



**Qué es el Acero al Carbón (hierro):** es una aleación de varios elementos químicos, siendo los principales el hierro y el carbono.

### ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidables son aleaciones de **hierro, cromo y carbono**, que en ocasiones se combinan con **otros** elementos aleantes, fundamentalmente **níquel, molibdeno, manganeso, silicio, titanio, niobio, nitrógeno**, que le confieren una alta resistencia a varios tipos de corrosión.

La mínima cantidad de **cromo** necesaria para proporcionar esta resistencia a la corrosión está entre el **10 y el 12%**. La razón por la que estos aceros presentan una alta resistencia a la corrosión es que en la superficie del acero y en presencia de un ambiente oxidante, tiene lugar el crecimiento de una capa muy fina y compacta de óxido de cromo que aísla al material de los ataques corrosivos.

Esta película se llama **película pasiva**. Este sistema de protección es el mismo que se consigue en otros productos con un tratamiento superficial como el galvanizado, zincado, cromado, etc., con la diferencia de que en el caso del acero inoxidable es la propia aleación la que genera esta capa pasiva, posibilitando la reconstrucción de dicha capa cada vez que se daña, y manteniendo por lo tanto la protección permanente del acero.

### PRINCIPALES ATRIBUTOS DEL ACERO INOXIDABLE

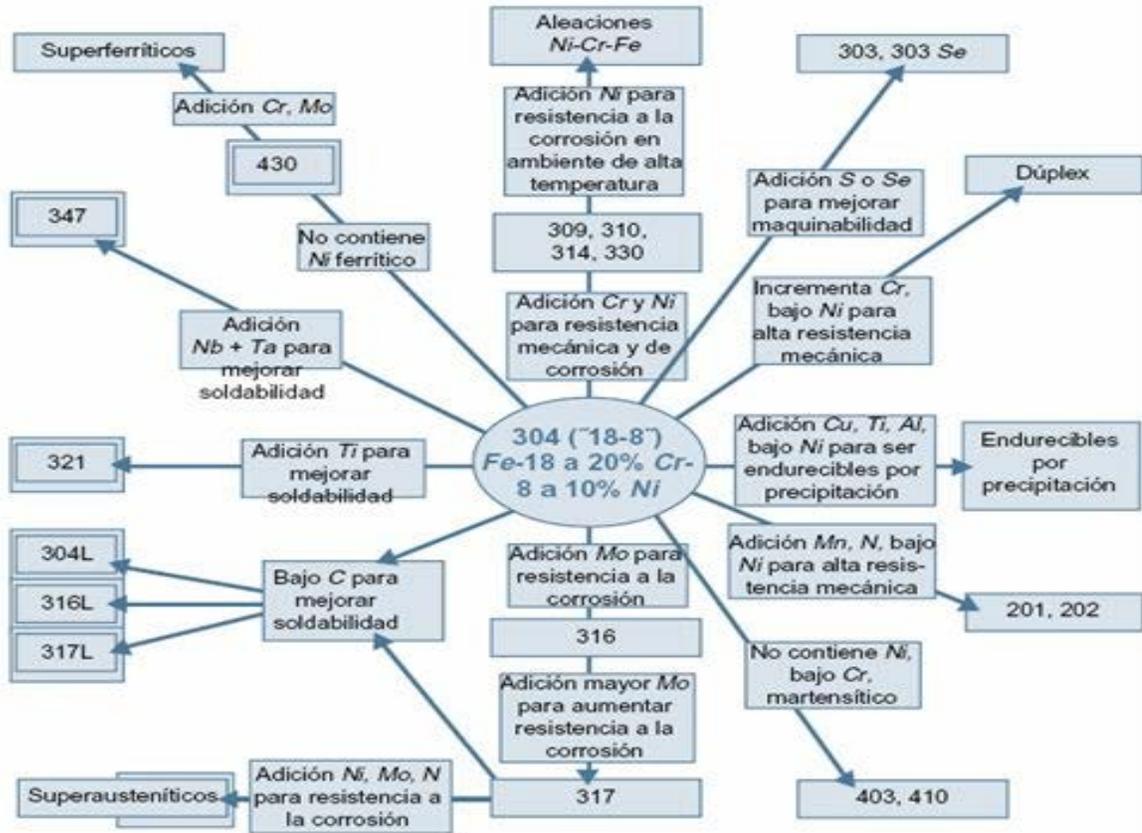
- Alta resistencia a la corrosión.
- Resistencia mecánica adecuada
- Facilidad de limpieza - baja rugosidad superficial.
- Apariencia higiénica.
- No contamina los alimentos.
- Facilidad de conformación.
- Facilidad de unión.
- Resistencia a altas temperaturas.
- Resistencia a temperaturas criogénicas (debajo de 0°)
- Resistencia a variaciones bruscas de temperatura.
- Acabados superficiales y formas variadas.
- Fuerte impacto visual (moderno, liviano y elegante)
- Relación costo-beneficio favorable.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Material reciclable.

