

MATERIALES METÁLICOS

Metal se denomina a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseer alta densidad, y ser sólidos a temperaturas normales (excepto el mercurio y el galio); sus sales forman iones electropositivos (cationes) en disolución.

La ciencia de materiales define un metal como un material en el que existe un solape entre la banda de valencia y la banda de conducción en su estructura electrónica (enlace metálico). Esto le da la capacidad de conducir fácilmente calor y electricidad, y generalmente la capacidad de reflejar la luz, lo que le da su peculiar brillo.

El concepto de metal refiere tanto a elementos puros, así como aleaciones con características metálicas, como el acero y el bronce. Los metales comprenden la mayor parte de la tabla periódica de los elementos y se separan de los no metales por una línea diagonal entre el boro y el polonio. En comparación con los no metales tienen baja electronegatividad y baja energía de ionización.

Se extraen de los minerales de las rocas (menas). Los materiales metálicos cuyo componente principal es el hierro se llaman ferrosos, el resto se llaman no ferrosos, como aluminio, cobre, latón, etc.

PRINCIPALES PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS METALES

1- Plasticidad

Es la propiedad mecánica de los metales completamente opuesta a la elasticidad. La plasticidad se define como la capacidad que tienen los metales de conservar la forma que les fue dada después de ser sometidos a un esfuerzo.

Los metales, usualmente son altamente plásticos, por esta razón, una vez son deformados, fácilmente conservarán su nueva forma.

2- Fragilidad

La fragilidad es una propiedad completamente opuesta a la tenacidad, ya que denota la facilidad con la que un metal puede ser roto una vez es sometido a un esfuerzo.

En muchas ocasiones, los metales son aleados unos con otros para reducir su coeficiente de fragilidad y poder tolerar más las cargas.

La fragilidad también se define como fatiga durante las pruebas de resistencia mecánica de los metales.

De esta manera, un metal puede ser sometido varias veces al mismo esfuerzo antes de romperse y arrojar un resultado concluyente sobre su fragilidad.

3- Maleabilidad

La maleabilidad hace alusión a la facilidad que tiene un metal para ser laminado sin que esto represente una ruptura en su estructura.

Muchos metales o aleaciones metálicas cuentan con un alto coeficiente de maleabilidad, este es el caso del aluminio que es altamente maleable, o el acero inoxidable.

4- Dureza

La dureza se define como la resistencia que opone un metal ante agentes abrasivos. Es la resistencia que tiene cualquier metal a ser rayado o penetrado por un cuerpo.

La mayoría de metales requieren de ser aleados en algún porcentaje para aumentar su dureza. Este es el caso del oro, que por sí solo no lograría ser tan duro como lo es cuando se mezcla con el bronce.

Históricamente, la dureza se medía en una escala empírica, determinada por la capacidad que tenía un metal de rayar a otro o de resistir el impacto de un diamante.

Hoy en día, la dureza de los metales es medida con procedimiento estandarizados como lo son el test de Rockwell, Vickers o Brinell.

Todos estos tests buscan arrojar resultados concluyentes sin dañar mayormente el metal que está siendo estudiado.

5- Ductilidad

La ductilidad es la habilidad que tiene un metal para deformarse antes de romperse. En este sentido, es una propiedad mecánica completamente opuesta a la fragilidad.

La ductilidad puede ser dada como un porcentaje de elongación máximo o como un máximo de reducción de área.

Una forma elemental de explicar qué tan dúctil es un material, puede ser por su capacidad para ser transformado en hilo o alambre. Un metal altamente dúctil es el cobre.

6- Elasticidad

La elasticidad que define como la capacidad que tiene un metal para recuperar su forma después de haber sido sometido a una fuerza externa.

En general, los metales no son muy elásticos, por esta razón es común que presenten abolladuras o rastros de golpes de los que nunca se recuperarán.

Cuando un metal es elástico, también se puede decir que es resiliente, ya que es capaz de absorber de forma elástica la energía que le está provocando una deformación.

7- Tenacidad

La tenacidad es el concepto paralelamente opuesto a la fragilidad, ya que denota la capacidad que tiene un material de resistir la aplicación de una fuerza externa sin romperse.

Los metales y sus aleaciones son, generalmente, tenaces. Este es el caso del acero, cuya tenacidad le permite ser apto para aplicaciones de construcción que requieran de soportar altas cargas sin que haya lugar a rupturas.

La tenacidad de los metales puede ser medida en diferentes escalas. En algunas pruebas, se aplican cantidades relativamente pequeñas de fuerza a un metal, como ligeros impactos o choques. En otras ocasiones, es común que sean aplicadas fuerzas mayores.

De cualquier manera, el coeficiente de tenacidad de un metal será dado en la medida en la que éste no presente ningún tipo de ruptura después de haber sido sometido a un esfuerzo.

8- Rigidez

La rigidez es una propiedad mecánica propia de los metales. Esta tiene lugar cuando una fuerza externa es aplicada a un metal y éste debe desarrollar una fuerza interna para soportarla. Esta fuerza interna se denomina "estrés".

De esta manera, la rigidez es la capacidad que tiene un metal de resistirse a la deformación durante la presencia del estrés.

9- Variabilidad de las propiedades

Los tests de propiedades mecánicas de los metales no siempre producen los mismos resultados, esto se debe a los posibles cambios en el tipo de equipo, procedimiento, u operario que se usa durante las pruebas.

Sin embargo, incluso cuando todos estos parámetros son controlados, existe un pequeño margen en la variación de los resultados de las propiedades mecánicas de los metales.

Esto se debe a que muchas veces la fabricación o proceso de extracción de los metales no siempre es homogénea. Por lo tanto, los resultados a la hora de medir las propiedades de los metales se pueden ver alterados.

Con el objetivo de mitigar estas diferencias, se recomienda realizar varias veces la misma prueba de resistencia mecánica en el mismo material, pero en diferentes muestras seleccionadas de forma aleatoria.

EL ACERO.

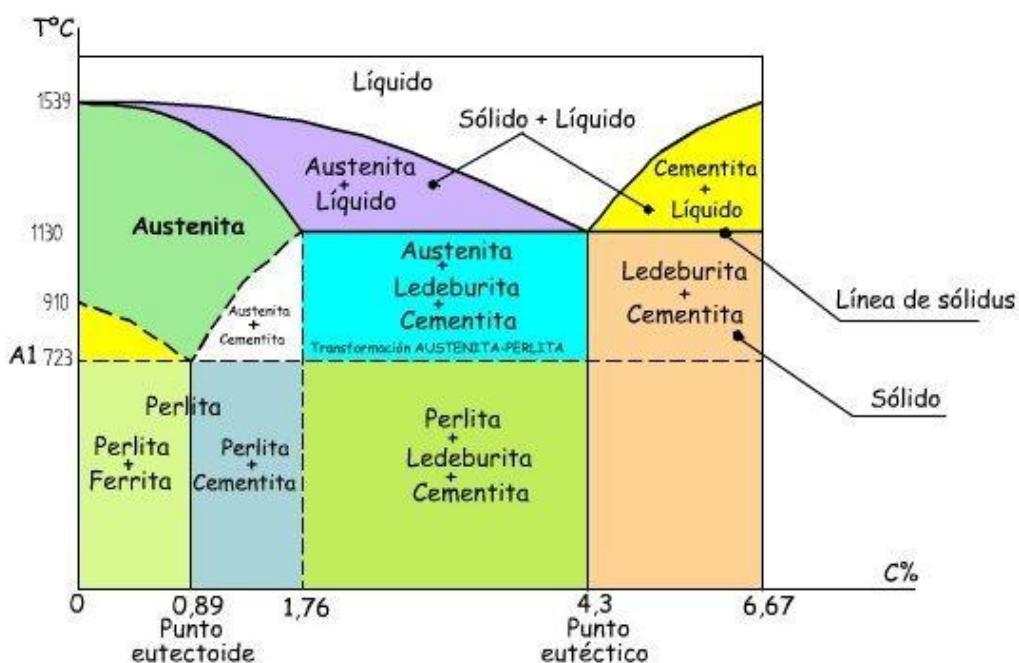
Los materiales más habituales que encontraremos en cualquier taller de mantenimiento industrial serán los aceros. Generalmente acero al carbono del tipo A42b.

Aunque actualmente también se utilizan mucho otros materiales como los aceros inoxidables, el aluminio, la fibra de vidrio, los plásticos o los materiales compuestos.

El acero es una aleación de Hierro y Carbono.

Se puede alejar, además, con otros elementos para obtener aleaciones de diferentes características según sea necesario.

MATERIALES RESULTANTES ALEACIÓN HIERRO - CARBONO



Es el metal más usado del mundo con gran diferencia por sus elevadas prestaciones mecánicas así como su reciclabilidad.

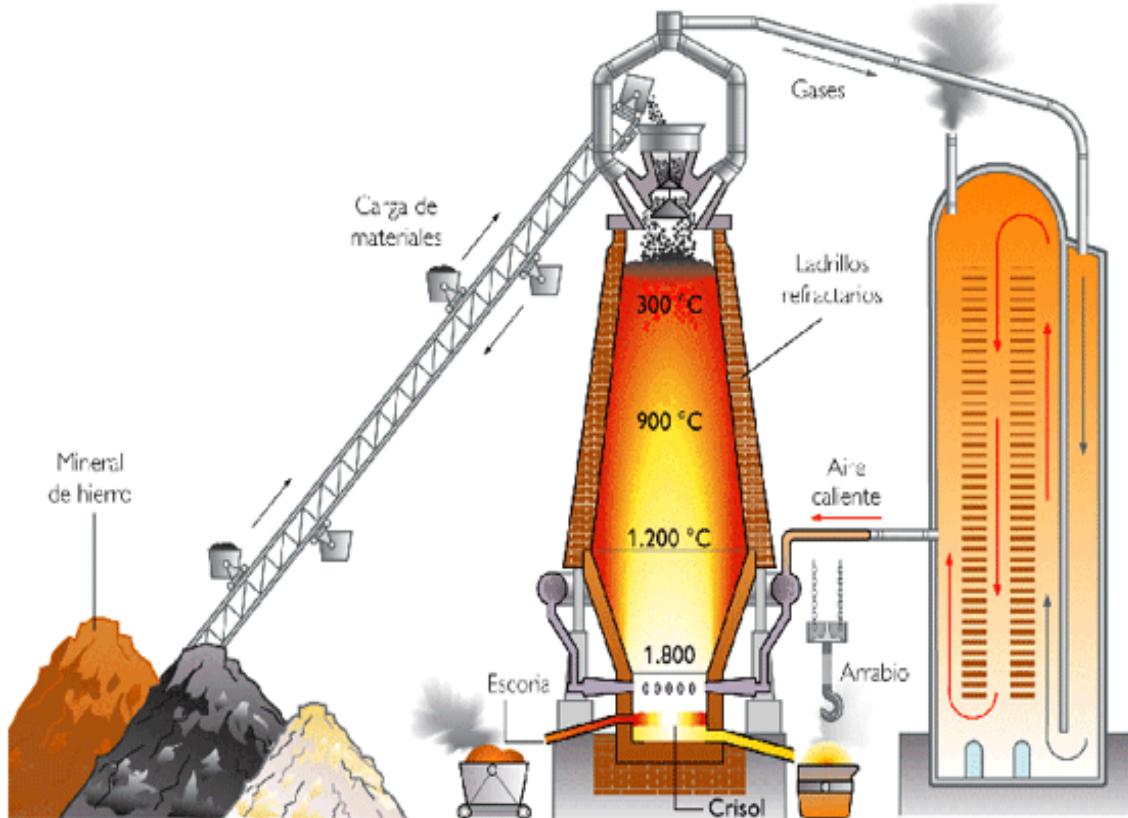
Las aleaciones de Hierro-Carbono dan lugar a los aceros si el porcentaje de Carbono es menor del 1,76%. Si hay más Carbono, dan lugar a las fundiciones.

