



FACULTAD
DE INGENIERÍA

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO

Dr. Ing. Claudio A. Careglio

Plan de la presentación

1. Introducción
2. Tratamientos térmicos
3. Tratamientos térmicos de aceros
4. Recocido
5. Normalizado
6. Temple directo
7. Revenido
8. Martempering
9. Austempering
10. Patentado
11. Otros tratamientos térmicos

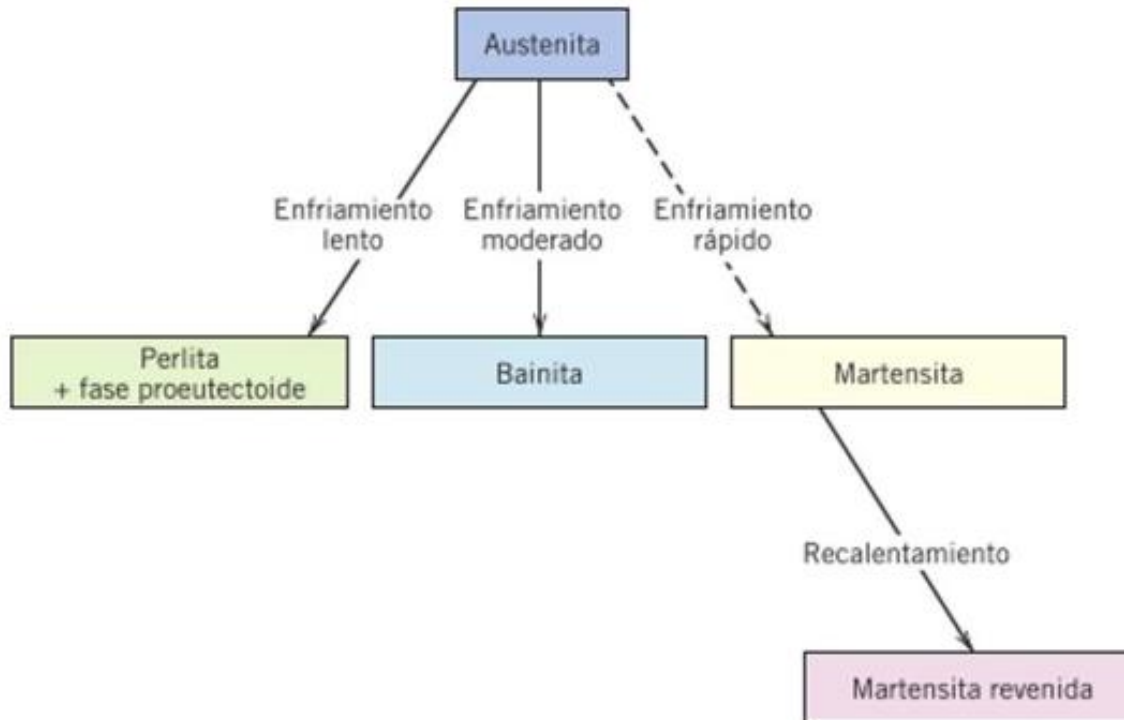
Introducción

- ¿Por qué estudiar los tratamientos térmicos en los aceros?
 - Los tratamientos térmicos permiten modificar la microestructura del acero para ajustar sus propiedades mecánicas (dureza, resistencia, tenacidad y ductilidad) según el uso que se le dará.
 - Gracias a ellos, un mismo acero puede adaptarse a diferentes exigencias, sin cambiar su composición química, pudiéndose emplear en una gran diversidad de aplicaciones.



Introducción

- Recordemos que:



