

**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
816-89**

**MATERIALES FERROSOS.
TRATAMIENTO TERMICO.
DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA.**

(1^{ra}. REVISION)



TRAMITE

COMITE TECNICO CT7: MATERIALES FERROSOS
PRESIDENTE: DR. CESAR MENDOZA
VICE-PRESIDENTE: ING. JOHN SUBERO
SECRETARIA: ING. INES CONDE
SUBCOMITE TECNICO: CT7/SC1: DESIGNACION Y CLASIFICACION DE LOS ACEROS Y LAS
FUNDICIONES
COORDINADOR: ING. CARLOS E. LOVERA M.

PARTICIPANTES

<u>ENTIDAD</u>	<u>REPRESENTANTE</u>
CONDUVEN, C.A.	YNGRID MALONY LARRY E. SPEAR
SIDETUR, C.A.	SILVIO LLANOS RODOLFO RONDON
ASOCIACION DE INDUSTRIALES METALURGICOS Y DE MINERIA (A.I.M.M.)	ALBERTO RIVERO ALFONSO RIOBUENO
C.V.G. SIDOR, C.A.	RAFAEL VASQUEZ ARMANDA PAPALES ISAAC REYES
UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO (U.C.A.B.)	EUGENIO GARCIA

DISCUSION PUBLICA

FECHA DE ENVIO A DISCUSION PUBLICA: 05/09/89
DURACION: 45 DIAS
FECHA DE APROBACION POR EL COMITE: 08/11/89
FECHA DE APROBACION POR LA COVENIN: 06/12-89

NORMA VENEZOLANA
MATERIALES FERROSOS
TRATAMIENTO TERMICO
DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA

COVENIN
816-89

1 NORMAS COVENIN A CONSULTAR

Esta Norma es completa.

2 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Venezolana contempla las definiciones relativas a la terminología técnica y científica de los tratamientos térmicos de materiales ferrosos.

3 DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA

3.1 CICLO TERMICO

Es el conjunto de variaciones de la temperatura de la pieza, en función del tiempo, entre límites determinados.

Un ciclo térmico puede implicar desde variaciones más o menos bruscas de temperatura (temple), hasta la permanencia a una temperatura constante, durante períodos de tiempo, más o menos prolongados (recocido isotérmico).

3.2 TRATAMIENTO TERMICO

Es la operación o conjunto de operaciones (en el caso de tratamiento completo) por medio de las cuales se somete a un producto siderúrgico, en estado sólido, a uno o varios ciclos térmicos. El medio en el que se sitúan las piezas en el transcurso de estas operaciones puede modificar en mayor o menor grado la composición química de las capas superficiales de la pieza. La finalidad del tratamiento térmico es la de conferir a la pieza propiedades particulares adecuadas a su transformación posterior o empleo.

Este término no se aplica, en general, al calentamiento efectuado como preparación de un trabajo en caliente o de una operación de revestimiento en caliente.

Sin embargo, en ciertos casos, el trabajo en caliente puede conferir propiedades particulares a la pieza y entonces son difícilmente separables. Por ejemplo el endurecimiento en caliente de ciertos aceros austeníticos resistentes a la fluencia lenta; endurecimiento de la austenita metaestable en condiciones definidas de tiempo y temperatura.

El tratamiento térmico simple o complejo, puede en general simultáneamente o indistintamente:

3.2.1 Ser causa de modificaciones en la naturaleza de los constituyentes, manteniendo la composición química media global.

3.2.2 Ocasionar modificaciones estructurales, de dimensión, de forma y de distribución de los constituyentes, sin modificar su naturaleza, por ejemplo el

recocido de globulación.

3.2.3 Utilizar ciertas acciones químicas o fisicoquímicas para aumentar o reducir el contenido de ciertos elementos en el metal, o incluso para modificar ciertos constituyentes estructurales mediante la influencia de un medio exterior apropiado (sólido, líquido o gaseoso) y de la mayor o menor presión de este medio (cementación, cromización).

3.2.4 Conferir propiedades particulares a las capas superficiales de la pieza tratada, como por ejemplo, el temple superficial.

3.2.5 Modificar la distribución y la intensidad de las tensiones internas.

El tratamiento térmico es general cuando se aplica a toda la pieza y es local cuando afecta a una o varias partes de la pieza pero no a su totalidad.

3.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Un tratamiento térmico queda definido por su clase y por la indicación (implícita o explícita) de los ciclos térmicos experimentados por la pieza.

Un tratamiento definido únicamente por la naturaleza de los ciclos empleados no siempre producirá los mismos efectos en un metal determinado. Por esto hay que tener en cuenta aislada o conjuntamente, ciertos factores de los cuales los principales son:

3.3.1 Efecto de masa

En cada caso particular, las condiciones de tratamiento deben fijarse no solo en función de las propiedades del metal, sino también de la forma y dimensiones de la pieza (efecto de masa) y de las características de los medios a utilizar en el calentamiento o el enfriamiento (conductividad térmica, temperatura, agitación, etc).

Especialmente durante el enfriamiento, las variaciones instantáneas de la temperatura que determinan el resultado dependen de las condiciones del tratamiento; el efecto de masa puede dar lugar a que no se alcance totalmente en la pieza la velocidad de enfriamiento necesaria, para conseguir el efecto deseado.

3.3.2 Precalentamiento

Es un calentamiento preliminar de la pieza hasta una temperatura inferior a la prevista para el tratamiento térmico a realizar. El precalentamiento se lleva a velocidad tal que se obtenga, en toda la pieza o en la parte de la pieza a tratar, una distribución de temperatura que prepare o facilite el tratamiento posterior.

3.3.4 Tiempo de permanencia

Es el tiempo que debe permanecer la pieza a la temperatura del tratamiento, a partir del momento que define el final del calentamiento.

3.3.5 Ley de enfriamiento

Es la función relacionada con el tiempo y las temperaturas sucesivas de los diferentes puntos de una pieza en un medio dado. La representación gráfica de esta ley se denomina curva o diagrama de enfriamiento.

3.3.6 Modo de enfriamiento

Se define por el conjunto de condiciones necesarias para establecer la ley de enfriamiento deseada.

3.4 AUSTENIZACION

Es la operación mediante la cual se lleva el acero al estado austenítico, es decir, al estado de solución sólida de carbono, de nitrógeno o de otros constituyentes en el hierro en estado gamma (γ). Esta operación implica un calentamiento con un tiempo suficiente de permanencia a una temperatura que será:

- a) Generalmente superior a AC_3 para aceros hipoeutectoides.
- b) Superior a A_{cm} para aceros hipereutectoides, si lo que se desea es una austenización completa, o solamente por encima de AC_1 , si la austenización incompleta es compatible con la realización del tratamiento térmico.

3.4.1 La austenización es completa cuando la estructura alcanzada es completamente austenítica y en estado de equilibrio.

3.4.2 La austenización se denomina parcial cuando además de la fase gamma subsiste una proporción importante de fase alfa, que hubiera podido ser reducida si el tratamiento hubiera sido correcto.

