación: Tiempo hasta que comienza la transformación.

Tiempo de transformación: Tiempo que demora en completarse el 100% de la transformación.

Las variables que explican las estructuras metalográficas, el tiempo de incubación y el tiempo de transformación son dos:

- **Difusión: Depende de la temperatura.** Se favorece con el aumento de la misma.
- **Nucleación** o fuerza impulsora de nucleación: Esta **nucleación depende principalmente del grado de subenfriamiento**, es decir, la diferencia entre la temperatura crítica superior y la temperatura de transformación. Se favorece con el aumento del grado de subenfriamiento.

Por lo tanto la difusión y la nucleación dependen de forma opuesta de la temperatura.

A altas temperaturas la difusión se ve favorecida mientras que el grado de subenfriamiento es bajo. Es decir, los atomos podrán reubicarse con mucha facilidad pero se carece de energía y por lo tanto la nucleación será muy lenta dando como resultado un tiempo de incubación y de transformación muy alto.

A temperatura media o temperatura de nariz de curva todavía existe difusión y el grado de subenfriamiento aumento por lo tanto el tiempo de incubación disminuye considerablemente.

A bajas temperaturas la nucleación se ve favorecida pero la difusión es tan baja que los átomos se reacomodan con lentitud por lo que el tiempo de nucleación y de transformación vuelve a aumentar.

En la figura se muestra la representacion del proceso. Generalmente el tiempo se encuentra en escala logaritmica.

Como dijimos previamente la austenita se desdobla en dos, ferrita y cementita. Ademas también dijimos que la estructura de las probetas austenitizadas era distintas dependiendo de la temperatura de transformacion isotermica.

Esto se debe a que la transformación de la austenitica puede ser regida por la cementita o por la ferrita.

Transformación de la ausentita en PERLITA:

A altas temperaturas tenemos una gran difusión por lo tanto el carbono se puede reacomodar con facilidad y originar laminas de cementita, por lo tanto se dice que **la cementita rige la transformación a altas temperaturas**. En este caso la ferrita se acomodara a la forma que adopte la cementita y **se obtienen estructuras PERLITICAS**.

La gran difusión le permite al carbono migrar y concentrarse en las zonas donde luego va a precipitar en forma de laminillas dentro del grano de austenita. La concentración siempre comienza en borde de grano. La ferrita que se forma entre las láminas de carbono se debe a que en esas zonas la austenita quedo con menor porcentaje de carbono, por lo tanto la austenita con menor contenido de carbono encerrada entre las láminas de cementita se convierte en ferrita.

Cabe destacar que el grano de perlita proveniente de un mismo núcleo siempre mantendrá sus láminas paralelas.

A altas temperaturas no tendremos tantos lugares de nucleación por lo que los granos de perlitas serán muy grandes pero la estructura será menos dura que una estructura de perlita con grano más fino. Se dice que tenemos **PERLITA GRUESA**

Al aumentar el subenfriamiento también obtendremos mayores lugares de nucleación de perlita y menor difusión por lo que tendremos más granos de perlita pero mucho más fina obteniendo una estructura mucho más dura. Se dice que tenemos **PERLITA FINA**.

Si disminuimos aún más la temperatura (Hasta llegar a la temperatura de la nariz de la curva) la laminilla es tan fina que ya no se puede observar al microscopio óptico. Esta estructura de perlita sumamente fina (láminas cortas y muy finas) se denomina estructura **SORBITICA**. Se forma **Sorbita**: es una mezcla de ferrita-carburica.

La transformacion se puede efectuar isotermicamente.

Transformación de la austenita en BAINITA:

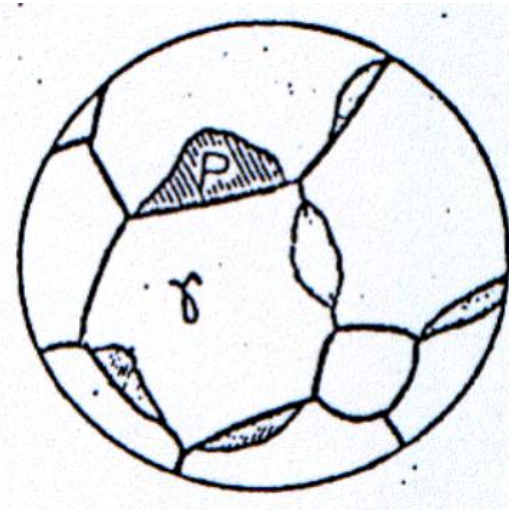
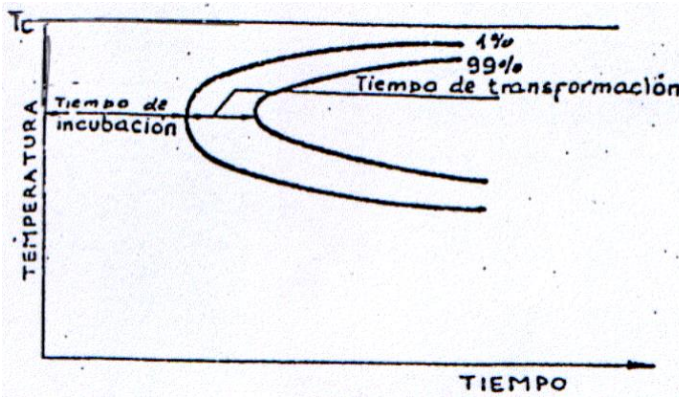
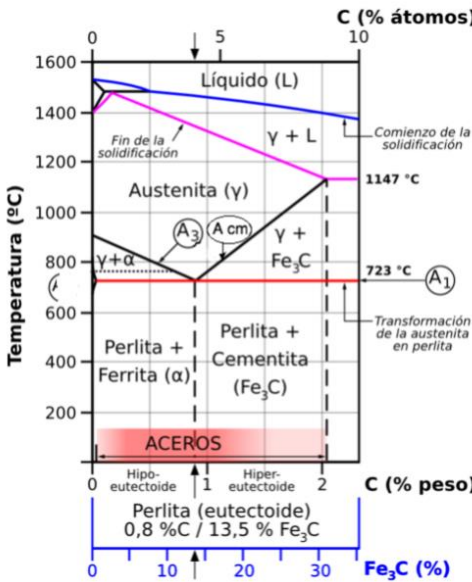
A bajas temperatura la difusión es muy baja y el carbono no se puede reacomodar con facilidad. El grado de subenfriamiento favorece la nucleación por lo que la ferrita se forma con mucha más facilidad, por lo tanto se dice que **la ferrita rige la transformación a bajas temperaturas** y **se obtienen estructuras BAINITICAS**.

En temperaturas inmedia inferiores a la de la sorbita la difusión es muy baja pero la **ferrita sobresaturada** de por lo que la estructura es levemente laminar, la difusión del carbono se ve muy dificultada pero termina precipitando porque la ferrita sobresaturada produce una tensión de sobresaturación y expulsa el carbono y da como resultado una **estructura laminar plumosa** y se denomina **BAINITA SUPERIOR**.

En temperaturas inferiores la difusión es nula. Por lo tanto el carbono no puede difundir absolutamente y predomina la formación de ferrita en 12 direcciones preferenciales. La ferrita formara agujas a 60 grados entre sí y el carbono precipitara por la tensión de sobresaturación sobre y dentro de la misma aguja.

Esta estructura se denomina **BAINITA INFERIOR**.

La transformacion se puede efectuar isotermicamente.





Transformación de la austenita en MARTENSITA:

Luego a menores temperaturas la difusión es completamente nula pero la fuerza de nucleación es tan grande que la transformación se realiza muy rápidamente dando como resultado **MARTENSITA**.

Al igual que en el caso de la **bainita fina**, la fuerza de nucleacion provoca que la austenita se transforme en **ferrita sobresaturada** pero a esta temperatura la sobretension de la ferrita tampoco puede expulsar el carbono, por lo tanto queda una estructura tensionada con carbono intersticial y se forma una **estructura inestable tetragonal** denominada **MARTENSITA**. Se forma **SIN NUCLEACION y SIN INCUBACION**.

Como **la estructura esta tensionada ahora tiene un estado de energia mayor y para que la transformacion siga progresando debemos compensar con un enfriamiento mayor**, es decir, es **necesario un enfriamiento continuo**.

Tiene una estructura similar a la ferrita saturada de C solo que esta vez no puede expulsar el carbono, por lo tanto termina formando una estructura tensionada con carbono intersticial que le brinda una elevada dureza y una elevada resistencia mecanica.

Cabe destacar que la ferrita es el constituyente mas blando pero cuando esta sobretensionada con carbono instersticial se convierte en la mas dura y resistente.

La transformacion no se puede efectuar isotermicamente.

La temperatura de inicio de transformacion Ms depende de la composicion y no depende de la velocidad de enfriamiento.

La temperatura de final de transformacion Mf depende de la velocidad de enfriamiento, si detengo la transformacion a la mitad la austenita remanente se estabilizara y puedo llegar a necesitar un subenfriamiento tan grande para retomar la transformacion que Mf puede quedar por debajo de la temperatura ambiente. Tambien hay otros factores que pueden estabilizar la austenita, como los aleantes.

Curvas de transformacion de los aceros – Curvas TTT (Tiempo, Temperatura, Transformacion)

Consideramos **Aceros eutectoides**:

La curva TTT se arma de acuerdo los resultados de estructura obtenidos de las muchas probetitas que se estudiaron de forma isotermica a distintas temperaturas. Se puede obtener:

- Perlita gruesa
- Perlita fina
- Perlita sorbítica
- Bainita superior
- Bainita inferior
- Martensita.

Caso de **Aceros no eutectoides**:

En el caso de los aceros no eutectoides, para velocidades de enfriamientos “lentas”, obtendremos precipitacion de constituyentes proeutectoides.

