

El acero inoxidable en contacto con otros materiales metálicos



Euro Inox

Euro Inox es la asociación para el desarrollo del acero inoxidable en el mercado europeo. Los miembros de Euro Inox son:

- Fabricantes europeos de acero inoxidable,
- Asociaciones nacionales para el desarrollo del acero inoxidable,
- Asociaciones para el desarrollo de las industrias de los elementos de aleación.

Uno de los objetivos primordiales de Euro Inox es dar a conocer las propiedades exclusivas del acero inoxidable y promover su empleo, tanto para las aplicaciones actuales como en nuevos mercados. Para lograr estos propósitos, Euro Inox organiza conferencias y seminarios, edita guías impresas y en formato electrónico, permitiendo que arquitectos, diseñadores, contratistas, fabricantes, y usuarios finales se familiaricen con este material. Euro Inox también apoya las investigaciones técnicas y de mercados.

ISBN 978-2-87997-330-2

978-2-87997-263-3	Versión inglesa
978-2-87997-322-7	Versión holandesa
978-2-87997-323-4	Versión francesa
978-2-87997-324-1	Versión checa
978-2-87997-325-8	Versión finlandesa
978-2-87997-326-5	Versión sueca
978-2-87997-327-2	Versión turca
978-2-87997-328-9	Versión polaca
978-2-87997-329-6	Versión italiana

Miembros Plenos

Acerinox

www.acerinox.com

Aperam

www.aperam.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaitermi.com

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Miembros Asociados

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

El acero inoxidable en contacto con otros materiales metálicos

Serie Materiales y sus Aplicaciones, Volumen 10

© Euro Inox 2011

Traducido y adaptado a partir de ARLT, N. / BURKERT, A. / ISECKE, B., *Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen (Merkblatt 829)*, Dusseldorf, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 4ª edición 2005

Editor

Euro Inox, Diamant Building, Bd. Aug. Reyers 80,
1030 Bruselas, Bélgica
Tel.: +32 2 706 82 67 Fax: +32 2 706 82 69

Créditos fotográficos:

Atomium asbl / vzw, Bruselas (B)

Centro Inox, Milán (I)

Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung,
Berlin (D)

David Cochrane, Sidcup (UK)

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Outokumpu, Tornio (FIN)

Thomas Pauly, Bruselas (B)

Christoph Seeberger, Munich (D)

ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld (D)

Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden (D)

Viega GmbH & Co. KG, Attendorn (D)

Aviso legal

Euro Inox ha realizado un gran esfuerzo para asegurar que la información que se presenta en este documento sea técnicamente correcta. Sin embargo, se avisa al lector que el material aquí contenido en este documento sólo tiene el propósito de información general. Euro Inox, sus miembros, renuncian de forma específica a cualquier obligación o responsabilidad por pérdidas, daños o lesiones, resultantes del uso de la información contenida en esta publicación.

Índice

1	Introducción	2
2	Los principios de la corrosión galvánica	3
3	Factores relevantes y ejemplos	5
3.1	Resistencia del electrolito	5
3.2	Tiempo de exposición a la humedad y entornos	6
3.3	La cinética de las reacciones electrolíticas	8
3.4	Áreas del cátodo y del ánodo	8
4	Experiencia práctica en diversas aplicaciones	10
4.1	Tratamiento del agua y de las aguas residuales	11
4.2	Componentes atmosféricos	14
4.3	El acero inoxidable en los edificios y en la construcción	15
4.4	El acero inoxidable en los medios de transporte	18
5	Prevención de la corrosión galvánica	22
6	Referencias	23

Copyright

Este trabajo está sujeto a derechos de propiedad. Euro Inox se reserva todos los derechos sobre la traducción a cualquier idioma, la impresión, la reutilización de las ilustraciones, textos y difusión. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación o transmitida de ninguna forma o por medio alguno, ya sea electrónico, mecánico, a través de fotocopia, de grabación o de otro tipo, sin el consentimiento previo y por escrito del propietario de los derechos, Euro Inox, Luxemburgo. Cualquier violación estará sujeta a procedimientos legales y a responsabilidades por daños monetarios por la infracción, así como costes y gastos legales, y se aplicará la ley penal de derechos de la propiedad de Luxemburgo, y la regulación de la Unión Europea.