Microconstituyente Fases presentes

Esferoidita Ferrita α + Fe_3C

Perlita gruesa Ferrita α + Fe_3C

Perlita fina Ferrita α + Fe_3C

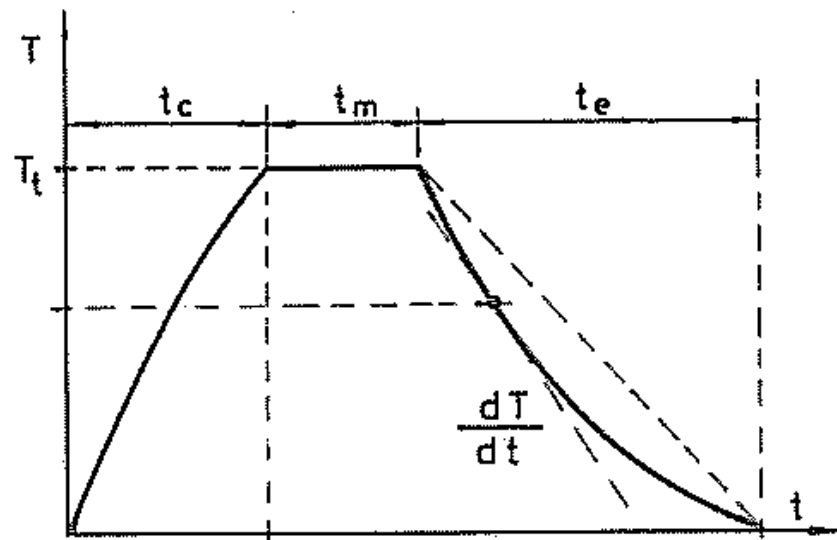
Bainita Ferrita α + Fe_3C

Martensita revenida Ferrita α + Fe_3C

Martensita Monofásico/a,
tetragonal centrado/a
en el cuerpo

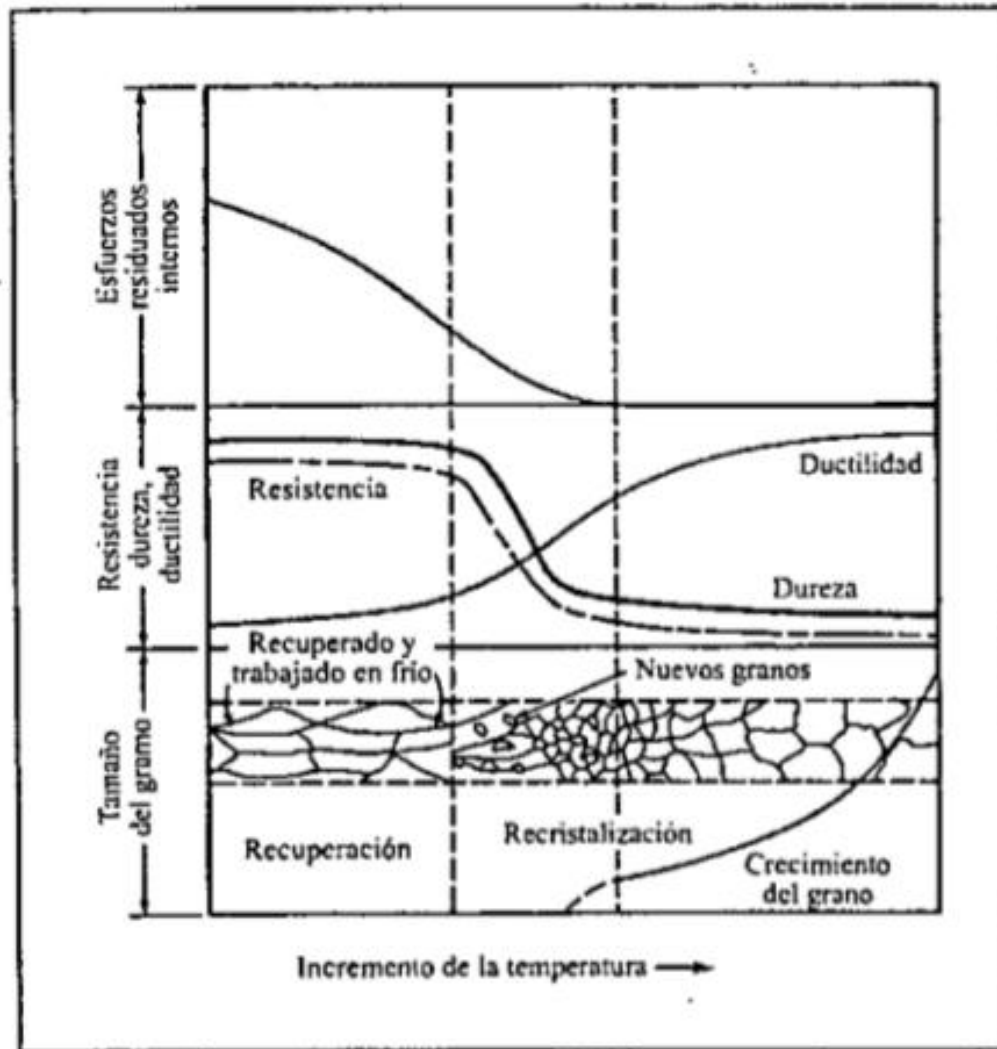
Tratamientos térmicos

- Un tratamiento térmico consiste en una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento aplicadas a una aleación en estado sólido, realizadas en un determinado medio, que tiene por objeto la regeneración o modificación de la microestructura cristalina y el cambio e algunas propiedades físico-mecánicas, en forma total o parcial.
- Los tratamientos térmicos se caracterizan por sus ciclos térmicos, que representan las variaciones de temperatura en función del tiempo. Los parámetros fundamentales son:



Tratamientos térmicos

- Recuperación, recristalización, crecimiento



Tratamientos térmicos

- Formas de llevarlos adelante:
 - Por enfriamiento continuo:
 - La variable fundamental del proceso es la velocidad de enfriamiento (se controla la rapidez con que desciende la temperatura)
 - Isotérmicamente:
 - La variable principal es la temperatura del proceso en la cual se realizan las transformaciones buscadas (se mantiene constante la temperatura de transformación)
- Asimismo, según su alcance pueden ser:
 - Volumétricos
 - Superficiales

Tratamientos térmicos de aceros

- Los tratamientos que:
 - Abarcan un cambio en toda el volumen de la pieza tratada:
 - Se basan en la transformación que sufre la austenita como producto del cambio alotrópico que del hierro.
 - Abarcan un cambio en la superficie de la pieza tratada:
 - En algunos caso se fundamentan en el principio anterior.
 - En otros, en un cambio de la composición química superficial
- Tratamientos empleados en la industria (ejemplos):

1

Enfriamiento Continuo

- Recocidos
(austenización completa, subcríticos, etc)
- Normalizado
- Temple y revenido
(total, interrumpido, superficial)

2

Isotérmicos

- Recocido isotérmico
- Patenting
- Austempering

3

Termoquímicos

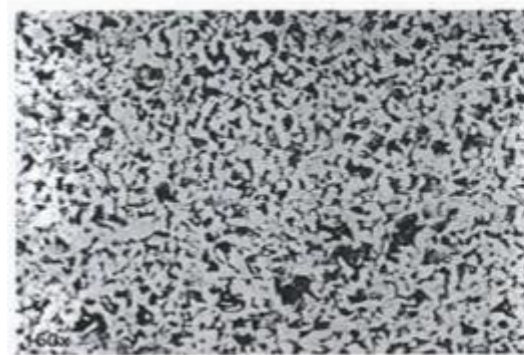
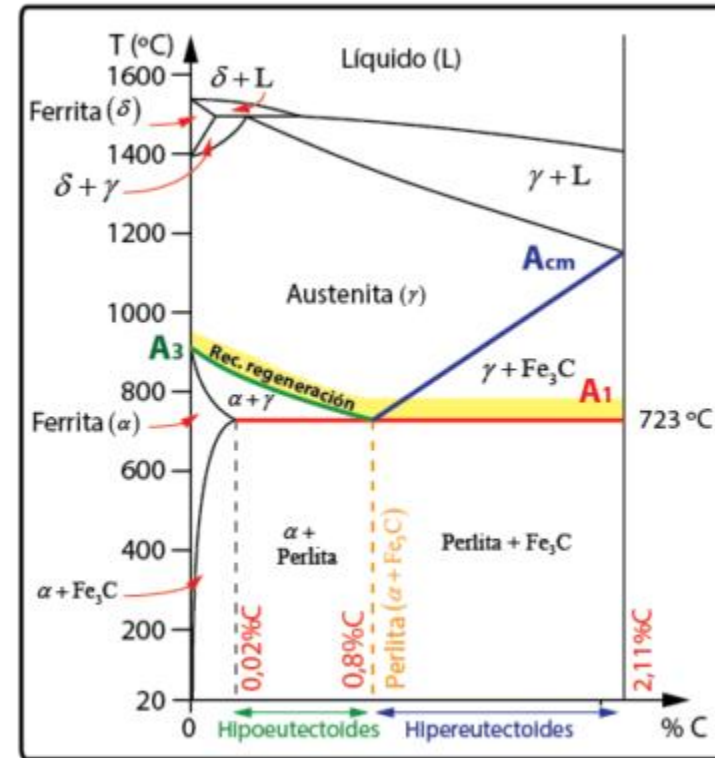
- Carburación o cementación
- Carbonitruración
- Nitruración
- Sulfinización

