

VIII. TRATAMIENTOS CON ENFRIAMIENTOS MODERADOS Y LENTOS

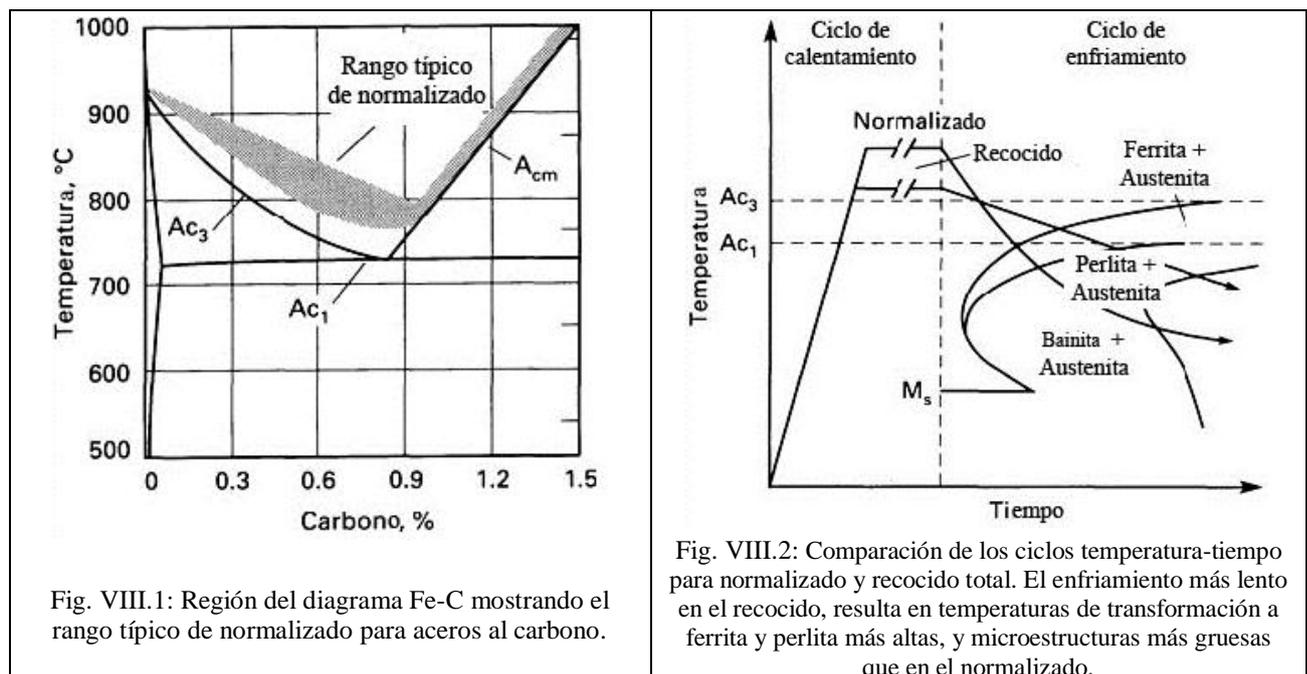
Los dos tratamientos principales son:

- Normalizado*, cuyo objetivo es corregir defectos de solidificación, de conformado, de tratamiento térmicos, etc.
- Recocidos*, para ablandar los materiales, para mejorar la maquinabilidad, la conformabilidad, etc., obteniendo estructuras próximas al equilibrio.

VIII.1. Normalizado

El normalizado de los aceros puede considerarse desde los puntos de vista térmico y microestructural. En el primer caso, se refiere a un ciclo de austenización seguido de enfriamiento en aire calmo o ligeramente agitado, con el objeto de regenerar la estructura y eliminar irregularidades resultantes de tratamientos térmicos o deformaciones previas. Típicamente, la pieza se calienta entre 40 y 60° C por encima del punto crítico superior, A_{c3} para aceros hipoeutectoides y A_{cm} para hipereutectoides (Fig. VIII.1). Un normalizado correcto requiere la completa y homogénea austenización antes del enfriamiento. En la Fig. VIII.2 se comparan los ciclos temperatura-tiempo de normalizado y recocido total.