3.4.3 La austenización se denomina incompleta cuando no se ha producido la disolución de los carburos o de otros constituyentes por no haberse conseguido el equilibrio o por no ser deseable dicha disolución: por ejemplo, en la austenización de los aceros rápidos.

3.5 TEMPERATURA E INTERVALOS CRÍTICOS

Las definiciones dadas en este apartado solamente se aplican con todo rigor a los aceros al carbono o débilmente aleados. La naturaleza, la cinética de las transformaciones y las temperaturas a las que se producen pueden ser profundamente modificadas por la presencia de elementos de aleación en cantidades notables.

3.5.1 Puntos críticos con cambio de fase

Es la temperatura a la que se produce un cambio de fase durante el calentamiento de un acero. Esta temperatura se denomina también temperatura crítica o temperatura de transformación.

Los puntos críticos principales son:

3.5.1.1 A_1 es la temperatura de la transformación: austenita \rightleftharpoons ferrita + cementita: A partir de A_1 , durante el calentamiento empieza a formarse austenita y durante el enfriamiento procede la transformación de la austenita, apareciendo la perlita (ferrita + cementita) de composición eutéctica:

Se distinguen:

A_{e1} : Es la temperatura de equilibrio de la transformación.

A_{c1} : Es la temperatura a la cual la austenita eutectoide comienza a formarse en las condiciones de calentamiento utilizadas.

A_{r1} : Es la temperatura a la cual se completa la transformación de la austenita de composición eutectoide en ferrita + cementita, durante el enfriamiento.

3.5.1.2 A_3 es la temperatura de la transformación austenita \rightleftharpoons ferrita (en el caso de acero hipoeutectoide) por encima de la cual solo es estable la austenita y por debajo de la cual la ferrita aparece progresivamente:

Se distinguen:

A_{e3} es la temperatura de equilibrio de la transformación.

A_{c3} es \rightleftharpoons la temperatura a la cual se completa la transformación ferrita austenita en las condiciones de calentamiento utilizado.

A_{r3} es la temperatura a la cual la austenita empieza a transformarse en ferrita durante el enfriamiento.

3.5.1.3 A_{cm} es la temperatura de la transformación austenita \rightleftharpoons cementita (en el caso de los aceros hipereutectoides) por encima de la cual solo la austenita es estable y por debajo de la cual la cementita aparece progresivamente.

Se distinguen:

$A_{e\ cm}$: temperatura de equilibrio de la transformación.

$A_{c\ cm}$: es \rightleftharpoons la temperatura a la cual se completa la transformación cementita austenita en las condiciones de calentamiento.

$A_{r\ cm}$: es la temperatura a la cual la austenita empieza a transformarse en cementita durante el enfriamiento.

3.5.1.4 A_4 : Es la temperatura de la transformación austenita \rightleftharpoons Fe δ .

3.5.1.5 M_s : Es la temperatura a la cual comienza, durante el enfriamiento, la transformación de la austenita en martensita.

3.5.1.6 M_f es la temperatura a la cual termina prácticamente la transformación de la austenita en martensita durante el enfriamiento, pudiendo subsistir una cierta proporción de austenita (austenita retenida o residual).

3.5.1.7 Las zonas de transformación en enfriamiento, son a veces denominadas mediante los símbolos siguientes:

Ar^I Zona de transformación perlítica.

Ar^{II} Zona de transformación bainítica.

Ar^{III} Zona de transformación martensítica.

3.5.2 Intervalos críticos

Son los intervalos de temperaturas en las cuales se producen las transformaciones. Son los comprendidos entre los puntos A_1 y A_3 o entre A_1 y A_{cm} .

3.5.3 Transformaciones sin cambio de fase

3.5.3.1 Transformación magnética (punto de Curie) de la ferrita

Es la temperatura a la cual la ferrita pasa, durante el calentamiento, del estado magnético al estado no magnético y a la inversa. Este punto de transformación ha sido denominado A_2 .

3.5.3.2 Transformación magnética (punto de Curie) de la cementita

Es la temperatura a la cual la cementita pasa del estado magnético al estado no magnético y a la inversa. Este punto de temperatura se denomina A_0 .

3.6 TIPOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos termicos se agrupan en esta norma en cinco tipos principales:

Recocido
Temple
Revenido
Tratamiento termoquímico de difusión
Tratamientos diversos

3.6.1 Recocido

3.6.1.1 Es un tratamiento cuyo ciclo térmico supone:

- a) Un calentamiento hasta una temperatura, llamada temperatura de recocido, determinada de acuerdo con el objetivo a conseguir.
- b) Eventualmente un mantenimiento isotérmico u oscilante alrededor de esta temperatura.
- c) Un enfriamiento en aire calmado o según una ley predeterminada.

Este tratamiento está orientado a conseguir uno o varios de los siguientes objetivos:

- a) Eliminar las particularidades de la solidificación, de una deformación plástica, de un soldeo o de un tratamiento térmico anterior.
- b) Conferir al metal un estado de ablandamiento definido o tender a reproducir este estado si la estructura ha sido perturbada por los tratamientos anteriores.
- c) Provocar la formación de estructuras favorables para el mecanizado o la deformación en frío.
- d) Provocar la formación de una estructura determinada, por ejemplo para un tratamiento térmico posterior.
- e) Eliminar o reducir las tensiones internas.

f) Disminuir las heterogeneidades en la composición química del metal.

3.6.1.2 Tipos de recocidos

3.6.1.2.1 Recocidos en los que la temperatura máxima alcanzada es superior o está dentro del intervalo crítico (ver punto 3.5.2.).

3.6.1.2.1.1 Recocido propiamente dicho

Este tratamiento se compone de un calentamiento hasta la temperatura de recocido y un mantenimiento a dicha temperatura seguido de un enfriamiento lento, especialmente a través de la zona de transformación.

Generalmente cuando se emplea la palabra "Recocido" aislada se refiere a este tratamiento (Vease fig. 1).

3.6.1.2.1.2 Recocido de regeneración

Es un calentamiento ligeramente por encima del límite superior de transformación y sin mantenimiento prolongado, seguido por un enfriamiento a velocidad conveniente, con el fin de afinar u homogenizar el grano del acero. Según la definición anterior, el normalizado de los aceros bajos en carbono, poco o no aleados, es a menudo asimilado a un recocido de regeneración con enfriamiento al aire.

3.6.1.2.1.3 Recocido de crecimiento del grano

Este tratamiento es efectuado a temperatura elevada y netamente por encima de A_c y con un tiempo de permanencia adecuado, seguido de un enfriamiento conveniente.

3.6.1.2.1.4 Recocido isotermico

Este tratamiento se compone de las siguientes fases:

- a) Un calentamiento de austenización.
- b) Un enfriamiento apropiado hasta la temperatura en la que se produce la transformación en ferrita y agregados de cementita pero que excluye la formación de constituyentes intermedios, bainita y en especial la de la martensita. (Vease fig. 5).
- c) Un tiempo de permanencia conveniente para una transformación completa o suficiente, o para globulizar la cementita.
- d) Un enfriamiento cualquiera hasta la temperatura ambiente.