1 Introducción

Los complejos requerimientos de diseño pueden hacer necesaria la combinación de diferentes materiales metálicos dentro de un mismo componente. Con frecuencia también se pueden encontrar combinaciones de materiales guiadas únicamente por la disponibilidad de, por ejemplo, sujeciones estructurales o grapas. En determinadas circunstancias, los diseños con materiales disimilares pueden dar lugar a la corrosión en uno de los mismos. Este fenómeno podría estar ocasionado por la corrosión galvánica¹, por la que dos metales distintos forman un par galvánico.

Como resultado de la formación de elementos galvánicos, se puede producir la corrosión acelerada del material que sea menos noble. Este último podría registrar, por tanto, un nivel de corrosión mucho mayor del que se esperaría sin ningún tipo de contacto con el metal del par más noble. Los daños producidos por la corrosión tales como el excesivo deterioro superficial, las fil-

traciones en tubos o el deterioro en las sujeciones, podrían reducir drásticamente la vida útil de un componente y dar lugar a una sustitución prematura. En la mayor parte de las aplicaciones, el acero inoxidable tiene el potencial de corrosión más positivo de los metales en contacto; por lo tanto siempre existe un riesgo de corrosión para el otro metal del par.

El riesgo de corrosión galvánica depende, sin embargo, de una gran cantidad de factores. Además de los materiales usados, son cruciales el entorno y el diseño. Por lo tanto, resulta difícil hacer una valoración a priori acerca de la compatibilidad de los materiales. La presente publicación describe los principios de la corrosión galvánica y los principales parámetros que permiten valorar el riesgo de corrosión.

¹Corrosión producida por la presencia de una pila galvánica constituida por dos metales distintos y, por tanto, con distinto potencial electroquímico. El ataque se localiza sobre el metal menos noble.

2 Los principios de la corrosión galvánica

Para que se produzca corrosión galvánica, o por contacto, debe haber:

- diferentes potenciales de corrosión de los metales dentro de un sistema;
- unión física entre los dos metales;
- una película de humedad eléctricamente conductora (electrolito) que conecte ambos metales

La figura 1 muestra los tres requisitos de forma gráfica.

Si se produce la corrosión galvánica, el material que sea menos noble – ánodo – se verá atacado preferentemente mientras que el material más noble – cátodo – se ve incluso protegido contra la corrosión. De hecho, el principio de la protección catódica se basa en ánodos de sacrificio que proporcionan protección contra la corrosión.

El contacto de dos metales con distintos potenciales en una solución eléctricamente conductora da lugar a un flujo de electrones del ánodo al cátodo. Las reacciones electroquímicas son las mismas que podrían pro-

ducirse de forma natural en el metal aislado; sin embargo, el ataque corrosivo en el ánodo se acelera enormemente. En algunos casos, la formación del par galvánico puede dar lugar a la corrosión en materiales que, de otra forma, podrían ser resistentes a la corrosión en el entorno en cuestión. Este puede ser el caso para los materiales pasivos como el aluminio, el cual se podría polarizar en determinadas circunstancias. En esos casos, se pueden observar fenómenos de corrosión localizada tales como corrosión por picaduras o la corrosión por intersticios, lo que no se habría dado sin el cambio en el potencial causado por la formación de un par galvánico.