Analisis de las curvas TTT

La linea punteada representa el 50% de la transformacion.

Las curvas dependen de la temperatura y del tiempo. Pero ademas, se suele agrega otro eje del lado derecho el cual indica la dureza de la probeta una vez que se completa el 100% de la transformacion.

Esta curva nos indica a que temperatura se debe mantener isotermicamente para lograr una dureza especifica.

Cabe destacar que los temples a para disminuir la temperatura se realizar siempre mediante un baño isotermico

Tambien nos indica qué velocidad hay que enfriar previo a la transformación y si es posible la transformación.

Por ejemplo, en una curva sin nariz puede sufrir transformaciones previas no deseadas.

Las curvas nos ayudan a buscar una velocidad de enfriamiento adecuada para mantener la austenita retenida y lograr la transformacion deseada, ademas nos da informacion acerca de cuanto tiempo debe permanecer la probeta a esa temperatura para lograr el % de transformacion deseada.

Influencia de los elementos de aleación en el proceso:

Los aleantes que se **disuelven en austenita** provocan una **ESTABILIZACION** de la **AUSTENITA**, por lo tanto, retrasan la descomposicion de la misma y **alargan el tiempo de incubacion** (Disminuyendo la velocidad critica de temple, es decir, la velocidad que corta por la curva de la nariz). Ademas **OBSTACULIZAN LA DIFUSION** en la austenita. Como se dificulta la descomposicion entonces se dificulta la formacion de Bainita y se separan los vertices de perlita y bainita.

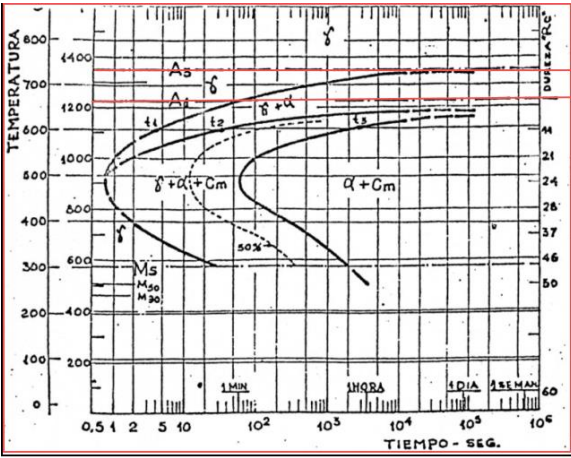
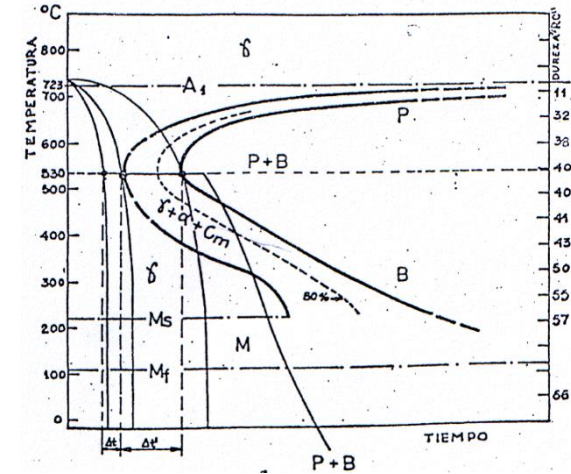
Los aleantes que se **disuelven en ferrita** provocan una **ESTABILIZACION** de la **FERRITA**, por lo tanto, acortan los tiempos de incubacion y de transformacion. Se dice que son catalizadores y esto provoca que la transformacion tambien se realice a mayores temperaturas, es decir, el ttt se desplaza hacia arriba. **Aumentan la difusion en austenita, la consecuencia de esto es que tambien aumenta la tendencia de formacion de carburos**, los cuales pueden impedir la separacion del carbono puro y por lo tanto aumentar el tiempo de transformacion de Bainita por la disminucion de fuerza de tension de sobresaturacion.

Uno de los pocos componentes que se disuleven en ferrita es el **cobalto**. Ademas el bajo contenido de carbono puede provocar que la curva TTT no tenga nariz y por ende no se pueda templar.

Si hay elementos **aleantes formadores de carburos** (Como el cromo) estos **retardaran el tiempo de transformacion**.

Las **Impurezas insolubles benefician a la germinacion, por lo que favorecen la velocidad de transformacion y la curva se desplazara hacia la izquierda**.

El tamaño de grano tambien influye, si **el tamaño de grano es pequeño** entonces **disminuira el tiempo de incubacion y el tiempo de transformacion**.



Accion sobre el diagrama de equilibrio:

Si la austenita se estabiliza entonces el tiempo de transformacion se retrasa pero tambien se producira a menor temperatura, es decir que se necesitara un mayor subenfriamiento. Por lo tanto, el punto eutectoide se desplazara hacia abajo y hacia la izquierda. (Hacia la izquierda pq al agregar masa aleante el contenido de carbono en masa disminuye).