3.6.1.2.1.5 Recocido de homogeneización o de difusión (ver punto 3.6.5.3)

3.6.1.2.2 Recocidos en los que la temperatura máxima alcanzada esta por debajo del intervalo crítico.

3.6.1.2.2.1 Recocido de globulización

Tratamiento compuesto de las siguientes etapas:

- a) Calentamiento justamente por debajo de la temperatura de transformación Ac_1 .
- b) Permanencia prolongada a esta temperatura (o eventualmente una serie de enfriamientos y calentamientos entre dos temperaturas próximas situadas en torno a Ac ; en cuyo caso se le da el nombre de recocido oscilante o pendular).
- c) Enfriamiento a velocidad conveniente

Este tratamiento permite al metal alcanzar un equilibrio estructural que involucra modificaciones de forma y dimensiones de los constituyentes finos dispersos, por ejemplo, globulización de la cementita.

3.6.1.2.2.2 Recocido de ablandamiento

Es el recocido efectuado a una temperatura ligeramente inferior por debajo de Ac_1 , con el fin de mejorar la maquinabilidad o la aptitud a la deformación en frío.

3.6.1.2.2.3 Recocido de eliminación de tensiones

Es el calentamiento con o sin permanencia, seguido de un enfriamiento a velocidad conveniente y cuyo objeto es la eliminación de las tensiones internas debidas a la solidificación o a las operaciones térmicas o mecánicas anteriores (incluido el soldeo) pero distintas del temple.

3.6.1.2.2.4 Recocido de relajación

Es un recocido de eliminación de tensiones en el que la temperatura alcanzada es superior a la del comienzo de fluencia lenta, pero quedando inferior a Ac_1 ; permite la disminución de tensiones internas de carácter macroscópico.

3.6.1.2.2.5 Recocido de restauración

Es el recocido efectuado por debajo de Ac con el fin de restaurar, por lo menos parcialmente, las propiedades físicas o mecánicas sin modificación aparente de la estructura (disminución de la dureza, de la resistividad, de la acritud, etc).

3.6.1.2.2.6 Recocido de recristalización

Es el recocido efectuado por encima de una temperatura que depende del tipo de acero y de su grado de deformación en frío, con el fin de reemplazar la estructura distorsionada o endurecida por un trabajo mecánico, por una nueva estructura cristalográfica.

3.6.1.2.2.7 Recocido brillante

Es el recocido efectuado en un medio protector, para prevenir el cambio de color en la superficie brillante.

3.6.1.2.2.8 Recocido negro

Es el recocido efectuado en condiciones tales que se cree en la superficie del metal, óxidos negros adherentes.

3.6.1.2.2.9 Recocido en caja

Es el recocido que se efectúa en un envase cerrado, bajo condiciones que disminuyan la oxidación. En el recocido en caja de aleaciones ferrosas, la carga es usualmente calentada a una temperatura por debajo del rango de la temperatura de transformación, aunque algunas veces por encima o dentro de este y luego es enfriado lentamente. Este proceso es también llamado recocido cerrado.

3.6.1.2.2.10 Recocido azul o pavonado

Es el tratamiento efectuado en un medio y una temperatura convenientes para que la superficie pulida del metal se recubra de una película uniforme de óxido adherente de aspecto azul brillante. Este recocido se utiliza a veces como tratamiento de envejecimiento artificial rápido.

3.6.2 Temple

3.6.2.1 Es el término empleado tanto para designar el tratamiento completo de endurecimiento como indicar el enfriamiento brusco de la pieza.

3.6.2.1.1 En general consiste en someter el metal a un ciclo térmico que comprenda sucesivamente (Vease fig. 4).

a) Un calentamiento destinado a solubilizar ciertos constituyentes dando lugar a la fase estable a alta temperatura (austenización).

b) Un enfriamiento apropiado efectuado desde una cierta temperatura llamada temperatura de temple, hasta otra temperatura más baja que puede ser diferente de la temperatura ambiente.

3.6.2.1.2 Cuando el término temple es empleado sin calificativo, designa generalmente el temple martensítico, es decir, el endurecimiento debido a la formación de constituyentes martensíticos.

3.6.2.1.3 El temple es normalmente la primera fase de un tratamiento más complejo, en este caso puede ser seguido de uno o varios revenidos (ver punto 3.6.3).

El conjunto de estos tratamientos tiene generalmente por objeto mejorar las características del metal tratado, por ejemplo, conseguir una mejor resiliencia para una resistencia determinada, por lo que el acero que ha sufrido un temple seguido de un revenido, generalmente a temperatura elevada, se conoce normalmente como bonificado.

3.6.2.2 Efectos del temple

El temple puede producir uno de los efectos siguientes:

a) Que la solución sólida, estable en caliente, sufra durante el enfriamiento un cambio de fase prácticamente total al cual puede acompañar un aumento notable de

la dureza (temple martensítico o temple bainítico).

b) Que la solución sólida se transforme durante el enfriamiento solo parcialmente en constituyentes duros.

Uno o varios tratamientos térmicos complementarios pueden producir un nuevo aumento de la dureza acabando la transformación, o provocando la precipitación de componentes menos solubles en frío (endurecimiento secundario).

c) Que la solución sólida estable en caliente no sufra prácticamente ninguna transformación hasta la temperatura ambiente. En este caso se produce generalmente un ablandamiento del metal (temple de los aceros austeníticos o hipertemple).

En ciertos casos, un calentamiento posterior a temperatura medianamente elevada puede producir un endurecimiento secundario.

3.6.2.3 Ley de enfriamiento crítico de temple

Se llama ley de enfriamiento crítico para un constituyente determinado, la ley de enfriamiento menos severa que permite la formación exclusiva de este constituyente a partir de austenita. Se hace distinción entre: (vease fig. 2).

a) Ley de enfriamiento crítico de temple martensítico que corresponde a las condiciones límites de enfriamiento para los cuales se impide la formación de constituyentes proeutectoides, de perlita o de bainita, haciendo posible la formación de martensita.

b) Ley de enfriamiento crítica de temple bainítico que corresponde a las condiciones límites de enfriamiento para los cuales se impide la formación de constituyentes proeutectoides de perlita, haciendo posible la formación de bainita.

3.6.2.4 Aptitud para el temple

Esta aptitud se caracteriza por:

a) Capacidad de endurecimiento. Es la magnitud que expresa las posibilidades máximas de endurecimiento. Depende principalmente de la cantidad de carbono en la solución sólida en caliente.

b) Templabilidad o capacidad de penetración al temple. Se pone de manifiesto por la variación de dureza desde la superficie al núcleo.

Depende de las cantidades de carbono y de elementos de aleación disueltos en solución sólida mediante la austenización y del tamaño de grano austenítico.

3.6.2.5 Tipos de temple

Los tipos de temple se clasifican atendiendo al constituyente principal deseado que puede ser martensítico o bainítico y para ciertos aceros, austenítico. La ley de enfriamiento puede ser continua o discontinua.