Recocido

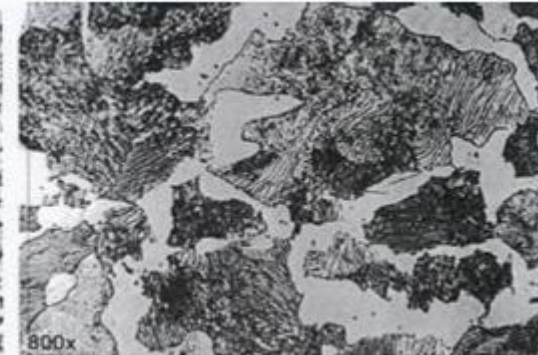
- Objetivo principal de este grupo de tratamientos térmicos:
 - Ablandamiento y obtención de microestructuras uniformes (cercanas a las de “equilibrio” como aparecen en el diagrama Fe-Fe₃C)
 - Es decir, se busca disminuir la energía libre del sistema->un estado más estable del acero
- ¿Por qué se hace necesario?
 - En la fabricación de piezas de acero, éste sufre calentamientos a temperaturas de 900°C a 1100°C para la forja y más de 1500°C para el moldeo.
 - El enfriamiento posterior, en general sin control riguroso, da por resultado un acero de estructura irregular, con crecimiento anormal del grano, endurecimientos localizados y tensiones internas
 - Estas irregularidades o defectos se subsanan mediante el recocido:
 - Consiste en calentar el metal hasta temperaturas específicas, mantenerlo el tiempo suficiente y enfriarlo lentamente.
 - Recocidos: función de la composición química, deformación previa, etc.

Recocido total, o completo, o de regeneración

- Para reblandecer el acero, obteniendo una ductilidad mayor. Así se consigue un material más apto para procesos de deformación plástica o mecanizado.
- Enfriamiento es muy lento, dentro del horno, obteniendo una microestructura con perlita gruesa.
- Temperatura de tratamiento:
 - En aceros **hipoeutectoides**: se encuentra alrededor de 50°C por encima de la temperatura A3.
 - En aceros **hipereutectoides**:
 - El tratamiento se aplica unos 50°C por encima de la temperatura crítica inferior (A1).
 - Así, se evita calentar por encima de Acm (provocaría la precipitación de cementita alrededor de los bordes de grano durante el enfriamiento, aportando fragilidad).



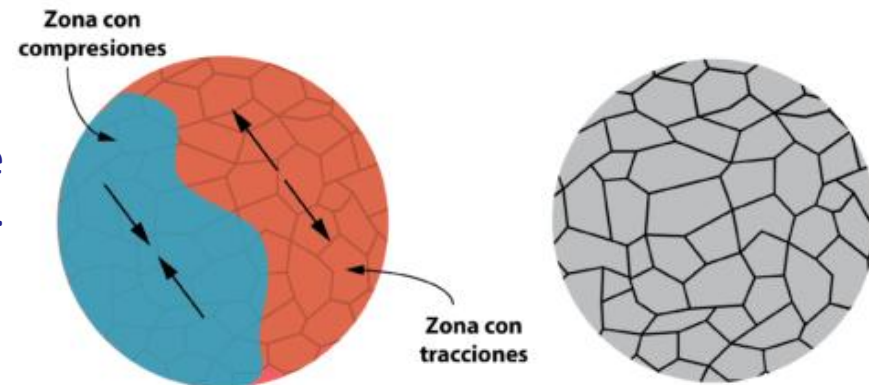
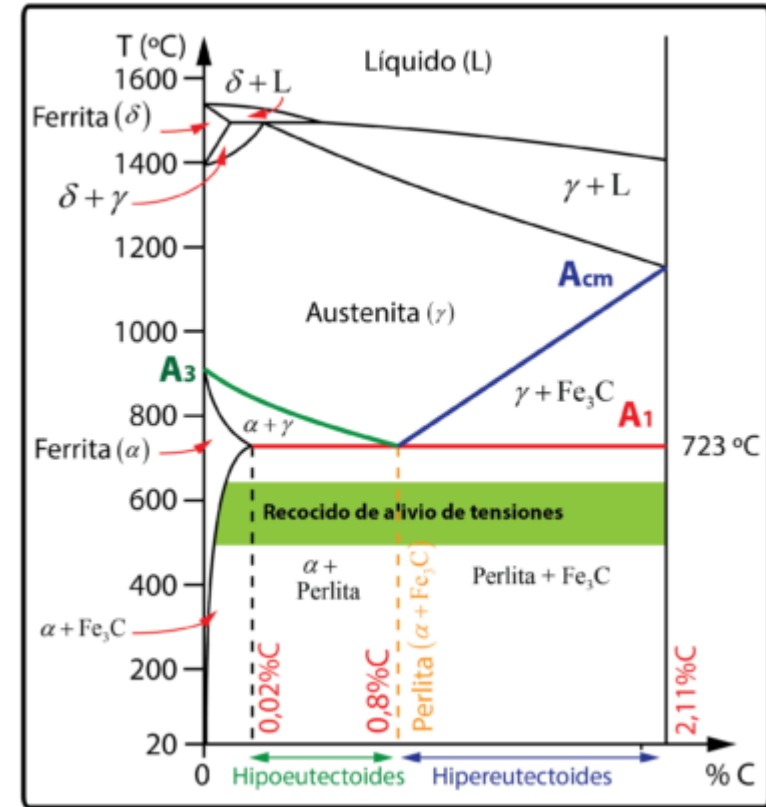
a) Acero recocido 0,3%C