Las técnicas para la obtención del acero se denominan siderurgia. Empieza con los minerales ricos en Hierro como siderita, limonita, piritita, magnetita...

El hierro se obtiene de sus óxidos, presentes en los minerales anteriores en un alto horno.

En el alto horno se reduce con carbón y Carbonato cálcico.

Esquema de un alto horno.



En la imagen anterior se ve cómo el alto horno se alimenta por la boca con carbón, mineral de hierro y Caliza. El carbón se quema, potenciándose el calor generado con aire a presión. Se funden los óxidos de hierro, mezclándose con el carbono presente en el carbón. La mezcla hierro-carbono (llamada Arrabio), más pesada, se va al fondo del alto horno (crisol). En la parte intermedia (etalaje) queda la escoria. El Arrabio se extrae por la parte inferior del alto horno.

El Arrabio, al contener alrededor del 4-6% de Carbono, es un material duro, pero quebradizo, que tiene menos aplicaciones prácticas.

Para convertirlo en acero se le debe rebajar el contenido en carbono. Asimismo, se le pueden añadir otros aleantes para obtener características determinadas que mejoren sus propiedades.

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.

Según la norma UNE EN 10020:2001 define al acero como aquel material en el que el hierro es el elemento predominante, el contenido en carbono es, generalmente inferior al 2% y contiene además a otros elementos.

El límite superior del 2% en el contenido de carbono (C) es el límite que separa al acero de la fundición. En general, un aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, pero como contrapartida incrementa su fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad. En función de este porcentaje, los aceros se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Aceros dulce:** Cuando el porcentaje de carbono es del 0,25% máximo. Estos aceros tienen una resistencia última de rotura en el rango de 48-55 kg/mm² y una dureza Brinell en el entorno de 135-160 HB. Son aceros que presentan una buena soldabilidad aplicando la técnica adecuada.

Aplicaciones: Piezas de resistencia media de buena tenacidad, deformación en frío, embutición, plegado, herrajes, etc.

- **Aceros semidulce:** El porcentaje de carbono está en el entorno del 0,35%. Tiene una resistencia última a la rotura de 55-62 kg/mm² y una dureza Brinell de 150-170 HB. Estos aceros bajo un tratamiento térmico por templado pueden alcanzar una resistencia mecánica de hasta 80 kg/mm² y una dureza de 215-245 HB.

Aplicaciones: Ejes, elementos de maquinaria, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, herrajes.

- **Aceros semiduro:** Si el porcentaje de carbono es del 0,45%. Tienen una resistencia a la rotura de 62-70 kg/mm² y una dureza de 280 HB. Después de someterlos a un tratamiento de templado su resistencia mecánica puede aumentar hasta alcanzar los 90 kg/mm².

Aplicaciones: Ejes y elementos de máquinas, piezas bastante resistentes, cilindros de motores de explosión, transmisiones, etc.

- **Aceros duro:** El porcentaje de carbono es del 0,55%. Tienen una resistencia mecánica de 70-75 kg/mm², y una dureza Brinell de 200-220 HB. Bajo un tratamiento de templado estos aceros pueden alcanzar un valor de resistencia de 100 kg/mm² y una dureza de 275-300 HB.

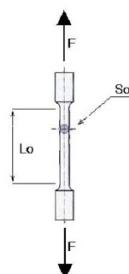
Aplicaciones: Ejes, transmisiones, tensores y piezas regularmente cargadas y de espesores no muy elevados.

DIAGRAMA TENSIÓN-DEFORMACIÓN

El diagrama tensión-deformación resulta de la representación gráfica del ensayo de tracción, normalizado en UNE-EN 10002-1, y que consiste en someter a una probeta de acero normalizada a un esfuerzo creciente de tracción según su eje hasta la rotura de la misma. El ensayo de tracción permite el cálculo de diversas propiedades mecánicas del acero.

La probeta de acero empleada en el ensayo consiste en una pieza cilíndrica cuyas dimensiones guardan la siguiente relación de proporcionalidad:

$$L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$$



Donde L_0 es la longitud inicial, S_0 es la sección inicial y D_0 es el diámetro inicial de la probeta. Para llevar a cabo el ensayo de tracción, las anteriores variables pueden tomar los siguientes valores:

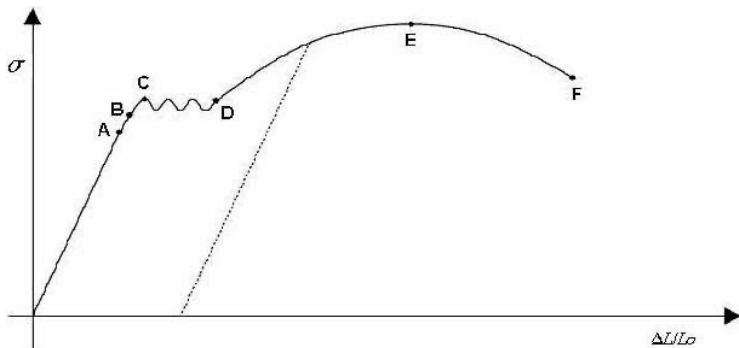
$D_0 = 20 \text{ mm}$, $L_0 = 100 \text{ mm}$, ó bien, $D_0 = 10 \text{ mm}$, $L_0 = 50 \text{ mm}$.

El ensayo comienza aplicando gradualmente la fuerza de tracción a la probeta, lo cual provoca que el recorrido inicial en la gráfica discurra por la línea recta que une el origen de coordenadas con el punto A.

Hasta llegar al punto A se conserva una proporcionalidad entre la tensión alcanzada y el alargamiento unitario producido en la pieza. Es lo que se conoce como Ley de Hooke, que relaciona linealmente tensiones con las deformaciones a través del modulo de elasticidad E, constante para cada material que en el caso de los aceros y fundiciones vale aproximadamente $2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$.

Otra particularidad de este tramo es que al cesar la solicitación sobre la pieza, ésta recupera su longitud inicial. Es decir, se comporta de manera elástica y el punto A se denomina Límite de Proporcionalidad.

Pasado el punto A y hasta llegar al punto B, los alargamiento producidos incluso crecen de manera más rápida con la tensión, y se cumple que al cesar la carga, la pieza recupera de nuevo su geometría inicial, es decir, se sigue comportando elásticamente. El punto B marca el límite a este comportamiento, y por ello al punto B se le denomina Límite Elástico.



Traspasado el punto B el material pasa a comportarse de manera plástica, es decir, que no recupera su longitud inicial, quedando una deformación remanente al cesar la carga. De esta manera, el proceso de descarga se realiza siguiendo la trayectoria según la línea punteada mostrada del diagrama tensión-deformación, que como se ve, corta al eje de deformaciones, $\Delta L/L_0$, a una cierta distancia del origen, que se corresponde con la deformación remanente que queda. Concretamente, el punto B o Límite Elástico es aquel que le corresponde una deformación remanente del 0.2%.

Si se sigue aplicando carga se llega al punto identificado en la gráfica como C, donde a partir de aquí y hasta el punto D, las deformaciones crecen de manera rápida mientras que la carga fluctúa entre dos valores, llamados límites de fluencia, superior e inferior. Este nuevo estadio, denominado de fluencia, es característico exclusivamente de los aceros dúctiles, no apareciendo en los aceros endurecidos.

Más allá del punto de fluencia D es necesario seguir aplicando un aumento de la carga para conseguir un pronunciado aumento del alargamiento. Entramos ya en la zona de las grandes deformaciones plásticas hasta alcanzar el punto F, donde la carga alcanza su valor máximo, lo que dividida por el área inicial de la probeta proporciona la tensión máxima de rotura o resistencia a la tracción.

A partir del punto E tiene lugar el fenómeno de estricción de la probeta, consistente en una reducción de la sección en la zona de la rotura, y el responsable del periodo de bajada del diagrama, dado que al reducirse el valor de la sección real, el valor de la carga aplicado a partir del punto E también se va reduciendo hasta alcanzar el punto F de rotura.

LÍMITE ELÁSTICO Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La determinación de las propiedades mecánicas en el acero, como el límite elástico (f_y), la resistencia a tracción (f_u), así como de otras características mecánicas del acero como el Módulo de Elasticidad (E), o el alargamiento máximo que se produce en la rotura, se efectuará mediante el anteriormente definido ensayo de tracción normalizado en la UNE-EN 10002-1.

El valor de la tensión última o resistencia a la tracción se calcula a partir de este ensayo, y se define como el cociente entre la carga máxima que ha provocado el fallo a rotura del material por tracción y la superficie de la sección transversal inicial de la probeta, mientras que el límite elástico marca el umbral que, una vez se ha superado, el material trabaja bajo un comportamiento plástico y deformaciones remanente.