**La importancia del Acero Inoxidable** se debe a sus óptimas características mecánicas, su alta resistencia a la corrosión. Debido a ello es un material con alta producción a nivel mundial, ya que se encuentran presentes en un amplio intervalo de aplicaciones en diferentes ramas de la industria, tales como:

- Industria automotriz.
- Aeronáutica y Espacial.
- Arquitectura y construcción.
- Medio ambiente y energía.
- Electrodomésticos.
- Industria farmacéutica.
- Industria alimentaria.
- Medicina

Cuando el acero inoxidable es bien especificado, su relación de retorno sobre los costos involucrados es bastante favorable.

En el siguiente esquema se puede observar una representación de la evolución de los aceros inoxidables a partir del acero "clásico" AISI 304.



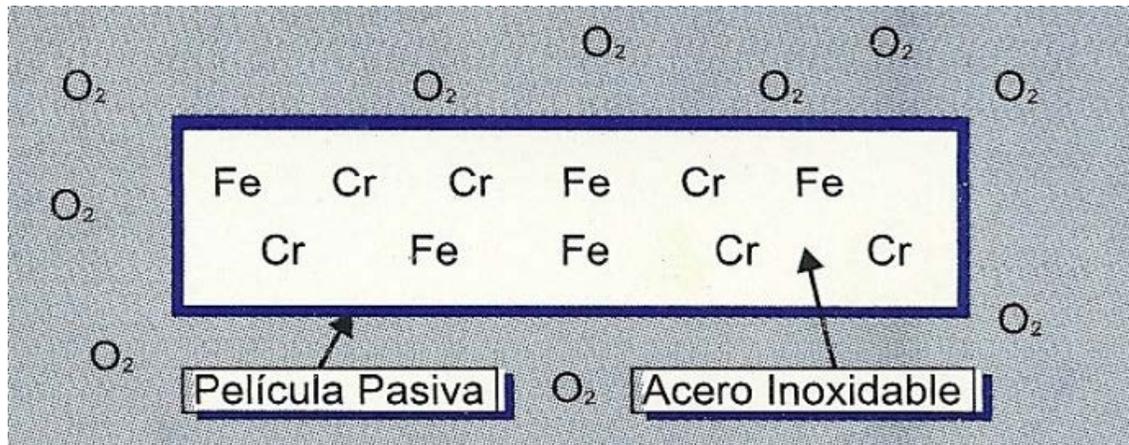
**Que es el Acero Inoxidable:** es un tipo de acero que contiene por lo menos 10.5% de cromo con composición química balanceada para tener una mejor resistencia a la corrosión.

**Que es la Corrosión:** es la enemiga natural de los materiales. Los aceros comunes reaccionan con oxígeno del aire formando una película superficial de oxido de hierro. Esta película es extremadamente porosa y permite la continua oxidación del acero produciendo la corrosión.

**Película Pasiva:** es una película extremadamente fina, continua, estable y muy resistente formada sobre la superficie del acero inoxidable, por la combinación del oxígeno del aire con el cromo del acero y que lo protege contra la corrosión del medio ambiente.

### Formación y Características de la Película Pasiva:

- Aparece espontáneamente cuando hay presencia de cromo y oxígeno.
- La formación es extremadamente rápida, casi instantánea (cromo y oxígeno tienen mucha afinidad).
- Es muy estable (no se desprende) y está presente en toda la superficie del acero.
- No es porosa (bloquea la acción del medio agresivo).
- Es prácticamente invisible.



### CUIDAR BIEN DEL ACERO INOXIDABLE SIGNIFICA CUIDAR BIEN DE LA PELÍCULA PASIVA

**Limpieza de rutina:** los mejores amigos del acero inoxidable son el jabón, los detergentes suaves o neutro y las soluciones de amoníaco (removedores caseros) en agua tibia. Aplique con un paño suave o una esponja de nylon fino, enjuague en agua abundante y seque con paño suave.

En el mantenimiento de artículos de acero inoxidable, siempre pruebe el método de limpieza más suave, sea paciente y repita la operación un número razonable de veces antes de recurrir a métodos más severos de limpieza.

### Prácticas no admitidas (pérdida de garantía).

No aplicar detergentes con productos abrasivos, o que contengan:

1. Ácido clorhídrico.
  2. Hipoclorito sódico (Lejía).
  3. Ácido fórmico.
- No utilizar utensilios, estropajos metálicos o esponjas abrasivas.
  - No rociar directamente el detergente sobre la superficie, porque el líquido puede entrar en las aperturas o hendiduras y causar daños.
  - No usar productos anticorrosivos o descálficos, no son adecuados para la limpieza del acero inoxidable.
  - No usar limpiadores de plata, pues contienen cloruros que pueden dañar el acero inoxidable.

### CONSIDERACIONES IMPORTANTES AL TRABAJAR CON ACERO INOXIDABLE.

- Conozca el material.
- Conozca las familias del material.
- Conozca el proyecto donde será aplicado el acero inoxidable.
- Conozca los acabados superficiales disponibles.
- Mantenga sus instalaciones organizadas y limpias.
- Adopte una identificación precisa.
- Planee la producción.