En términos de microestructura, se refiere a obtener una estructura completamente perlítica (laminar) en aceros de 0,8% C, de perlita más ferrita proeutectoide en aceros hipoeutectoides, y de ferrita más cementita en los hipereutectoides, fases que se forman en los bordes de grano austeníticos. Los aceros endurecibles al aire quedan excluidos de esta clasificación, debido a que en ellos no se forma la perlita típica del normalizado.



Una temperatura de normalización excesivamente alta es perjudicial, especialmente en aceros de uso general, ya que se deterioran la estructura y propiedades mecánicas debido al embastecimiento del grano producido por el sobrecalentamiento. El tiempo a temperatura depende de las dimensiones de las piezas; con tiempos largos desaparecen algunas irregularidades, como las de deformación en frío o estructuras en bandas, pero se puede agrandar el grano obteniéndose estructuras groseras. Esto se evita en aceros con Al, Cr o V que son insensibles al sobrecalentamiento.

La estructura final depende también de la velocidad de enfriamiento; en la mayoría de los aceros es importante controlarla hasta unos 600° C, pudiendo ser más lenta después de esta temperatura. Las velocidades normales para aceros al C y de baja aleación varían entre 2 y 60° C/seg.; los aceros de herramientas normalmente se dejan enfriar dentro del horno.

Estructuras normales: se desea obtener un tamaño de grano fino con estructura de perlita mediana a fina uniforme, con ferrita intergranular en el caso de los aceros hipoeuteoideos, pudiendo aparecer dentro del grano cuando los aceros son de bajo % de C. En aceros hipereuteoideos aparecerá cementita principalmente en los límites de grano. Estas estructuras y propiedades son consideradas normales y características de su composición.

Estructuras defectuosas: falta de uniformidad del grano motivado por calentamiento demasiado corto que no permitió una transformación y difusión completa, o también por falta de temperatura. Embastecimiento de grano y/o grano "dúplex" por elevada temperatura de proceso. Las estructuras muy finas de transformación isotérmica de baja temperatura elevan la dureza del material cuando el enfriamiento es rápido.

Aplicaciones: se utiliza para eliminar irregularidades estructurales y tensiones internas en piezas con solicitaciones fuertes, como elementos de máquinas, dispositivos y recipientes. Todas las modificaciones estructurales producidas por tratamiento térmico y deformación en caliente o en frío, se eliminan por un normalizado, así como la estructura grosera de forja, las tensiones de maquinado y deformaciones por estirado en frío. También se aplica después de la soldadura de piezas complicadas, para afinar la estructura del cordón y la zona adyacente del material base (zona afectada por el calor) que puede tener productos de temple. El normalizado tiene especial aplicación en los aceros moldeados ya que permite transformar la estructura dendrítica de colada en otra de grano fino.

VIII.1.1. Recocido de perlitización o recocido isotérmico

Consiste en un calentamiento encima de A_{c3} similar al normalizado, enfriamiento hasta una temperatura debajo de A_{c1} , dentro del entorno de formación de la perlita, seguido de un enfriamiento cualquiera, con el fin de conseguir una transformación completa en perlita (Fig. VIII.3). La temperatura de intervalo perlítico se elige de acuerdo con el material que se trate y su diagrama T.T.T. isotérmico, debiendo ser la que produzca la más rápida formación de la perlita.