3.6.2.5.1 Temple martensíticos

Son aquellos en los que el constituyente principal obtenido es martensita.

El enfriamiento continuo o discontinuo debe ser lo suficientemente rápido para que se evite la transformación de la austenita en la zona perlítica o bainítica.

3.6.2.5.1.1 Temple normal

Este tratamiento se compone de las siguientes etapas:

- a) Calentamiento de austenización.
- b) Enfriamiento continuo hasta una temperatura inferior o próxima a M_f .

3.6.2.5.1.2 Temple escalonado

El enfriamiento se efectúa en forma discontinua la interrupción del enfriamiento se produce en una zona de temperaturas y durante un tiempo tal que la austenita no sufre modificación apreciable durante esta interrupción. Este tratamiento se conoce también con los nombres de temple en dos tiempos, temple diferido o temple interrumpido (véase fig. 3). El ciclo térmico comprende las siguientes etapas:

- a) Un calentamiento de austenización.
- b) Un enfriamiento cuya ley implica velocidades superiores a la velocidad crítica de temple hasta una temperatura determinada cercana de M_s .
- c) Una permanencia de duración suficiente para que se alcance aproximadamente el equilibrio térmico de la pieza pero lo bastante corto sin embargo, para que la austenita no sufra modificación apreciable.
- d) Un enfriamiento hasta la temperatura ambiente, en condiciones adecuadas para que la formación de martensita sea casi total.

Este tratamiento no implica transformación isotérmica de la austenita.

3.6.2.5.2 Temple bainíticos

Son aquellos en los que el constituyente principal obtenido es bainita. El enfriamiento se efectúa de forma tal que se evita la transformación austenita-martensita (véase fig. 6).

El ciclo térmico se compone de las siguientes etapas:

- a) Calentamiento de austenización.
- b) Enfriamiento suficientemente rápido para evitar un principio de transformación en la zona de dominio perlítico.
- c) En la zona bainítica (zona de temperaturas superiores a M_s de comienzo de formación de martensita) el ciclo térmico puede continuarse con una de las dos variantes siguientes:

C₁) Una disminución de la velocidad de enfriamiento hasta que la transformación bainítica esté suficientemente avanzada, seguida de un enfriamiento cualquiera hasta la temperatura ambiente.

C₂) Una permanencia a temperatura constante y posteriormente cuando concluya la transformación bainítica, un enfriamiento cualquiera hasta la temperatura ambiente.

3.6.2.5.2.1 Observaciones

Aunque los métodos descritos en el punto 3.6.2.5.2, permiten obtener durezas análogas en dos piezas idénticas, no deberá deducirse que los resultados sean generalmente los mismos en lo concerniente al resto de características del metal tratado. La variante "C₁", se completa generalmente con un revenido y la variante "C₂" se utiliza sin revenido. La expresión de "temple isotérmico" para designar los tratamientos bainíticos definidos en el punto 3.6.2.5.2 es incorrecta.

3.6.2.5.3 Endurecimiento secundario

Se denomina con el nombre de endurecimiento secundario al aumento de dureza posterior al temple y que puede tener como origen:

a) La formación de martensita (temple secundario) a partir de la austenita residual. Esta martensita se forma durante la permanencia a la temperatura de revenido, o a lo largo del enfriamiento posterior a esta permanencia o como consecuencia de un subenfriamiento a temperatura más o menos baja.

b) La precipitación de constituyentes duros (carburos en particular).

c) Una separación de fases (compuestos intermetálicos) a partir de una solución sólida inestable, cuya matriz puede ser austenítica, ferrítica o martensítica; el fenómeno no siempre es detectable por observación al microscopio óptico.

3.6.2.6 Denominaciones complementarias

Según el modo de efectuar el temple, la denominación puede complementarse, si esta precisión es necesaria, con una o varias de las indicaciones de este apartado que completa las designaciones previstas en el punto 3.7, pero que por sí solas no son suficientes para definir un tratamiento.

3.6.2.6.1 Según el medio de enfriamiento (severidad de temple)

- .- Temple al aire (en calma o agitado, seco o húmedo, etc).
- .- Temple en agua o en solución salina (salmuera).
- .- Temple en aceite.
- .- Temple en baño de plomo o de otro metal.
- .- Temple en baño de sales (sal única o en mezcla de sales fundidas).
- .- Temple por aspersión o rociados de líquidos.

.- Temple entre matrices metálicas (temple en prensa).

3.6.2.6.2 Según el modo de calentamiento

3.6.2.6.1 Temple a la llama o flameo

Es aquél en el cual se realiza un calentamiento rápido mediante sopletes hasta la temperatura de austenización. El calentamiento puede alcanzar una zona más o menos profunda de la pieza.

3.6.2.6.2.2 Temple por inducción

Es aquél en el cual se realiza el calentamiento mediante corrientes inducidas hasta la temperatura de austenización.

3.6.2.6.3 Según la localización

De acuerdo a la extensión de la zona afectada, permite diferenciar el temple total o localizado, o temple hasta el núcleo superficial.

3.6.2.6.4 Según el grado de transformación

.- Temple completo (100% de martensita)

.- Temple incompleto.

3.6.2.6.5 Observación

Para evitar toda ambigüedad, conviene precisar el tratamiento mediante la indicación de la estructura deseada, ya que las designaciones de temple escalonado, interrumpido, en plomo o en baño de sales empleados algunas veces para denominar alguno de los tratamientos anteriormente descritos, son imprecisos.

3.6.3 Revenido

3.6.3.1 Es el tratamiento térmico efectuado sobre un producto templado con el fin de obtener modificaciones que le confieran las características de empleo deseadas. Este tratamiento provoca la formación de una estructura más próxima al estado de equilibrio físico - químico que la obtenida mediante el temple. El conjunto de las dos operaciones se denomina "temple y revenido".

El ciclo térmico se compone de las siguientes etapas:

- a) Un calentamiento hasta una temperatura determinada pero inferior a A_c .
- b) Uno o varios mantenimientos a una o varias temperaturas determinadas.
- c) Uno o varios enfriamientos hasta la temperatura ambiente, llevados a cabo en forma apropiada o según una ley fija.

En general, el revenido produce un ablandamiento, lo que da lugar a una mejora de las características de ductilidad, pero puede producir también un endurecimiento secundario.

3.6.3.2 Revenido de relajación o de estabilización

Su objetivo principal es la eliminación más o menos completa de las tensiones residuales (tensiones internas) debidas al temple. Puede implicar ligeras modificaciones de dureza, de estructura o de ambas. La temperatura de tratamiento adoptada es inferior a la del último tratamiento térmico sufrido.

3.6.4 Tratamientos termoquímicos de difusión

3.6.4.1 Este término general designa los tratamientos térmicos mediante los cuales se modifica, más o menos profundamente, la naturaleza de un metal por difusión de un elemento de aleación a través de su superficie. Algunos de ellos pueden ser seguidos de otros tratamientos térmicos complementarios que usualmente son denominados mediante las expresiones siguientes:

3.6.4.1.1 Temple directo

La pieza se temple directamente a la salida del medio suministrador del elemento difundido, o después de una permanencia superior a Ar_3 , pero siempre sin paso intermedio a la temperatura ambiente.

