



## RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Todos los aceros inoxidables contienen el **chromo** suficiente para darles sus características de inoxidables. Muchas aleaciones inoxidables contienen además **níquel** para reforzar aún más su resistencia a la corrosión. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo "inoxidable en toda su masa". Por este motivo, los aceros inoxidables no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión. En el acero inoxidable no hay nada que se pueda pelar, ni desgastar, ni saltar y desprenderse.

El acero ordinario, cuando queda expuesto a los elementos, se oxida y se forma **óxido de hierro** pulverulento en su superficie. Si no se combate, la oxidación sigue adelante hasta que el acero esté completamente corroído.

También los aceros inoxidables se oxidan, pero en vez de óxido común, lo que se forma en la superficie es una **tenue película de óxido de chromo** muy densa que constituye una coraza contra los ataques de la corrosión. Si se elimina esta película de óxido de chromo que recubre los aceros inoxidables, se vuelve a formar inmediatamente al combinarse el chromo con el oxígeno de la atmósfera ambiente.

El empleo de acero inoxidable estará bajo la dependencia de las características oxidantes del ambiente. Si imperan condiciones **fuertemente oxidantes**, los aceros inoxidables resultan superiores a los metales y aleaciones más nobles. Sin embargo, en la misma familia de los aceros inoxidables la resistencia a la corrosión varía considerablemente de un tipo al otro. En el grupo al **chromo níquel**, los **tipos 301 y 302** son menos resistentes a la corrosión que los **tipos 310 y 316**. En el grupo más sencillo al chromo, los **tipos 405 y 410** son menos resistentes a la corrosión que los **tipos 430 y 442**.

La utilización de los **aceros al chromo (Serie 400)** para fines industriales se debe principalmente a las condiciones de resistencia a la oxidación. Un acero al chromo con el 12 % desarrollará una película de óxido superficial al cabo de varias semanas de exposición a una atmósfera industrial. La película, una vez formada, actúa como barrera contra la corrosión más pronunciada, pero si se ha de tener en cuenta la apariencia del metal, el **tipo 410 y el tipo 405** pueden resultar objetables. El **tipo 430**, con el 17% de chromo, necesita varios meses hasta que se forma la película superficial de óxido, mientras que el **tipo 442**, con más del 20 % de chromo, se vuelve pasivo en la atmósfera sin que se desarrolle una película de óxido visible. Otro procedimiento para evitar que en condiciones semejantes se forme óxido, consiste en añadir más del 7 % de níquel a una aleación con el 17 % o más de chromo, como son los **tipos**



**301, 302 y 304.** En atmósferas que contengan aire salino o humos procedentes de fábricas de productos químicos, la adición de **molibdeno** aumenta la resistencia a la corrosión, como es el caso con el **tipo 316**.

Si se revisan brevemente los recientes desarrollos experimentados por los adornos y piezas inoxidable que se emplean en los automóviles, lo que acabamos de decir quedará ilustrado más claramente. Los fabricantes norteamericanos de automóviles han utilizado el **tipo 430** para las molduras y adornos de la carrocería y el **tipo 301** para los taparuedas y embellecedores que son difíciles de conformar. Sin embargo, al aumentar más cada año el uso de sales corrosivas y de abrasivos para acelerar el deshielo de calles y carreteras durante el invierno, también los fracasos del **tipo 430** se han incrementado. En cambio, el **tipo 301** para los embellecedores ha resistido con buen éxito a los ataques de la corrosión.

Los fabricantes de acero han adoptado el procedimiento de "recocido brillante" para mejorar la resistencia a la corrosión del **tipo 430**. Este procedimiento evita que el cromo emigre de la superficie. También ha sido desarrollado el **tipo 434**, con el 17% de cromo y el 1 % de molibdeno para obtener una mayor resistencia a las sales corrosivas empleadas para deshelar las rutas y, al mismo tiempo, para cumplir los requisitos de una fabricación más complicada para muchas piezas de carrocería.

