

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS

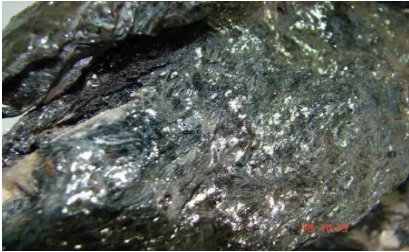
CONTENIDOS

- ✓ Diagrama Fe-C
- ✓ Tratamiento de los metales para mejorar sus propiedades
 - ❖ Tratamientos térmicos
 - ❖ Tratamientos termoquímicos
 - ❖ Tratamientos mecánicos
 - ❖ Tratamientos superficiales



1.- DIAGRAMA Fe-C

ALOTROPÍA: propiedad que presentan determinados elementos químicos de presentar distintas estructuras cristalinas bajo diferentes condiciones de presión y temperatura.



El hierro es un metal de color gris plateado, buen conductor de la electricidad, blando, dúctil y maleable y presenta propiedades magnéticas. Es uno de los metales más útiles debido a su gran abundancia y a su facilidad de obtención.

Es un **metal alotrópico**, puede existir en más de una estructura reticular dependiendo fundamentalmente de la temperatura. Las formas alotrópicas que presenta son:

- ✓ **Variedad α (Fe- α):** aparece hasta los 768 °C. Su estructura cristalina es BCC. Prácticamente no disuelve carbono.
- ✓ **Variedad β (Fe- β):** se encuentra entre 768 °C y 910 °C. Cristaliza en FCC. Es similar al hierro α pero no es magnético.
- ✓ **Variedad γ (Fe- γ):** se encuentra entre 910 °C y 1.394 °C. Cristaliza en BCC. Disuelve fácilmente el carbono hasta el 2,11 %. Es diamagnético (débilmente magnético).
- ✓ **Variedad δ (Fe- δ):** cristaliza entre 1.394 °C y 1.538 °C en la estructura BCC. Puede disolver hasta un 0,1 % de carbono. No tiene aplicaciones siderúrgicas. A partir de 1.538 °C, se inicia la fusión del hierro

1.- DIAGRAMA Fe-C

El hierro puro tiene muy pocas aplicaciones industriales pero, formando aleaciones con carbono y otros elementos, es el metal más utilizado en la industria actual.

Teniendo en cuenta su contenido en carbono, las aleaciones hierro-carbono se clasifican en hierro industrialmente puro, acero y fundición.

- Se considera **hierro** industrialmente **puro** a una aleación hierro-carbono con un contenido en carbono inferior al 0,03%.
- Se denomina **acero** a toda aleación de hierro-carbono cuyo contenido en carbono se sitúa generalmente por debajo del 2% y superior al 0,03%.
- Se denomina **fundición** a las aleaciones hierro-carbono cuyo contenido en carbono es superior a la de un acero e inferior a un 4% aproximadamente de carbono.

La máxima proporción de carbono que se puede disolver es 6,67% (carburo de hierro, **cementita**)

Las aleaciones con un contenido en carbono superior a un 5% carecen de utilidad industrial, a causa de su extrema fragilidad (la cementita es un constituyente muy duro y frágil).