3.6.4.1.2 Temple sencillo

La pieza se somete a un temple único luego del tratamiento termoquímico y dejándose después enfriar lentamente hasta la temperatura ambiente o inferior a Ar_1 .

3.6.4.1.3 Temple doble

La pieza se somete a dos temples sucesivos a partir respectivamente, de temperaturas de temple del núcleo y de la capa superficial. El primero de estos tratamientos puede ser un temple directo. Después del temple puede efectuarse un revenido.

3.6.4.2 Principales tratamientos termoquímicos

3.6.4.2.1 Cementación

Es el tratamiento termoquímico de difusión que tiene por objeto incrementar el contenido de carbono en la superficie de la pieza. Puede efectuarse en medio sólido, pastoso, líquido gaseoso. Las especificaciones de cada producto pueden mencionar el espesor de la capa enriquecida o el espesor de la capa endurecida hasta un valor determinado.

3.6.4.2.2 Recarburación

Es la restauración del contenido de carbono de la capa superficial descarburada por un tratamiento anterior. Conviene señalar que mediante este tratamiento el metal puede no recuperar todas sus características originales ya que simultáneamente a la descarburación, se produce generalmente un empobrecimiento selectivo de otros elementos que no se recuperan con este tratamiento.

3.6.4.2.3 Nitruración

Es el tratamiento que tiene por objeto provocar la formación de una capa rica en nitruros complejos o de una solución sólida de nitrógeno en la matriz del metal.

3.6.4.2.3.1 Este tratamiento se realiza a temperatura inferior a A_{c1} y con diversas técnicas según la naturaleza del acero.

3.6.4.2.3.2 Los principales métodos empleados en este tratamiento son el de nitruración gaseosa (en medio gaseoso) que solamente suministra nitrógeno y el de nitruración en baños de sales fundidas que además del nitrógeno puede aportar pequeñas cantidades de carbono. Estos tratamientos pueden ir seguidos de un temple con el fin de mantener una parte del nitrógeno en solución sólida.

3.6.4.2.3.3 Es frecuente denominar capa blanca o de compuestos a la capa delgada muy enriquecida en nitrógeno que aparece en la superficie de las capas nitruradas y con el nombre de zona de difusión, a las capas situadas bajo la capa blanca y en las cuales el contenido en nitrógeno disminuye a medida que se alejan de la superficie.

3.6.4.2.4 Carbonitruración

Es el tratamiento termoquímico de difusión que tiene por objeto incrementar simultáneamente el contenido de carbono y de nitrógeno de la capa superficial de la pieza.

Normalmente se efectúa a temperatura superior a A_{c1} , pero, en determinados casos, puede realizarse a una temperatura ligeramente inferior a la citada A_{c1} . Puede hacerse en medio gaseoso (carbonitruración propiamente dicho) o en baño de sales fundidas (cianuración). Normalmente este tratamiento se sigue de un temple.

3.6.4.2.5 Cromización

Es el tratamiento termoquímico de difusión que tiene por objeto incrementar el contenido de cromo. No debe confundirse con el cromado que es la deposición electrolítica del cromo; ni con la cromatización, que es la formación, mediante intercambio iónico, de complejos a base de cromo en la superficie del metal.

3.6.4.2.6 Sulfonitruración

Este tratamiento también conocido como sulfinitización, tiene por objeto la difusión simultánea de azufre, nitrógeno y carbono.

3.6.4.2.7 Difusión de otros elementos

Los tratamientos termoquímicos pueden emplearse para difundir en el metal otros elementos tales como boro, silicio, aluminio, wolframio, cinc, molibdeno, etc. Estos tratamientos no deben confundirse con las operaciones de revestimiento o de preparación química de la superficie del metal por algunos de los elementos citados.

3.6.5 Otros tratamientos termicos

3.6.5.1 Normalizado

Es la expresi3n utilizada corrientemente para denominar un tratamiento que implica un calentamiento de austenizaci3n seguido de un enfriamiento en aire en calma.

3.6.5.1.1 En el caso de aceros al carbono o d3bilmente aleados se utiliza con el fin de producir una estructura perl3tica fina. Si como resultado de este tratamiento se obtienen tambi3n estructuras parcialmente bain3ticas o incluso martens3ticas, es preferible utilizar el t3rmino de temple al aire.

3.6.5.1.2 El normalizado se emplea frecuentemente como recocido de regeneraci3n, aplicado a piezas que presenten una estructura grosera, como el metal bruto de forja, de laminaci3n y similares. Este tratamiento no debe confundirse con el descrito en el apartado 3.6.5.2.

3.6.5.1.3 Como consecuencia de la influencia de las dimensiones y de la forma de la pieza sobre la ley de enfriamiento, el estado final puede, para un mismo tipo de acero, variar en funci3n de estos factores geom3tricos.

3.6.5.2 Tratamiento de regeneraci3n de grano

Este tratamiento se aplica para regenerar la estructura en piezas sobrecalentadas (vease 3.6.1.2.1.2) o para conseguir un engrosamiento de grano.

3.6.5.3 Tratamiento de homogeneizaci3n o de difusi3n (llamado tambi3n recocido de homogeneizaci3n o de difusi3n).

Es un tratamiento a una temperatura, en general muy por encima de A_{C3} , para los aceros susceptibles de la transformaci3n $\alpha \longrightarrow \delta$ con un mantenimiento tal que la difusi3n sea suficiente para atenuar las heterogeneidades de composici3n qu3mica del metal, debidas a una operaci3n efectuada a alta temperatura como, por ejemplo, la cementaci3n, solidificaci3n despues del moldeo y similares. El enfriamiento se realiza segun una ley conveniente.

3.6.5.4 Maleabilizaci3n

Estos tratamientos se aplican espec3ficamente a las fundiciones blancas con el fin de modificar sus caracter3sticas microestructurales y consecuentemente sus propiedades f3sicas.

3.6.5.4.1 Maleabilizaci3n por descarburaci3n

Es un tratamiento termico efectuado en un medio conveniente con el fin de obtener una descarburaci3n parcial o total (fundici3n maleable de nucleo blanco o europea).

3.6.5.4.2 Maleabilizaci3n por grafitizaci3n

Es el tratamiento t3rmico de un producto de composici3n conveniente, realizado con el fin de obtener la precipitaci3n m3s o menos completa del carbono en estado de grafito (fundici3n maleable de nucleo negro o americano).

3.6.5.5 Envejecimiento

Es la variación en función del tiempo, de las propiedades del metal que han sufrido un tratamiento previo, como puede ser un enfriamiento brusco o un trabajo en frío. El envejecimiento se denomina:

3.6.5.5.1 Natural o espontáneo

Si se produce a la temperatura ambiente y sin intervención de ningún otro factor.