El recocido brillante también ha hecho que se extienda más el uso del **tipo 301** para las piezas de carrocería curvadas por medio de cilindros. Cuando los aceros "recocido brillante" son del **tipo 301**, pueden adquirir un acabado especular con el mismo procedimiento de bruñido del color que los **tipos 430 y 434**; se podrá utilizar el **tipo 301** para las piezas de adorno, al lado de los **tipos 430 y 434** para otras piezas, sin que esto plantee problemas con respecto al igualado de los colores.

Los **tipos 302 y 301**, por ser aleaciones de acero al cromo níquel, poseen mayor resistencia a la corrosión que los **tipos 430 y 434**.

#### **CORROSION: CAUSAS Y REMEDIOS**

Son cinco los riesgos que amenazan el éxito del uso de los aceros inoxidable. Estos son: la **corrosión intergranular**, la **corrosión por efecto galvánico**, la **corrosión por contacto**, la **corrosión en forma de picado o de pinchazos de alfiler**, y la **corrosión por fatiga**. Muchos fracasos pueden ser evitados dándose cuenta sencillamente de los riesgos involucrados y adoptando las medidas apropiadas para eliminarlos.

## 1. Corrosión intergranular

Un tratamiento térmico inadecuado del acero inoxidable puede producir una **retícula de carburos** en los aceros con más del 0,03 por ciento de carbono, o sin adición de **titanio** o de **columbio**. El metal que contenga tal retícula es susceptible de corrosión intergranular que podrá ser causa de fracaso en condiciones muy corrosivas y reducir la duración útil en muchos servicios relativamente ligeros. Los procedimientos normales de soldadura introducen en el metal la susceptibilidad a la precipitación de los carburos. Que el acero sea susceptible de corrosión intergranular no significa necesariamente que será atacado por ella. En servicio, el resultado puede ser satisfactorio. Pero la posibilidad de corrosión intergranular deberá ser tomada en cuenta siempre que no quede excluida según la experiencia previa. La precipitación de carburos puede ser eliminada por uno de los tres procedimientos indicados a continuación:

**a)** Por recocido: una vez terminadas las operaciones de elaboración y de soldadura, el acero deberá ser calentado hasta una temperatura lo suficientemente alta para disolver los carburos, lo que es generalmente entre 1036 °C y 1150 °C, para enfriarlo luego con la rapidez suficiente para evitar que se vuelva a precipitar el carburo y utilizando para ello un chorro de aire o agua. Un tratamiento térmico localizado en la zona inmediatamente adyacente a la soldadura no da resultados satisfactorios. Para un recocido efectivo, toda la pieza deberá ser calentada y apropiadamente enfriada con rapidez.

**b)** Utilizando acero que contenga menos de 0,03 % de carbono.

**c)** Utilizando un acero estabilizado: el **titanio** o el **columbio** se combinan con el carbono y evitan las precipitaciones perjudiciales. Los aceros estabilizados son necesarios para todo servicio que implique prolongadas exposiciones a las temperaturas entre 426° C y 871 °C.

El peligro inherente a la precipitación de carburo de cromo ha llegado a ser tan bien conocido y tan fácilmente evitado que ocurren pocos fracasos debidos a esta causa.

## 2. Corrosión galvánica

La corrosión galvánica ejerce una acción localizada que puede sobrevenir cuando una junta de unión entre dos metales disimilares está sumergida en una solución que puede obrar como electrolito. En un medio corrosivo, los dos metales diferentes forman unos electrodos cortocircuitados y constituyen una celda electroquímica. De ello resulta la **disolución del electrodo anódico**, mientras que el **cátodo permanece inalterable**. El potencial variará según la posición ocupada por los metales y aleaciones en el cuadro de las series galvánicas que se acompaña.