Si la ferrita se estabiliza entonces tendremos mayor area de ferrita + austenita, lo que provoca una reduccion del area de austenita como solucion solida. Por lo tanto el punto eutectoide se desplazara hacia arriba y hacia la derecha.

Por lo general toda estructura se vuelve estable a temperatura menores que la de su formacion.

Acción sobre el diagrama de equilibrio

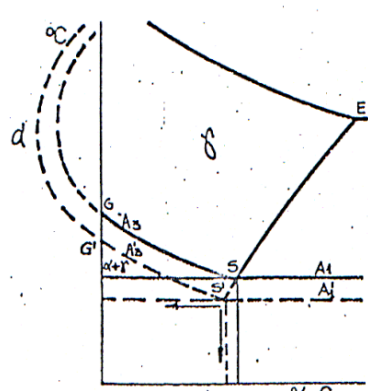


Fig. 11

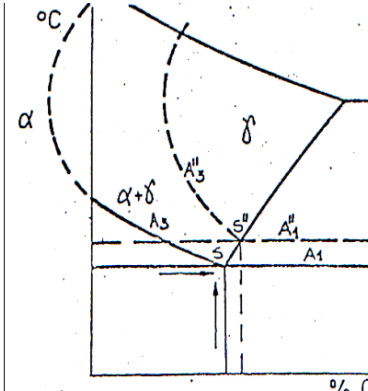


Fig. 11

Tratamientos térmicos isotérmicos y continuos:

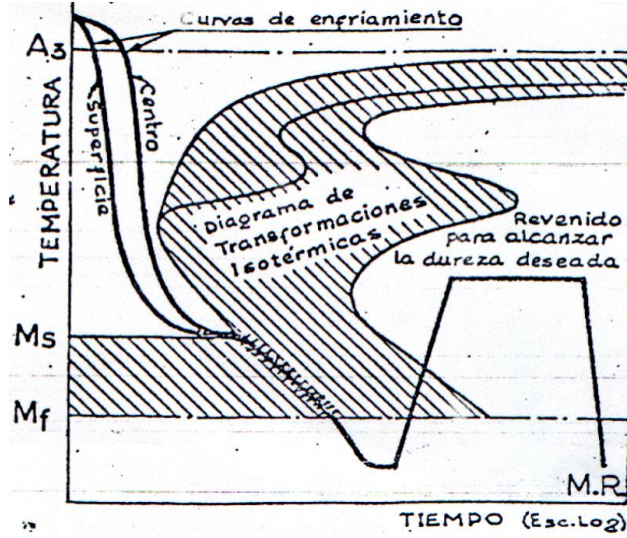
Enfriamiento Continuo:

Para realizar un temple continuo se debe calentar la pieza (Por lo general a 100°C/Hora) por encima de la temperatura crítica superior y luego enfriar con una velocidad mayor o igual a la velocidad critica. Se define como velocidad critica a la velocidad minima que se debe tener para poder retener la austenita y lograr un temple, es la curva de velocidad que corta por la nariz de la curva TTT sin transformaciones previas.

Una vez templada se le da un ligero calentamiento que se define “REVENIDO”.

Un problema del templado a una velocidad muy alta son las tensiones internas. Esto es debido a que la superficie se enfría más rápido que el centro de la pieza y este desfase de temperaturas produce una contracción que se produce por enfriamiento, por lo tanto se producen muchas tensiones en la pieza. Recordamos que los metales aumentan su tamaño a altas temperaturas y disminuye a bajas temperaturas.

Una forma de disminuir este efecto es aplicar un MARTEMPERING.



El martempering consiste en enfriar la pieza con una velocidad superior a la crítica hasta una temperatura superior a la crítica Ms, dejar durante un tiempo para que pueda homogeneizar la temperatura en toda la pieza. Luego realizamos el temple en un medio no tan brusco por lo que ya no será tanta la diferencia de temperatura y las tensiones producidas por la contracción de la superficie se verán disminuidas. El temple debe tener una velocidad suficiente para que no quede martensita retenida a temperatura ambiente

Luego se practica un revenido para aliviar las tensiones de la superficie.

Austempering:

Consiste en transformar la austenita en forma isotérmica para obtener bainita. Las propiedades de tenacidad y resistencia a la fatiga que se obtienen son superiores a las producidas con una martensita revenida de la misma dureza. No suele ser necesario un revenido.

Tratamientos térmicos VOLUMETRICOS:

Siempre se caliente la pieza a una velocidad continua hasta lograr una temperatura superior a A3 en el caso de los hipoeutectoides, superior a A1 en aceros eutectoides y levemente superior a A1 en aceros hipereutectoides.

Destacamos que en el caso de los hipereutectoides es levemente superior a A1 ya que solo buscamos globulizar la cementita para durante el enfriamiento y no se forme una red de cementita frágil. Se denomina austenizacion parcial.

Además la disolución de los mismo dependerá de los aleantes estabilizadores de carburos como el cromo o el titanio.