En la sección ANEXOS de este tutorial se pueden consultar los valores del límite elástico y la resistencia a tracción para las distintas calidades de aceros según las normativas europea y americana.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ACERO

- Aleación de color pardo/oscuro.
- Resistencia a tracción: 2.600Kg/cm².
- Alargamiento rotura: 20%.
- Densidad: 7,85 Kg/dm³.
- Fusión a 1.375º – 1.610º C en función de los aleantes empleados.
- Tenaz, resistente, duro, Maleable (hojas finas), dúctil (alambres). Soldable. Conductor.
- Se corroe/oxida en presencia de agua/humedad
- Es magnético, el imán se pega.

La composición y las proporciones de los elementos de aleación tienen gran influencia sobre las características resultantes de los aceros.

El carbono eleva la dureza, resistencia y templabilidad del acero y disminuye su tenacidad; el silicio mejora la elasticidad, y el azufre y el fósforo pueden considerarse perjudiciales.

Entre los metales, el níquel incrementa la tenacidad, el cromo la resistencia y la dureza, el vanadio la resistencia al desgaste; el tungsteno y el cobalto la dureza a alta temperatura.

ALEANTES PRINCIPALES.

- Plomo: Reduce resistencia. Fácil de mecanizar.
- Cromo: Dureza, Resistencia, inoxidabilidad
- Vanadio: Resistencia, corrosión.
- Molibdeno: Tenacidad, resistencia, corrosión.
- Silicio: Flexibilidad. Muelles.
- Níquel: Tenacidad, resistencia corrosión.
- Cobalto: Gran dureza. Para corte.
- Tungsteno o Wolframio: Resistencia a alta temperatura, para herramientas de corte.

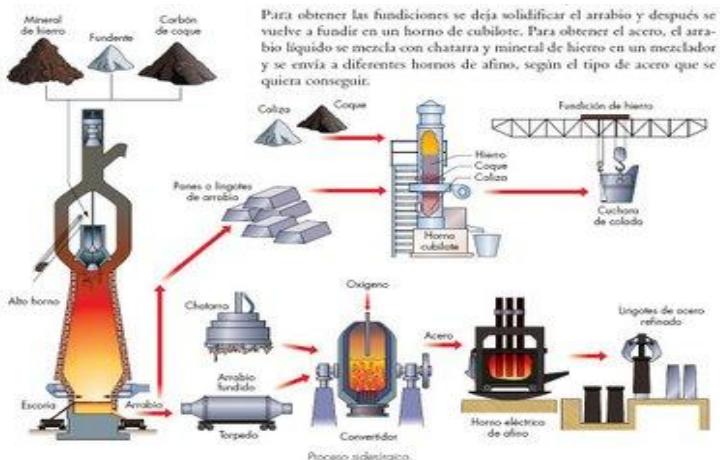
APLICACIONES DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN.

- Aceros al Carbono: Para elementos constructivos (vigas, pilares), piezas mecánicas.
- Aceros al Silicio: Muelles, ballestas.
- Aceros al Cromo-Vanadio: Herramientas.
- Aceros al Cromo- Molibdeno: Herramientas, piezas de alta resistencia.
- Aceros al Cobalto o Tungsteno: Herramientas de corte.

FUNDICIONES

Las fundiciones son aleaciones de hierro-carbono que, además, pueden contener otros elementos. El tanto por ciento de carbono oscila entre el 1,76% y 6,67 %.

Pero atención: también se denomina **fundición** al proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad, llamada molde, donde se solidifica.



Las características de fundición no dependen solamente de su composición, sino del proceso de fabricación.

Así, las fundiciones se clasifican atendiendo a la fractura (aspecto y color que adquiere cuando se rompe), las propiedades y la composición.

Fundición	Tipos	Características
Ordinaria Solamente lleva hierro y carbono (sin de elementos aleación.)	1.fundición blanca 2.Fundición gris 3.Fundición atruchada	Es muy dura y frágil solamente se crea como materia prima para fabricar aleaciones maleables. Su color es gris, porque el carbono esta en forma de grafito Tiene unas propiedades intermedias entre la fundición blanca y gris.
Aleada	Además de hierro y carbono (en las proporciones adecuadas) lleva otros elementos químicos que mejoran sus propiedades.	
Especial emplea como materia prima las fundiciones ordinarias. Luego se somete a un tratamiento térmico	Maleable de corazón blanco Maleable de corazón negro Maleable de perlita	Se moldea la pieza en fundición blanca. Se recubre a la pieza de mineral de hierro y se introduce en el horno a 1000°C durante unos 10 días. Se enfriá lentamente en el horno durante unos 5 días, hasta temperatura ambiente. Se moldea la pieza en fundición blanca. Se recubre a la pieza de arena y se introduce en un horno a unos 900°C, durante 6 días, aproximadamente. Se enfriá lentamente en el horno durante unos 5 días, hasta temperatura ambiente. Se moldea la pieza en fundición blanca. Se recubre de arena y luego se mete al horno a unos 900°C durante 5 días. Luego se enfriá lentamente unos 2 días , hasta temperatura ambiente

	Maleable de grafito	A la función gris se le añade cerio y magnesio. Luego se echa en un molde y se deja enfriar a temperatura ambiente
--	---------------------	--

TIPOS DE ACEROS MÁS UTILIZADOS.

HIERRO DULCE (O FORJADO)

- Es un acero bajo en carbono de 0,05% a 0,30%.
- Son blandos y dúctiles fáciles de maquinar, formar y soldar.
- Inconvenientes: es muy poroso, se puede oxidar con gran facilidad, además de presentar grietas internas frecuentemente, lo que lo convierte en un material poco útil para aplicaciones industriales.
- Sí se utiliza mucho en decoración (forja), vallas, rejas, etc.

ACEROS INOXIDABLES

Tiene características mecánicas similares a los aceros ordinarios. Se obtiene como el acero como aleación de carbono y se convierte en inoxidable añadiendo al menos un 12% de Cromo. (Habitualmente también Níquel).

Estos aceros son mucho más caros que los aceros al carbono, hasta 10 veces.

En el uso de los aceros inoxidables se deben tener en cuenta algunas recomendaciones:

- Cuidado con la corrosión galvánica al unir 2 metales diferentes con un medio conductor. El menos noble se corroerá. Por ejemplo, unir planchas de acero inox con tornillos de acero al carbono.
- Se pueden soldar con electrodos de Inox, con método MIG o bien TIG.

Los aceros inoxidables más utilizados son de los tipos:

- Aceros inoxidables ferríticos (se pega el imán)
- Aceros inoxidables austeníticos (el imán no se pega)

Aceros inoxidables ferríticos

Son los aceros inoxidables más resistentes y con menor resistencia a la oxidación y corrosión. El imán se pega en ellos.

Se usan en cuchillería, sartenes para placas de inducción. En general no se utilizan en el mundo marino y son los más baratos. Ejemplos: AISI 420.

Aceros inoxidables austeníticos

Se tienen a su vez dos grandes tipos:

- Los aceros inoxidables alimentarios: Usados en la industria alimentaria. Tienen buena resistencia a la oxidación. Se denominan también como acero inox A2, AISI303 (barras), AISI 304 (chapas), 18-10 (18% de Cromo, 10% de Níquel).
- Acero inoxidable marino: El más resistente a la oxidación. Llevan un 2-4% de Molibdeno. Se conoce como acero inox A4, o bien AISI 316.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE MATERIALES METÁLICOS

El objetivo de estos tratamientos es mejorar las propiedades de los metales y aleaciones, por lo general, de tipo mecánico. En ocasiones se utiliza este tipo de tratamientos para, posteriormente, conformar el material.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que los forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman a los aceros, sin variar la composición química de los mismos.

El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férreas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

Para conocer a qué temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el del hierro-carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. Los principales tratamientos térmicos son:

A. Temple

El temple se utiliza para obtener un tipo de aceros de alta dureza llamado martensita. Se trata de elevar la temperatura del acero hasta una temperatura cercana a 1000 °C y posteriormente someterlo a enfriamientos rápidos o bruscos y continuos en agua, aceite o aire.

La capacidad de un acero para transformarse en martensita durante el temple depende de la composición química del acero y se denomina templabilidad. Al obtener aceros martensíticos, en realidad, se pretende aumentar la dureza. El problema es que el acero resultante será muy frágil y poco dúctil, porque existen altas tensiones internas.

B. Revenido

El revenido es el tratamiento térmico que sigue al temple. El acero templado es aquel que tiene una dureza muy alta (llamado martensita), pero tiene el inconveniente de ser frágil y poco dúctil porque tiene tensiones internas.

El revenido consiste en calentar la pieza templada hasta cierta temperatura, para reducir las tensiones internas que tiene el acero martensítico (de alta dureza). De este modo, evitamos que el acero sea frágil, sacrificando un poco la dureza. La velocidad de enfriamiento es, por lo general, rápida.

C. Recocido

El recocido consiste en calentar un material hasta una temperatura dada y, posteriormente, enfriarlo lentamente. Se utiliza, al igual que el caso anterior, para suprimir los defectos del temple. Se persigue:

- Eliminar tensiones del temple.
- Aumentar la plasticidad, ductilidad y tenacidad del acero.

El proceso del recocido es el siguiente:

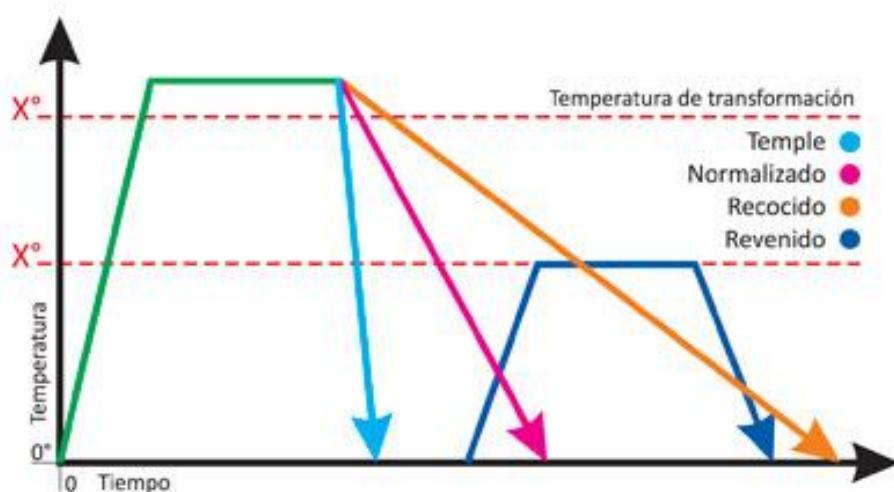
- Se calienta el acero hasta una temperatura dada
- Se mantiene la temperatura durante un tiempo
- Se enfriá lentamente hasta temperatura ambiente, controlando la velocidad de enfriamiento.