### CLASIFICACIONES DE ACERO INOXIDABLE Ó PRINCIPALES FAMILIAS

Los aceros inoxidables se pueden clasificar en cinco familias, cuatro de ellas corresponden a la estructura cristalina formada en la aleación (martensíticos, ferríticos, austeníticos y dúplex), mientras que la última familia se basa en el tipo de tratamiento térmico usado (endurecidos por precipitación, PH).

- **MARTENSÍTICOS**
- **FERRÍTICOS**
- **AUSTENÍTICOS**
- **DUPLEX**
- **ENDURECIDOS POR PRECIPITACIÓN (PH)**

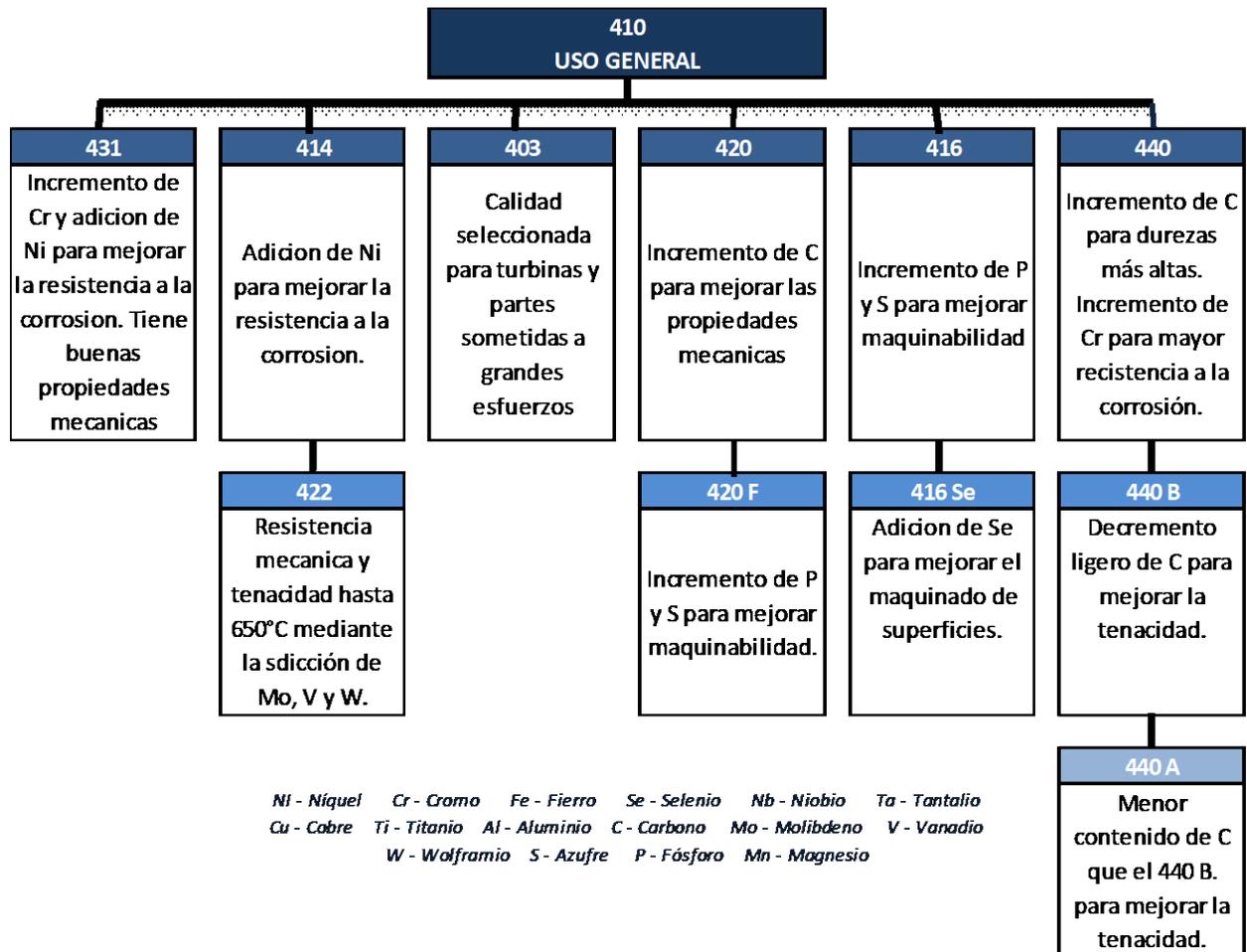
CLASE	DESIGNACIÓN AISI
I) Martensíticos	Serie 400
II) Ferríticos	
III) Austeníticos	Serie 200 y 300
IV) Dúplex	Se usa el nombre comercial
V) Endurecidos por precipitación (PH)	

### ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO

ELEMENTOS BÁSICOS	CARACTERÍSTICAS
C: 0.1 - 1.40% (normal 0.8%) Cr: 12 - 20% (normal 12-13%) Ni: 0 - 4% (normal 0%)	Son magnéticos. Tienen una estructura hexagonal compacta con fuerte precipitación de carburos de cromo. Resistencia a la corrosión moderada. Endurecibles por tratamiento térmico. Debido al alto contenido en carbono y la naturaleza de su dureza, poseen una baja soldabilidad.
OTROS ELEMENTOS(añadidos o residuales)	TIPOS MÁS USUALES
Mn, Si, P, S, Mo, Cu, Al	410, 420

**Acero inoxidable martensítico** son los llamados aceros inoxidables altamente aleado con cromo y otros elementos. Presentan buena resistencia a la corrosión y resistencia mecánica, se endurecen y son magnéticos.