**TABLA I - SERIE GALVANICA**

<b>EXTREMIDAD PROTEGIDA CATODICA</b>	<b>METALES MAS NOBLES</b>
	oro grafito plata
<b>PASIVO</b>	Acero inoxidable tipo 316 Acero inoxidable tipo 310 Acero inoxidable tipo 446 Acero inoxidable tipo 304 Acero inoxidable tipos 301 y 302 Acero inoxidable tipo 434 y 430 Acero inoxidable tipo 410
<b>PASIVO</b>	80% Ni - 20% Cr Inconel 60% Ni - 15% Cr
	Níquel Metal Monel Cuproníquel Bronce Cobre Latón
<b>ACTIVO</b>	80% Ni - 20% Cr Inconel 60% Ni - 15% Cr
	Níquel Estaño Plomo
<b>ACTIVO</b>	Acero inoxidable tipo 316 Acero inoxidable tipo 310 Acero inoxidable tipo 304

	<p>Acero inoxidable tipos 302 y 301</p> <p>Acero inoxidable tipo 446</p> <p>Acero inoxidable tipos 434 y 430</p> <p>Acero inoxidable tipo 410</p>
	<p>Fundición de hierro</p> <p>Cadmio</p> <p>Aluminio 2S</p> <p>Zinc</p> <p>Magnesio en aleaciones</p> <p>Magnesio</p>
<p><b>EXTREMIDAD CORROIDA ANODICA</b></p>	<p><b>METALES MENOS NOBLES</b></p>

El empleo de distintos metales en una solución corrosiva no significa que la corrosión galvánica sea inevitable. Los factores que influyen en la corrosión galvánica incluyen:

**a) Conductividad del circuito:** Tiene que existir el contacto entre metales diferentes en una solución de alta conductividad para que se produzca el ataque galvánico.

**b) Potencial entre ánodo y cátodo:** la posición que ocupa cada metal en la serie galvánica determina el potencial y la dirección del flujo de corriente cuando se compone una celda. El metal que ocupa la posición más alta en la serie constituye el **cátodo**. El otro metal es el **ánodo** y, debido a ello, es el que resulta atacado por la acción de la celda. El potencial se incrementa cuanto más apartadas unas de otras son las posiciones ocupadas por cada metal en la serie. Los aceros inoxidables en estado pasivo figuran en la serie justo a continuación de la plata, del grafito y del oro. Así pues, en una solución oxidante, los aceros inoxidables pasivos suelen constituir el cátodo, mientras que serán los otros metales los que serán atacados. Cuando la solución es reductora, el acero inoxidable se vuelve activo y los metales tales como el cobre y el bronce constituirán el cátodo y acelerarán la corrosión del acero inoxidable. El acero y la fundición de hierro ocupan puestos inferiores en la serie galvánica que el que ocupa el acero inoxidable activo por lo que éste será atacado si se forma una célula entre ellos y el acero inoxidable, lo mismo si están sumergidos en una solución oxidante que en una reductora.

**c) Polarización:** Este efecto es el que se produce sobre los electrodos de una celda galvánica por el depósito sobre los mismos de los gases liberados por la corriente. La evolución de los iones de hidrógeno puede cambiar de pasiva en activa la superficie del acero inoxidable, acelerando así la corrosión del ánodo.



**d) Áreas relativas del cátodo y ánodo:** el área relativa de las superficies ejerce un efecto pronunciado sobre el daño producido por la acción galvánica. Un pequeño ánodo con un cátodo grande produce una corriente de elevada densidad y acelera la corrosión en el ánodo. Deberán evitarse las pequeñas áreas del metal menos noble. No se utilizarán piezas de sujeción de **aluminio** para el acero inoxidable. En cambio, el empleo de piezas de sujeción de acero inoxidable para aluminio da resultados satisfactorios.

**e) Relación geométrica entre superficies de distintos metales:** Un borde o una esquina del metal menos noble no deberá estar en contacto con el centro de un área de gran superficie del metal que ha de constituir el cátodo si llega a formarse una celda galvánica.