Si la variación de temperatura es muy alta, pueden aparecer tensiones internas que inducen grietas o deformaciones.

El grado de plasticidad que se quiere dotar al metal depende de la velocidad de enfriamiento y la temperatura a la que se elevó inicialmente.

D. Normalizado

Este tratamiento se emplea para eliminar tensiones internas sufridas por el material tras una conformación mecánica, tales como una forja o laminación para conferir al acero unas propiedades que se consideran normales de su composición. El normalizado se practica calentando rápidamente el material hasta una temperatura crítica y se mantiene en ella durante un tiempo. A partir de ese momento, su estructura interna se vuelve más uniforme y aumenta la tenacidad del acero.



TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS DE LOS METALES

Los tratamientos termoquímicos son tratamientos térmicos en los que, además de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la capa superficial, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales.

Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos están aumentar la dureza superficial de las piezas dejando el núcleo más blando y tenaz, disminuir el rozamiento aumentando el poder lubricante, aumentar la resistencia al desgaste, aumentar la resistencia a fatiga o aumentar la resistencia a la corrosión.

a) **Cementación:** Consiste en aumentar la cantidad de carbono de la capa exterior de los aceros. Se mejora la dureza superficial y la resiliencia. Se aplica a piezas que deben ser resistentes a golpes y la vez al desgaste. Se aplica a los aceros.

b) **Nitruración:** Consiste en endurecer la superficie de los aceros y fundiciones. Las durezas son elevadas y tienen alta resistencia a la corrosión. El componente químico añadido es nitrógeno, que se obtiene del amoniaco.

c) **Cianuración o carbonización:** Se trata de endurecer la superficie del material introduciendo carbono y nitrógeno. Es una mezcla de cementación y nitruración. La temperatura es intermedia entre la utilizada para la cementación y la nitruración, que es mucho menor que aquella. Se aplica a los aceros.

d) **Sulfinación:** Se trata de introducir en la superficie del metal azufre, nitrógeno y carbono en aleaciones férricas y de cobre. Se aumenta la resistencia al desgaste, favorecer la lubricación y disminuir el coeficiente de rozamiento.

PROTECCION DEL ACERO

EL PROCESO DE CORROSION

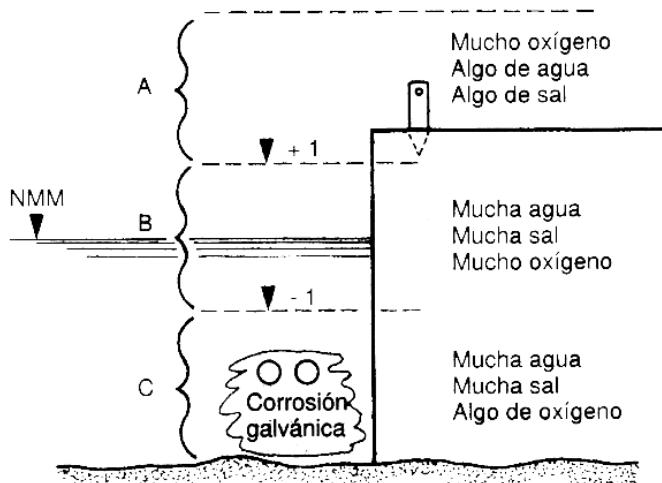
Para que el acero se corroa (es decir, para que se forme óxido) éste debe quedar expuesto al oxígeno o al aire. Además, el acero se corroe mucho más de prisa en presencia de otros agentes atmosféricos como el agua (lluvia o aire húmedo) y la sal (salpicaduras de agua salada).

Además, cuando queda inmerso en agua del mar, el acero está expuesto también a corrosión galvánica, similar a la que tiene lugar entre el acero y los elementos de latón de una embarcación.

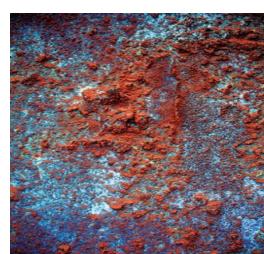
En la Figura:

- la zona A queda expuesta a aire húmedo y a salpicaduras de agua salada, por lo que es una zona generalmente corrosiva para productos de acero;
- la zona B se encuentra constantemente húmeda con agua del mar, que también contiene mucho oxígeno disuelto. Es la zona más agresiva para el acero;
- la zona C es también muy agresiva para el acero debido a que está presente la corrosión galvánica también.

Figura: Zonas de corrosión en un entorno marino.



Son múltiples los sistemas de protección existentes, para ello se requieren esfuerzos multidisciplinarios y la experiencia ha demostrado que muchas veces la solución óptima se alcanza integrando varios de ellos.



PROTECCIÓN POR RECUBRIMIENTO

"La protección por recubrimiento consiste en crear una capa superficial o barrera que aísla el metal del entorno."

En principio es el método más evidente, cubrimos el material por una capa de otra sustancia que no se oxida y que impide que el material sensible entre en contacto con el oxígeno y la humedad.

Dentro de este tipo de protección podemos diferenciar:

Recubrimiento No Métálicos

Pinturas y barnices: Método económico. Precisa que la superficie del material a proteger se encuentre limpia de óxidos y grasas. El minio, pintura que contiene en su composición óxido de plomo, es uno de los más empleados.

Plásticos: Son muy resistentes a la oxidación. Tienen la ventaja de ser muy flexibles, pero tienen muy pobre resistencia al calor, el más habitual es el PVC.

Esmaltes y cerámicos: Tiene la ventaja de resistir elevadas temperaturas y desgaste por rozamiento.

Recubrimiento Métálicos

Se distinguen varios métodos según el modo en que se deposita la capa protectora:



Inmersión: Se sumerge el metal a proteger en un baño de otro metal fundido. Al sacarlo del baño, el metal se solidifica formando una fina película protectora. Los metales más comúnmente empleados en estos procedimientos son:

Estaño (estañado), se utiliza mucho en las latas de conserva (la hojalata).

Cinc (galvanizado), es el más empleado para proteger vigas, vallas, tornillos y otros objetos de acero.

Aluminio (aluminización), es muy económico y de gran calidad.

Plomo (plombeado), para recubrir cables y tuberías.

Cuando el riesgo de corrosión es muy elevado se recomienda hacer un recubrimiento con Alclad. El Alclad es un producto forjado, formado por un núcleo de una aleación de aluminio y que tiene un recubrimiento de aluminio o aleación de aluminio que es anódico al núcleo y por lo tanto protege electroquímicamente al núcleo contra la corrosión.

Electrodepositación: Se hace pasar corriente eléctrica entre dos metales diferentes que están inmersos en un líquido conductor que actúa de electrolito. Uno de los metales será aquel que queremos proteger de la oxidación y hará de cátodo. El otro metal hará de ánodo. Al pasar corriente eléctrica, sobre el metal catódico se crea una película protectora. Con este método se produce el cromado o niquelado de diversos metales.

Protección por capa química, se provoca la reacción de las piezas con un agente químico que forme compuestos de un pequeño espesor en su superficie, dando lugar a una película protectora por ejemplo:

Cromatizado. Se aplica una solución de ácido crómico sobre el metal a proteger, formándose una película de óxido de cromo que impide su corrosión.

Fosfatación. Se aplica una solución de ácido fosfórico y fosfatos sobre el metal. Formándose una capa de fosfatos metálicos sobre el metal, que la protegen del entorno.

INHIBIDORES

Los inhibidores pueden ser:

De absorción: Forman una película protectora.

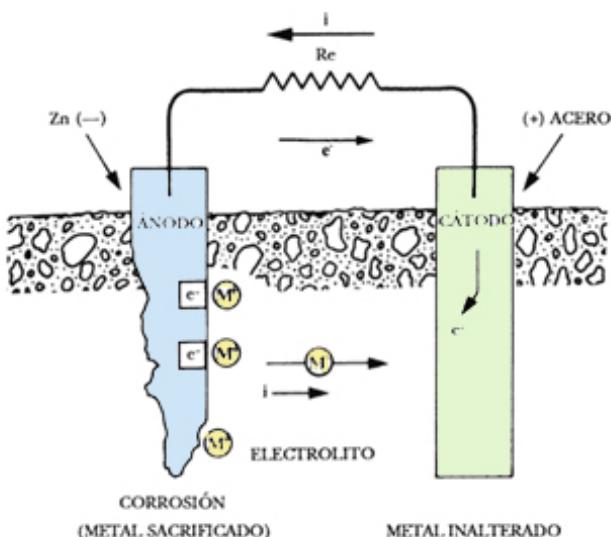
Barrenderos: Eliminan oxígeno.

Los más utilizados son las sales de cromo, muy empleadas en los radiadores de los automóviles.



PROTECCIÓN CATÓDICA

"En este método se obliga al material que se pretende proteger a comportarse como un cátodo suministrándole electrones. Para ello se emplea otro metal que estará en contacto con él, llamado ánodo de sacrificio. El ánodo de sacrificio está formado por un metal mucho más electronegativo que el metal a defender."



Cuando dos sistemas se ponen en contacto eléctrico el más electronegativo se oxida cediendo electrones al menos electronegativo.

En este caso el ánodo de sacrificio, más electronegativo, se oxida comunicando los electrones liberados en este proceso al metal a proteger.

A través de esta reacción el ánodo se va corroyendo y acaba destruyéndose, por lo que cada cierto tiempo tiene que ser sustituido.