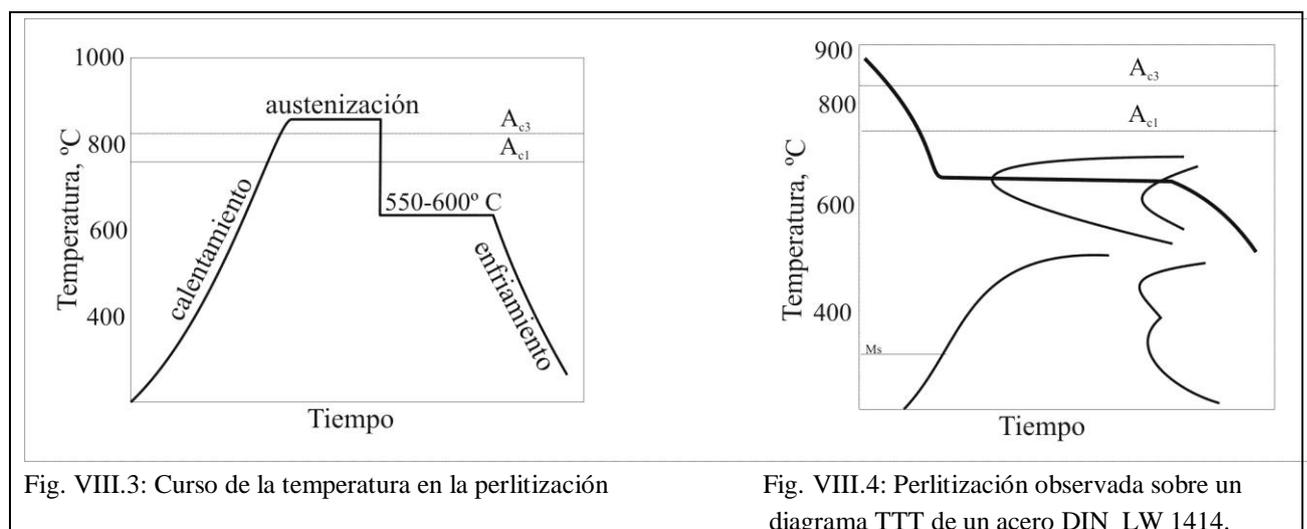


Fig. VIII.3: Curso de la temperatura en la perlitización

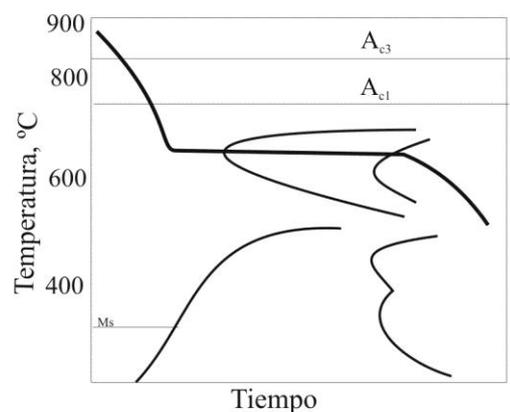


Fig. VIII.4: Perlitización observada sobre un diagrama TTT de un acero DIN LW 1414.

Estructuras normales: se desea obtener perlita uniforme que proporcione un valor de dureza uniforme y separación constante entre las láminas, en toda la pieza.

Estructuras defectuosas: pueden ser las mismas observadas para el normalizado.

Aplicaciones: el recocido de perlitización es aconsejable en los aceros en que se forma bainita o martensita

durante el enfriamiento de la normalización, tal como los de medio % de C aleados y de alto % de C. Se usa principalmente para lograr buenas condiciones de maquinabilidad.

En la Fig. VIII.4 se puede observar el curso del enfriamiento recomendado en el diagrama T.T.T., para el perlitizado de un acero DIN LW 1414 (0,32 % C, 1 % Si, 1,3 % Mn, 1,2 % Cr y 1,0 % Ni), con temperatura de austenización de 900° C y perlitización a 650° C durante 90 minutos.

VIII.1.2. Patentado

Este tratamiento se aplica a alambres y flejes, y consiste en calentar hasta una temperatura superior a A_{c3} seguida de enfriamiento relativamente rápido destinado a conseguir una estructura favorable para el conformado en frío.

En el patentado continuo se hace pasar el alambre o fleje, desenrollados de las bobinas, a través de un horno de calentamiento y luego por un baño de plomo mantenido a temperatura entre 400 y 550° C, para finalmente volverlos a bobinar. Otro procedimiento es el patentado por inmersión; los rollos se calientan y luego se sumergen en un baño de plomo o de sales. A estas temperaturas se forman estructuras perlíticas muy finas (tipo sorbíticas), que facilitan el conformado en frío e incrementan la resistencia del acero. El estirado final eleva todavía más la resistencia.

El patentado se emplea casi exclusivamente en la trefilería para la fabricación de alambres para muelles, cables y cuerdas de piano.

VIII.1.3. Normalizado en aire agitado

Su objetivo es eliminar la estructura de bandas que se produce en los aceros laminados en caliente (banding), como consecuencia de la alineación de impurezas. El enfriamiento más rápido limita la difusión y con ello, la formación de ferrita proeutectoide, lográndose una mejor maquinabilidad y propiedades mecánicas luego de un tratamiento de endurecimiento superficial.