Recocido:

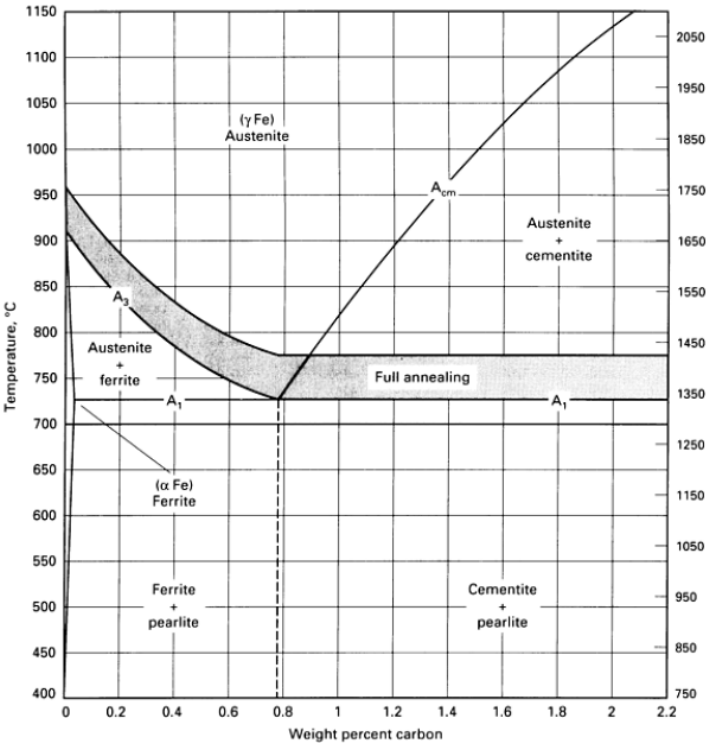
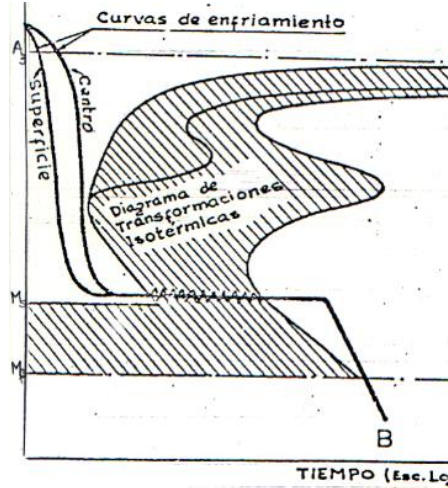
Se define como recocido al calentamiento de la pieza por encima de la temperatura de cambio de fase con un enfriamiento posterior a muy baja velocidad, generalmente dentro del mismo horno a 20°C/hora. Despues del recocido se tiene baja dureza y baja resistencia. Durante el recocido se produce una re cristalización, el crecimiento de cristalitos en los bordes de granos evita que los granos posteriormente deformados sigan creciendo, por lo tanto provoca un afinamiento de grano y elimina la estructura Widmanstatten del acero. Esta estructura tiene forma de agujas y es típica de aceros en bruto de colada, produce mucha fragilidad.

Es útil para recuperar ductilidad. \*Recocido = Annealing

Recocido total hipercrítico de austenización completa: Suponemos un acero hipoeutectoide y elevamos la temperatura solo 50°C por encima de ac3, no se debe elevar más para no producir un crecimiento de grano excesivo ya que aumenta el tiempo de transformación.

Por lo general el recocido se divide en 3 etapas:

- Recuperación: El primer calentamiento recupera sus propiedades físicas como la conductividad térmica y eléctrica, pero no sus propiedades mecánicas.
- Recristalización: En esta etapa comienza el crecimiento de nuevos granos en los bordes de grano del material que fue trabajado en frio, además se alivian las tensiones y disminuye la dureza. Los granos posteriores no crecen porque los nuevos granitos impiden su crecimiento





- Crecimiento de grano: Los granitos crecen hasta lograr un tamaño de grano homogéneo.

**Recocido Isotérmico:**

Se prefiere un recocido isotérmico debido a que es más rápido que un recocido normal. En este tratamiento la pieza se enfría rápidamente hasta una cierta temperatura manteniéndola constante durante el tiempo que tarde la transformación y luego se puede enfriar hasta la temperatura ambiente en la forma deseada porque la transformación ya se completó.

Es muy útil para aceros aleados y para obtener una dureza específica con una estructura bastante homogénea.

A diferencia del recocido final puede llegar a producirse un tensionado por enfriamiento rápido por lo que no se debe exagerar con la velocidad de enfriamiento previa a la transformación y suele ser útil para piezas pequeñas, como en el caso del temple.

Además recordamos que la escala de tiempo de las curvas TTT suele ser en escala logarítmica por lo que la disminución de tiempo en ese rango de abscisas es significativa.