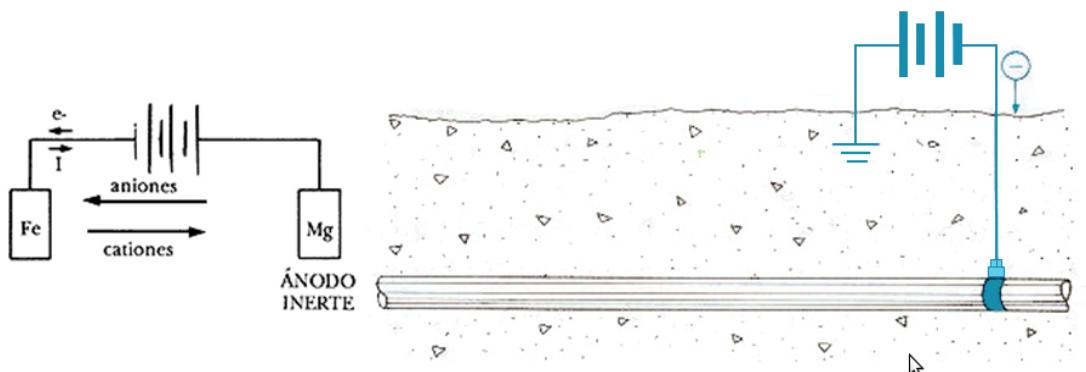
Este método se utiliza mucho en cubiertas de barcos, y en conducciones subterráneas.

Los ánodos galvánicos más utilizados en la protección catódica son: magnesio, zinc y aluminio.

PROTECCIÓN POR DIFERENCIA POTENCIAL

"Variante del método anterior en la que se incrementa el paso de electrones hacia el metal a proteger conectando una fuente de tensión que mantenga la corriente eléctrica entre ambos metales."

Se emplea sobre todo en conducciones enterradas.



"Tal y como hemos visto en el punto anterior existe una gran cantidad de sistemas para controlar la corrosión. Sin embargo quizás el método más eficaz sea realizar un buen diseño y elección de los materiales a emplear en las aplicaciones industriales, de tal forma que se evite dicho fenómeno."



CLASIFICACION Y DENOMINACION DE LOS ACEROS

Existe una gran variedad en la forma de identificar y clasificar a los aceros. La mayoría de los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos.

Se puede realizar una clasificación según la composición química de los aceros, o bien, según su calidad. También se pueden clasificar los aceros atendiendo al uso a que estén destinados, o si se quiere, atendiendo al grado de soldabilidad que presenten.

En España, la clasificación de los aceros está regulado por la norma UNE-EN 10020:2001, que sustituye a la anterior norma UNE-36010, mientras que específicamente para los aceros estructurales éstos se designan conforme a las normas europeas EN 10025-2: 2004 y EN-10025-4: 2004.

No obstante, existen otras normas reguladoras del acero, con gran aplicación internacional, como las americanas AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials), las normas alemanas DIN, o la ISO 3506.

CLASIFICACIÓN SEGÚN UNE-EN 10020:2001

POR COMPOSICIÓN QUÍMICA

Según la norma UNE EN 10020:2001, y atendiendo a la composición química, los aceros se clasifican en:

- **Aceros no aleados**, o aceros al carbono: son aquellos en el que, a parte del carbono, el contenido de cualquiera de otros elementos aleantes es inferior a la cantidad mostrada en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. Como elementos aleantes que se añaden están el manganeso (Mn), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el vanadio (V) o el titanio (Ti). Por otro lado, en función del contenido de carbono presente en el acero, se tienen los siguientes grupos:

- I) Aceros de bajo carbono ($\%C < 0.25$)
- II) Aceros de medio carbono ($0.25 < \%C < 0.55$)
- III) Aceros de alto carbono ($2 > \%C > 0.55$)

- **Aceros aleados**: aquellos en los que, además del carbono, al menos uno de sus otros elementos presentes en la aleación es igual o superior al valor límite dado en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. A su vez este grupo se puede dividir en:

- I) Aceros de baja aleación (elementos aleantes $< 5\%$)
- II) Aceros de alta aleación (elementos aleantes $> 5\%$)

- **Aceros inoxidables**: son aquellos aceros que contienen un mínimo del 10.5% en Cromo y un máximo del 1.2% de Carbono.

SEGÚN LA CALIDAD

A su vez, los anteriores tipos de aceros la norma UNE EN 10020:2001 los clasifica según la calidad del acero de la manera siguiente:

- **Aceros no aleados**

Los aceros no aleados según su calidad se dividen en:

- *Aceros no aleados de calidad*: son aquellos que presentan características específicas en cuanto a su tenacidad, tamaño de grano, formabilidad, etc.

- *Aceros no aleados especiales*: son aquellos que presentan una mayor pureza que los aceros de calidad, en especial en relación con el contenido de inclusiones no metálicas. Estos aceros son destinados a tratamientos de temple y revenido, caracterizándose por un buen comportamiento frente a estos tratamientos. Durante su fabricación se lleva a cabo bajo un control exhaustivo de su

composición y condiciones de manufactura. Este proceso dota a estos tipos de acero de valores en su límite elástico o de templabilidad elevados, a la vez, que un buen comportamiento frente a la conformabilidad en frío, soldabilidad o tenacidad.

• Aceros aleados

Los aceros aleados según su calidad se dividen en:

- *Aceros aleados de calidad*: son aquellos que presentan buen comportamiento frente a la tenacidad, control de tamaño de grano o a la formabilidad. Estos aceros no se suelen destinar a tratamientos de temple y revenido, o al de temple superficial. Entre estos tipos de aceros se encuentran los siguientes:

I) Aceros destinados a la construcción metálica, aparatos a presión o tubos, de grano fino y soldables;

II) Aceros aleados para carriles, tablestacas y cuadros de entibación de minas;

III) Aceros aleados para productos planos, laminados en caliente o frío, destinados a operaciones severas de conformación en frío;

IV) Aceros cuyo único elemento de aleación sea el cobre;

V) Aceros aleados para aplicaciones eléctricas, cuyos principales elementos de aleación son el Si, Al, y que cumplen los requisitos de inducción magnética, polarización o permeabilidad necesarios.

- *Aceros aleados especiales*: son aquellos caracterizados por un control preciso de su composición química y de unas condiciones particulares de elaboración y control para asegurar unas propiedades mejoradas. Entre estos tipos de acero se encuentran los siguientes:

I) Aceros aleados destinados a la construcción mecánica y aparatos de presión;

II) Aceros para rodamientos;

III) Aceros para herramientas;

IV) Aceros rápidos;

V) Otros aceros con características físicas especiales, como aceros con coeficiente de dilatación controlado, con resistencias eléctricas, etc.

• Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables según su calidad se dividen en

- Según su contenido en Níquel:

I) Aceros inoxidables con contenido en Ni < 2.5%;

II) Aceros inoxidables con contenido en Ni ≥ 2.5%;

- Según sus características físicas:

I) Aceros inoxidables resistentes a la corrosión;

II) Aceros inoxidables con buena resistencia a la oxidación en caliente;

III) Aceros inoxidables con buenas prestaciones frente a la fluencia.

POR SU APLICACIÓN

Según el uso a que se quiera destinar, los aceros se pueden clasificar en los siguientes:

• *Aceros de construcción*: este tipo de acero suele presentar buenas condiciones de soldabilidad;

• *Aceros de uso general*: generalmente comercializado en estado bruto de laminación;

- *Aceros cementados*: son aceros a los cuales se les ha sometido a un tratamiento termoquímico que le proporciona dureza a la pieza, aunque son aceros también frágiles (posibilidad de rotura por impacto). El proceso de cementación es un tratamiento termoquímico en el que se aporta carbono a la superficie de la pieza de acero mediante difusión, modificando su composición, impregnado la superficie y sometiéndola a continuación a un tratamiento térmico;
- *Aceros para temple y revenido*: Mediante el tratamiento térmico del temple se persigue endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta el material a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica y se somete a un enfriamiento más o menos rápido (según características de la pieza) con agua, aceite, etc. Por otro lado, el revenido se suele usar con las piezas que han sido sometidas previamente a un proceso de templado. El revenido disminuye la dureza y resistencia de los materiales, elimina las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima (unos 50° C menor que el templado) y velocidad de enfriamiento (se suele enfriar al aire). La estructura final conseguida es martensita revenida;
- *Aceros inoxidables o para usos especiales*: los aceros inoxidables son aquellos que presentan una aleación de hierro con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa. El acero inoxidable es resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa exterior pasivadora, evitando así la corrosión del hierro en capas interiores. Sin embargo, esta capa exterior protectora que se forma puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes, como puedan ser el níquel y el molibdeno;
- *Aceros para herramientas de corte y mecanizado*: son aceros que presentan una alta dureza y resistencia al desgaste; corte. Generalmente van a presentarse con aleaciones con elementos como el W, Mo y Mo-Co.

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS SEGÚN LA NORMA UNE-3610

La norma española UNE-36010 indica la cantidad mínima o máxima de cada componente y las propiedades mecánicas del acero resultante.

Esta norma fue creada por el Instituto del Hierro y del Acero (IHA), y dividió a los aceros en cinco series diferentes a las que identifica por un número. Cada serie de aceros se divide a su vez en grupos, que especifica las características técnicas de cada acero, matizando sus aplicaciones específicas.

El grupo de un acero se designa con un número que acompaña a la serie a la que pertenece. La clasificación de grupos por serie, sus propiedades y sus aplicaciones se recogen en la siguiente tabla resumen:

Serie	Grupo	Denominación	Descripción
Serie 1	Grupo 1	Acero al carbono	Son aceros al carbono y por tanto no aleados. Cuanto más carbono tienen sus respectivos grupos son más duros y menos soldables, pero también son más resistentes a los choques. Son aceros aptos para tratamientos térmicos que aumentan su resistencia, tenacidad y dureza. Son los aceros que cubren las necesidades generales de la Ingeniería de construcción, tanto industrial como civil y de comunicaciones.
	Grupos 2 y 3	Acero aleado de gran resistencia	
	Grupo 4	Acero aleado de gran elasticidad	
	Grupos 5 y 6	Aceros para cementación	
	Grupo 7	Aceros para nitruración	
Serie 2	Grupo 1	Aceros de fácil mecanización	Son aceros a los que se incorporan elementos aleantes que mejoran las propiedades necesarias que se exigen a las piezas que se vayan a fabricar con ellos como, por ejemplo, tornillería, tubos y perfiles para el caso de los grupos 1 y 2. Núcleos de transformadores y motores para los aceros del grupo 3. Piezas de unión de materiales ferrosos con no ferrosos sometidos a temperatura para los que pertenezcan al grupo 4. Piezas instaladas en instalaciones químicas y refinerías sometidas a altas temperaturas los del grupo 5.
	Grupo 2	Aceros para soldadura	
	Grupo 3	Aceros magnéticos	
	Grupo 4	Aceros de dilatación térmica	
	Grupo 5	Aceros resistentes a la fluencia	
Serie 3	Grupo 1	Aceros inoxidables	Estos aceros están basados en la adición de cantidades considerables de cromo y níquel a los que se suman otros elementos para conseguir otras propiedades más específicas. Son resistentes a ambientes húmedos, a agentes químicos y a altas temperaturas. Sus aplicaciones más importantes son para la fabricación de depósitos de agua, cámaras frigoríficas industriales, material clínico e instrumentos quirúrgicos, pequeños electrodomésticos, material doméstico como cuberterías, cuchillería, etc.
	Grupos 2 y 3	Aceros resistentes al calor	
Serie 5	Grupo 1	Acero al carbono para herramientas	Son aceros aleados con tratamientos térmicos que les dan características muy particulares de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y a la deformación por calor. Los aceros del grupo 1 de esta serie se utilizan para construir maquinaria de trabajos ligeros en general, desde la carpintería y la agrícola (aperos). Los grupos 2,3 y 4 se utilizan para construir máquinas y herramientas más pesadas. El grupo 5 se utiliza para construir herramientas de corte.
	Grupos 2, 3 y 4	Acero aleado para herramientas	
	Grupo 5	Aceros rápidos	
Serie 8	Grupo 1	Aceros para moldeo	Son aceros adecuados para moldear piezas mediante vertido en moldes de arena, por lo que requieren cierto contenido mínimo de carbono con el objetivo de conseguir estabilidad. Se utilizan también para el moldeo de piezas geométricas complicadas, con características muy variadas, que posteriormente son acabadas en procesos de mecanizado.
	Grupo 3	Aceros de baja radiación	
	Grupo 4	Aceros para moldeo inoxidable	

Aceros de calidad y especiales para la construcción mecánica.

Numeración UNE	Clasificación y denominación común	Principales elementos de aleación		Aplicaciones y observaciones
		% C	% Otros elementos	
36-011-75 F-1 110	Aceros finos al carbono Acero extrasuave.	0,15	Elementos de maquinaria que deben poseer gran tenacidad. Piezas que se han de obtener por deformación en frío, plegado, etc., de baja resistencia. Herrajes, piezas para soldar. — <i>Fácilmente soldable y muy deformable.</i>
	F-1 120	0,25	Piezas de resistencia media y buena tenacidad. Se pueden obtener por deformación en frío, embutición, plegado, etc. Herrajes, elementos auxiliares, etc. — <i>Soldables.</i>
	F-1 130	0,35	Ejes, elementos de maquinaria y otras piezas de buena resistencia y buena tenacidad. Bulonería y herrajes.
	F-1 140	0,45	Ejes y elementos de maquinaria, piezas de bastante resistencia, transmisiones, cilindros de motor de explosión, etc. — <i>Templan bien en pequeños espesores. (Culdense las deformaciones.)</i>
	F-1 150	0,55	Ejes, transmisiones, tensores y piezas regularmente cargadas y de espesores no muy elevados. — <i>Templan bien en agua y en aceite.</i>
36-012-75	Aceros para temple y revenido (aleados de gran resistencia)			
	F-1 202	0,4	Cr 1	Piezas de resistencia media y gran tenacidad.
	F-1 250	0,35	Cr 1; Mo 0,2	Piezas de resistencia media. Piezas de maquinaria y motores de no muy grandes espesores, pero buena tenacidad.
	F-1 270	0,35	Cr 0,8; Ni 1,8; Mo 0,25	Piezas de gran resistencia y máxima responsabilidad. Cigüeñales, bielas, engranajes, etc. Piezas que trabajan en caliente
36-015-76 F-1 410	Aceros para muelles Acero al carbono para muelles de temple en aceite.	0,7	Flejes, cuerdas de piano y piezas de pequeños espesores.
	F-1 430	0,5	Cr 0,1; Va 0,18	Necesitan cuidado especial para evitar la descarburación superficial y las grietas de forja.
	F-1 440	0,55	Mn 0,85; Si 1,75	Muelles de ballesta y resortes de grandes dimensiones. Evítense la descarburación superficial.
36-013 F-1 510	Aceros para endurecimiento superficial (cementación)	0,1	Piezas cementadas de poca responsabilidad.
	Acero al carbono para cementación.	0,12	Cr 0,65; Ni 2,6	Piezas cementadas de gran resistencia en el núcleo y buena tenacidad con gran dureza superficial. Engranajes, levas, etc.
	F-1 523	0,12	Cr 0,65; Ni 2,6	Piezas de gran dureza superficial, pero con menor resistencia. Piezas para automovilismo y maquinaria, engranajes, levas, etc.
	F-1 540	0,2	Cr 1; Ni 1	Piezas cementadas de grandes dimensiones y de la máxima responsabilidad, muy alta resistencia, dureza y templabilidad. Engranajes, coronas, etc.
	F-1 526	0,15	Cr 1; Ni 4; Mo 0,25	
36-014-75 F-1 721	Aceros para endurecimiento superficial (nitruración)			
	Acero de nitruración al cromo-molibdeno-vanadio de 105 kgf/mm ² .	0,3	Cr 2,55; Mo 0,4; Va 0,25	Piezas de elevada resistencia y gran dureza superficial para resistir al desgaste.
	F-1 740	0,4	Cr 1,5; Al 1; Mo 0,3	Piezas de resistencia media, pero de la máxima dureza superficial posible.

Aceros aleados y no aleados para útiles y herramientas.

Numeración UNE	Clasificación y denominación común	Principales elementos de aleación		Aplicaciones
		% C	% otros elementos	
36-071-75	Aceros al carbono para herramientas			
F-5 103	Acero al C para herramientas	0,75	Herramientas de carpintero, barrenas, brocas, cuchillos, navajas, agujas de coser y de inyecciones, etc.
F-5 117	Acero al C para herramientas	1	Matrices para embutir, troqueles, cuchillas, brocas para hierros, aceros y metales; machos de roscar, troqueles, martillos para piedra, tipos de imprenta, punzones, escoplos, etc.
F-5 118	Acero al C para herramientas	1,1	V 0,25	Fresas, rasquetas, trépanos, brocas, terrajas, escariadores, galgas, instrumentos de cirugía, peines de roscar, navajas de afeitar, etc.
F-5 127	Acero al C para herramientas	1,4	Cuchillas de torno, hojas de afeitar, limas para metales; pinzas, brocas, hileras, sierras.
36-072-75	Aceros aleados para herramientas			
F-5 212	Acero indeformable al Cr	2,05	Cr 12	Matrices cortantes de forma complicada, escariadores, machos para roscar, cuchillas para cizallinas, etc.
F-5 220	Acero indeformable al Cr-Mn	1	Cr 0,5; Mn 1,2; W 0,55	Utiles para roscar, machos, matrices, escariadores...
F-5 241	Acero para trabajos de choque.	0,45	Cr 1,05; V 0,2; W 2	Buriles, punzones, buterolas, escoplos...
F-5 313	Acero para trabajos en caliente al W.	0,3	W 9; Cr 3; V 0,4	Matrices y punzones para trabajo en caliente de alto rendimiento; moldes para fundición inyectada, etc.
F-5 217	Acero para trabajos en caliente al Cr-Mo-V.	0,35	V 0,4; Cr 5; Mo 1,45	Como el anterior para temperaturas menores.
F-5 307	Acero para matrices en caliente al Cr-Ni-Mo.	0,55	Cr 1,1; Ni 1,75; Mo 0,4	Matrices para estampado en serie y en caliente de todas clases, etc.
F-5 237	Acero de herramientas de gran dureza.	1,05	Cr 0,55; W 1,3; V 0,2	Matrices para trabajar en frio. Utiles de estirar...
36-073-75	Aceros rápidos			
F-5 520	Aceros rápidos 18 % W	0,75	Cr 4; W 18; V 1	Cuchillas y otros útiles para tornejar, cepillar, fressar, taladrar.
F-5 530	Aceros extrarrápidos 5 % Co.	0,8	Cr 4; W 18; V 1,35 Co 5; Mo 0,65	Utiles de corte de gran rendimiento y duración en materiales de gran resistencia.
F-5 540	Aceros extrarrápidos 10 % Co.	0,8	Cr 4; W 18; V 1,55 Mo 1; Co 10	Utiles de corte de máximo rendimiento.

OTROS MATERIALES UTILZADOS EN CONSTRUCCIÓN NAVAL.

ALUMINIOS

- El aluminio es un metal ligero (2,7 g/cm³).
- Brillante, se obtiene de la bauxita, por electrolisis.
- Muy ávido de oxígeno, se oxida rápidamente, formando una fina capa de óxido que no permite que se oxide más.
- Funde a 660º C.
- Soldable por método TIG con corriente alterna.
- Es blando, para mejorar características ha de alejarse con otros metales.
- Principales aleaciones:
 - 1000: Aleaciones de aluminio puro.
 - 2000: Aleaciones al cobre. Para aviones.
 - 5000: Magnesio. Construcción naval.
 - 6000: Silicio y Magnesio: Estructural.
 - 7000: Zinc: Para aviones.

PLÁSTICOS

- Son polímeros formados por repetición de estructuras moleculares orgánicas (principalmente Hidrógeno y Carbono)
- Poseen una gran plasticidad (capacidad de deformarse sin romperse).
- Son muy maleables y por tanto pueden ser moldeados (fabricados) con facilidad.
- Muchos se fabrican a partir de petroquímicos (derivados del petróleo), aunque últimamente también algunos a partir de fuentes renovables (maíz y otros vegetales).
- Gran variedad de plásticos y de sus prestaciones.

Ejemplos de Plásticos

- Polietileno (PE): Rígidez 1000 Mpa. Muy barato. Botellas flexibles.
- Polipropileno (PP): Rígidez 2000 Mpa. Tubos.
- ABS: Para piezas con buen acabado: 2400 Mpa.
- Poliamida (PA6). También llamada Nylon: Piezas resistentes. 3000 Mpa.
- Polioximetileno (POM): Acetal. 3000 MPa.

Algunos Plásticos más:

- Policloruro de Vinilo (PVC): es el derivado plástico más utilizado: Tuberías, etc.
- Policarbonato (PC): Plástico transparente. Resistente, pero caro. Para CD's, DVD's.
- Polimetacrilato de metilo (PMMA) llamado también metacrilato o plexiglás. El más transparente, resiste rayos UV.
- Teflón (PTFE). El plástico con menor coeficiente de rozamiento.