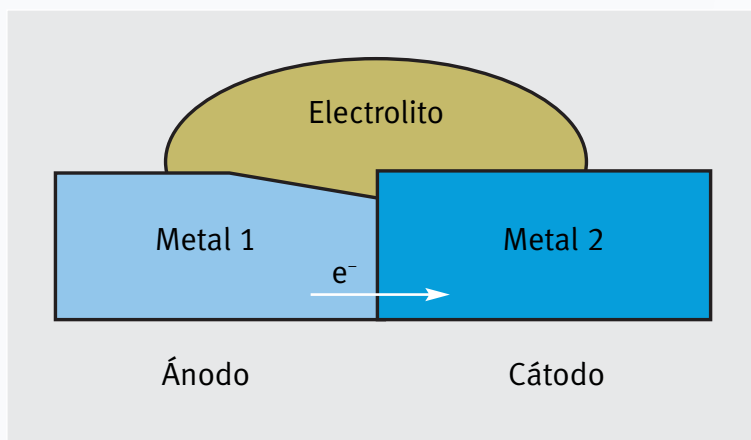


Figura 1:
Requisitos para la corrosión
entre metales diferentes

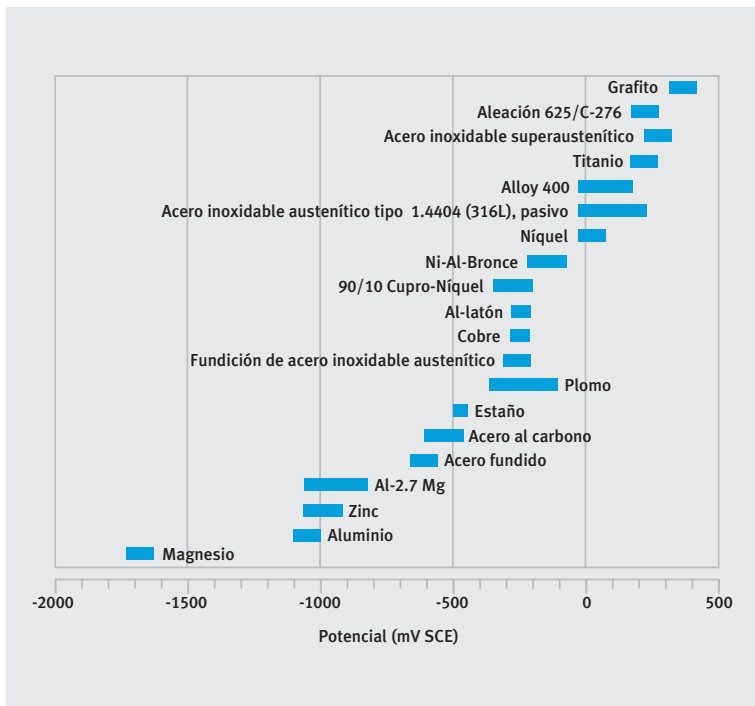
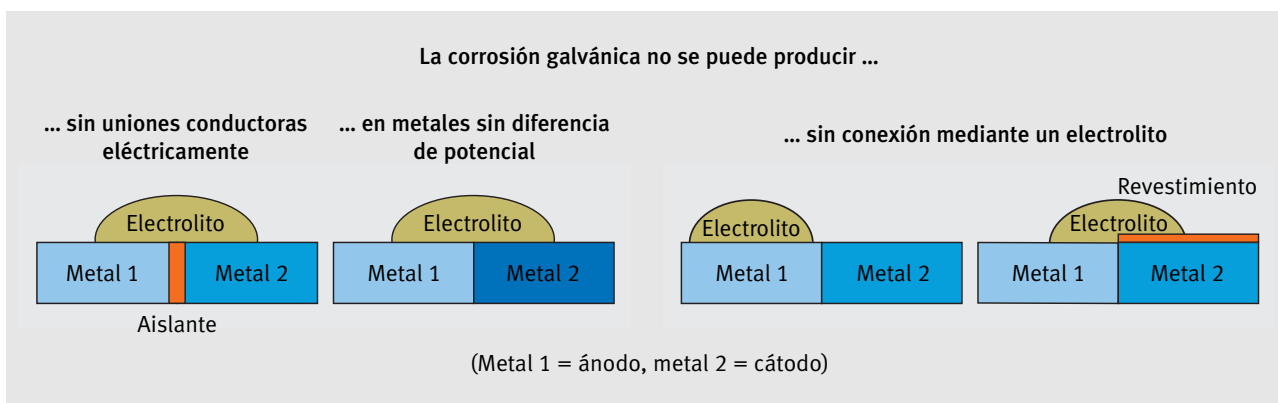