Se llaman martensíticos, porque tienen una estructura metalográfica formada básicamente por martensita (ferrita deformada por el carbono que no pudo difundirse).



**EXISTEN CUATRO TIPOS PRINCIPALES DE ACERO MARTENSÍTICO:**

**Los aceros martensíticos puros:** con elevados porcentajes de Carbono (más de 0,2%), y ricos en aleantes, por lo que no son soldables (no se pueden representar en un diagrama de Shaeffler de Cr-Ni equivalente). Son aceros duros en caliente hasta los 500°C, y suelen ser usados en instrumentos de cirugía, cuchillos, rodamientos,... (ejemplo, X39Cr13, o X105CrMo17).

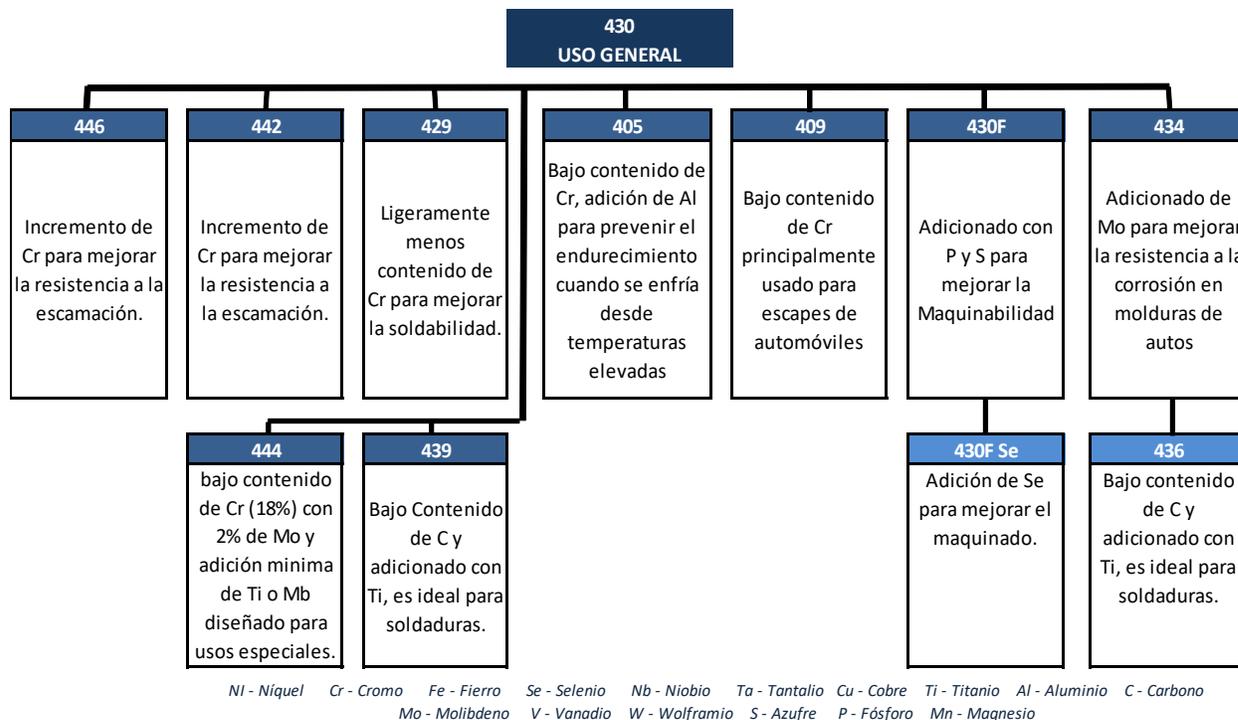
**Los aceros martensíticos con parte de ferrita:** estos se diferencian de los aceros ferríticos por su mayor contenido en carbono, aunque pueden llegar a tener matriz martensítica o ferrítica, aunque si tienen elevados porcentajes de C, Cr, Ni o Molibdeno serán Martensíticos. Estos aceros suelen ser usados por su elevada resistencia y resistencia en caliente (turbinas de gas, agua, vapor, ejes, árboles,...) así como en la fabricación de tanques.

**Aceros de martensita blanda,** con contenido en carbono inferior al 0,06% (Níquel del 4 al 6% y Molibdeno del 0,3 al 1,5%). Por el contenido en Níquel y Molibdeno siempre tendrán una matriz martensítica, aunque por el bajo contenido en carbono esta será relativamente blanda y tenaz. Es soldable y se usa en piezas que requieran buena tenacidad y resistencia a la corrosión.