Los materiales anteriores pueden ser reforzados con fibra de vidrio o incluso con fibra de carbono.

Por ejemplo, las carcchas de los taladros son de PA6+GF30: Poliamida 6 con un 30% de fibra de vidrio. Tienen una rigidez de 9000 Mpa.

MADERA

Principales características:

- Muchos tipos y propiedades.
- Resistencia a condiciones extremas (como el mar) (a veces con algún tratamiento).
- Adaptabilidad a condiciones diversas.
- Ligereza, estabilidad y durabilidad.
- Buen comportamiento a: flexión y torsión.
- Variedades más utilizadas y cotizadas: pino, olmo, roble, teca, cedro, caoba,....

ANEXO 1. TIPOS Y DESIGNACION DEL ACERO (NORAS UNE, ASTM Y AISI)

1- Introducción

1.1- Generalidades

Existe una gran variedad en la forma de identificar y clasificar a los aceros. Sin embargo, la mayoría de los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos. Hay dos tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra numérica.

1.2- Normas de aplicación

Dada la gran variedad de aceros existentes, y de fabricantes, ha originado el surgir de una gran cantidad de normativa y reglamentación que varía de un país a otro.

En España, la clasificación de los aceros está regulado por la norma UNE-EN 10020:2001, que sustituye a la anterior norma UNE-36010, mientras que específicamente para los aceros estructurales éstos se designan conforme a las normas europeas EN 10025-2: 2004 y EN-10025-4: 2004.

No obstante, existen otras normas reguladoras del acero, con gran aplicación internacional, como las americanas AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials), las normas alemanas DIN, o la ISO 3506.

2- Clasificación según UNE-EN 10020:2001

2.1- Por composición química

Según la norma UNE EN 10020:2001, y atendiendo a la composición química, los aceros se clasifican en:

- **Aceros no aleados, o aceros al carbono:** son aquellos en los que, a parte del carbono, el contenido de cualquiera de otros elementos aleantes es inferior a la cantidad mostrada en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. Como elementos aleantes que se añaden están el manganeso (Mn), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el vanadio (V) o el titanio (Ti). Por otro lado, en función del contenido de carbono presente en el acero, se tienen los siguientes grupos:

- I) Aceros de bajo carbono ($\%C < 0.25$)
- II) Aceros de medio carbono ($0.25 < \%C < 0.55$)
- III) Aceros de alto carbono ($2 > \%C > 0.55$)

- **Aceros aleados:** aquellos en los que, además del carbono, al menos uno de sus otros elementos presentes en la aleación es igual o superior al valor límite dado en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. A su vez este grupo se puede dividir en:

- I) Aceros de baja aleación (elementos aleantes $< 5\%$)
- II) Aceros de alta aleación (elementos aleantes $> 5\%$)

- **Aceros inoxidables:** son aquellos aceros que contienen un mínimo del 10.5% en Cromo y un máximo del 1.2% de Carbono.

2.2- Segundo UNE-3610

La norma española UNE-36010 fue un intento de clasificación de los aceros que permitiera conocer las propiedades de los mismos. Esta norma indica la cantidad mínima o máxima de cada componente y las propiedades mecánicas del acero resultante.

Esta norma fue creada por el Instituto del Hierro y del Acero (IHA), y dividió a los aceros en cinco series diferentes a las que identifica por un número. Cada serie de aceros se divide a su vez en grupos, que especifica las características técnicas de cada acero, matizando sus aplicaciones específicas.

El grupo de un acero se designa con un número que acompaña a la serie a la que pertenece. La clasificación de grupos por serie, sus propiedades y sus aplicaciones se recogen en la siguiente tabla resumen:

Serie	Grupo	Denominación	Descripción
Serie 1	Grupo 1	Acero al carbono	Son aceros al carbono y por tanto no aleados. Cuanto más carbono tienen sus respectivos grupos son más duros y menos soldables, pero también son más resistentes a los choques. Son aceros aptos para tratamientos térmicos que aumentan su resistencia, tenacidad y dureza. Son los aceros que cubren las necesidades generales de la Ingeniería de construcción, tanto industrial como civil y de comunicaciones.
	Grupos 2 y 3	Acero aleado de gran resistencia	
	Grupo 4	Acero aleado de gran elasticidad	
	Grupos 5 y 6	Aceros para cementación	
	Grupo 7	Aceros para nitruración	
Serie 2	Grupo 1	Aceros de fácil mecanización	Son aceros a los que se incorporan elementos aleantes que mejoran las propiedades necesarias que se exigen a las piezas que se vayan a fabricar con ellos como, por ejemplo, tornillería, tubos y perfiles para el caso de los grupos 1 y 2. Núcleos de transformadores y motores para los aceros del grupo 3. Piezas de unión de materiales férricos con no férricos sometidos a temperatura para los que pertenezcan al grupo 4. Piezas instaladas en instalaciones químicas y refinerías sometidas a altas temperaturas los del grupo 5.
	Grupo 2	Aceros para soldadura	
	Grupo 3	Aceros magnéticos	
	Grupo 4	Aceros de dilatación térmica	
	Grupo 5	Aceros resistentes a la fluencia	
Serie 3	Grupo 1	Aceros inoxidables	Estos aceros están basados en la adición de cantidades considerables de cromo y níquel a los que se suman otros elementos para conseguir otras propiedades más específicas. Son resistentes a ambientes húmedos, a agentes químicos y a altas temperaturas. Sus aplicaciones más importantes son para la fabricación de depósitos de agua, cámaras frigoríficas industriales, material clínico e instrumentos quirúrgicos, pequeños electrodomésticos, material doméstico como cuberterías, cuchillería, etc.
	Grupos 2 y 3	Aceros resistentes al calor	
Serie 5	Grupo 1	Acero al carbono para herramientas	Son aceros aleados con tratamientos térmicos que les dan características muy particulares de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y a la deformación por calor. Los aceros del grupo 1 de esta serie se utilizan para construir maquinaria de trabajos ligeros en general, desde la carpintería y la agrícola (aperos). Los grupos 2,3 y 4 se utilizan para construir máquinas y herramientas más pesadas. El grupo 5 se utiliza para construir herramientas de corte.
	Grupos 2, 3 y 4	Acero aleado para herramientas	
	Grupo 5	Aceros rápidos	
Serie 8	Grupo 1	Aceros para moldeo	Son aceros adecuados para moldear piezas mediante vertido en moldes de arena, por lo que requieren cierto contenido mínimo de carbono con el objetivo de conseguir estabilidad. Se utilizan también para el moldeo de piezas geométricas complicadas, con características muy variadas, que posteriormente son acabadas en procesos de mecanizado.
	Grupo 3	Aceros de baja radiación	
	Grupo 4	Aceros para moldeo inoxidable	

2.3- Según ASTM

La norma ASTM (American Society for Testing and Materials) no especifica la composición directamente, sino que más bien determina la aplicación o su ámbito de empleo. Por tanto, no existe una relación directa y biunívoca con las normas de composición.

El esquema general que esta norma emplea para la numeración de los aceros es:

YXX

donde,

Y es la primera letra de la norma que indica el grupo de aplicación según la siguiente lista:

- A: si se trata de especificaciones para aceros;
 - B: especificaciones para no ferrosos;
 - C: especificaciones para hormigón, estructuras civiles;
 - D: especificaciones para químicos, así como para aceites, pinturas, etc.
 - E: si se trata de métodos de ensayos;

Otros...

Ejemplos:

A36: especificación para aceros estructurales al carbono;

A285: especificación para aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para uso en planchas de recipientes a presión;

A325: especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico y una resistencia a la tracción mínima de 120/105 ksi;

A514: especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar;

A continuación se adjunta una tabla con las características de los aceros que son más comunes, según esta norma:

Clasificación de los aceros, según ASTM		Límite elástico		Tensión de rotura	
		Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36		36	250	58-80	400-550
ASTM A53	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131	Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381	Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500	Grado A	33	228	>45	>310
	Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501		36	250	>58	>400
ASTM A516	Grado 55	30	205	55-75	380-515
	Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524	Grado I	35	240	60-85	415-586
	Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529		42	290	60-85	415-550
ASTM A570	Grado 30	30	205	>49	>340
	Grado 33	33	230	>52	>360
	Grado 36	36	250	>53	>365
	Grado 40	40	275	>55	>380
	Grado 45	45	310	>60	>415
	Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709	Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L	Grado B	35	240	60	415
	Grado X42	42	290	60	415

2.4- Según AISI

La norma AISI (American Iron and Steel Institute) utiliza un esquema general para realizar la especificación de los aceros mediante 4 números:

AISI ZYXX

Además de los números anteriores, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo mediante letras para indicar el proceso de manufactura. Decir que las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

El significado de los anteriores campos de numeración es la siguiente:

XX indica el tanto por ciento (%) en contenido de carbono (C) multiplicado por 100;

Y indica, para el caso de aceros de aleación simple, el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación;

Z indica el tipo de acero (o aleación). Los valores que puede adoptar Z son los siguientes:

Z=1: si se trata de aceros al Carbono (corriente u ordinario);

Z=2: si se trata de aceros al Níquel;

Z=3: para aceros al Níquel-Cromo;

Z=4: para aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo;

Z=5: para aceros al Cromo;

Z=6: si se trata de aceros al Cromo-Vanadio;

Z=7: si se trata de aceros Al Tungsteno-Cromo;

Z=8: para aceros al Ni-Cr-Mo; Etc.

Como ya se indicó, la anterior designación puede incorpora también letras adicionales para indicar lo siguiente:

E : para indicar Fusión en horno eléctrico básico.

.... H: para indicar Grados de acero con templabilidad garantizada.

C: para indicar Fusión en horno por arco eléctrico básico.

X: para indicar alguna desviación del análisis de norma.

TS ...: para indicar que se trata de una Norma tentativa.

.. B .. para indicar que se trata de Grados de acero con un probable contenido mayor de 0.0005% en boro.

... LC: para indicar Grados de acero con extra-bajo contenido en carbono (0.03% máx.).

... F: Grados de acero automático.

A continuación se incluyen algunos ejemplos de designación de tipos de aceros según la norma AISI, que incluyen algunas notas aclaratorias:

AISI 1020:

1: para indicar que se trata de un acero corriente u ordinario;

0: no aleado;

20: para indicar un contenido máx. de carbono (C) del 0.20%.