1.- DIAGRAMA Fe-C

DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

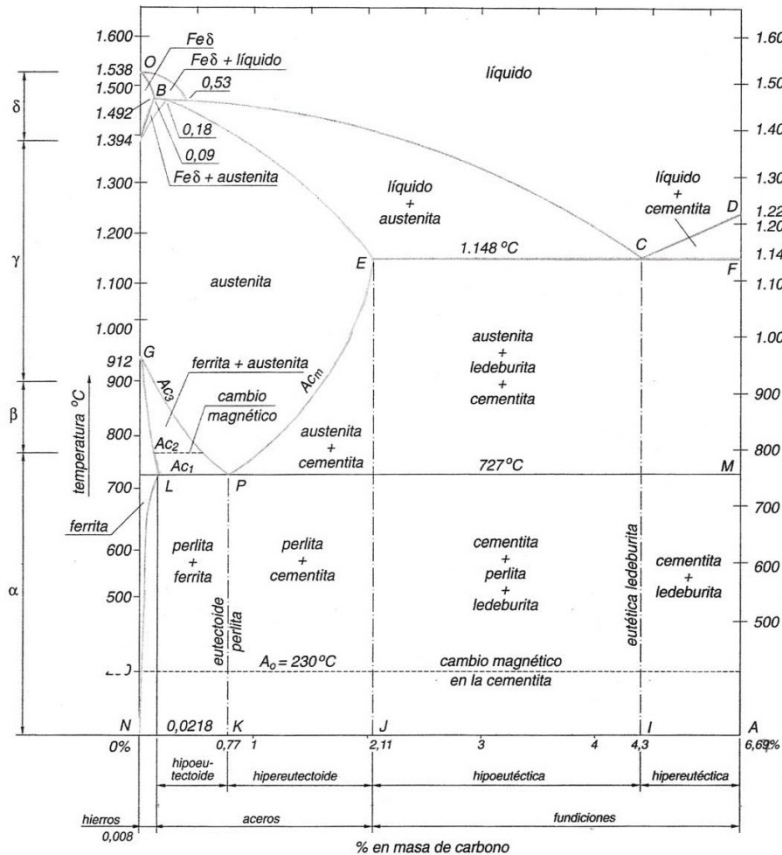


Diagrama hierro-carbono. Zonas, puntos y líneas más significativas.

Este diagrama muestra las fases existentes en las aleaciones hierro-carbono enfriadas muy lentamente, a varias temperaturas y composiciones de hierro con porcentajes de carbono (hasta el 6,67%).

A partir de este diagrama, puede predecirse el tipo de constituyente mayoritario que tendrá la aleación en función de la temperatura y del contenido (%) en carbono; conociendo los constituyentes será posible predecir las propiedades que tendrá la aleación.

Es una herramienta muy útil que indica cómo, cuándo y en qué condiciones debe realizarse un tratamiento térmico y los resultados que deben esperarse del mismo.

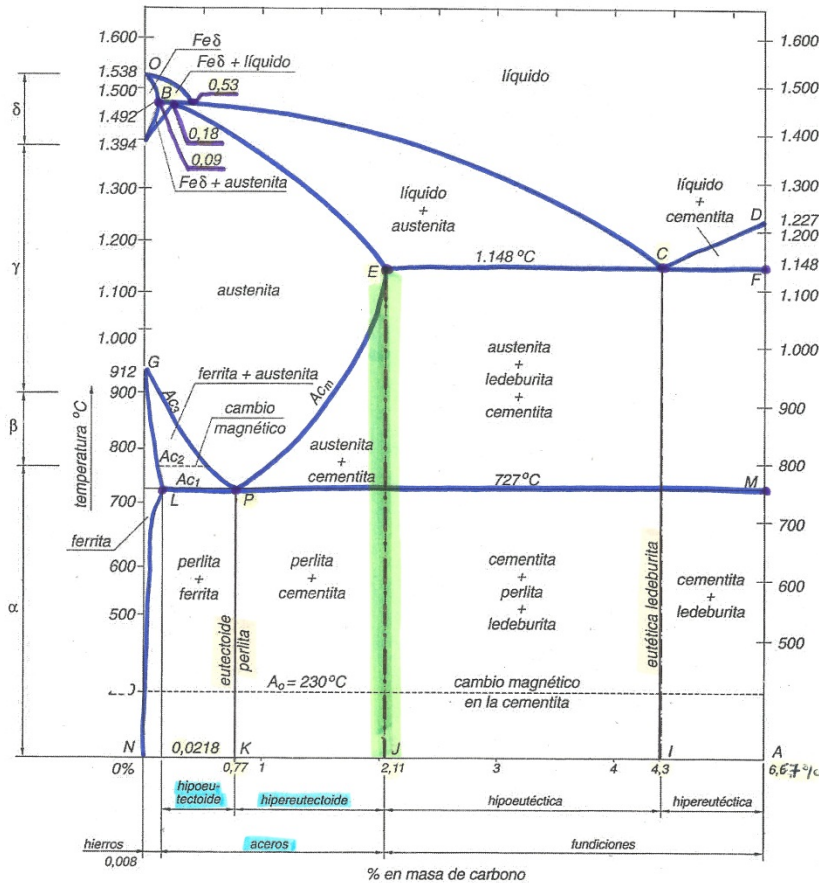
1.- DIAGRAMA Fe-C

En las aleaciones hierro-carbono, se pueden encontrar distintos constituyentes en función de la concentración de los componentes químicos (Fe y C) y de la temperatura. Los más importantes son:

- **Austenita:** es una solución sólida por inserción de carbono en hierro γ (hasta 2,11% de C). No se encuentra a temperatura ambiente. Es blando, deformable, tenaz y muy resistente al desgaste. Es el constituyente más denso del acero y es no magnético. Presenta una estructura FCC y comienza a formarse a 727 °C.
- **Ferrita:** solución sólida de carbono en hierro α . Es el constituyente más blando del acero. Disuelve muy poco carbono (menos de 0,008%) por lo que se considera hierro α .
- **Cementita:** es el carburo de hierro (Fe_3C). Es el más duro y frágil (6,67% C).
- **Perlita:** es el microconstituyente eutectoide formado por ferrita (88,7%) y cementita (11,3%). El contenido en carbono de la aleación es de 0,77%.
- **Ledeburita:** es una aleación eutéctica con un contenido en carbono de 4,3% compuesta por austenita y cementita. Es propio de las fundiciones.

1.- DIAGRAMA Fe-C

TRANSFORMACIONES IMPORTANTES:



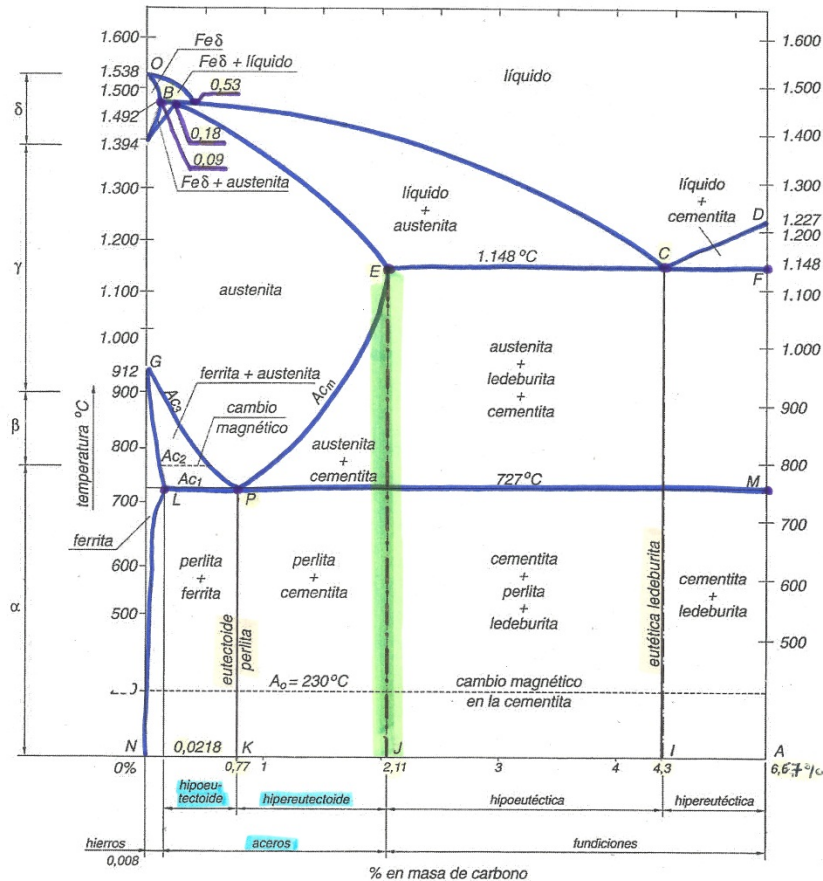
TRANSFORMACIÓN PERITÉCTICA (B)

Ocurre a temperaturas muy elevadas y en aceros con muy bajas concentraciones de carbono. En ella, el **líquido** con un contenido en carbono de 0,53% a 1.492 °C se combina con **ferrita** con un 0,09% de C para convertirse en **austenita** con un 0,18% de carbono.

El valor industrial de esta transformación es despreciable puesto que no se efectúa ningún tratamiento térmico en esta zona.