Figura 3:
Serie Galvánica en agua de mar a 10 °C [11]

Contrariamente a lo que se suele creer, la diferencia de potencial en una única pila electroquímica no es un buen indicador del riesgo real de corrosión galvánica. Únicamente indica si dicho riesgo se debe tener en cuenta o no. En este contexto, se debería recordar que las numerosas tablas publicadas de potenciales estándar de metales sólo proporcionan una aproximación de las diferencias de potencial. El factor decisivo no es la diferencia de potencial observada en condiciones experimentales estandarizadas sino más bien la diferencia de potencial en condiciones de funcionamiento reales. Esta es la razón por la que se han creado tablas empíricas de series galvánicas para entornos típicos tales como el agua del mar. Éstas colocan el potencial de diversos metales en un entorno determinado (Figura 2).

El conocimiento de los requisitos de la corrosión galvánica y la comprensión adecuada de los ejemplos de la Figura 3 hacen posible determinar la acción preventiva que se discutirá en la sección 6.

Figura 4:
Condiciones en las que no se produce corrosión galvánica



3 Factores relevantes y ejemplos

De acuerdo con la ley de Faraday, los procesos de corrosión electroquímica están directamente relacionados con la transferencia de carga, es decir, al flujo de corriente. La corriente o la densidad de corriente se usa, por lo tanto, muy a menudo para medir la corrosión. Si las condiciones para la corrosión galvánica se cumplen en principio, la corriente de corrosión total, I_{tot} , está formada por una corriente parcial de autocorrosión, I_s (es decir, la parte de la corrosión que es independiente del contacto con otros materiales) y una corriente de la pila parcial, I_{el} (es decir, la parte de la corrosión debida a la corriente de la pila galvánica creada entre los materiales contiguos (Ecuación 1).

$$I_{tot} = I_s + I_{el} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La intensidad de la corrosión del elemento se determina mediante la diferencia de potencial entre los dos metales (ΔU), la resistencia del electrolito (R_{el}) y la resistencia de polarización en el ánodo ($R_{p,a}$) y el cátodo ($R_{p,c}$) respectivamente (Ecuación 2).

$$I_{el} = \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

A partir de esta ecuación, se pueden sacar conclusiones en relación a los factores que determinan la corrosión galvánica. Estos factores son críticos para determinar si la corrosión metálica se convertirá en un problema relevante técnicamente o no. Los efectos de estos factores se discutirán, por tanto, de forma individual.

3.1 Resistencia del electrolito

El riesgo de corrosión galvánica disminuye al aumentar la resistencia del electrolito. Esto se debe a que se reduce el alcance de la corriente galvánica y se limita el cambio de potencial en el ánodo, tal y como se ilustra en la Figura 4.

Las medidas de potencial en la superficie identifican, en el caso de un ánodo aislado, la posición de los potenciales del cátodo y