VIII.2. Recocido

Genéricamente el recocido consiste en calentar un material, mantenerlo a una temperatura determinada, y luego enfriarlo con una velocidad lenta, con el objeto de ablandarlo. En los aceros al carbono, del recocido total resulta una microestructura ferrito-perlítica (Fig. VIII.5). En este caso, se usa el rango de temperatura indicado en el diagrama Fe-C de la Fig. VIII.6. En general, la temperatura adecuada de recocido es 50° C por encima de A_3 para aceros hipoeutectoides y de A_1 para hipereutectoides.

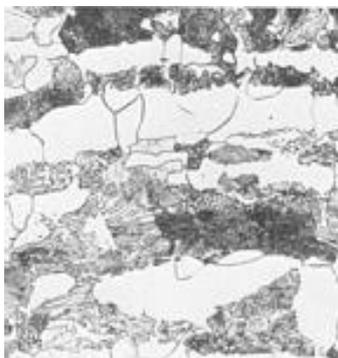


Fig. VIII.5: Estructura ferrito-perlítica obtenido con el recocido total de un acero SAE 1040 (4 % picral + 2% nital, 500x)

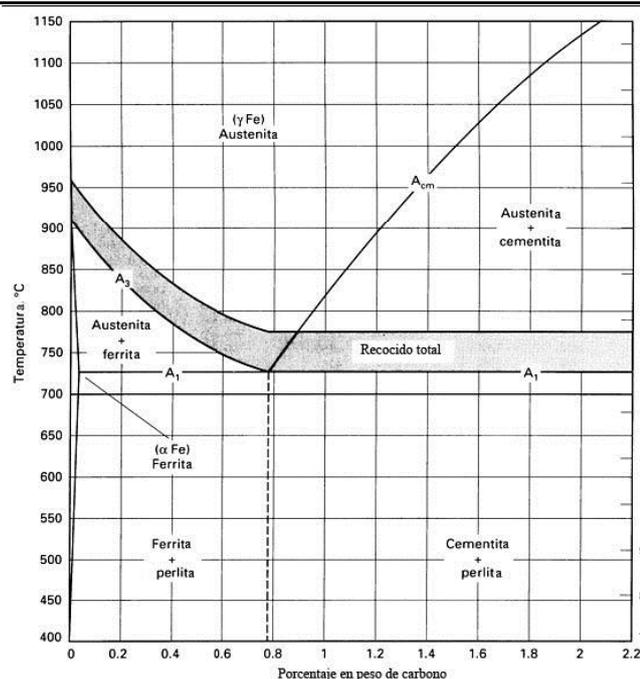


Fig. VIII.6: Región del diagrama Fe-C mostrando el rango típico de recocido total para aceros al carbono.

El objetivo es facilitar el trabajado en frío o la maquinabilidad, mejorar propiedades mecánicas o eléctricas, o promover estabilidad dimensional. La elección de un tratamiento de recocido que proporcione la adecuada combinación de tales propiedades con el mínimo costo, a menudo significa un compromiso.

Los términos aplicados a cada recocido específico, suelen describir el método usado, el equipo, o la condición del material luego del tratamiento. En la práctica, existe una variedad casi infinita de ciclos térmicos para los diferentes objetivos del recocido, que se clasifican según la temperatura a la que se calienta el acero y del método de enfriamiento usado. La temperatura máxima puede ser inferior al punto crítico A_1 (recocido subcrítico), o superior a A_3 (recocido total). Como por encima de A_1 está presente algo de austenita, el modo de enfriamiento a través de la región de transformación, es un factor crucial en el logro de la microestructura y propiedades deseadas. Pueden ser enfriamientos continuos lentos, o tratamientos isotérmicos a cierta temperatura por debajo de A_1 a la que las transformaciones ocurran en tiempos razonables. En algunos casos, pueden usarse dos o más ciclos combinados. El éxito de cualquier recocido depende de la elección y control del ciclo térmico, basado en los principios metalúrgicos estudiados.