1.- DIAGRAMA Fe-C

TRANSFORMACIONES IMPORTANTES:



TRANSFORMACIÓN EUTECTOIDE (P)

En esta transformación, la **austenita sólida**, de 0,77% de carbono, se convierte a 727 °C en **ferrita** (punto L) con un contenido en carbono de 0,0218% y **cementita** (punto M) con un 6,67% en carbono. En el **punto P (eutectoide, 0,77% C)**, toda la masa de **austenita** se transforma en **perlita** (estructura constituida por láminas entremezcladas de ferrita y cementita). Esta transformación es muy importante en algunos tratamientos térmicos de los aceros.

1.- DIAGRAMA Fe-C

TRANSFORMACIONES IMPORTANTES:

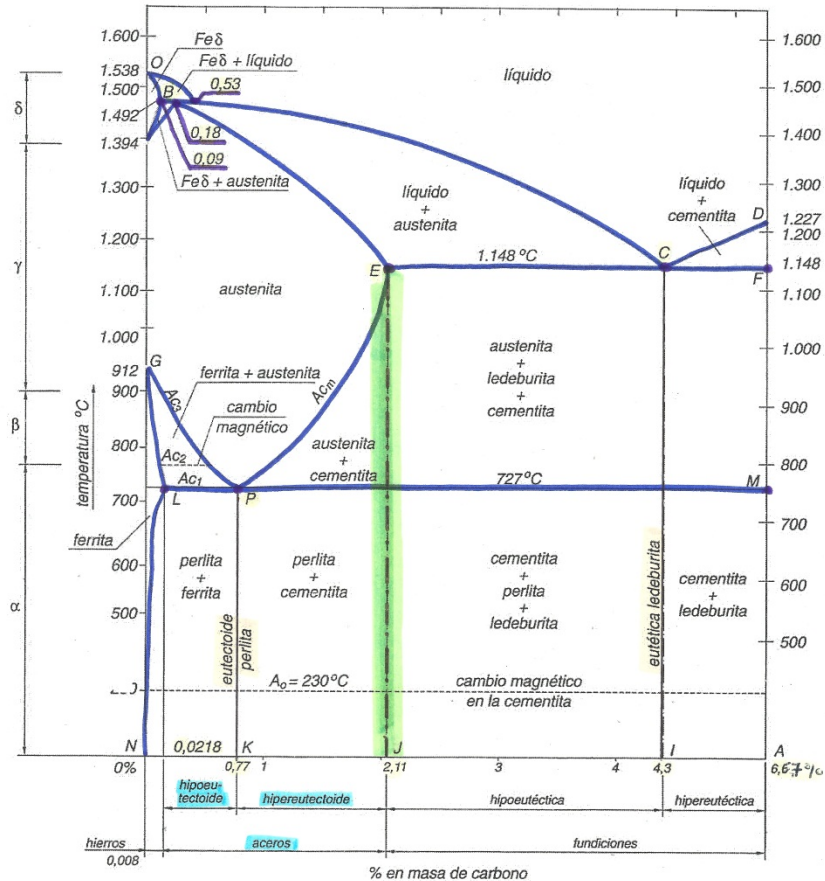


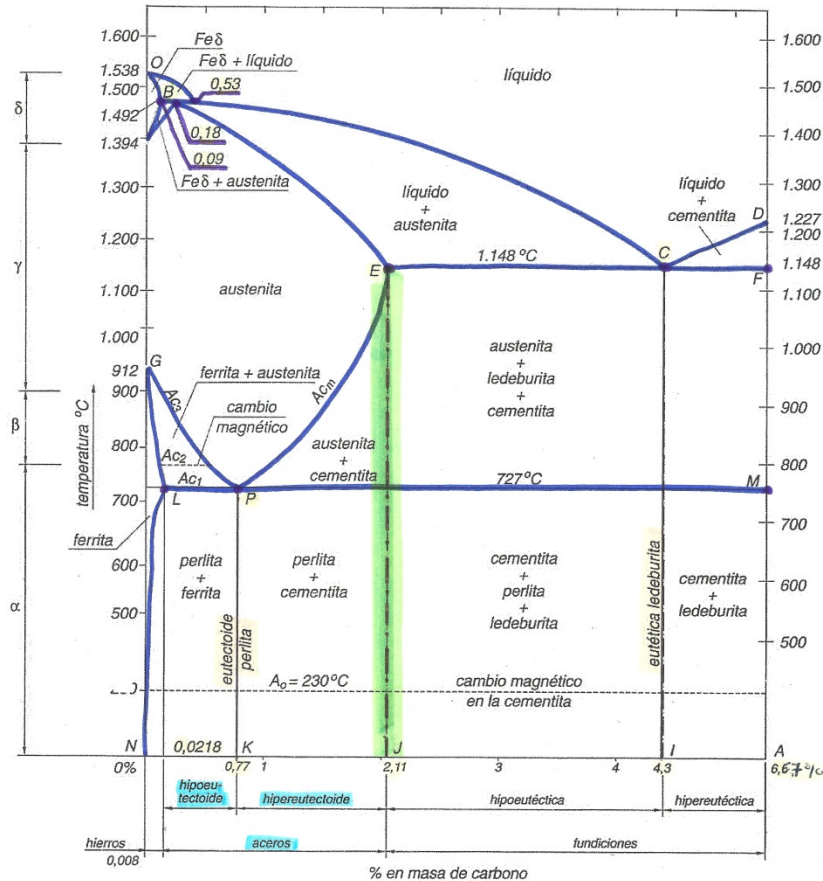
Diagrama hierro-carbono. Zonas, puntos y líneas más significativas.