b) Acero recocido 0,3%C

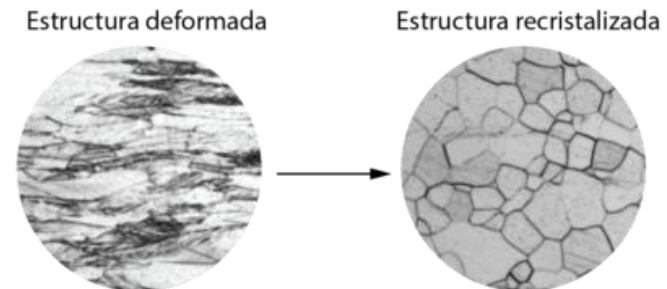
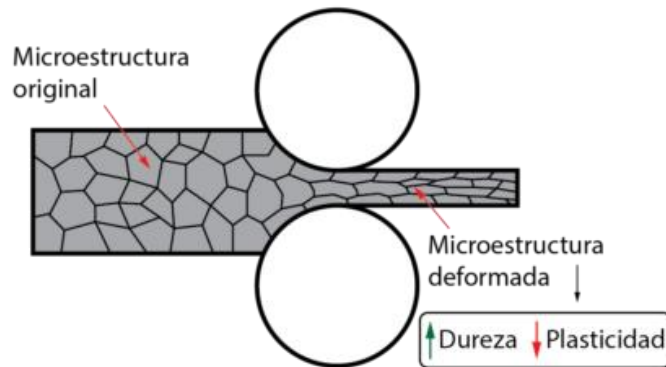
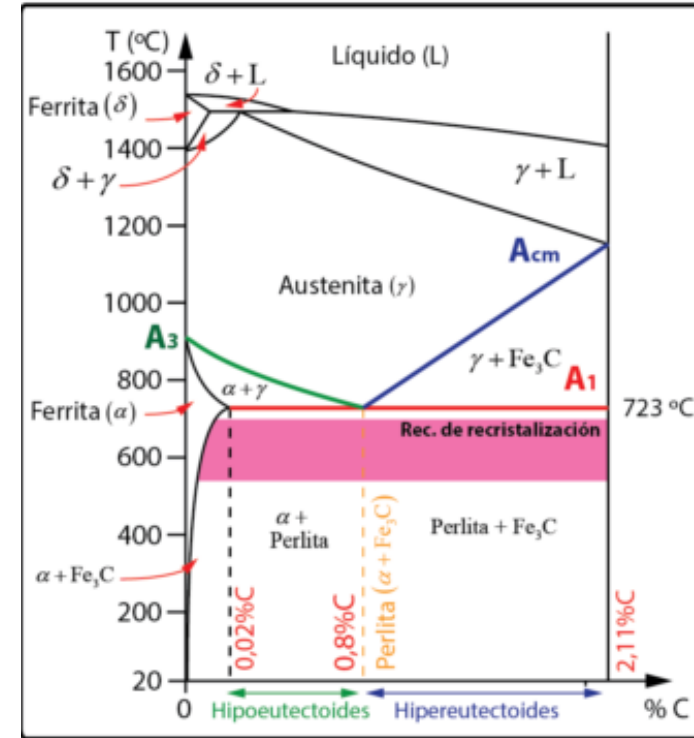
Recocido de alivio de tensiones

- Permite eliminar tensiones internas que pueden generar distorsiones geométricas en las piezas.
- Para ello, la pieza se calienta hasta a temperatura uniforme y finalmente, se enfría al horno o al aire hasta temperatura ambiente.
- La temperatura de recocido es relativamente baja (prevenir efectos de la deformación por enfriamiento y no afectar otros tratamientos térmicos).
- Tensiones internas producidas por:
 - Procesos de deformación plástica (ej: mecanizado, estampado);
 - Enfriamiento no uniforme de una pieza que se ha procesado o conformado a una temperatura elevada (ej: soldadura, moldeo)
 - Transformación de fases por enfriamiento (fase original y generada con diferentes densidades).



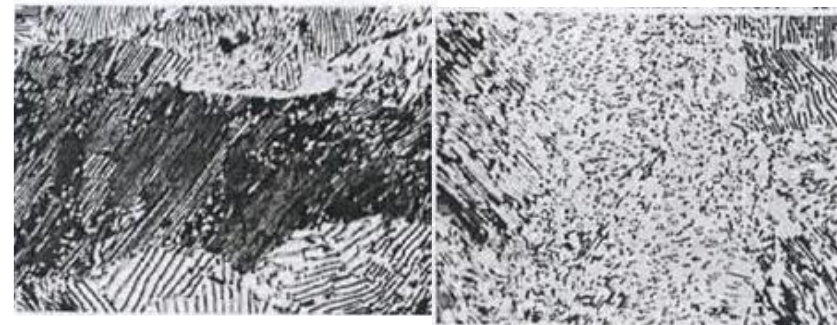
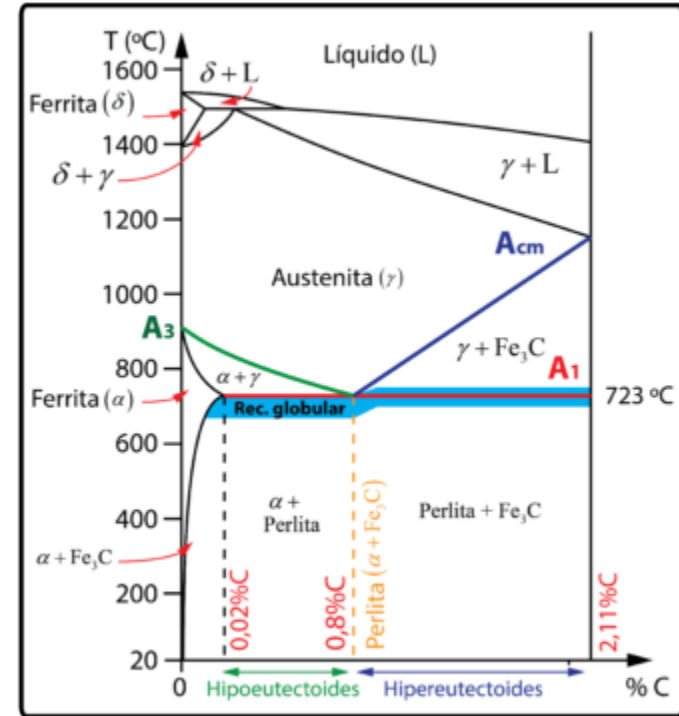
Recocido de recristalización

- Este tratamiento elimina los efectos de la deformación, mediante la recristalización de la microestructura (se , generando nuevos granos equiaxiales).
- El tratamiento se realiza entre 600-700°C, seguido de un enfriamiento lento y sin producir un engrosamiento del tamaño de grano debido a tiempos de tratamiento excesivos.
- Tratamiento muy utilizado entre etapas de conformado por deformación en frío
 - Proceso de deformación en frío produce un aumento de la acritud por la deformación de los granos
 - Gracias a este tratamiento es posible alcanzar mayores valores de deformación.