**Acero martensítico endurecible** por precipitación. Con carbono inferior al 0,08%, Cr del 13 al 18%, Ni inferior al 6% y Mo inferior al 1,3%, así como cobre, aluminio y niobio como elementos para la precipitación que produzca el endurecimiento de la matriz martensítica, sin dañar la tenacidad o la deformabilidad. La matriz será una mezcla de Austenita, martensita y hierro delta (como la ferrita, pero directamente de la solidificación, sin pasar por austenita). Tras tratamientos tiene una elevada resistencia y buena resistencia a la corrosión, y resistencia térmica.

#### ACERO INOXIDABLE FERRÍCO (Ferríticos)

ELEMENTOS BÁSICOS	CARACTERÍSTICAS
C: 0.01 - 0.35% (normal 0.12%) Cr: 16 - 28% (normal 17%)	Son magnéticos. Tienen una estructura cúbica centrada en el cuerpo. Resistencia a la corrosión de buena a excelente, en función de su contenido en Cr. No se endurecen por tratamiento térmico, pero sí un poco por deformación en frío o en caliente. Propiedades mediocres o moderadas de tenacidad, ductilidad y soldabilidad.
OTROS ELEMENTOS (añadidos o residuales)	TIPOS MÁS USUALES
Mn, Si, P, S, Mo, Ti, Nb, Cu	405, 409, 430, 446



Los aceros inoxidables ferríticos son magnéticos y contienen como aleante principal el cromo. El contenido de carbono es mucho menor que en los martensíticos, con el fin de obtener una estructura totalmente ferrítica. Debido a ello, estos aceros no responden a los tratamientos térmicos, aunque cuando se calientan a 1,095 °C crece el tamaño de grano y sólo puede regenerarse por trabajado en frío posterior.

Los aceros con un contenido en cromo superior al 20 % no se pueden someter a calentamientos a temperaturas intermedias, por el peligro de aparición de la fase  $\sigma$ , razón por la que la soldadura presenta problemas. Además, cuando el contenido de carbono es grande, se forman carburos de cromo, dando lugar a un empobrecimiento de cromo en la matriz y disminuyendo por tanto su resistencia a la corrosión.

En relación a su comportamiento frente a la corrosión, ocupan un lugar intermedio entre los martensíticos y austeníticos.

Una característica mecánica a destacar, común a los aceros ferríticos y martensíticos, es que al tener una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC), poseen una temperatura de transición dúctil-frágil, por debajo de la cual la tenacidad se hace muy pequeña.

En los aceros inoxidables ferríticos, los contenidos típicos de los elementos de aleación son:

- **0,01%**
- **16%**
- **Otros elementos: Mn, Si, P, S, Mo, Ti, Nb, Cu.**

Mantienen su estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC) del Fe alfa desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, ya que no atraviesan el campo austenítico (de estructura cúbica centrado en las caras (FCC) del Fe gamma) durante el calentamiento.

### MICROGRAFÍA DE UN ACERO INOXIDABLE FERRÍTICO

#### Otras propiedades generales de este grupo de aceros inoxidable son:

- Poseen una ductilidad menor a la de los aceros inoxidable austeníticos, debido a la menor plasticidad de la estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC) del Fe alfa, y al efecto endurecedor de la gran cantidad de Cr presente en solución sólida.
- Presentan una muy buena resistencia a la corrosión bajo tensión, especialmente en cloruros a alta temperatura.
- Son moderadamente endurecibles por trabajado en frío.
- No son templables.
- Tiene una escasa conductividad térmica.

Los aceros inoxidable ferríticos presentan tres problemas que adquieren mayor importancia según sea la aplicación en la que se utilicen:

1. **Excesivo crecimiento de grano:** la falta de re-cristalización del cambio alotrópico de ferrita a austenita de estos aceros hace que por encima de 950°C se intensifique el crecimiento de grano dando lugar a un grano grueso con menor ductilidad y tenacidad que el grano fino. La única manera de afinar el tamaño de grano es con un tratamiento de re-cristalización precedido de un proceso de deformación plástica. En el caso de las soldaduras este es un problema serio pues no puede realizarse este tratamiento.
2. **Sensibilización:** los aceros inoxidable ferríticos pueden generar durante el calentamiento a más de 900°C algo de austenita en el borde de grano ferrítico, ya sea por segregación del cromo o por estar próximos al bucle gamma. Si esta transformación va seguida de un enfriamiento rápido, la austenita se transforma en martensita, disminuyendo la plasticidad y sobre todo la resistencia a la corrosión en el borde de grano. Por este motivo para estos aceros, debe tener lugar un enfriamiento lento a partir de 1000°C.
3. **Pérdida de ductilidad por presencia de fases:** a medida que aumenta la proporción de cromo de estos aceros, se acercan a la transformación de Fe -  $\alpha$ ; a carburo  $\sigma$ . Esta fase es dura y frágil, y se forma durante el intervalo de enfriamiento de 870 a 530°C, lo cual fragiliza la estructura. Puede ser re-disuelta con calentamientos del orden de 1100°C o también se puede evitar su formación con enfriamientos rápidos que retengan la fase  $\alpha$ .

