

ALEACIONES FERROSAS

1. Concepto

Se definen aleaciones ferrosas aquellas aleaciones en las que el hierro es predominante, fundamentalmente se clasifican en aceros y fundiciones.

A continuación se comenzará con el concepto de acero, características generales, clasificación y tipos, elementos químicos que lo conforman y los elementos que se agregan como aleantes.

2. Aceros

Los aceros son **aleaciones de hierro** con **carbono** en una proporción que oscila entre **0,03 y 2%**. Se suele componer de otros elementos, ya inmersos en el material del que se obtienen. Pero se le pueden añadir otros para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución.

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero con la adición de carbono y otros elementos, tanto metálicos como no metálicos, modifican sus propiedades físico-químicas.

Como la microestructura del acero determina la mayoría de sus propiedades y aquella está determinada por el tratamiento y la composición química; uno de los sistemas más generalizados en la nomenclatura de los aceros es el que está basado en su composición química.

Existen por tanto, numerosas clases de acero, en función de los tipos de aleación y procesos a los que se expongan posteriormente.

2.1.- Constituyentes del acero

Las características mecánicas de un acero dependen tanto de su composición química, así como de la estructura cristalina y microestructura que tenga. Gracias a la metalografía, disciplina que estudia las características micro-estructurales o constitutivas de un metal o aleación, relacionándolas con sus propiedades físicas, químicas y mecánicas; podemos conocer que el acero posee diferentes constituyentes (ordenamiento específico de los átomos), según su temperatura, existen muchas microestructuras pero a continuación se mencionan las más típicas que se puede observar en los aceros:

Ferrita o hierro alfa ($Fe \alpha$): es el constituyente hierro puro, blanco dúctil, maleable y ferromagnético, el más blando de los aceros. Se presenta en el rango de temperatura que va desde $(20-767)^{\circ}C$. Posee estructura cristalina del tipo bcc que se puede observar en la Figura N° 1. En la Foto N° 1 se presenta su microestructura metalográfica observada con microscopio.

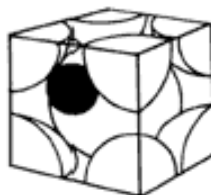


Figura N° 1.- Estructura cristalina bcc de la Ferrita o $Fe \alpha$

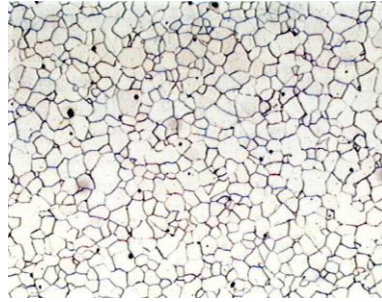


Foto N°1.- Microestructura de la Ferrita o $Fe \alpha$, observada con microscopio en un tipo de acero

Austenita o **hierro gamma** ($Fe \gamma$): es un constituyente denso y amagnético que tiene estructura cristalina de tipo cúbica centrada en las caras (fcc). Se presenta en el rango de temperatura que va desde (907-1401)°C. Posee estructura cristalina fcc como se puede observar en la Figura N° 2 y la microestructura metalográfica en la Foto N° 2.

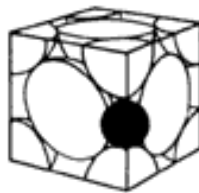


Figura N°2.- Estructura cristalina fcc de la Austenita o $Fe \gamma$

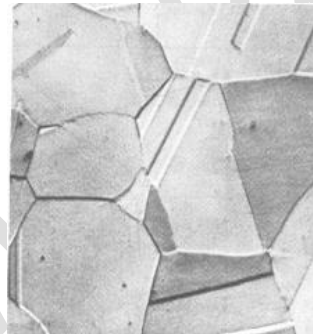


Foto N° 2.- Microestructura de la Austenita o $Fe \gamma$, observada con microscopio en un acero

Martensita: es el constituyente que se presenta en forma de agujas después de un tratamiento térmico por lo general es muy dura como se puede observar en la Foto N° 3. La estructura cristalina de la *martensita* es tetragonal bct como se representa en la Figura N° 3.



Foto N° 3.- Microestructura metalográfica de la Martensita observada con microscopio

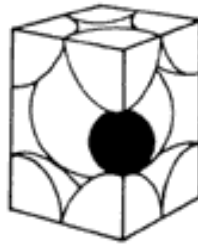


Figura N° 3.- Estructura cristalina bct de la Martensita

Cementita o carburo de hierro (Fe_3C): es el constituyente más duro del acero, muy resistente pero frágil.