Recocido de esferoidización o recocido globular

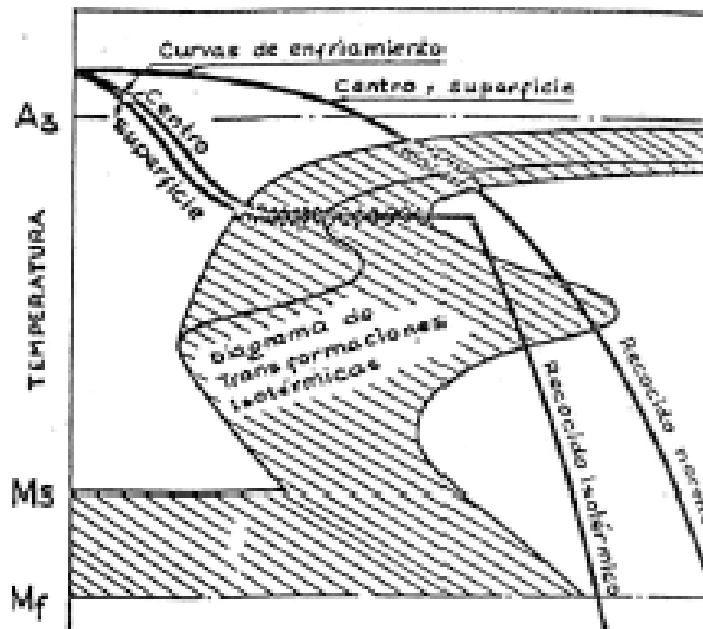
- Generalmente los aceros con medio y alto en C tienen una microestructura consistente en perlita gruesa (inconveniente para el mecanizado y para la deformación plástica).
- Someter a un tratamiento de recocido para conseguir una microestructura esferoidizada o globulizada.
 - Se produce coalescencia de la Fe_3C para formar las partículas de esferoides.
 - Dureza mínima y máxima ductilidad, siendo fácilmente mecanizables o deformables.
 - Varios métodos:
 - Calentando la aleación justo por debajo del eutectoide (A_1).
 - Calentando por encima A_1 , y enfriando muy lentamente en el horno o manteniendo el acero a una temperatura justo por debajo de la temperatura eutectoide.
 - Calentando y enfriando alternativamente en un rango de aproximadamente ± 50 °C de A_1



a) Esferoidización de un acero de 0,8% C a 650 °C

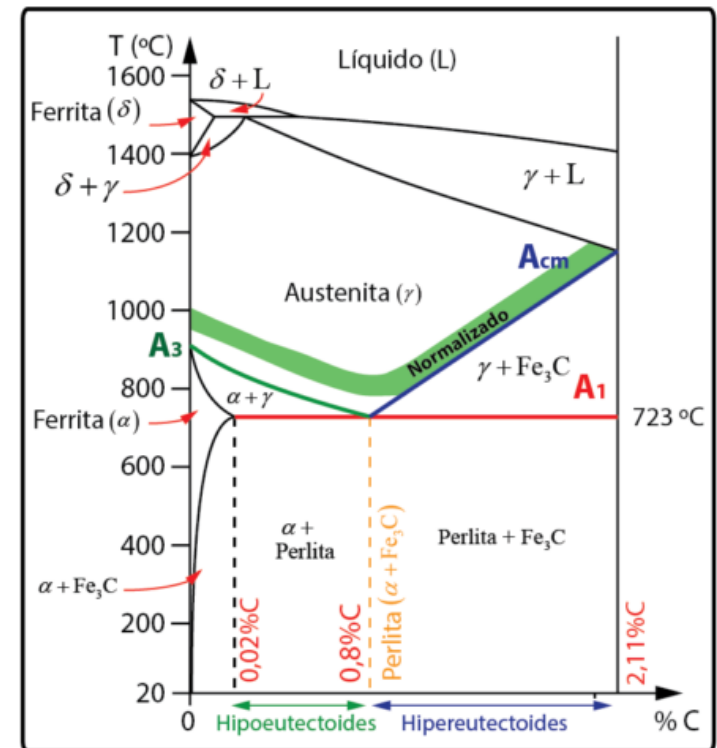
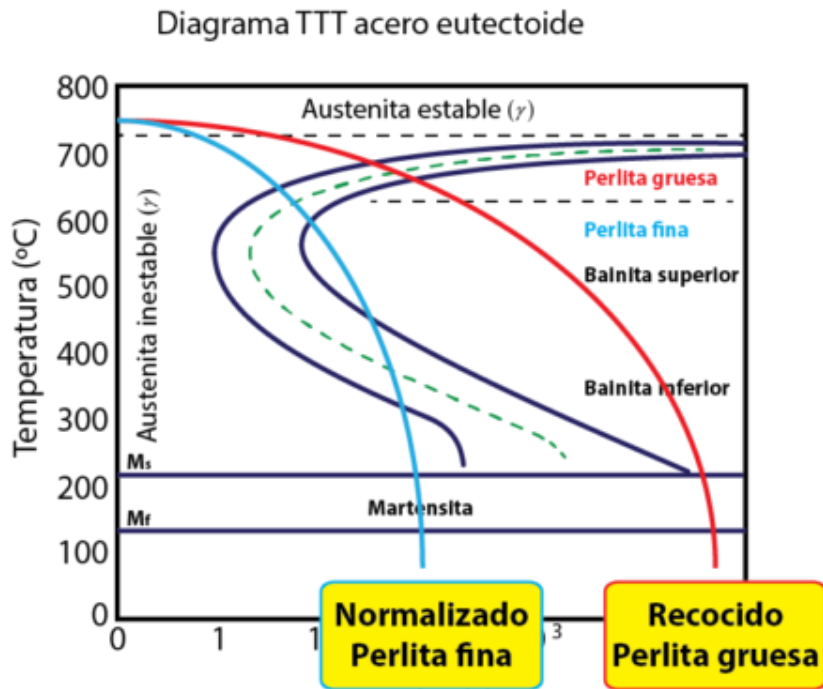
Recocido isotérmico