### Aplicaciones:

Los aceros inoxidable ferríticos tienen unas propiedades mecánicas medianas, aunque muchos de ellos son fácilmente conformables en frío, por lo que son utilizados en recipientes para las industrias químicas y de alimentación, en arquitectura, y en embellecedores de automóviles.

Figura: Familia de los aceros inoxidable ferríticos

### Aceros inoxidable Austeníticos:

ELEMENTOS BÁSICOS	CARACTERÍSTICAS
C $\geq$ 0,15% (normal 0,03-0,08%) Cr: 16 - 27% (normal 18%) Ni: 8-31% (normal 8-10%)	Son no magnéticos en estado recocido. Tienen una estructura cúbica centrada en las caras. Resistencia a la corrosión, tenacidad, ductilidad y soldabilidad excelentes. No pueden endurecerse por tratamiento térmico, solamente por deformación en frío o en caliente.
OTROS ELEMENTOS (añadidos o residuales)	TIPOS MÁS USUALES
Mo: 0-7%Mn, Si, P, Ti, Nb, Cu, N, W, Al, V, B	304, 304L, 316, 316L, 321, 347

### Aceros inoxidable dúplex (austeno-ferríticos):

ELEMENTOS BÁSICOS	CARACTERÍSTICAS
C < 0,05% (normal $\leq$ 0.03%) Cr: 18 - 25% Ni: 3-6% Mo: 0 - 4% N: 0.10-0.50% (normal 0.18 - 0.20%)	Son magnéticos. Tienen una estructura mixta austenita (60 -40%) y ferrita (40 - 60%). La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión bajo tensión en ambientes con iones de cloruro. No se endurecen por tratamiento térmico, pero sí por deformación en frío o en caliente. Sus propiedades de tenacidad y ductilidad son buenas, intermedias entre las de los aceros austeníticos y las de los ferríticos. Su soldabilidad es buena.
OTROS ELEMENTOS (añadidos o residuales)	TIPOS MÁS USUALES
Mn, Si, P, S, Cu	312, 329, SAF 2205, SAF2304, SAF2507

### **ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN, O PH.**

Estos aceros ofrecen una alternativa a los aceros inoxidables austeníticos cuando se desea obtener unas elevadas características mecánicas y de maquinabilidad. Se subdividen en martensíticos, semiausteníticos y austeníticos. En los martensíticos el endurecimiento por precipitación se consigue mediante un sencillo tratamiento de envejecimiento. Los semiausteníticos se proporcionan en la condición austenítica, que se transforma a martensita mediante un tratamiento térmico especial, antes del endurecimiento por precipitación. En los austeníticos, la austenita se endurece directamente por precipitación.

El endurecimiento por precipitación está relacionado con la formación de una fina distribución de compuestos intermetálicos que impiden el movimiento o desplazamiento de dislocaciones durante la deformación, dando lugar a un aumento de la resistencia. Generalmente, los tratamientos de envejecimiento se diseñan para conseguir un aumento de la resistencia, unido a una ductilidad y una rugosidad aceptables. El endurecimiento por precipitación normalmente tiene como resultado una ligera disminución de la resistencia a la corrosión y una mayor susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno.

Algunos ejemplos de estos aceros inoxidables son el 17-4 PH (martensítico), el AM-350 y el 17-7 PH (semiausteníticos), el HNM y el 17-10P (austeníticos).

Para conseguir una aceptable soldabilidad de los aceros inoxidables, el metal de soldadura y las zonas adyacentes deben presentar propiedades lo más semejantes posible a las del metal base, para lo cual se deben tener en cuenta una serie de requisitos.

#### **Soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos**

Presentan una excelente soldabilidad ya que no tiene lugar ninguna transformación de fase desde la temperatura de fusión hasta la temperatura ambiente, aunque pueden presentar tres tipos de problemas durante la soldadura:

**Sensibilización:** es la precipitación de cromo en el área adyacente al límite de grano dejando una cantidad insuficiente de cromo para mantener la capa de protección. Las posibles soluciones a este problema son:

- Disminuir el contenido en carbono hasta un 0,03% para evitar la precipitación de cromo.
- Añadir elementos afines al carbono como el titanio, niobio o tantalio para que formen carburos y que el cromo permanezca en solución.
- Tratar térmicamente la soldadura con un recocido a una temperatura entre 1038 y 1093°C para disolver los carburos seguido de un enfriamiento rápido. Éste es un método que apenas se utiliza.

**Fisuración en caliente:** es un inconveniente típico de la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos y se debe a la acumulación de impurezas por segregaciones en las últimas zonas en solidificar del metal de aporte. Se puede eliminar:

- Reduciendo las tensiones mecánicas.
- Eliminando las impurezas, que se consigue soldando con material de aporte más "limpio".
- Disminuyendo las segregaciones, que se consigue si se tiene una cierta cantidad de ferrita en la matriz austenítica del metal base. En el caso de que el metal de soldadura tenga que ser completamente austenítico, se utiliza un material de aporte con un mayor contenido de Mn y bajos contenidos de S, P y Si.