Perlita: es un constituyente compuesto por láminas alteradas de ferrita ($\text{Fe } \alpha$) y cementita (Fe_3C). Su formación se produce entre las temperaturas de 250 °C y 550 °C, su microestructura metalográfica se observarse en la Foto N°4

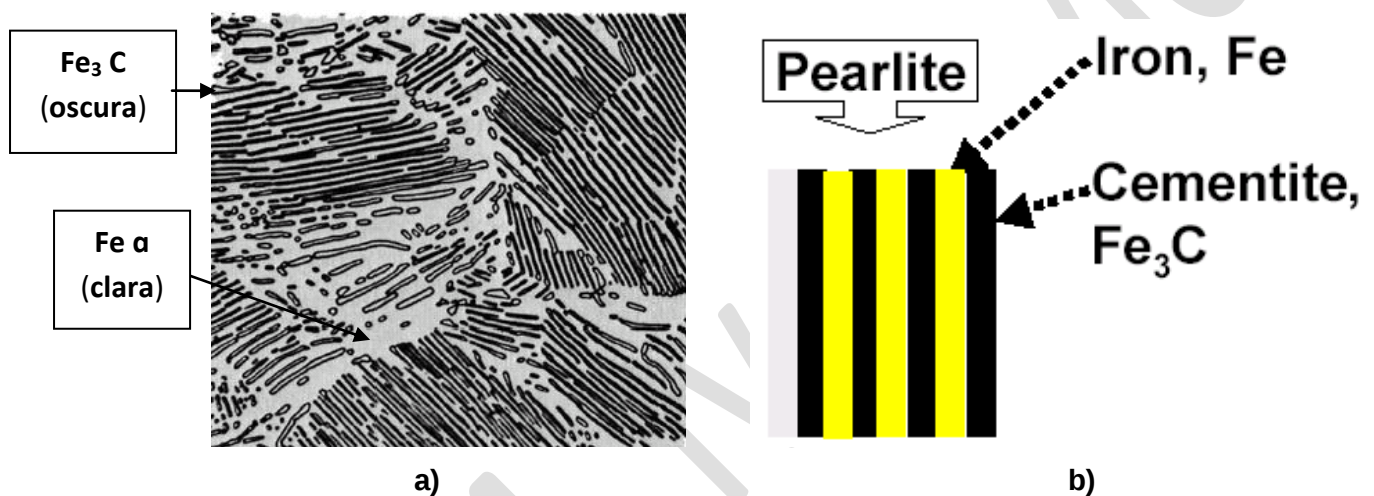


Foto N° 4.- Microestructura metalográfica de la Perlita, **a)** es la foto de la perlita observada en una muestra de acero con microscopio; **b)** es el ordenamiento de las capas de $\text{Fe } \alpha$ y Fe_3C , que juntos conforman la perlita. La perlita observada con microscopio aparenta una huella digital.

Bainita: es un constituyente compuesto por agregaciones de ferrita y cementita, con estructura acicular y su microestructura metalográfica se puede observar en la Foto N°5.



Foto N° 5.- Microestructura de la Bainita en un acero 4360, observada con microscopio

2.2.- Propiedades del acero

Las propiedades del acero se dan en función de la composición química, y al tipo de tratamiento al que son sometidos los diferentes aceros. Por tal razón es complejo establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero, por lo que solo mencionaremos algunas como ser:

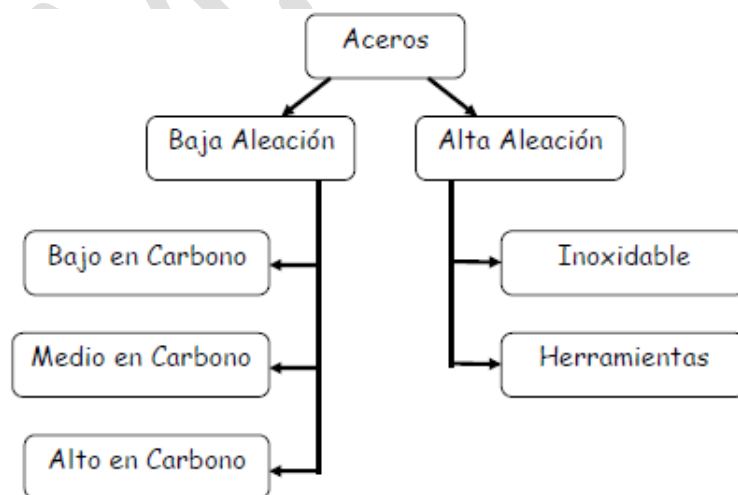
- La resistencia al desgaste, es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en fricción con otro material.
- La tenacidad es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras; es una propiedad esencial para fabricar herramientas.
- La maquinabilidad es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- La dureza es la resistencia que ofrece el material a la penetración.
- La ductibilidad es ideal para obtener alambres o la maleabilidad, necesaria para fabricar láminas delgadas del metal.
- La abrasión, el rayado, la cortadura o las deformaciones permanentes, entre otras más.