- Consiste en austenizar la pieza, y colocarla rápidamente en el baño isotérmico de sales fundidas (600°C a 650°C) dejándola el tiempo necesario para que se complete la transformación.
- Diferencia en los resultados obtenidos con un recocido continuo de austenización completa:
 - Mayor homogeneidad en su estructura y por lo tanto en los valores de dureza de la pieza, y además, ofrece la ventaja de ser más rápido.



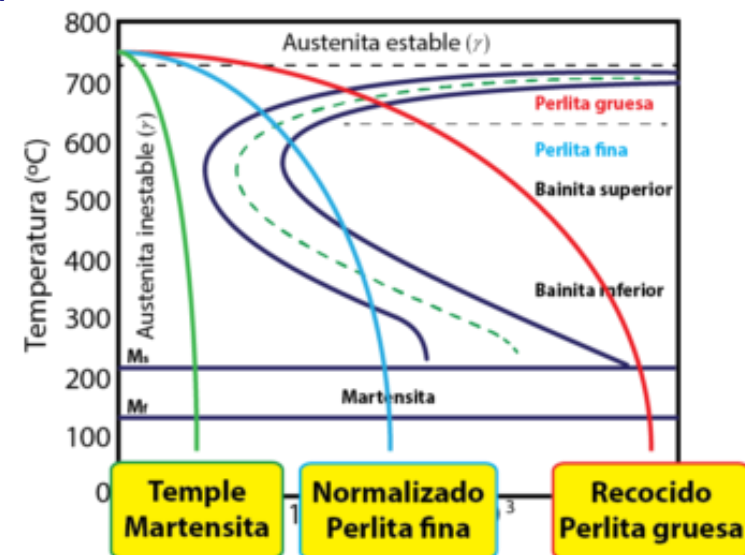
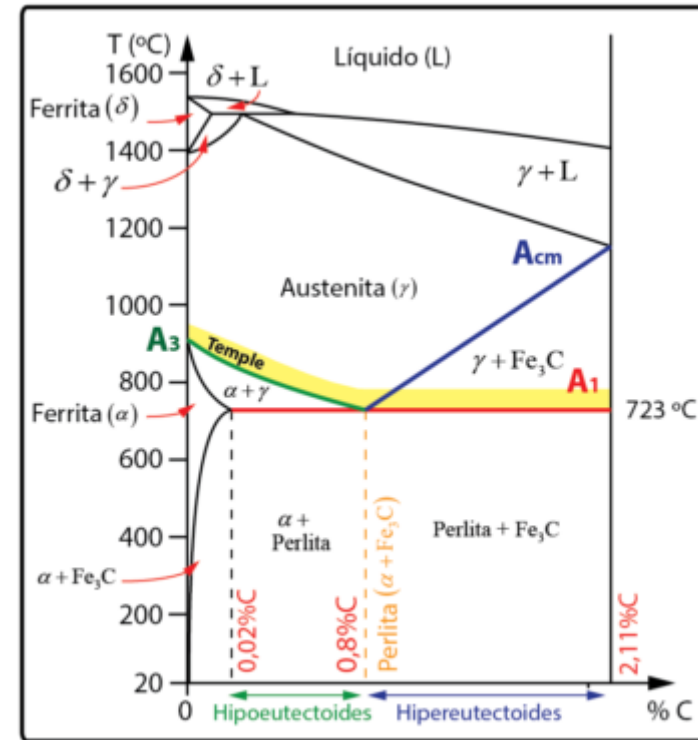
Normalizado

- El tratamiento de normalizado busca dar uniformidad a la microestructura después de procesos de laminado, etc
- El objetivo es obtener una estructura perlítica de grano fino (con propiedades mecánicas homogéneas, mayor dureza y resistencia mecánica que la conseguida con un recocido).
 - Resultado es un acero más tenaz.
- El tratamiento se lleva a cabo a una temperatura de 50-70°C superior a A3 (aceros hipoeutectoides) y a Acm (aceros hipereutectoides).
 - El tiempo debe ser suficiente para generar la conversión completa en austenita, enfriando posteriormente al aire.