**Formación de fase sigma:** esta fase es un compuesto intermetálico de Fe y Cr, duro y frágil, cuya formación se ve favorecida si las piezas en servicio trabajan entre 590 y 930°C. Una de las posibles soluciones a este problema es realizar un calentamiento a una temperatura de unos 1010°C, para intentar re-disolver la fase sigma.

### **Soldabilidad de los aceros inoxidable ferríticos**

Presentan una soldabilidad baja, ya que pueden presentar cambios estructurales entre las distintas zonas de la soldadura, así como precipitación de carburos y fases intermedias. En la ZAT, se presentan los siguientes fenómenos y consecuencias:

1. **Crecimiento de grano:** deteriora la tenacidad, con el inconveniente de que este crecimiento no puede rectificarse por tratamiento térmico.
2. **Precipitación de carburos:** deteriora la tenacidad y en los aceros estabilizados con Ti o Nb también disminuye la resistencia a la corrosión. Existe peligro de corrosión intergranular asociada a esta precipitación de carburos.
3. **Transformación de fases:** deteriora la resistencia mecánica a la tracción y al impacto. En los aceros con menos de 20% de Cr, la austenita se transforma parcialmente durante el enfriamiento en fases más duras, especialmente martensita. La coexistencia de fases introduce tensiones que pueden provocar fallos cuando el material trabaja por debajo de la temperatura de transición. La tenacidad también puede verse deteriorada por la formación de fase s y por la denominada fragilización a 475°C, pérdida de tenacidad debida a una permanencia prolongada en la gama de temperaturas entre 450 y 550°C.

**Para obtener soldaduras de calidad con este tipo de aceros se debe:**

- Precalentar entre 200 y 400°C. Dentro de este intervalo de temperaturas los aceros son tenaces, y se puede evitar la formación de la fase s.
- Soldar con un proceso de baja aportación de calor.
- El conjunto soldado debe tratarse térmicamente a 750 – 850°C durante 30 - 60 minutos después del soldeo, a excepción de calidades que trabajen a alta temperatura. Este tratamiento disuelve los carburos precipitados o los globuliza, aumenta la tenacidad, mejorando la resistencia a la corrosión y aliviando las tensiones de soldeo y de contracción.

A causa de indicado en los párrafos anteriores, es difícil realizar el soldeo de los aceros ferríticos sin emplear metal de aporte. Como material de aporte se pueden emplear aceros austeníticos o ferríticos. Los austeníticos ofrecen mayor tenacidad, pero si el conjunto debe trabajar a alta temperatura en presencia de una atmósfera sulfurosa reductora, deberán utilizarse metales de aportación ferríticos o con un contenido reducido en níquel.

### **Soldabilidad de los aceros inoxidable martensíticos**

Presentan una soldabilidad baja debido a que templan al aire, es decir, la soldadura provoca que se forme martensita de gran dureza en la parte transformada de la ZAT. Existe por tanto, riesgo de fisuración a causa de la baja ductilidad de la martensita, combinado con tensiones mecánicas de transformación y de contracción. Su soldabilidad varía en función de su composición. Lo mismo sucede en cuanto a la necesidad de precalentamiento o post-calentamiento. En cuanto a los materiales de aporte que deben emplearse, van desde materiales de composición similar hasta calidades inoxidable austeníticas, en



función de la composición del metal base, de sus condiciones de trabajo o de las características de su aplicación.

### **Soldabilidad de los aceros inoxidables dúplex**

Los aceros inoxidables dúplex presentan una soldabilidad intermedia entre los aceros inoxidables austeníticos y ferríticos siendo su punto débil la ZAT. El agrietamiento en caliente no es un problema, debido a su elevado contenido de ferrita. El calentamiento a la temperatura de soldadura puede provocar precipitación, tanto de carburos como de fases frágiles, sobre todo s. La precipitación de carburos dependerá de lo elevado que sea el contenido de carbono y de si el metal está o no estabilizado.

La fase s se formará entre 550 y 900°C, y ocurrirá en mayor cantidad y tanto más rápidamente cuanto más elevados sean los contenidos de Cr, Mo y Nb. Los aceros inoxidables "dúplex" modernos, en los que la composición química del material está adecuadamente estudiada y equilibrada, poseen un cierto porcentaje de nitrógeno y un contenido de carbono muy bajo y, por lo tanto, en estos aceros se reducen o eliminan prácticamente los inconvenientes citados. La posible fragilización de estos aceros viene determinada por el crecimiento de grano. El calor aportado por la soldadura incrementa el contenido de ferrita y el crecimiento de grano es especialmente acentuado en una estructura ferrítica. Cuando se enfría, la austenita sólo se reforma parcialmente y la zona de soldadura del metal base adquiere una estructura de grano bastante grueso con mayor contenido en ferrita que antes de realizar el soldeo. La mayoría de estos aceros se sueldan sin precalentamiento.

La soldadura debe efectuarse siempre con material de aportación, cuya estructura puede ser similar a la del metal base o austenítica. En este último caso, la composición, algo más aleada que la del metal base, debe ser tal que después de su dilución con el metal base, ofrezca una soldadura con 30 a 60% de ferrita.