TRANSFORMACIÓN EUTÉCTICA (C)

En esta transformación, el líquido, de 4,3% de carbono, se convierte a 1.148 °C en **austenita** (punto E) con un contenido en carbono de 2,11% y **cementita** (punto F) con un 6,67% en carbono. En el **punto C (eutéctico, 4,3% C)**, toda la masa de **líquido** se transforma en **ledeburita** (constituyente propio de las fundiciones).

1.- DIAGRAMA Fe-C

TIPOS DE ACERO:

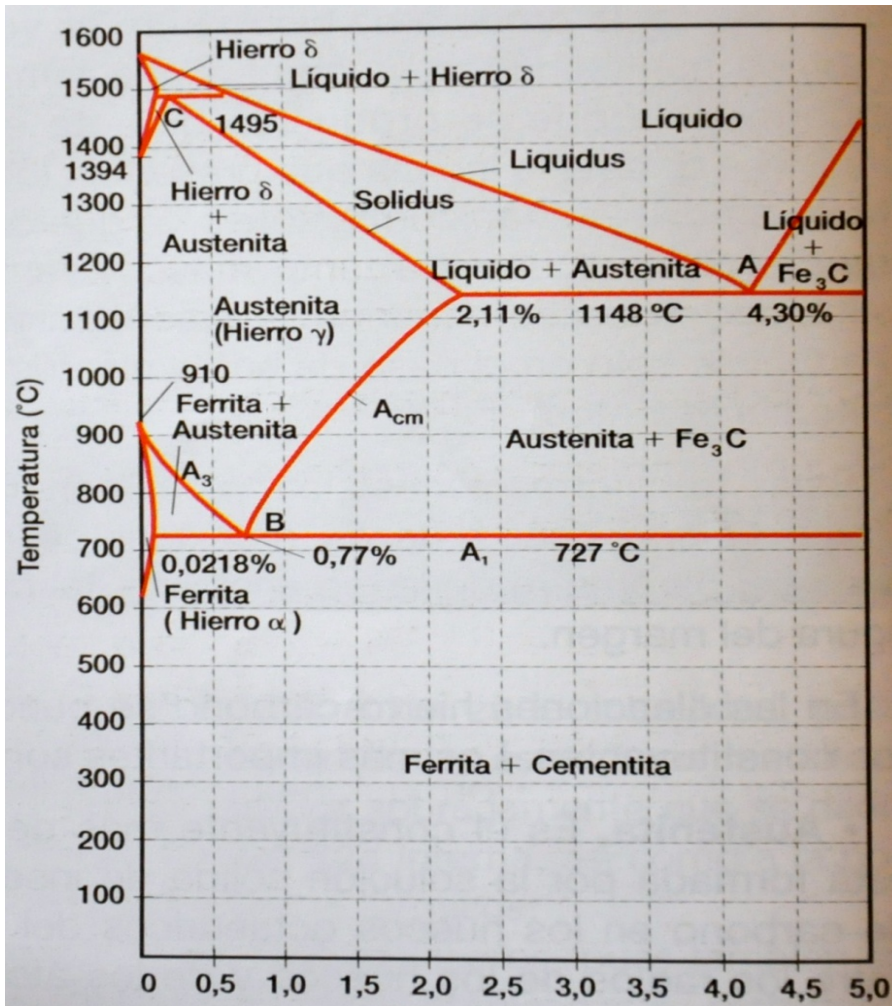


Teniendo en cuenta las transformaciones recogidas en el diagrama Fe-C, los aceros se pueden clasificar en:

- **Aceros hipoeutectoides:** tienen un contenido en carbono inferior a 0,77% (estructura de ferrita y perlita).
- **Aceros eutectoides:** tienen un contenido en carbono de 0,77% (estructura de perlita).
- **Aceros hipereutectoides:** tienen un contenido en carbono superior a 0,77% pero inferior a 2,11% (estructura de perlita y cementita).

1.- DIAGRAMA Fe-C

DIAGRAMA SIMPLIFICADO (Fe-Fe₃C)



[VIDEO](#) [DIAGRAMA](#) [Fe-C](#)
[SIMPLIFICADO](#)

1.- DIAGRAMA Fe-C

TIPOS DE ACERO:

Desde el punto de vista comercial, los aceros se pueden clasificar en:

- **Aceros con bajo contenido en carbono:** constituyen la mayor parte de todo el acero empleado. Contienen menos del 0,25% en peso de carbono, no responden a tratamiento térmico para obtener martensita (temple) ni se puede endurecer por acritud. La microestructura que presentan se corresponde a ferrita y perlita por lo que son relativamente blandos y poco resistentes pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad.

La adición de elementos como Cu, V, Ni y Mo mejora mucho sus resistencia mecánica que puede aumentar aplicando un tratamiento térmico adecuado y, además, mantiene su facilidad para el mecanizado. Estos aceros, denominados de alta resistencia y baja aleación, se emplean en componentes donde la resistencia mecánica es crítica: puentes, torres, columnas de soportes de edificios altos, bastidores de camiones y vagones.

1.- DIAGRAMA Fe-C

- **Aceros medios en contenido en carbono:** contienen entre del 0,25% y el 0,60% en peso de carbono. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante austenización, temple y revenido para mejorar sus propiedades mecánicas. La microestructura es, generalmente, martensita revenida.

La adición de elementos como Cr, Ni y Mo facilita el tratamiento térmico de estos aceros que, en ausencia de estos elementos es más difícil. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar martillos, cigüeñales, pernos, etc.

- **Aceros con alto contenido en carbono:** contienen entre 0,60% y 1,4% de peso en carbono. Son más duros y resistentes (menos dúctiles) que los otros aceros al carbono. Casi siempre se utilizan con tratamientos de templado y revenido que los hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte.

Generalmente, contienen Cr, V, W y Mo que dan lugar a las formación de carburos muy duros.

Se utilizan para herramientas de corte, matrices para fabricar herramientas de herrería y carpintería. Por ejemplo: cuchillos, navajas, hojas de sierra, brocas de cemento, corta tubos, muelles e hilos de gran resistencia, etc.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

El objeto de estos tratamientos es mejorar las propiedades mecánicas de los metales bien mejorando su dureza y resistencia mecánica o bien aumentando su plasticidad para facilitar su conformado.

Estos tratamientos no deben alterar de forma notable la composición química de un metal.

Se pueden distinguir cuatro clases diferentes de tratamientos:

- **TRATAMIENTOS TÉRMICOS:** con este tipo de tratamiento, los metales son sometidos a procesos térmicos en los que no se varía su composición química aunque sí su estructura interna y, por tanto, sus propiedades.
- **TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS:** los metales son sometidos a enfriamientos y calentamientos, a la vez que se modifica la composición de su capa externa.
- **TRATAMIENTOS MECÁNICOS:** tienen por objeto mejorar las características de los metales por medio de deformación mecánica, pudiendo realizarse en caliente o en frío.
- **TRATAMIENTOS SUPERFICIALES:** se mejoran las propiedades de la superficie de los metales sin alterar su composición química. En este caso, a diferencia de los tratamientos termoquímicos, no es necesario someter el material a ningún proceso de calentamiento.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Consisten en operaciones de calentamiento y enfriamiento a las que se someten los metales para conseguir determinados cambios en su estructura cristalina (por ejemplo, el tamaño del grano) sin que la composición química resulte afectada.