3.6.5.5.2 Artificial o acelerado

Si se produce mediante la combinación o alguno de los siguientes medios:

Calentamiento a una temperatura moderada, un enfriamiento, oscilaciones de temperatura en el interior de un intervalo que puede o no incluir la temperatura ambiente o una acción mecánica. El objeto de este tratamiento es obtener rápidamente modificaciones de propiedades que solo serían conseguidas espontáneamente a la temperatura ambiente al cabo de un tiempo mucho más largo.

3.6.5.6 Tratamiento de estabilización de dimensiones y de propiedades

Es el calentamiento o enfriamiento a una temperatura definida o mediante ciclos térmicos determinados, con el fin de obtener la estabilidad de las dimensiones mediante la reducción de las tensiones propias y la consecución de un estado estructural y físico-químico estable a la temperatura de empleo. Se aplica especialmente a galgas, calibres, piezas mecánicas y similares.

3.6.5.7 Endurecimiento por precipitación

Es un tratamiento de endurecimiento que implica una disolución de los constituyentes y su mantenimiento en estado metaestable, seguido de una separación de fases bajo la acción de uno o varios calentamientos efectuados a temperaturas intermedias. Ocasionalmente la precipitación puede ser favorecida por operaciones de deformación en frío del material.

3.6.5.8 Patentado

3.6.5.8.1 Tratamiento aplicable a alambres y flejes que consiste en un calentamiento de austenización seguido de un enfriamiento lo suficientemente energético, por encima de Ms, para dar al metal una estructura favorable al trabajo posterior de deformación en frío.

3.6.5.8.1.1 Este tratamiento se efectúa generalmente de forma continua. El producto desenrollado pasa a través de la instalación de tratamiento y posteriormente es enrollado nuevamente después del enfriamiento completo.

3.6.5.8.1.2 Puede también efectuarse de forma discontinua. Se calientan los rollos sin deshacer y, después de su austenización, se sumergen en baño caliente mantenido a temperatura conveniente.

3.6.5.8.2 Estos métodos de trabajo dan lugar a expresiones que aluden al modo de enfriamiento o a la discontinuidad del proceso, tales como: patentado al aire en baño de sales, en plomo; continuo por inmersión, en rollos y otros similares.

3.6.5.9 Temple austenítico (hipertemple)

Es el tratamiento cuyo objeto es conservar la austenita a la temperatura ambiente impidiendo cualquier transformación a lo largo del enfriamiento. Este tratamiento es aplicable únicamente a los aceros en los que el principio de la transformación martensítica (M_s) es inferior a la temperatura ambiente (aceros austeníticos). El ciclo térmico se compone de un calentamiento de austenización, seguido de un enfriamiento, cuyas velocidades permiten evitar cualquier separación de fases.

En ocasiones, a pesar de que en el tratamiento aparezcan cantidades apreciables de martensita junto a la austenita siempre predominante, se emplea esa expresión.

3.6.5.10 Tratamiento de sub-enfriamiento

Es el tratamiento que implica un enfriamiento a veces muy por debajo de la temperatura ambiente, destinado a provocar o a completar una transformación.

3.6.5.11 Recocido de estabilización

Es el recocido practicado en ciertos aceros con el fin de globulizar o de aglomerar los precipitados finos. Un ejemplo de este tratamiento es el recocido aplicado a aceros inoxidable estabilizados químicamente con titanio o niobio para globulizar los carburos precipitados.

3.6.6 Medio en el que se efectúa el tratamiento

3.6.6.1 Todos los tratamientos descritos anteriormente pueden efectuarse en vacío o en medio de diferentes actividad: gaseosos (aire, mezcla de gases o de vapores), líquidos (agua, aceite, metal o sales fundidas), sólido (arena, cemento, virutas, lechos fluidificados). Para determinar el tratamiento sin ambigüedad, debe precisarse el medio requerido.

3.6.6.2 Atmósfera controlada

En especial se denomina atmósfera controlada la de la cámara de tratamiento en la cual se mantiene entre "límites prefijados" las concentraciones, temperatura y presión de los diversos constituyentes, vapores o gases, con el fin de favorecer, retrasar o evitar ciertas reacciones de estos constituyentes con el metal tratado (reducción, oxidación, cementación, carburación, descaburación y otras análogas).

3.7 FENOMENOS RELACIONADOS CON LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos pueden implicar diversas incidencias, a veces indeseables, de las cuales las más frecuentes son:

3.7.1 Sobrecalentamiento

Calentamiento efectuado en condiciones excesivas de temperatura, de duración o de ambas, que dan lugar a un crecimiento anormal del grano sin excesiva alteración de sus bordes, generalmente acompañada de una degradación de las propiedades mecánicas. Un metal sobrecalentado puede regenerarse mediante un tratamiento térmico, una deformación plástica apropiada o por una combinación de ambas operaciones.

3.7.2 Quemado

Cuando el calentamiento se ha efectuado en condiciones tan excesivas de temperatura, de duración o de ambas, que ha dado lugar a una alteración tan pronunciada de los bordes de los granos que no es posible la regeneración del metal mediante un tratamiento térmico o mecánico, se dice que el metal está quemado.

3.7.3 Grafitización

Es la precipitación total o parcial del carbono combinado de un acero o de una fundición en forma de grafito, como consecuencia de un ciclo térmico de duración suficiente.

3.7.4 Descarburación y recarburación

Es la disminución o aumento respectivamente del contenido en carbono, debido a la acción del medio exterior a una temperatura suficientemente elevada.

3.7.4.1 La descarburación y la recarburación pueden ser profundas o limitarse a las capas superficiales.

3.7.4.2 Las condiciones de descarburación pueden incluso llegar a zonas de descarburación casi total.

3.7.4.3 La descarburación puede ir acompañada de un empobrecimiento selectivo de otros elementos.

3.7.5 Deformación (de temple o de tratamiento)

Es la variación de las dimensiones, de la forma de un producto, o de ambas, como consecuencia del tratamiento térmico.

3.7.6 Grieta de tratamiento térmico

Es la provocada en el metal por los efectos inmediatos o diferidos de un calentamiento o de un entriamiento.

3.7.7 Modificación del aspecto superficial

Son las modificaciones que se producen durante ciertas fases de tratamiento, debidas a la formación de una capa de óxidos o a la reducción de una capa de óxidos preexistente.

BIBLIOGRAFIA

- UNE - 36-006 Tratamientos térmicos de los productos ferrosos. Terminología y Definiciones. Una Norma Española. 1973. Editado por UNE. Madrid.
- EURONORM - 52 Vocabulaire du traitement thermique. Comunidad Europea. 1967. Editado por EURONORM. Luxemburg.

ASTM-E44 Standard Definitions of terms Relating to heat treatment of metals. American Society for testing and materials. 1984. Annual Book for ASTM Standards. Edited by ASTM, Easton, Md. USA.

ASM Metals Hand book. American Society for metals. 9na Edition. Edited by ASM.

A N E X O A

DIAGRAMAS

Las figuras 1 a 6 representan esquemáticamente las curvas, tiempo, temperatura, transformación (Curvas ITT) sobre las que se ha superpuesto la curva de enfriamiento correspondiente al tratamiento.