2.3.- Clasificación de los Aceros

Existen otras clasificaciones de aceros, pero solo trataremos la clasificación de los aceros según normas UNE.

Las normas españolas UNE (Una Norma Española) clasifican los aceros bajo dos puntos de vista: **I)** Atendiendo a la composición química; **II)** Atendiendo a su utilización.

I) Atendiendo a la **Composición Química**, tenemos la siguiente sub-clasificación



i) En los **aceros de Baja Aleación** se puede especificar lo siguiente:

Bajo en C (< 0.25% C además de Mn y Cu o Si): blandos, poco resistentes, dúctiles, tenaces, fácil mecanización, soldables y baratos. Coches, Vigas, edificios, tuberías, etc.

Su microestructura es ferrita + perlita

Medio en C (0.25-0.6%C, además Cr, Ni, Mo y otros): más resistentes que los bajo en carbono, menos dúctiles y tenaces, baja templabilidad

Su microestructura habitual es martensita revenida

Alto en C (0.6-1.4%C aleados con Cr, V, W, Mo): aún más duros y resistentes, menos dúctiles que resto de aceros al carbono. Son especialmente resistentes al desgaste. Se aplican en herramientas de corte.

ii) En los **aceros de Alta Aleación** se les agrega de manera intencional ciertos elementos de aleación y los objetivos perseguidos son

- Aumentar la resistencia mecánica
- Mejorar su templabilidad
- Aumentar su resistencia a la corrosión y a la oxidación

Entre los elementos de aleación que se pueden mencionar son los siguientes: cromo, molibdeno, níquel, tungsteno, vanadio, silicio, manganeso, etc, debiendo ser la suma de todos los elementos antes mencionados menor o igual al 5 %.

II) Atendiendo a su **utilización**

1.- **Aceros de Construcción**

- Que se usan en bruto, de forja o laminación
- Que se usan después del tratamiento térmico

2- **Aceros de Herramientas**

- Aceros de herramientas para trabajo en frío
- Aceros de herramientas para trabajo en caliente
- Aceros de herramientas de corte

3- **Aceros Inoxidables y Refractarios**

- Aceros inoxidables (ferríticos; austeníticos y martensíticos)
- Aceros inoxidables endurecibles por precipitación
- Aceros no inoxidables con alguna resistencia a la corrosión
- Aceros refractarios

2.4.- **Nomenclatura de los Aceros sistema S.A.E - A.I.S.I**

Los aceros y aleaciones en general se pueden designar de acuerdo a las instrucciones dadas por AISI "American Iron and Steel Institute" ASTM "American Society for Testing and Materials" y SAE "Society of Automotive Engineers".

En el sistema S.A.E. - A.I.S.I., los aceros se identifican con cuatro dígitos XXXX, donde los primeros dos números se refieren a los *dos elementos de aleación* más importantes y los dos o tres últimos dígitos dan *la cantidad de carbono* presente en la aleación y se leen *en porcentaje (%)*.

Las dos primeras cifras o dígitos para aceros al carbono son 1 y 0; por ej: un acero 1020 S.A.E es un acero al carbono (porque comienza con 10) y nos dice que tiene el 0.2% de C (porque los últimos dos dígitos es 20). Como puede observarse en el Gráfico N° 1

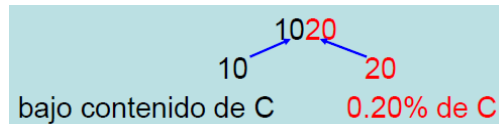


Gráfico N° 1. - Ejemplo de la nomenclatura según el Sistema S.A.E. - A.I.S.I.

En los aceros aleados los primeros dígitos puede ser por ejemplo 13, 41 o 43; por ej: un acero 4340 S.A.E, es un acero aleado que contiene 0.4%C (porque termina en 40), el 43 indica la presencia de otros elementos aleantes.

En la Tabla N°1, a continuación se enumeran, las convenciones para el primer dígito para la nominación de los aceros aleados según el sistema S.A.E. - A.I.S.I.