4 tratamientos térmicos fundamentales:

□ TEMPLE

Consiste en el calentamiento de un metal acompañado de un posterior enfriamiento de forma súbita. De este modo, se obtiene un metal muy duro y resistente mecánicamente a causa de su estructura cristalina deformada. El endurecimiento aportado por el temple se puede comparar al que se consigue por medio de la deformación en frío.

Este tratamiento es propio de los aceros y consiste en su **austenización**, es decir, un calentamiento hasta una temperatura superior a la de austenización (727 °C), seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido para obtener una estructura martensítica.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

¿Qué es la MARTENSITA?

La MARTENSITA es el constituyente típico de los aceros templados. Se trata de una solución intersticial sobresaturada de carbono en Fe α . Se obtiene enfriando rápidamente en la zona austenítica. Cristaliza en la red tetragonal centrada en el cuerpo. Es el constituyente más duro del acero después de la cementita.

La posibilidad de templar un acero viene determinada por dos factores:

- Su **templabilidad**: capacidad de un acero para el temple, es decir, la facilidad con la que se forma la martensita. La transformación completa de austenita en martensita sólo se consigue con velocidades de enfriamiento muy elevadas.
- La velocidad de enfriamiento.

El temple del acero nunca constituye un tratamiento final debido a que la estructura martensítica obtenida, pese a ser muy dura, es al mismo tiempo muy frágil. Por este motivo, una vez templado el acero, se le somete a un tratamiento térmico de revenido con objeto de obtener una estructura más dúctil y tenaz. Los efectos de este tratamiento dependen de la temperatura y del tiempo de duración del proceso. El tratamiento completo de **temple más revenido** recibe el nombre de **BONIFICADO**.

El bonificado es un tratamiento adecuado para aceros aleados o aquellos con un alto contenido en carbono.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

❑ REVENIDO

Se aplica exclusivamente a los metales templados y es, por lo tanto, un tratamiento complementario del temple. Con el revenido se pretende mejorar la tenacidad del metal templado a expensas de disminuir un poco su dureza.

❑ NORMALIZADO

Este tratamiento confiere al acero una estructura y propiedades que arbitrariamente se consideran como normales y características de su composición. Por medio de él, se eliminan tensiones internas y se uniformiza el tamaño de grano. Se suelen someter a normalizado piezas que han sufrido trabajos en caliente, en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos y también se utiliza en aquellos casos en los que se desean eliminar los efectos de un tratamiento anterior defectuoso.

En este tratamiento, la velocidad de tratamiento no es lo suficientemente elevada como para formar martensita y la estructura resultante es perlita y ferrita o cementita de grano fino.

Es un tratamiento adecuado para los aceros con bajo contenido en carbono pues mejora sus propiedades mecánicas.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

□ RECOCIDO

Consiste en calentar el acero a una cierta temperatura (similar a la del normalizado) y a continuación someterlo a un enfriamiento muy lento (por lo general se apaga el horno y se deja que el material se enfríe en su interior).

El recocido se aplica al acero para ablandarlo y proporcionarle la ductilidad y maleabilidad para conformado plásticamente o darle su forma final por mecanizado.

La diferencia entre los tratamientos de temple, normalizado y recocido estriba en la velocidad de enfriamiento que sirve para definir la dureza y la resistencia finales de la pieza.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Consisten en operaciones de calentamiento y enfriamiento de metales que se complementan con la adición de nuevos elementos en la superficie de las piezas, de manera que se modifica la composición química superficial.

Con estos tratamientos, se pretende mejorar las propiedades superficiales en los materiales –en especial, su dureza y resistencia al desgaste y a la corrosión- sin modificar las propiedades en su interior. De esta forma, se pueden obtener piezas con una gran dureza superficial y cuyo interior conserve una elevada tenacidad.

□ CEMENTACIÓN O CARBURACIÓN

Consiste en añadir carbono, mediante difusión, a la superficie de un acero que presente un bajo contenido en este elemento (como máximo 0,2-0,3%) con objeto de aumentar su dureza superficial y conseguir una alta tenacidad en el núcleo.

La cantidad de carbono depende de varios factores:

- Composición química inicial del acero.
- Naturaleza de la atmósfera carburante.
- Temperatura.
- Tiempo de duración del tratamiento.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

Es frecuente aplicar un tratamiento posterior de revenido para eliminar tensiones internas.

□ NITRURACIÓN

Endurecimiento superficial del acero mediante la incorporación de **nitrógeno**.