NOTACION:

- Ta = Temperatura de austenización
- A = Austenita
- F = Ferrita
- C = Cementita
- M = Martensita
- ooo = Zona de transformación en enfriamiento continuo
- = Zona de transformación isotérmica
- F + C = Ferrita + Cementita
- T = temperatura
- Logt = Logaritmo del tiempo

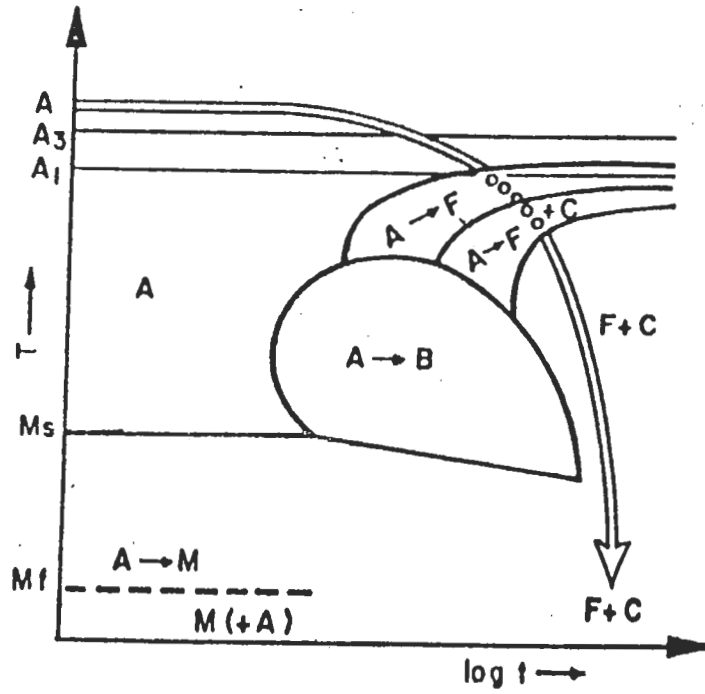


FIGURA 1
RECOCIDO PROPIAMENTE DICHO

Enfriamiento continuo y suficientemente lento para conseguir la transformación total de la austenita en ferrita y cementita.

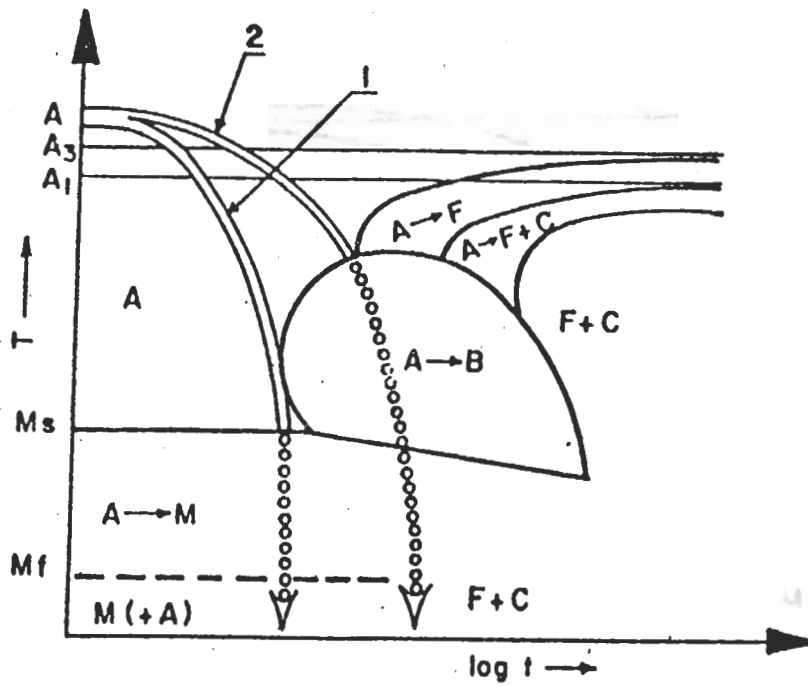


FIGURA 2

La figura 2 corresponde a los enfriamientos continuos más lentos que permiten evitar toda transformación en las zonas perlíticas y bainítica (curva 1) y en la zona perlítica (curva 2).

Curva 1: enfriamiento crítico martensítico

Curva 2: enfriamiento crítico bainítico

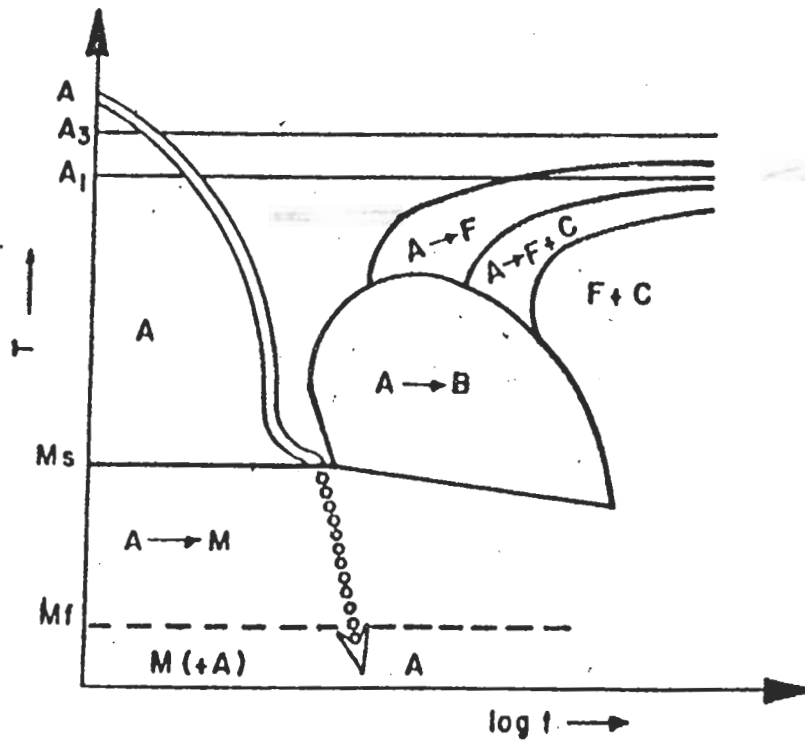


FIGURA 3
CURVA DE TEMPLE ESCALONADO MARTENSITICO

La figura 3 muestra un enfriamiento más rápido que el crítico hasta una temperatura justamente superior a M_s , seguido de un mantenimiento isotérmico suficiente para aproximarse al equilibrio térmico de la pieza, evitando sin embargo, en tanto sea posible, atravesar la zona bainítica. El enfriamiento se continua a través de la zona martensítica.