VIII.2.1. Recocido de ablandamiento o de globulización

En este tratamiento el material se calienta a una temperatura levemente superior a A_{c1} (o a veces algo inferior), se la mantiene oscilando alrededor de ese punto y luego se enfría lentamente, con la finalidad de producir el máximo ablandamiento. El objetivo metalúrgico es conseguir que las láminas de cementita se conviertan en glóbulos dispersos en una matriz de ferrita.

En la Fig. VIII.7 se muestra el curso de la temperatura en el recocido de ablandamiento; la transformación de la cementita laminar en globular depende de la temperatura y del tiempo de mantenimiento a ella. En la Fig. VIII.8 se observa la franja de temperatura en el diagrama Fe-C para este tipo de proceso en el que el enfriamiento puede realizarse lentamente, similar al recocido de normalización.

En los aceros con alto contenido de carbono las temperaturas de recocido de ablandamiento se aumentan levemente a:

730° C para 0,9 % de C

740° C para 1,1 % de C

750° C para 1,2 % de C

El incremento de temperatura acelera la globulización de la cementita. Otro procedimiento para acelerarlo consiste en templear el acero en aceite antes del globulizado. En este caso, la cementita precipita en forma globular bien dispersa (tal como en un revenido a temperatura muy alta).

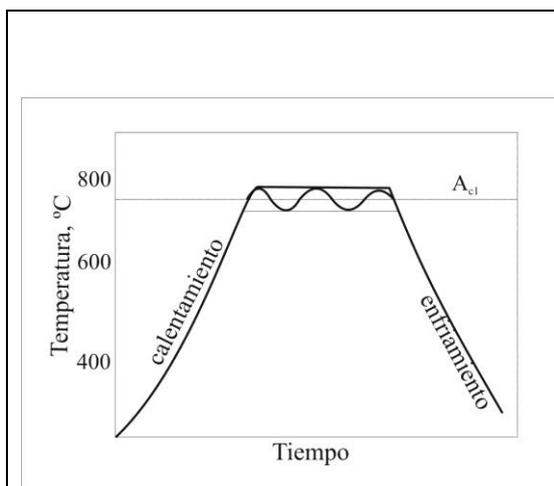


Fig. VIII.7: Curso de la temperatura en la globulización

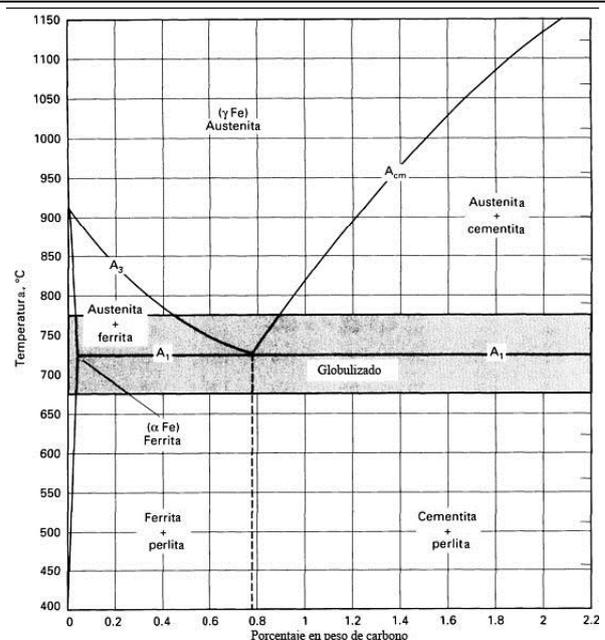


Fig. VIII.8: Región del diagrama Fe-C mostrando el rango típico de recocido de globulización para aceros al carbono.

Aplicaciones: se utiliza comúnmente en aceros con % de C mayores de 0,5 %. Para contenidos inferiores podría producirse un desplazamiento de la cementita hacia los bordes del grano con lo que el acero se

fragilizaría. En aceros de herramientas duros y con alto % de C se consigue buena maquinabilidad. La estructura resultante es menos sensible a las entallas que la perlita laminar. Por esta razón es también muy apropiada para el conformado plástico.

VIII.2.2. Recocidos de temperatura elevada

VIII.2.2.1. Recocido de embastecimiento de grano: se practica calentando a una temperatura muy superior a A_{c3} , a la que se disuelven muchos gérmenes, impurezas y bordes de grano, con el objeto de obtener un grano basto que mejore la maquinabilidad. En la Fig. VIII.9 se muestra el curso de la temperatura; en la Fig. VIII.10 se indica la franja de temperatura de este recocido en el diagrama Fe-C.