Familia	Principal elemento de Aleación
1XXX	Carbono
2XXX	Níquel
3XXX	Níquel-Cromo, principal aleante el cromo
4XXX	Molibdeno
5XXX	Cromo
6XXX	Cromo-Vanadio, principal aleante el cromo
7XXX	Wolframio o Tungsteno
8XXX	Níquel-Cromo-Molibdeno, principal aleante el molibdeno
9XXX	Silicio- Manganeseo, principal aleante el Silicio

Tabla N°1. - Sistema de 4 dígitos para la designación de aceros simples y aleados.

Los aceros numerados 7XXX son aceros resistentes al calor prácticamente no se fabrican.

Se observa entonces que si el primer número es 1 se sabe que es un acero al carbono; si el dígito siguiente es el 0, o sea que la designación es 10xx, se trata de un acero común o sea al carbono.

Para una mejor interpretación de la nomenclatura, se consideran los siguientes ejemplos:

- SAE 1015: Significa que es un acero al C (porque el primer dígito es 1), sin ningún elemento aleante (porque el segundo dígito es 0) y contiene el 0,15% de C (porque los dos últimos dígitos es el 15).
- SAE 2350: Significa que es un acero al Ni (porque el primer dígito es 2 con el 3% de Níquel) y contiene el 0,50% de C (porque los dos últimos dígitos es 50).
- SAE 3115: Significa que es un acero al Ni-Cr (porque el primer dígito es 3, con el 1% de Ni + Cr y contiene el 0,15% de C (porque los dos últimos dígitos es 15).
- SAE 4140: Significa que es un acero al Mo (porque el primer dígito es 4, con el 1% de Mo + Cr) y contiene el: 0,40% de C (porque los dos últimos dígitos es 40).
- SAE 5245: Significa que es un acero al Cr (porque el primer dígito es 5, con el 2% de Cr) y contiene el 0,45% de C (porque los dos últimos dígitos es 45).
- SAE 6350: Significa que es un acero al Cr- Vanadio (porque el primer dígito 6, con el 3% de Cr + Va) y contiene el 0,50% de C (porque los dos últimos dígitos es 50).
- SAE 7160: Significa que es un acero al Wolframio o Tungsteno (porque el primer dígito 7, con el 1% de W) y contiene el 0,60 % de C (porque los dos últimos dígitos es 60).

2.5.- Elementos químicos que se encuentran en el acero.

El carbono

El acero puede variar del 0,01% al 1,7%; la cantidad de carbono determinará la fragilidad, dureza y resistencia del acero.

El manganeso

En el acero al bajo carbono hace que el metal sea dúctil y que tenga buenas cualidades para ser doblado. En el acero alta velocidad lo hace más tenaz y eleva su temperatura crítica. Normalmente el contenido de manganeso varía de 0,39% al 0,80%, pero puede ser mayor en algunos aceros especiales.

El fósforo.

Es un elemento indeseable que vuelve frágil al acero y reduce su ductilidad. En los aceros satisfactorios, el contenido de fósforo no debe ser mayor al 0,05%.

El silicio.

Se agrega silicio al acero para eliminar los gases y los óxidos, evitando así que el acero se vuelva poroso y se oxide. Asimismo vuelve al acero más duro y más tenaz. El acero al bajo carbono contiene alrededor del 0,20% de silicio.

El azufre.

Es un elemento indeseable, provoca la cristalización del acero (fragilidad en caliente) al calentar el metal hasta llevarlo a un color rojo. Un acero de buena calidad no debe contener más del 0,04% de azufre.

2.6.- Influencia de los elementos de aleación en las propiedades de los aceros

Níquel

El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidables y resistentes a altas temperaturas, en los que además de cromo se emplean porcentajes de níquel variables de 8 a 20%.

Otros aceros de menor importancia son los aceros cromo-níqueles para herramientas y para estampación en caliente.

En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para máquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo níquel y cromo-níquel-molibdeno.

Los aceros aleados con níquel se obtienen para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación. Una de las ventajas más grandes que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad.

Cromo

Es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y los de resistencia en caliente.

Se emplea en cantidades diversas, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad, etc.

Molibdeno

Mejora notablemente la resistencia a la tracción, la templabilidad. Aumenta también la resistencia de los aceros en caliente y reemplaza al wolframio en la fabricación de los aceros rápidos.

El molibdeno se disuelve en la ferrita, pero tiene una fuerte tendencia a formar carburos. Es un potente estabilizador de los carburos complejos y tiende a retardar el ablandamiento de los aceros, durante el revenido.

Wolframio (tungsteno)

Es un elemento muy utilizado para la fabricación de aceros de herramientas, empleándose en especial en los aceros rápidos, aceros para herramientas de corte y aceros para trabajos en caliente.