**Patentado:** Es un **Tratamiento isotérmico**, Se realiza para la producción de alambres de alta resistencia en aceros al carbono denominados **“CUERDA DE PIANO”**.

Se austeniza el material y luego se temple a 600-450°C, luego se mantiene la temperatura para formar **SORBITA**. La sorbita destaca por su excelente plasticidad.

Esto permite poder realizarle un trefilado y por ende otorgarle dureza mediante la deformación en frío. La resistencia viene dada porque la sorbita es una mezcla de ferrita-carburica, por lo tanto al sufrir deformación en frío aumenta considerablemente su dureza.

**Recocido incompleto - Recocido de esferoidización o de globulización:**

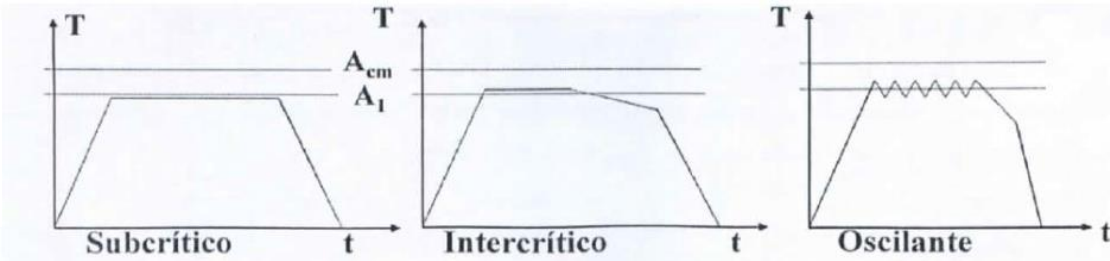
Se utiliza en aceros de más de 0,4%C

A diferencia del recocido total, esta vez se mantiene la temperatura +- 50°C de A1 o se la hace oscilar por temperaturas levemente superiores e inferiores a A1, y luego se enfria muy lentamente. En caso de superar los 50° por encima de A1 el carbono tendera a disolverse a tal punto de llegar a formar laminas en vez de globulos. Este recocido destaca por el nivel de ablandamiento que se logra ya que produce una **GLOBALIZACION DEL CARBONO** de la perlita. Este nivel de ablandamiento es útil cuando se busca deformar el material para formar láminas o estampados, pero no es útil para mecanizar ya que el material se comporta pastoso.

Los siguientes ciclos térmicos usados en recocidos de esferoidización:

**Clasificación:**

- Subcrítico:  $T = A_1 - 50^{\circ}\text{C}$ .
- Intercrítico-hipercrítico de austenización parcial:  $T = A_1 + 50^{\circ}\text{C}$ .
- Oscilante: la temperatura oscila varias veces entre  $A_1 - 50^{\circ}\text{C}$  y  $A_1 + 50^{\circ}\text{C}$ .



**La deformación plástica en frío produce un aumento en la difusión del material y también crea quiebres en las láminas de perlita que favorecen la esferoidización**

En el recocido intercritico y el recocido oscilante se deberá efectuar un enfriamiento lento para una superficie tensionada, en el recocido subcritico no hace falta un enfriamiento lento ya que no proporciona cambios en la fase, pero se debe tener cuidado con

**Velocidad de esferoidizacion:** Se ve favorecida en  $T = A_1$

- El carbono aumenta su solubilidad en austenita en comparación con la ferrita (Cuando esta en perlita), por lo tanto se esferoidiza
- Hay mayor energía de interfase austenita/cementita.

**Velocidad de enfriamiento: 6°C/Hora**

En los aceros hipereutectoides el recocido incompleto se emplea en lugar del recocido total debido a que se busca la esferoidizacion de la cementita localizada en bordes de grano.

**El recocido subcritico de ablandamiento o de alivio de tensiones:**

Tiene como objetivo eliminar o aliviar las tensiones internas que aparecen por mecanizado o mecanizado en frío.

El proceso consiste en **calentar el acero a una temperatura inferior a Ac1** pero lo más cerca posible a ésta y enfriar lentamente. **Es útil para prevenir la corrosión bajo tensión** y optimizar algunas propiedades físicas.

**Recocido contra acritud:** Su objetivo es aumentar la ductilidad de POCO CONTENIDO DE CARBONO. Con este recocido de destruyen las agujas alargadas de ferrita que se producen por el trabajado en frío en aceros destinados a chapa o alambre.