La corrosión se atribuye frecuentemente a la acción galvánica cuando su verdadera causa se debe efectivamente a unas condiciones anormales de operación. Así por ejemplo, el uso de **ácido clorhídrico**, para sustituir un material de limpieza normal, puede destruir la película pasiva del acero inoxidable. En tal caso se puede formar una celda galvánica que empezará a funcionar tan pronto como la pieza en cuestión entre en función. El volver a proyectar y a construir una pieza que sea completamente de acero inoxidable puede ser muy costoso y la nueva pieza proyectada puede ser difícil de fabricar. Así pues, cuando aparentemente la acción galvánica sea la única causa de un desperfecto en una unidad que, demostradamente, es de un buen diseño, convendrá realizar una verificación meticulosa para cerciorarse de que todas las condiciones de operación son normales.

### **3. Corrosión por contacto**

El tercer riesgo es la corrosión por contacto. Una diminuta partícula de acero al carbono, una escama de óxido, cobre u otra sustancia extraña cualquiera incrustada en el acero inoxidable puede ser suficiente para destruir la pasividad en el punto de contacto. El ataque empieza al formarse una celda galvánica con la partícula de material extraño como ánodo. Mientras dura la acción electroquímica que disuelve lo contaminado, **iones de hidrógeno** se liberan haciendo que el acero inoxidable se vuelva activo en el punto de contacto. La acción de picado puede proseguir después de haber sido eliminada la partícula extraña por haberse constituido una celda activa-pasiva entre la diminuta superficie anódica atacada y la extensa área catódica circunvecina. Cuando las secciones inoxidables entran en servicio deberán estar limpias de escamas de óxido, de aceite, de pequeñas partículas metálicas procedentes de las herramientas, troqueles e hileras, así como de todo material extraño. La corrosión por contacto puede iniciarse al cabo de mucho tiempo de estar la pieza en servicio si los métodos de limpieza empleados no son meticulosos.



Oxido y suciedad en los conductos de vapor, **herramientas impregnadas con acero al carbono**, e inclusive aparatos de transporte sucios, pueden acarrear sustancias creadoras de corrosión por contacto hasta los recipientes de acero inoxidable durante un período de limpieza. Unas superficies limpias y lisas, así como la ausencia de arañazos y grietas reduce el riesgo de que se produzca corrosión por contacto.

El ingeniero proyectista puede precaverse de todo ataque galvánico, pero, a su vez, el personal encargado de la fabricación, la operación y la conservación de los equipos de acero inoxidable, ha de prevenir la corrosión por contacto.

#### **4. Picado o corrosión en forma de pinchazos de alfiler**

Las soluciones que contengan **cloruros** podrían atacar por una acción de picado, y en las picaduras se podrán desarrollar **celdas galvánicas**. Los daños debidos a este picado son también llamados **pinchazos de alfiler** causados por la corrosión. Los **cloruros ácidos**, tales como el cloruro férrico y el cloruro sódico son particularmente peligrosos, pero cualquier cloruro en concentración apreciable puede ser la causa posible de perturbaciones. Generalmente los fracasos del acero inoxidable en un medio supuestamente a salvo de la corrosión son atribuibles a la presencia del ion cloruro en mayor concentración que la previsible.

El **molibdeno** contenido en los **tipos 316 y 317** aumenta la resistencia al picado. Estas aleaciones quedan sometidas a los desperfectos debidos a la **corrosión por fatiga**; así pues, los recipientes deberán quedar tan exentos de tensiones como sea posible. Grietas, fisuras y bolsas de estancamiento deberán ser eliminadas ya que son las superficies limpias y en buen estado las que mejor resisten al picado, cualquiera que sea la calidad del acero inoxidable.