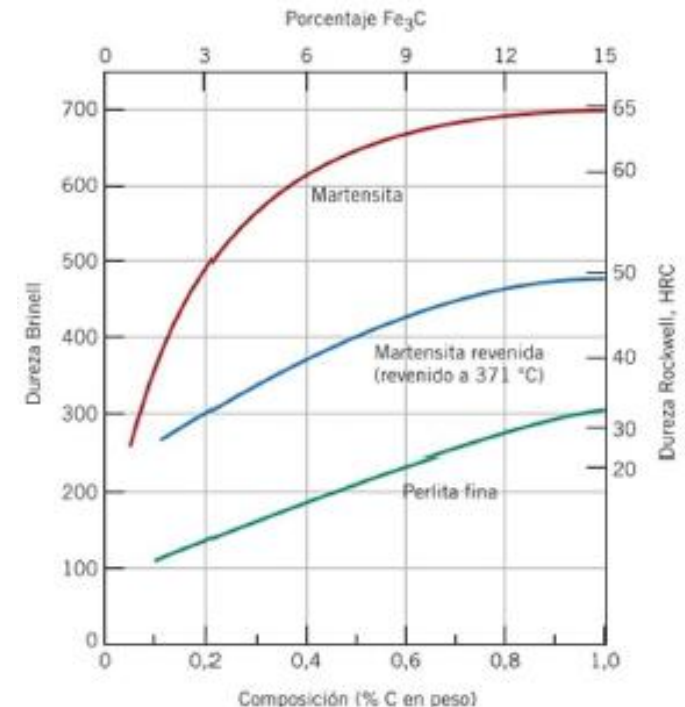
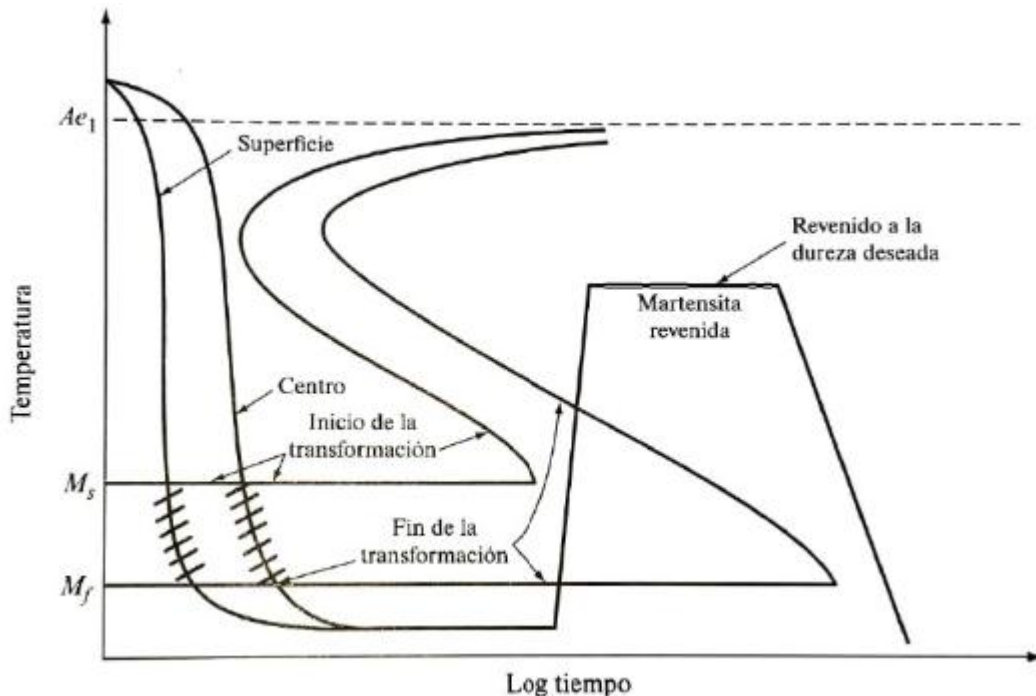
Temple directo

- 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 microestructura martensita (forma acicular); que es muy dura, resistente y frágil.
- Una propiedad muy importante en este punto es la templabilidad del material (depende de varios factores: composición, etc).
- Velocidad crítica de temple: mínima velocidad de enfriamiento en un punto que asegura la obtención del 100% de martensita (depende de varios factores: composición, etc).
- Los medios de enfriamiento pueden ser variados (distinta severidad): agua, aceite, sales fundidas, etc.
- Problemas Comunes: distorsiones, cambios dimensionales y fisuras por superposición de tensiones térmicas y expansión martensítica.



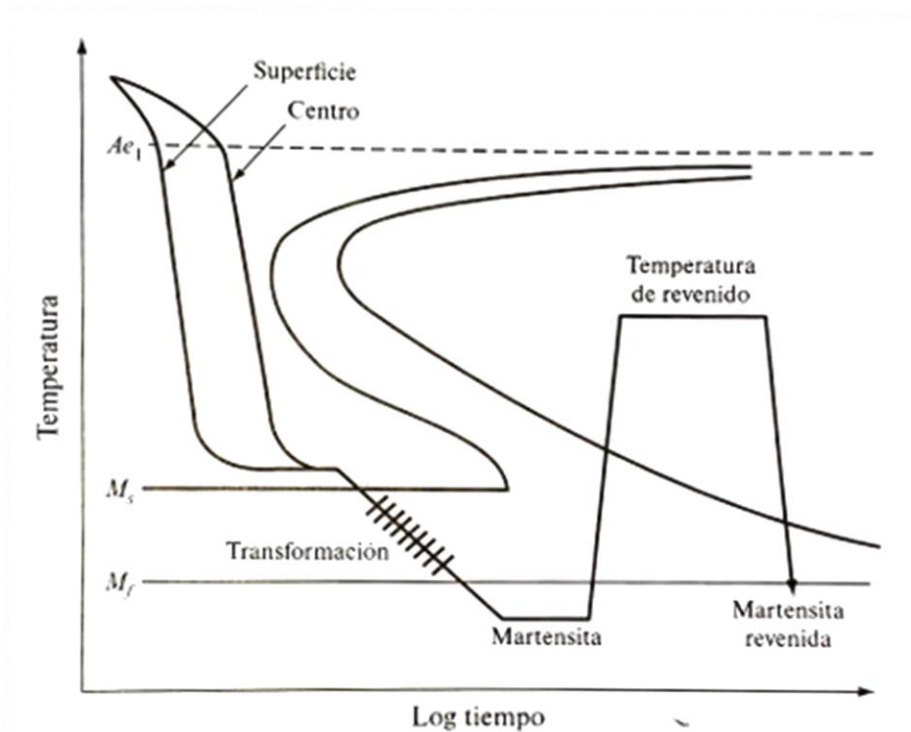
Revenido

- En la condición martensítica, el acero es demasiado duro, frágil y contiene tensiones internas. El revenido consiste en calentar un acero previamente templado hasta una temperatura por debajo de la crítica inferior, seguido de un enfriamiento al aire.
- Revenido de alta dureza: A bajas temperaturas (180°C - 300°C). Elimina tensiones internas, otorga algo de ductilidad pero mantiene prácticamente la dureza.
- Revenido de alta tenacidad: A temperaturas entre 450°C - 650°C . Aumenta la ductilidad y tenacidad, resignando algo de dureza.