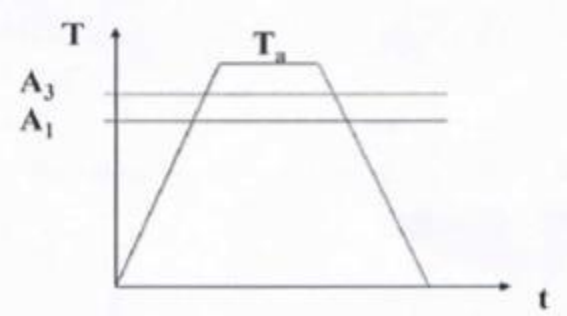
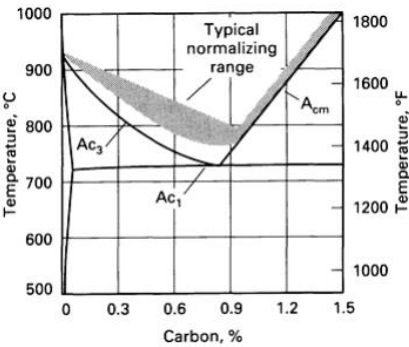
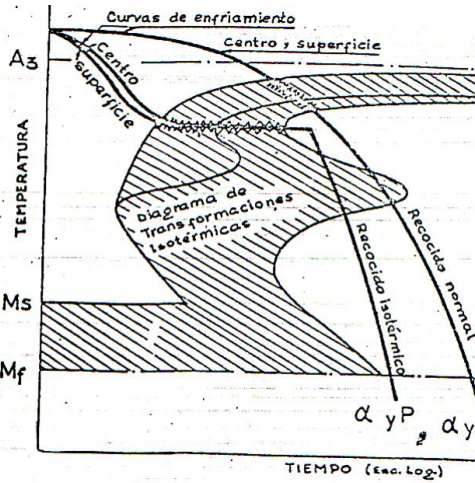
**Recocido de homogeneización:** Cuando los granos del policristal tienen un gradiente de composiciones (el componente de mayor punto de solidificación se encuentra en su mayoría en el centro de cada granito y el otro en la periferia). Para conseguir una estructura homogénea se recurre un recocido de solubilidad parcial, es decir que se calienta el material hasta temperatura cercana a la solvus.

**NORMALIZADO DEL ACERO**

Se realiza a velocidades de enfriamiento más altas que en un recocido por lo que obtenemos como resultado una estructura de perlita mucho más fina, especialmente útil para piezas deformadas en frío ya que al afinar el grano aumenta levemente la dureza y la resistencia, pero también reduce la posibilidad de formación de grietas por tensiones internas. Con un normalizado se obtiene una estructura de perlina fina laminar lo cual facilita el mecanizado.

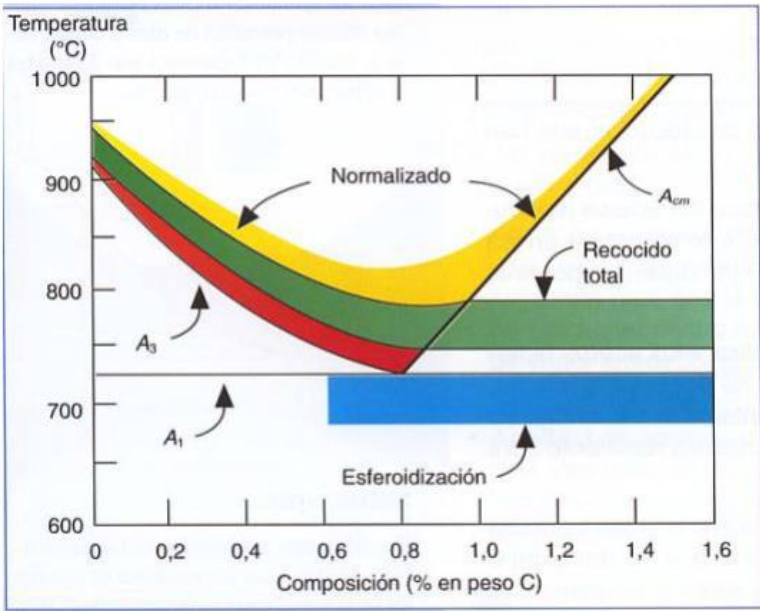
La perlita fina se forma debido a la formación de nuevos granos de perlita en las zonas de trabajo en frío.

El normalizado se aplica principalmente a los aceros al carbono y de baja aleación, de hecho para aceros de baja aleación se utiliza el normalizado en lugar de un recocido por la facilidad del mismo en estos tipos de aceros (Recordamos que en estos aceros las curvas TTT se desplazan hacia la izquierda). El rango de temperaturas depende del contenido de carbono. Para los aceros hipoeutectoides la temperatura debe pasar el punto crítico A3, de 50° a 80°C. Para los aceros hipereutectoides, el rango de temperatura es más extenso y varía entre 50°C por encima de A1 y algunos grados por encima de Acm. En todos los casos el enfriamiento se realiza al aire, es un enfriamiento lento pero es más rápido que en el caso de un recocido.



En los aceros de alto carbono el normalizado se aplica únicamente para eliminar la red de cementita.

Resumen y diferencias graficas entre recocido total, recocido de esferoidizacion y normalizado.