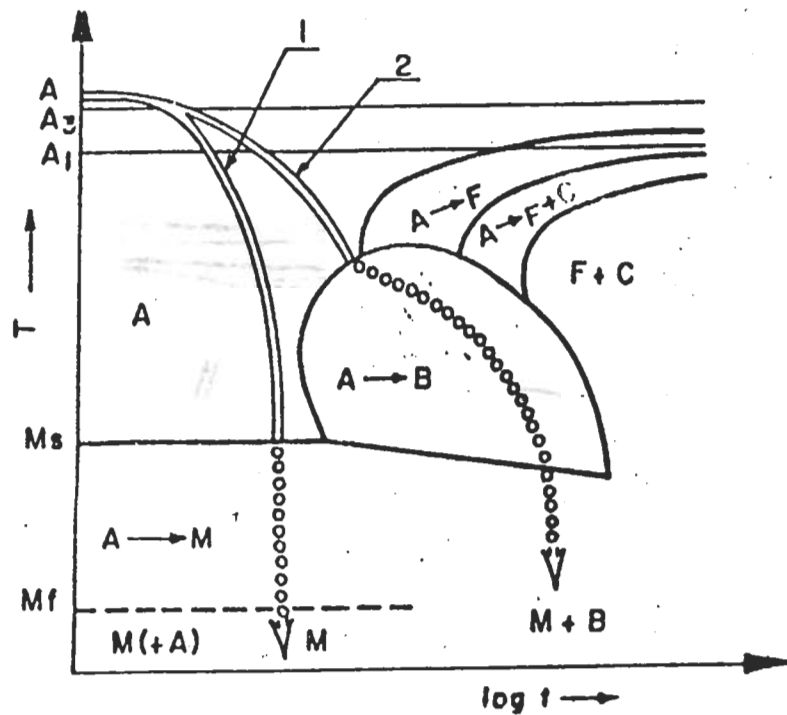


FIGURA 4
CURVAS DE TEMPLE. ENFRIAMIENTO CONTINUO

La figura 4 presenta un temple puro. La curva de enfriamiento no atraviesa las zonas de transformación de temperatura superior a M_s . La estructura final es Martensita (Ver curva 1).

La curva 2, presenta un temple martensítico, bainítico. La curva sin alcanzar las zonas ferríticas. La estructura final es martensita y bainita, siendo la proporción de martensita tanto menor cuanto mayor sea el tiempo que se trate en atravesar la zona de transformación austenita-bainita. No se consigue obtener una estructura bainítica.

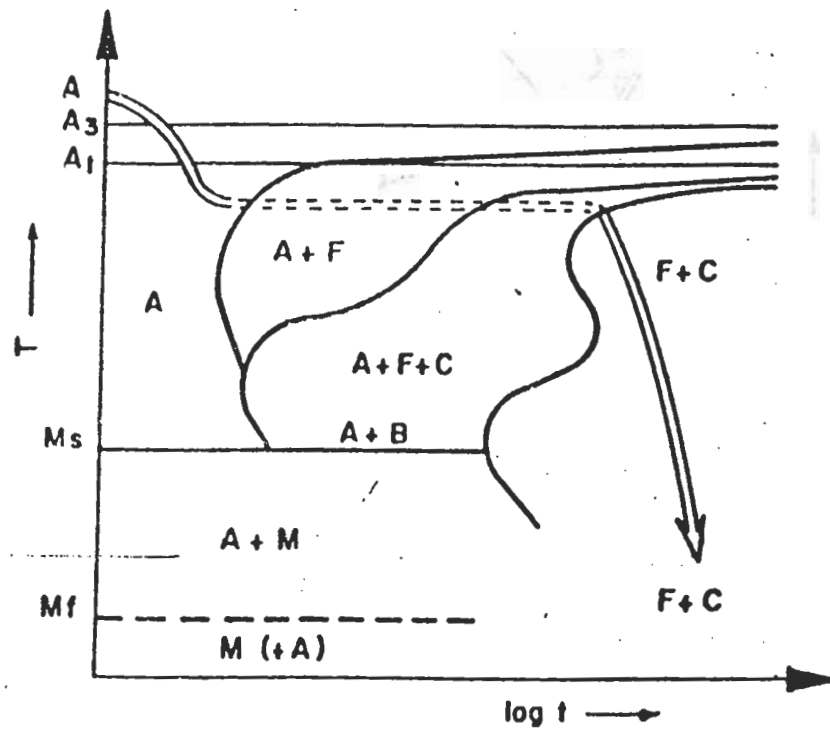


FIGURA 5
RECOCIDO ISOTERMICO

La figura 5, presenta un enfriamiento hasta una temperatura inferior a A seguido de un mantenimiento suficientemente prolongado en la zona de transformación de la austenita en ferrita y cementita para permitir que se complete dicha transformación. El enfriamiento se continua arbitrariamente.

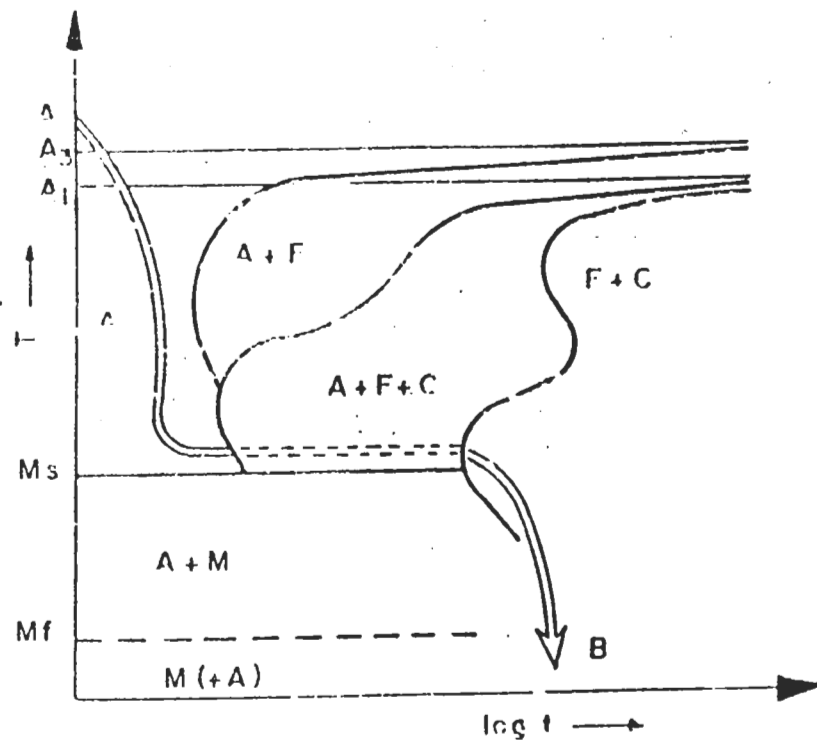


FIGURA 6
TEMPLE BAINITICO

La figura 6, presenta un enfriamiento más rápido que el crítico bainítico hasta una temperatura superior a M, seguido de un mantenimiento isoterma necesario para permitir la transformación bainítica total. El enfriamiento se completa de forma arbitraria.

COVENIN
816-89

CATEGORIA
D

COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES
MINISTERIO DE FOMENTO
Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12
Tel. 575. 41. 11 Fax: 574. 13. 12
CARACAS

publicación de:



CDU:669.6:017.04

ISBN: 980-06-0480-4

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio.