La pieza que se pretende nitrurar se somete en un horno a una corriente de amoníaco a una temperatura próxima a 500 °C. A esta temperatura, se libera el nitrógeno del amoníaco que es absorbido superficialmente por el acero.

Este nitrógeno forma nitruros con los elementos químicos (Al, Cr, V, W, Mo) del acero aleado, aumentando notablemente la dureza superficial del acero tratado.

Antes de la nitruración, las piezas se someten a temple y revenido para evitar un ablandamiento del núcleo de la pieza de acero a tratar.

La nitruración, además de incrementar superficialmente la dureza de los aceros, los hace más resistentes a la fatiga y a la corrosión. Por este motivo, se utiliza para endurecer piezas de maquinaria (válvulas, bielas, cigüeñales, ...) y también herramientas (brocas).

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

□ CARBONITRURACIÓN

Es un tratamiento intermedio entre la cementación y la nitruración con el que se consigue aumentar la dureza de los aceros por medio de la absorción superficial de carbono y nitrógeno.

La temperatura a la que se realiza el proceso es 750 °C-800 °C. La pieza a tratar se somete a una atmósfera rica en carbono, como en el caso de la cementación, a la que se le añade nitrógeno en forma de amoníaco.

Los aceros a los que se les aplica este tipo de tratamiento son semejantes a los que se emplean en la cementación (aceros con bajo contenido en carbono), no siendo necesaria la presencia de elementos formadores de nitruros, puesto que el endurecimiento se consigue por la acción combinada del carbono y del nitrógeno.

La carbonitruración se realiza mediante atmósferas gaseosas. Cuando se lleva a cabo por medio de baños líquidos recibe el nombre de **CIANURACIÓN**.

Además de a los aceros con bajo contenido en carbono, también se puede aplicar este tratamiento a aceros de medio y alto contenido en carbono con el fin de que adquieran una buena resistencia y dureza superficial.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

□ SULFINIZACIÓN

Consiste en añadir una pequeña capa superficial a la pieza a tratar de azufre, nitrógeno y carbono (estos dos últimos en menor cantidad), al introducir la pieza en un baño con sales de los anteriores elementos. La temperatura de este baño es próxima a 565 °C.

Con este tratamiento, aumenta considerablemente la resistencia al desgaste de los metales, disminuye su coeficiente de rozamiento y se favorece su lubricación.

Se aplica a herramientas que van estar sometidas a rozamiento.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

TRATAMIENTOS MECÁNICOS

Este tipo de tratamientos mejora las características de los metales por deformación mecánica, en frío o en caliente.

❑ TRATAMIENTOS MECÁNICOS EN CALIENTE (FORJA)

Consisten en deformar un metal, una vez calentado a una temperatura determinada, golpeándolo fuertemente. De este modo, se afina el tamaño de grano y se eliminan irregularidades de la pieza, con lo que se mejora su estructura interna.

❑ TRATAMIENTOS MECÁNICOS EN FRÍO

Consisten en deformar el metal a temperatura ambiente ya sea golpeándolo o bien por trefilado o laminación. Con este tipo de deformación, se incrementa la dureza y la resistencia mecánica del metal pero disminuye su plasticidad y ductilidad.

2.- TRATAMIENTOS DE LOS METALES

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Mediante estos tratamientos se modifica la superficie de los metales sin variar su composición química. A diferencia de los *tratamientos termoquímicos*, en este caso no es necesaria la aportación de calor.

Los más utilizados son:

❑ CROMADO

Recubrimiento de la superficie del acero con cromo mediante electrolisis o por difusión.

Por medio del cromado, se disminuye el coeficiente de rozamiento y se incrementa la dureza superficial y la resistencia al desgaste del metal.

En el caso de los aceros, el cromo potencia su resistencia frente a la corrosión.

Para evitar que el cromo se combine con el carbono formando carburo de cromo, este tratamiento se aplica a aceros con contenido en carbono bajo o bien a aceros aleados con elementos formadores de carburos como Ti y Mn.

❑ METALIZACIÓN

Se proyecta un metal fundido pulverizándolo sobre la superficie de otro, con lo cual este último adquiere superficialmente las características del primero.

Tiene por objeto proporcionar una protección contra la corrosión o mejorar sus propiedades superficiales.