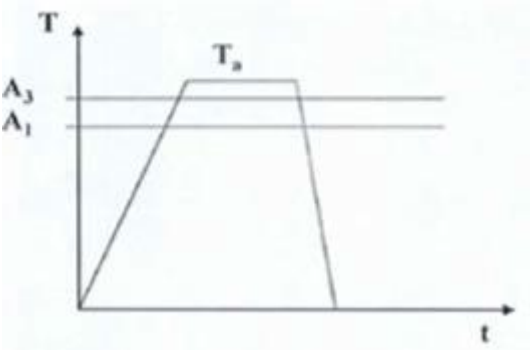
TEMPLE DIRECTO

Consiste en enfriar rápidamente desde el estado austenítico, de modo de suprimir en lo posible las transformaciones de fase por procesos térmicamente activados y lograr **microestructuras de tipo acicular**, microestructuras donde el micro constituyente principal sea ferrita en forma de agujas, como en la bainita.

**La velocidad crítica de temple:** mínima velocidad de enfriamiento en un punto que asegura la obtención del 100% de martensita. Es una propiedad característica del acero, es la corta por la nariz de la curva TTT.

Se define como TEMPLABILIDAD a la capacidad de una aleación para transformarse en martensita cuando se temple una pieza.

En los ensayos se utilizan medidas de dureza para determinar la extensión de la transformación martensítica en el interior de una probeta. Por lo tanto un error muy común es pensar que la templabilidad es dureza, pero templabilidad NO ES DUREZA. Es la capacidad para transformarse en martensita.



El temple directo es aparentemente simple, pero en la práctica pueden aparecer problemas difíciles de resolver tales como distorsiones, cambios dimensionales y fisuras debido a las tensiones internas por el cambio volumétrico con el cambio de temperatura.

Recordamos que un metal a alta temperatura se expande mientras que un metal a baja temperatura se contrae, por lo tanto, la austenita superficial que se enfría inicialmente sufre una compresión mientras que la austenita en el centro mantiene su volumen, por lo tanto se producen tensiones externas de compresión y tensiones internas de expansión. Esta gradiente de tensiones puede llevar al material a sufrir fracturas o fisuras, si el temple es muy agresivo en piezas de gran tamaño puedo incluso llevarnos a la fractura del elemento.

Por esta razón se aplica el **MARTEMPERING**. Explicado mas arriba.

En el MARTEMPERING la transformación de la austenita en martensita se produce durante el relativamente lento enfriamiento al aire, y como el gradiente de temperatura característico del temple clásico no existe, la superficie y el núcleo terminan de enfriarse a las mismas velocidades, formándose martensita casi simultáneamente en toda la sección y reduciendo considerablemente las tensiones internas.

Los aceros adecuados para el martempering deben ser suficientemente templables, por lo tanto los aceros aleados suelen ser los ideales para este tipo de temple.

**AUSTEMPERING:** El objetivo principal es aumentar la resistencia al impacto y la ductilidad del acero reduciendo las distorsiones y la posibilidad de formación de grietas o fisuras. Además, aumenta si resistencia a la fatiga.

**Las ventajas del austempering** respecto a los tratamientos clásicos de temple y revenido, como la transformación bainítica tiene lugar en forma isotérmica a una temperatura relativamente alta, es que las tensiones internas propias de la transformación son muy pequeñas y no existen microfisuras, como en el temple, por esta razón aumenta sus resistencia a la fatiga, recordamos que las fisuras se expanden rápidamente cuando se fatiga el material.

Teóricamente es muy bueno, pero en la práctica es muy complicado de conseguir.

TEMPLE SUPERFICIAL

**OCURRE CUANDO LO QUE QUEREMOS OBTENER ES DUREZA EN LA PERIFERIA y UN NUCLEO TENAZ.**

Se trata entonces de calentar la superficie y luego enfriarla rápidamente, de esa manera se obtiene una importante dureza superficial, conservando un núcleo tenaz.

Puede realizarse a la **LLAMA, POR INDUCCION (Exponer el material ante un campo magnético, además existen corrientes de Foucault), LASER (Por choque, microfusion), FORMACION DE ALEACIONES EN LA SUPERFICIE, RECUBRIMIENTOS**

REVENIDO:

Es un tratamiento subcritico (Por debajo de  $A_1$ ). Su principal función es reducir tensiones, ablandar levemente el material con el objetivo de aumentar la tenacidad luego de un sometimiento al temple. Le otorga más estabilidad a la estructura.

Se debe tener cuidado con la temperatura de revenido ya que si hay aleantes ya que a altas temperaturas se pueden formar carburos.

EDURECIMIENTO POR PRECIPITACION:

Se aplica a los materiales que en su diagrama de equilibrio tienen solución sólida con disminución de la solubilidad parcial en estado sólido.

Se busca calentar la aleación para solubilizar y luego se enfría bruscamente para retener la **fase blanda alfa**, la pieza solo se debe someter a un ligero calentamiento para que solo se lleguen a formar gérmenes que no lleguen a ser nucleos pero que distorcionan el retículo cristalográfico y aumentan su dureza sin producir interfaz (caso contrario al de la formación de carburos)

No se debe calentar demasiado porque si no comienza la nucleación de una segunda fase.