AISI C 1020:

La letra C indica que el proceso de fabricación fue SIEMENS-MARTIN-básico. Puede ser B (si es Bessemer-ácido) ó E (Horno eléctrico-básico).

AISI 1045:

1: acero corriente u ordinario;

0: no aleado;

45: 0.45 % en C.

AISI 3215:

3: acero al Níquel-Cromo;

2: contenido del 1.6% de Ni, 1.5% de Cr;

15: contenido del 0.15% de carbono (C).

AISI 4140:

4: acero aleado (Cr-Mo);

1: contenido del 1.1% de Cr, 0.2% de Mo;

40: contenido del 0.40% de carbono (C).

A continuación se adjunta una tabla resumen de distintos tipos de aceros y su contenido aproximado de elementos principales de aleación, según AISI:

10XX – Aceros al carbono
11XX – Aceros al carbono - resulfurizados
12XX – Aceros al carbono - resulfurizados y refosforados
13XX – Manganeso 1.75
23XX – Níquel 3.5
25XX – Níquel 5.0
31XX – Níquel 1.25 y cromo 0.6
33XX – Níquel 3.5 y cromo 1.5
40XX – Molibdeno 0.2 eo 0.25
41XX – Cromo 0.5, 0.8, 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, 0.30
43XX – Níquel 1.83, cromo 0.50, 0.80 y molibdeno 0.25
44XX – Molibdeno 0.53
46XX – Níquel 0.85, 1.83 y molibdeno 0.20, 0.25
47XX – Níquel 1.05, cromo 0.45, molibdeno 0.20, 0.35
48XX – Níquel 3.5 y molibdeno 0.25
50XX – Cromo 0.4
51XX – Cromo 0.8, 0.88, 0.93, 0.95, 1.0
61XX – Cromo 0.6, 0.95 y vanadio 0.13, 0.15
86XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.20
87XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.25
88XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.35
92XX – Silicio 2.0
93XX – Níquel 3.25, cromo 1.2, molibdeno 0.12
98XX – Níquel 1.0, cromo 0.8, molibdeno 0.25

Por otro lado, la norma AISI especifica a los **aceros inoxidables** utilizando 3 números:

- Aceros Inoxidables martensíticos:

4XX: Base Cr. Medio-alto carbono.

5XX: Base Cr, Mo. Bajo carbono.

Ejemplos: AISI 410, AISI 416, AISI 431, AISI 440, AISI 501, AISI 502, AISI 503, AISI 504.

- Inoxidables ferríticos:

4XX: Base Cr. Bajo carbono.

Ejemplos: AISI 430, AISI 442, AISI 446.

- Inoxidables austeníticos:

3XX: Base Cr, Ni. Bajo carbono.

2XX: Base Cr, Ni, Mn. Bajo carbono.

Ejemplos: AISI 302, AISI 304, AISI 316, AISI 303, AISI 202.

ANEXO 2: TIPOS DE ACERO INOXIDABLE EN EL MECANIZADO



El acero inoxidable es uno de los materiales más utilizados en el área del mecanizado, especialmente en bridas y tubos. Aunque se suelen clasificar en hasta cinco familias, los tipos de acero inoxidable que representan casi la totalidad de sus aplicaciones son dos: **los austeníticos y los ferríticos**.

Los diferentes tipos de acero inoxidable se dividen en grados, y cada uno de ellos tiene propiedades distintas en cuanto a su **maleabilidad**, su **dureza**, su **resistencia a la corrosión**, etc. Porque a diferencia de lo que pueda parecer por su nombre, el acero inoxidable no es “inoxidable” de forma literal. Lo que hace que se le llame así es que, en comparación con el acero normal, puede soportar mucho más tiempo y uso antes de mostrar signos de desgaste. Y los distintos aceros inoxidables son “inoxidables” no lo son en el mismo grado.

5 tipos de acero inoxidable

Como hemos adelantado al principio, existen hasta cinco tipos de acero principales (aunque hay una de las familias -la de endurecimiento por precipitación- que suele incluirse dentro de otras tres), también llamados familias o categorías, según su estructura cristalina, es decir, la forma sólida como se ordenan y agrupan sus átomos, moléculas, o iones. Estos cinco tipos son:

- **Austenítico:** tiene un contenido en níquel de más de un 7%, entre un 16 a 28% de contenido en cromo, y un contenido muy bajo en carbono, que los hace muy resistentes a la corrosión, tener una buena maleabilidad y soldabilidad y excelentes propiedades mecánicas.
- **Ferrítico:** estos aceros son básicamente aleaciones con cromo dentro de un rango de 10,5% a 30%, pero con contenidos muy bajo en carbono (un 0,08% en relación con los martensíticos), que los hace económicos y con unas propiedades de resistencia a la corrosión y dureza razonablemente buenas. Además, a diferencia de los austeníticos, son magnéticos. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que les confieren diferentes características.
- **Martensítico:** tiene alto o bajo contenido en carbono (hasta 1,2%), 12% de cromo y se construyen alrededor de hierro tipo 410. Su microestructura de martensita tetragonal centrada en el cuerpo, lo hace endurecible por tratamiento térmico (por enfriamiento), le proporciona dureza y resistencia. Se utiliza principalmente para herramientas médicas (escalpelos, máquinas de afeitar y pinzas internas). La martensita sin templar es baja en dureza y, por lo tanto, quebradiza.
- **Duplex:** tiene un alto contenido en cromo (19–32%) y molibdeno (hasta 5%) y menor contenido de níquel que los aceros inoxidables austeníticos, que lo hace el doble de resistente. Su microestructura mixta proporciona una resistencia mejorada al

agrietamiento por corrosión bajo tensión de cloruro en comparación con los aceros inoxidables austeníticos tipos 304 y 316. Esto lo hace más costoso.

- **Endurecido por precipitación:** tienen cromo y níquel, que proporcionan una combinación óptima de las propiedades de los aceros inoxidables martensíticos y austeníticos. Con los primeros comparten su capacidad para ganar alta resistencia a través del tratamiento térmico, y de los segundos tienen la gran resistencia a la corrosión. Esto se logra tras la adición de uno o más de los elementos de cobre, aluminio, titanio, niobio y molibdeno a una matriz martensítica o austenítica sometida a un proceso de tratamiento térmico que conduce a su endurecimiento.

El acero inoxidable austenítico y el ferrítico son los más utilizados (constituyen un **95% de las aplicaciones de acero inoxidable**), y por eso les dedicamos el grueso de este post.

El acero inoxidable austenítico: la familia más amplia

El austenítico es el tipo de acero inoxidable que representa dos tercios de la producción de este material ya que, al contener **cromo y níquel** y un contenido muy bajo en carbono, tiene una excelente resistencia a la corrosión, buena maleabilidad, buena soldabilidad y excelentes propiedades mecánicas como una gran ductilidad en un amplio rango de temperaturas (ya que posee la misma microestructura incluso a temperaturas criogénicas). Eso significa a la vez que no se puede endurecer por tratamiento térmico. Por eso se usa ampliamente en mecanizados de tubo. Además, es fácil de limpiar, algo especialmente importante en otras aplicaciones, en entornos higiénicos y estériles. No es magnético, aunque si se trabajan en frío pueden volverse ligeramente magnéticos así como más resistentes.

El acero inoxidable austenítico puede dividirse en tres subgrupos, **las series 100, 200 y 300**. Sin embargo, el más utilizado es el de la serie 300.

Serie 300

Son el grupo dentro del acero austenítico más grande y más utilizado. Están compuestas de una aleación de **cromo-níquel** (por lo que también se llaman series Cr-Ni o Cr-Ni-Mo en el caso del 316), que logran su microestructura austenítica casi exclusivamente mediante la aleación de níquel; algunos grados muy altamente aleados incluyen algo de **nitrógeno** para reducir los requisitos de níquel. Los grados más conocidos son el **304 y el 316**, de los que hablamos más ampliamente en este post.

El acero inoxidable ferrítico

Los aceros inoxidables ferríticos son aceros inoxidables de **cromo simple**, generalmente con un bajo contenido de carbono y ausencia de níquel, que hace que su coste sea más económico. Tienen una razonablemente buena **ductilidad y resistencia a la corrosión**, aunque menor que los austeníticos, y como ellos, no se pueden endurecer por tratamiento térmico al tener una microestructura de ferrita como el acero al carbono (de cristal cúbico centrada en el cuerpo) está presente a todas las temperaturas, debido a la adición de cromo.

Sin embargo, mientras los **austeníticos** pueden trabajarse en **frío** para reforzarse, los **ferríticos** no permiten hacerlo en el mismo grado, y también son más problemáticos de soldar debido al crecimiento de grano en la zona afectada por el calor que reduce la **ductilidad y puede producir grietas**. El aumento del contenido de cromo y molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión como lo hace para los aceros inoxidables austeníticos, pero ello revierte en un mayores problemas de soldabilidad.

Estos problemas microestructurales generados por la **soldadura** limitan el uso de este tipo de aceros inoxidables a gruesos muy delgados y, por lo tanto, no se usan en la construcción de estructuras y recipientes pesados y de grandes gruesos como sí ocurre con los austeníticos.

El acero inoxidable ferrítico puede dividirse en varios grados, de los que los más comunes son el **430**, con un 17% de cromo, que se utiliza en fregaderos, tambores de lavadora e interiores de lavavajillas, cubiertos, exteriores de neveras, etc. y el tipo **409**, con un 11% de cromo, se usa

ampliamente en la fabricación de tubos de escape de automóviles. En general, sus aplicaciones giran entorno a mecanizados que se usan de forma repetitiva.

	Austenítico	Ferrítico	Martensítico	Endurecido por precipitación	Duplex
Resistencia a la corrosión	Alta	Media	Media	Media	Muy alta
Respuesta magnética	Generalmente no	Sí	Sí	Sí	Sí
Soldabilidad	Muy alta	Baja	Baja	Alta	Alta
Resistencia a altas temperaturas	Muy alta	Alta	Baja	Baja	Baja
Resistencia a bajas temperaturas	Muy alta	Baja	Baja	Baja	Media
Ductilidad	Muy alta	Media	Baja	Media	Media
Ritmo endurecimiento	Muy alto	Medio	Medio	Medio	Medio
Endurecible	En frío	No	Por templado y enfriado	Por envejecimiento	No