#### **5. Corrosión por fatiga**

La corrosión por fatiga es otro de los riesgos que han de ser eliminados. Casi todos los metales y aleaciones, incluso el acero austenítico inoxidable, pueden fallar al agrietarse o quebrarse debido a la corrosión por fatiga en condiciones que impliquen esfuerzos aplicados o tensiones residuales combinadas con agentes ligeramente corrosivos. Las soluciones de cloruro son de lo más perjudicial al provocar el agrietamiento de los aceros inoxidables austeníticos.

El mecanismo causante de la corrosión por fatiga todavía no ha sido determinado. Es principalmente transgranular y puede ir acompañado de ataques de picado. Son muy susceptibles las piezas que han estado sometidas a un fuerte trabajo en frío, pero el acero recocido puede también agrietarse cuando se le somete a condiciones difíciles.





Es más fácil que el agrietamiento se produzca en soluciones calientes que en las frías. El **tipo 315 y el tipo 317**, en la condición de recocido, ofrecen mayor resistencia al ion cloruro que el **tipo 302 y el tipo 304**. Pero si están bajo tensiones fuertes, pueden fallar lo mismo en un ambiente conducente a la corrosión por fatiga.

Tensiones fuertes y débiles en el mismo elemento producen una condición que fácilmente puede conducir a la corrosión por fatiga en presencia de cloruros. Ha sido investigado cierto número de fracasos debidos a planchas perforadas. Las grietas en forma de rayos que parten de los taladros son típicas del agrietamiento debido a la corrosión por fatiga. Los productores canadienses han resuelto este problema completamente recociendo a fondo las planchas después de taladradas.

Los aceros inoxidable, estirados, embutidos o trabajados en frío se agrietan fácilmente en sistemas que contengan **sulfuro de hidrógeno** acuoso. Distintos medios, incluso las **soluciones cáusticas** calientes bajo presión, han causado el agrietamiento según ha sido informado, aunque en la mayoría de estos casos pueden haber sido causadas por impurezas no observadas contenidas en el cloruro.

Para eliminar completamente las tensiones internas, sin perjuicio para la resistencia a la corrosión, se deberá recocer por encima de 926 °C, con enfriamiento rápido para que los carburos permanezcan en solución. Como no es posible hacer esto con los recipientes grandes, un tratamiento de revenido a 648 °C puede ser suficiente para reducir las tensiones residuales. Este tratamiento a 648 °C podrá ser aplicado únicamente para los **tipos 304 L, 316 L, 317 L, 321 y 347**, y para estos metales tan sólo cuando se sepa que el nivel de la tensión en el cual puede ocurrir la corrosión sea más bajo que lo que se espera después de semejante tratamiento térmico a baja temperatura. Cuando se utiliza acero inoxidable como forro para un recipiente de acero al carbono no será posible aligerar las tensiones debido a que los coeficientes de expansión son muy diferentes. Lo mismo ocurre cuando se trata de recipientes de acero inoxidable que lleven soldados refuerzos, soportes o sujeciones de acero al carbono.

Las precauciones generales que indicamos a continuación deberán ser adoptadas para prevenir la corrosión por fatiga:

- a) Asegurarse de que no se acumulen sales corrosivas procedentes del material aislante, del goteo o de pulverizaciones o salpicaduras corrosivas en el área del recipiente.
- b) Evitar toda cavidad donde se recoja agua durante el ciclo de operaciones, acumulándose una concentración de sales en la cavidad.





c) Especificar que las planchas perforadas deberán ser tratadas para eliminar completamente las tensiones interiores después de haber sido taladradas, si han de ser utilizadas como pantalla para operaciones de las que se sabe corren el riesgo de que se produzca corrosión.

d) Elíjanse tubos con buena concentricidad y con unos límites de tolerancia muy estrechos en el grueso de las paredes, para los haces de tubos destinados a los intercambiadores de calor, con el fin de evitar tensiones elevadas y desiguales cuando se los curva para los distribuidores.