### **ACEROS INOXIDABLES ENDURECIDOS POR PRECIPITACIÓN Ó PH.**

Este tipo de aceros inoxidables se desarrolló a escala industrial después de la Segunda Guerra Mundial, como una alternativa para elevar las características de resistencia mecánica mediante tratamientos térmicos de envejecimiento.

Los aceros inoxidables endurecibles por precipitación o PH (Precipitación Hardening) son aleaciones de hierro, cromo y níquel que se caracterizan por la resistencia obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Estos aceros pueden ser martensíticos, austeníticos o intermedios entre ambos, dependiendo de la proporción Cr/Ni. Lo que realmente distingue a estos aceros es la adición de ciertos elementos tales como Al, Ti, Mo y Cu, que dan lugar a la aparición de compuestos intermetálicos de manera controlada. Así, el endurecimiento por medio de estos compuestos se puede realizar por precipitación desde una matriz martensítica. Para ello se somete al material a un tratamiento de solubilización a una temperatura de unos 1050°C con posterior enfriamiento al aire, dando lugar a una matriz martensítica sobresaturada. A continuación, se envejece el acero a una temperatura comprendida entre 455 y 565°C, que da lugar a la precipitación de los compuestos intermetálicos endurecedores.

Como aspecto negativo debe destacarse que estas aleaciones trabajan mal en frío. Cuando en vez de una matriz martensítica sobresaturada, se parte de una matriz austenítica sobresaturada se obtienen, después de la precipitación por envejecimiento, menores resistencias mecánicas pero una considerable mejoría de la ductilidad.



Los contenidos típicos de los elementos de aleación en estos aceros son:

- **12%**
- **4%**
- **Otros elementos: Mo, Ti, N, Cu, Al, Ta, Nb, B, y V.**

Se pueden clasificar en función de su estructura en estado de recocido, y del comportamiento resultante después del tratamiento térmico de envejecimiento, en austeníticos, martensíticos y semiausteníticos. Son aceros que se encuentran patentados y normalmente se les designa por su nombre comercial.

Estos aceros se utilizan en aplicaciones muy específicas, sobre todo aeronáuticas, cuando se precisan altas prestaciones, como alternativa a las aleaciones de titanio a temperaturas de trabajo de hasta 550°C.

Los aceros inoxidable endurecibles por precipitación son aceros que contienen cantidades suficientes de Cr y Ni, que les confieren las propiedades de los austeníticos y de los martensíticos. Al igual que los martensíticos, poseen la capacidad de adquirir alta resistencia mediante tratamientos térmicos, y al igual que los austeníticos poseen una alta resistencia a la corrosión. Uno de los aceros inoxidable PH más populares es el acero 17-4PH. Esta designación se debe al contenido de 17% de Cr y 4% de Ni. Además contiene 4% de Cu y 0,3% de Nb. También se conoce como un acero de grado 630. Los aceros inoxidable PH o endurecibles por precipitación se subdividen en martensíticos, semiausteníticos y austeníticos.

Los martensíticos se suministran normalmente en la condición martensítica, y el endurecimiento por precipitación se logra mediante un simple tratamiento de envejecimiento. Los semiausteníticos se suministran en la condición austenítica, y esta austenita tiene que transformarse a martensita mediante unos tratamientos térmicos especiales antes del endurecimiento por precipitación. En los austeníticos, la austenita es endurecida por precipitación directamente.

El primer acero inoxidable austenítico PH comercial, fue el denominado Stainless W. Este acero se comenzó a fabricar en el año 1946. Desde entonces, se han desarrollado muchos aceros PH, en parte debido a los requerimientos exigidos por las industrias aeronáutica y aeroespacial, las cuales demandaban aceros que tuviesen una buena relación entre peso y alta resistencia a la corrosión.

Mientras que existe designación AISI para algunos de estos aceros, como los aceros de grado 600, en la literatura técnica no suelen referirse a estos aceros como aceros inoxidable PH. Lo más común es denominarlos con los números UNS.

#### **Propiedades:**

El límite elástico de los aceros inoxidable PH está comprendido entre 515 y 1415 MPa. La resistencia mecánica entre 860 y 1520MPa. Cuando son trabajados en frío antes de ser sometidos a los tratamientos de envejecimiento, se consiguen aún mayores resistencias. Las propiedades de los aceros inoxidable endurecibles por precipitación se basan en los tratamientos térmicos a los que son sometidos.

Uno de los aceros inoxidable PH más empleados es el acero inoxidable PH martensítico 17-4 PH.

**Acero inoxidable endurecido por precipitación:**

Estos aceros se denominan "endurecibles por precipitación" o PH (precipitation hardening) y ofrecen una alternativa a los aceros inoxidables austeníticos cuando se desee asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad. Son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Estos grados se pueden clasificar en función de su estructura en estado de recocido y del comportamiento resultante tras el tratamiento de envejecimiento, como austeníticos, semi-austeníticos o martensíticos.

Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa fabricante.