El aumento de tamaño de grano depende de la temperatura de recocido y del tiempo de mantenimiento a ella. El tratamiento se aplica a los aceros blandos no aleados y especialmente a los de cementación, que embotan a las herramientas en el mecanizado. La fragilización que acompaña al aumento de tamaño de grano facilita los maquinados finos y finísimos.

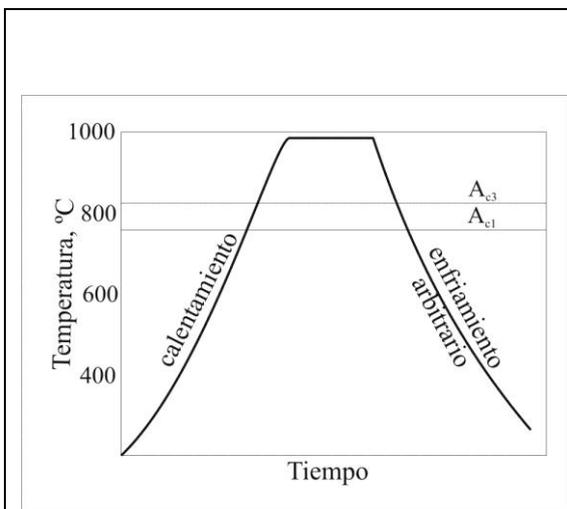


Fig. VIII.9: Curso de la temperatura en el recocido de embastecimiento de grano

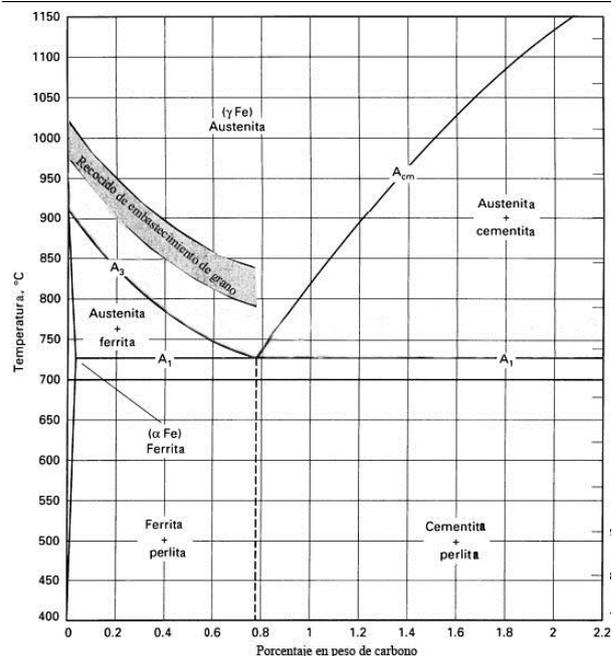


Fig. VIII.10: Región del diagrama Fe-C mostrando el rango típico de recocido de embastecimiento de grano.

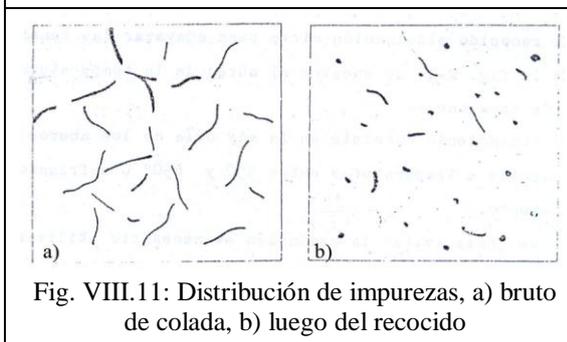


Fig. VIII.11: Distribución de impurezas, a) bruto de colada, b) luego del recocido

Una variedad es el recocido Izett con el que se consigue una distribución más satisfactoria de las impurezas lo que reduce la resistencia al envejecimiento y mejora las propiedades mecánicas. Durante la solidificación muchos aceros acumulan la mayor parte de las impurezas no metálicas en los límites de grano, como se muestra en la Fig. VIII.11a, fragilizándolos. Con un recocido a temperatura entre 950 y 1000° C, éstas se disuelven en el interior de los granos, y un enfriamiento

rápido hasta A_{r1} , no permite la precipitación en los bordes. Un esquema de la distribución de las impurezas después del recocido, se reproduce en la Fig. VIII.11b.