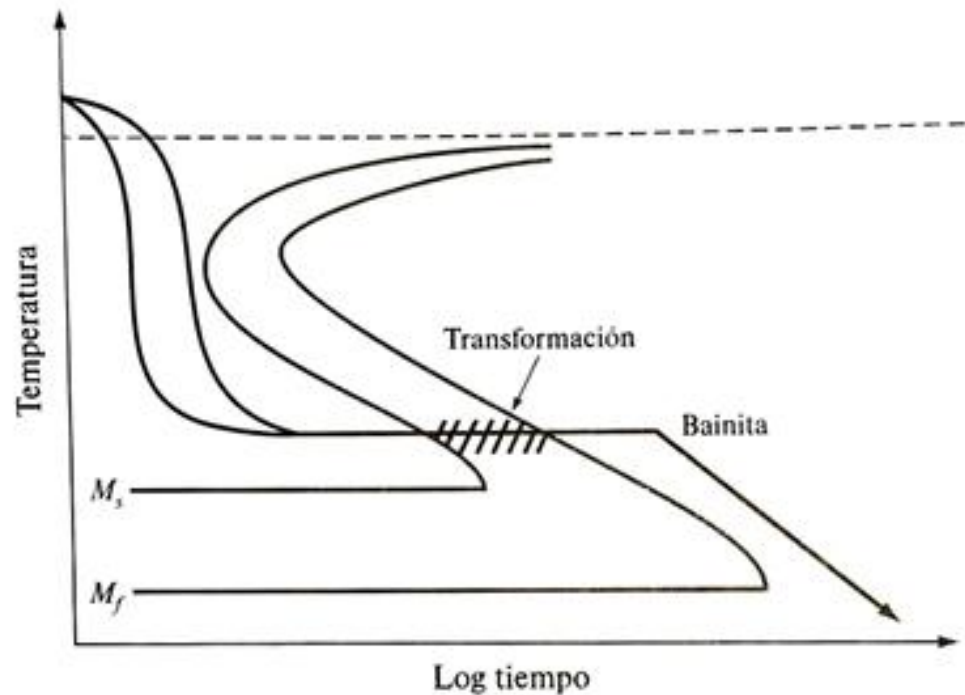
Martempering

- Consiste en enfriar rápidamente el acero hasta una temperatura algunos grados por encima de M_s en un baño de sales fundidas (o aceite caliente). Se mantiene un corto lapso para luego enfriarlo al aire
- Este proceso no altera la estructura martensítica pero evita riesgos de fisuración y disminuye las tensiones internas del temple directo. Al interrumpir el enfriamiento antes de la transformación martensítica, se equilibran las temperaturas de superficie y núcleo de la pieza disminuyendo la diferencia, que es la que crea las tensiones internas.



Austempering

- Tratamiento térmico isotérmico.
 - Produce una estructura de bainita en aceros al carbono.
 - Este proceso ofrece una alternativa al templeado y revenido convencional, aumentando significativamente la tenacidad y ductilidad de ciertos aceros.
- Proceso:
 - Austenizado,
 - Templeado en un baño de sal fundida a temperatura encima de la temperatura M_s del acero
 - Se mantiene isotérmicamente (transformación de austenita a bainita)
 - Por último, se enfría hasta la temperatura ambiente en aire quieto.



Austempering

- Las ventajas del austemperizado son:
 - Mayor ductilidad y resistencia al impacto en comparación con el templado y revenido convencionales.
 - Menor distorsión del material templado.
- Las desventajas del austemperizado con respecto al templado y el revenido son:
 - Requiere un baño especial de sales fundidas.
 - El proceso solo puede aplicarse a un número limitado de aceros.

Patentado

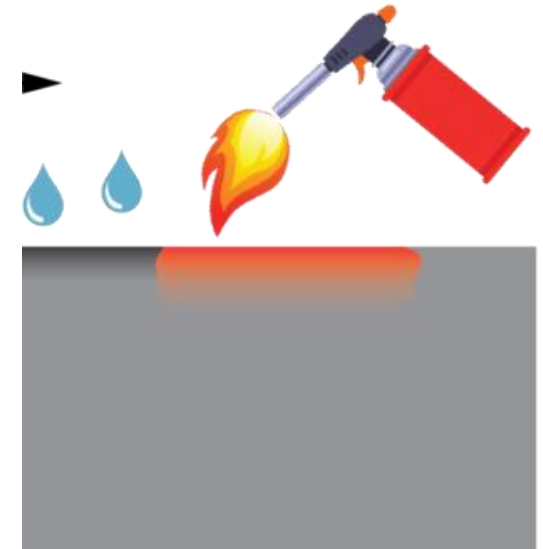
- Tratamiento térmico isotérmico para aceros de alta resistencia (carbono: 0,6% - 0,9% y manganeso: 0,9% - 1,2%)
- Ej: tratamiento previo o durante trefilado de alambre,
- Perlita laminar predominante, baja ductilidad
- Procedimiento:
 - Calentar hasta temperatura de austenización completa
 - Baño de plomo fundido entre 400°C y 600°C (austenita se convierte en perlita uniforme y fina)
- Resultado final:
 - Mayor tenacidad compatible con composición.

Otros tratamientos térmicos

- Tratamientos superficiales
 - Permiten endurecer la superficie de las piezas de manera controlada, de manera que sus propiedades sean distintas a las del núcleo.
 - Entre ellos destacan el temple superficial, la cementación o la nitruración
- Temple superficial
 - El temple superficial o templado superficial consiste en calentar únicamente la superficie hasta alcanzar la zona de la austenita lo que disuelve la cementita del acero, sin que esto ocurra en el interior de la pieza.
 - La superficie se enfría rápidamente, generándose la microestructura de martensita

Otros tratamientos térmicos

- Temple superficial
 - A la llama
 - Por inducción: se utiliza bobina para calentar la superficie, se enfría con dispersión de agua.
 - Con láser: permite calentar la superficie de la pieza de manera localizada
- Cementación de los aceros
 - Los aceros con un bajo contenido en carbono (inferior al 0,2%) no adquieren una dureza alta templar (depende del %C).
 - La solución aumentar el contenido de C superficial, mediante un proceso de cementación, que se basa en exponer la pieza a un entorno rico en carbono para que este se difunda por la superficie.
- Nitruración del acero
 - Consiste en la generación de nitruros en la superficie, obteniéndose alta dureza



Bibliografía de referencia

- W.D. Callister y D.G. Rethwisch; “Ciencia e ingeniería de materiales”. Reverté, 2023.
- W.F. Smith y J. Hashemi; “Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales”. Mc Graw Hill, 2023.
- D.R. Askeland y W.J. Wright; “Ciencia e ingeniería de materiales: con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI)”. Cengage Learning, 2022.