Sirve para mantener la dureza de los aceros a elevada temperatura y evitan que se desafilen o ablanden las herramientas, aunque lleguen a calentarse a 500° o 600°.

También se usa para la fabricación de aceros para imanes.

El wolframio se disuelve ligeramente en la ferrita y tiene una gran tendencia a formar carburos. Los carburos de wolframio tienen gran estabilidad.

Vanadio

Es un elemento desoxidante muy fuerte y tiene una gran tendencia a formar carburos.

Una característica de los aceros con vanadio, es su gran resistencia al ablandamiento por revenido. Se emplea principalmente para la fabricación de aceros de herramientas, tiende a afinar el grano y a disminuir la templabilidad.

Manganeso

Aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación.

El manganeso actúa también como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero que se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material.

Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formarían sulfuros de hierro, que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden, y al encontrarse contorneando los granos de acero crean zonas de debilidad.

Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el manganeso no es elemento fundamental, suelen contener generalmente porcentajes de manganeso variables de 0.30 a 0.80%.

Silicio

Este elemento aparece en todos los aceros, porque se añade intencionadamente durante el proceso de fabricación. Se emplea como elemento desoxidante complementario del manganeso con objeto de evitar que aparezcan en el acero los poros y otros defectos internos. Los aceros pueden tener porcentajes variables de 0.20 a 0.34% de Si.

Mejora ligeramente la templabilidad y la resistencia de los aceros a disminuir la tenacidad, y en ciertos casos mejora también su resistencia a la oxidación.

Cobalto

Se emplea casi exclusivamente en los aceros rápidos de más alta calidad, en porcentajes variables de 3 a 10%. Este elemento al ser incorporado en los aceros, se combina con la ferrita, aumentando su dureza y su resistencia.

Aluminio

El aluminio es usado principalmente como desoxidante en la fabricación de muchos aceros. El Aluminio también reduce el crecimiento del grano al formar óxidos y nitruros. Todos los aceros aleados de calidad contienen aluminio en porcentajes pequeñísimos, variables generalmente desde 0.001 a 0.008%.

Se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio.

Titanio

Se suele añadir pequeñas cantidades de titanio a algunos aceros muy especiales para desoxidar y afinar el grano. El titanio tiene gran tendencia a formar carburos y a combinarse con el nitrógeno. En los

aceros inoxidables cromo-níquel, actúa como estabilizador de los carburos y evita la corrosión intercrystalina.

Cobre

El cobre se suele emplear para mejorar la resistencia a la corrosión de ciertos aceros de 0.15 a 0.30% de carbono, que se usan para grandes construcciones metálicas. Se suele emplear contenidos en cobre variables de 0.40 a 0.50%.

Boro

Se ha visto que en cantidades pequeñísimas de boro del orden de 0.0001 a 0.0006%, mejoran notablemente la templabilidad, siendo en este aspecto el más efectivo de los elementos aleados y el de mayor poder templante de todos.

2.7.- Grado de limpieza

En general este parámetro está relacionado con el contenido de inclusiones no metálicas de tipo óxidos, sulfuros, nitruros y silicatos.

Las *inclusiones no metálicas* son compuestos químicos y no metales que están presentes en el acero y aleaciones, se forman durante el proceso de fusión y aceración. Estos productos se precipitan durante el enfriamiento y son típicamente muy pequeñas.

La mayoría de las inclusiones en los metales son óxidos y sulfuros.

Por lo general, nitruros están presentes en aceros especiales que contienen un elemento con una alta afinidad a nitrógeno.

Los silicatos son muy perjudiciales para los aceros, especialmente si tiene que someterse a tratamiento térmico en una etapa posterior.

La norma que indica niveles y la técnica de cuantificación es la ASTM E45.

2.8.- Nivel de impurezas

Las impurezas en general son perjudiciales para las propiedades del acero. Por lo tanto se procura eliminarlas o reducir su contenido. Dado que resulta difícil su eliminación o demasiado costosa, se admite la presencia de estas impurezas en cantidades mínimas

Las impurezas del acero son fósforo, azufre, silicio y manganeso. Si bien el aluminio no es una impureza, su presencia también genera presencia de compuestos nocivos, cuyo contenido debe ser controlado.

Las impurezas provienen de la materia prima que es el mineral de hierro. Por esta razón, los yacimientos de mayor valía son aquellos que contienen bajo azufre y fósforo (0,04% máximo, en ambos). En cambio el manganeso (contenidos menores de 0.4 %) y el silicio (su presencia está limitada a valores de 0.25-0.35 %) son elementos químicos que se encuentran presentes en grandes cantidades en la naturaleza, prácticamente en similares cantidades en todos los yacimientos.