e) Evitar el unir por soldadura metales con coeficientes de dilatación diferentes cuando el recipiente deba ser calentado durante las operaciones. Los tipos de la **serie 300** se dilatan aproximadamente de 1 a 1 1/2 veces más que los tipos de la **serie 400**.

f) Utilizar los tipos con el 0,03% como máximo de carbono, **304 L, 316 L, y 317 L**, para reparar recipientes respectivamente de los **tipos 304, 316 y 317** siempre que se desee reducir localmente las tensiones después de hecha la reparación. Únicamente el acero con el 0,03 % de carbono como máximo deberá ser calentado a más de 426° C siempre que exista el riesgo de que se produzca corrosión intergranular.

g) Evítese el curvado cíclico que repetidamente tensa el acero inoxidable por encima de su resistencia a la deformación o límite de elasticidad. Esto puede formar tensiones interiores que favorezcan la corrosión por fatiga inclusive en un medio de efecto moderado.

## **6. Proyecto y fabricación. Cómo reducir al mínimo la corrosión**

Los fracasos debidos a la corrosión pueden ser frecuentemente eliminados modificando apropiadamente el diseño sin necesidad de cambiar el tipo de acero. La forma de las juntas, la continuidad de la superficie y la concentración de las tensiones deberán ser tomadas en consideración. Las soldaduras a tope son preferibles a las soldaduras en solapa, y se deberán utilizar buenos métodos de soldadura. El uso de piezas complementarias, tales como de planchas o placas de refuerzo rodeadas de costuras o cordones de soldadura, deberá ser reducido al mínimo ya que esto produce tensiones biaxiales difíciles de eliminar por tratamiento térmico. Cuando se tengan que sujetar patas de acero dulce a un tanque de acero inoxidable, se deberá soldar las patas primeramente a un asiento de acero inoxidable que, a su vez, será soldado al fondo del tanque. Con esto se evita la difusión del carbono en el acero inoxidable del tanque.

Todo el equipo deberá ser meticulosamente limpiado a fondo para eliminar toda contaminación producida por óxidos, polvo de hierro, partículas procedentes de las herramientas, fundente de soldadura, suciedades y sustancias orgánicas.



Estas sustancias extrañas pueden ser eliminadas limpiándolas a chorro o por decapado. Una buena solución para el decapado consiste en el 10 por ciento de ácido nítrico y el 1 por ciento de ácido fluorhídrico.

Un ajuste defectuoso causa tensiones al forzar las piezas para ponerlas en posición. Cuando se fabrican piezas para una unidad que deba contener material corrosivo, será prudente reformar las piezas que ajusten mal y recocerlas de manera que las piezas en cuestión se ajusten limpiamente en el recipiente. El conformar en frío, tal como el cilindrar tubos en la chapa, son trabajos que deberían reducirse al mínimo.

Como es difícil reproducir en los ensayos de laboratorio las verdaderas condiciones que se presentan en la práctica, los resultados de dichos ensayos solamente podrán servir de guía. Los datos sobre la corrosión publicados como resultado de distintos ensayos, pueden estar basados sobre unas condiciones químicas, temperaturas, velocidades y aireación que difieran de las de la solución química que deba ser manipulada. Por este motivo y siempre que sea posible se deberá utilizar para los ensayos prácticos, el equipo existente y procedimientos similares o comparables. En los ensayos de corrosión deberán incluirse muestras de los artículos por fabricar con el fin de poder juzgar del valor de los métodos de fabricación propuestos. Las muestras soldadas y sensibilizadas permiten apreciar el depósito de soldadura y la zona influenciada por el calor en el ambiente corrosivo al que han de poder resistir. Convendrá someter a ensayos probetas con corrosión por fatiga y sometidas a varios niveles de esfuerzo o tensión con el fin de poder apreciar la susceptibilidad del acero al agrietamiento una vez terminadas de fabricar. Es esencial que los resultados de los ensayos sean apreciados en su justo valor.