VIII. 2.3. Recocido de difusión o de homogenización

Se realiza a temperaturas muy elevadas, entre 1000-1100° C, y durante tiempos prolongados. Su finalidad es conseguir una distribución satisfactoria de los componentes solubles, homogeneizando la composición química, con lo que se logra una completa uniformidad estructural. Como consecuencia de los largos tiempos necesarios, se origina una estructura de grano basto, por lo que generalmente debe realizarse

un normalizado posterior.

El recocido de difusión se aplica con frecuencia a aceros que presentan bandas de ferrita y perlita, para lograr una estructura homogénea estable, y ya no se reproduce el "banding" cualquiera sea el tratamiento térmico posterior. También se aplica a los aceros tal cual fundidos para eliminar segregaciones. En la Fig. VIII.12 se muestra el curso de la temperatura del recocido de difusión.

VIII. 2.4. Recocido de eliminación de tensiones (distensionado)

Consiste en calentar a una temperatura por debajo de A_{c1} , entre 550 y 650° C, mantener entre 30 y 120 minutos y enfriar lentamente, con la finalidad de eliminar las tensiones internas, sin producir variaciones esenciales en las propiedades existentes. En la Fig. VIII.13 se muestra el curso de la temperatura.

Si se desea evitar la oxidación es necesario utilizar hornos con atmósfera protectora o empaquetamientos especiales.

Aplicaciones: piezas difíciles de temprar, sensibles a las distorsiones; piezas fundidas, como consecuencia de las tensiones creadas por diferencias en la velocidad de enfriamiento durante la solidificación. En piezas con uniones soldadas, especialmente si son de gran tamaño, puede requerirse un distensionado previo al montaje para evitar roturas por tensiones. Luego de un maquinado.

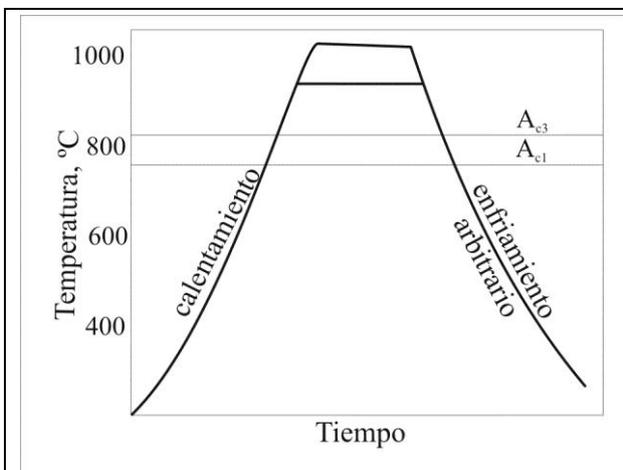


Fig. VIII.12: Curso de la temperatura en el recocido de difusión

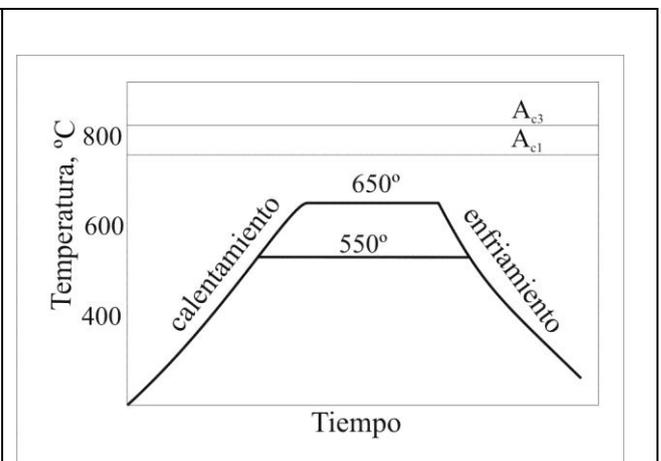


Fig. VIII.13: Curso de la temperatura en el recocido de eliminación de tensiones