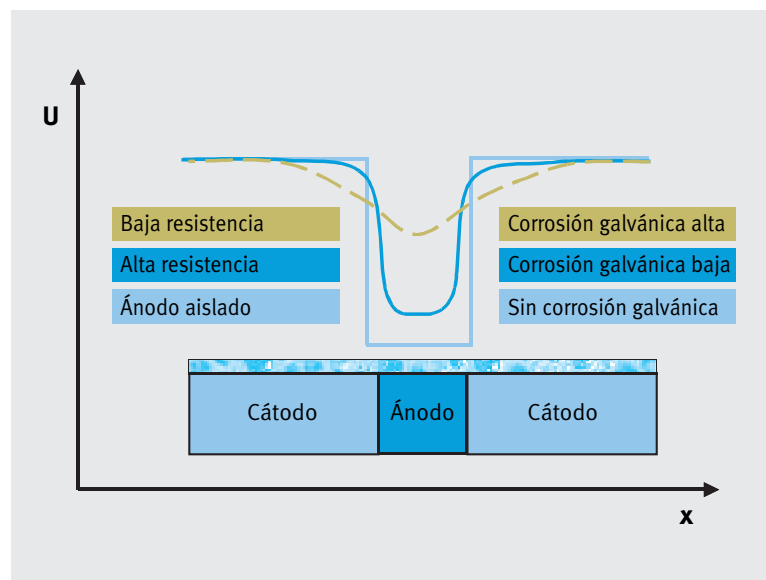


Figura 7: Influencia de la resistencia del electrolito en la polarización del ánodo

del ánodo correspondientes, independientemente de cada uno. En el área de transición, se observa un salto marcado en el potencial. Si existe una conexión eléctricamente conductora entre el cátodo y el ánodo, se observa una polarización baja del ánodo hacia valores más altos en electrolitos con resistencia alta (tales como películas de agua producidas por condensación). En el caso de películas de electrolito de baja resistencia (agua salada), se mide una polarización muy fuerte. Cuanto mayor sea la

polarización, mayor será la velocidad de corrosión del ánodo si el material es activo, o mayor será la probabilidad de alcanzar un potencial crítico (que inicie la corrosión) si el material está en su estado pasivo. La *Tabla 1* muestra los valores específicos de conductividad en diversos tipos de agua.

3.2 Tiempo de exposición a la humedad y entornos

Existe una fuerte interacción entre resistencia del electrolito y la duración de la exposición a la humedad. Esto es de vital importancia en lugares donde los componentes no estén permanentemente mojados por líquidos acuosos. Tal y como se explica en la descripción de los requisitos de la corrosión galvánica, el electrolito juega un papel clave. Sin dicho electrolito no se podría dar ningún tipo de corrosión galvánica.

Esto implica que, en la práctica, cualquier combinación de materiales metálicos no es crítica desde el punto de vista de la corrosión si no hay presente una película electrolítica. Esto se da con frecuencia en interiores sin condensación. En elementos de iluminación o en componentes de decoración interior, se puede usar prácticamente cualquier combinación de materiales, en entornos ventilados y temperaturas ambiente moderadas, no hay restricciones en términos de riesgo de corrosión (*Figura 5*).

Tanto la duración de exposición como la resistencia del electrolito dependen en gran medida de las condiciones locales. En entornos marinos, industriales o de piscinas de natación interiores, la probabilidad de corrosión galvánica es notablemente superior a la de las condiciones ambientales rurales. La *Figura 6* muestra la influencia del medio ambiente sobre la velocidad de corrosión del zinc, con y sin contacto con el acero inoxidable.

Tabla 1:
Valores típicos de conductividad específica en diversos tipos de agua

Entorno	Conductividad específica en $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$
Agua pura	$5 \cdot 10^{-8}$
Agua desmineralizada	$2 \cdot 10^{-6}$
Agua de lluvia	$5 \cdot 10^{-5}$
Agua potable	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
Agua de un río de agua salobre	$5 \cdot 10^{-3}$
Agua de mar	$3,5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$

ble. Esto muestra que la velocidad de corrosión en la pila galvánica supera la de la autocorrosión (es decir, la velocidad de corrosión del zinc sin ningún tipo de contacto con el acero inoxidable) en ambiente costero y en una zona de salpicaduras de agua de mar.

Además del ambiente, los detalles de diseño también juegan un papel decisivo. Los factores que ayudan a que las películas de humedad se sequen rápidamente (ventilación adecuada, prevención de intersticios, drenaje libre del agua de lluvia) reducen el ataque de la corrosión. En los lugares permanentemente húmedos, ya sean grietas o intersticios, el agua estancada y los ambientes marinos pueden acelerar considerablemente la corrosión galvánica.

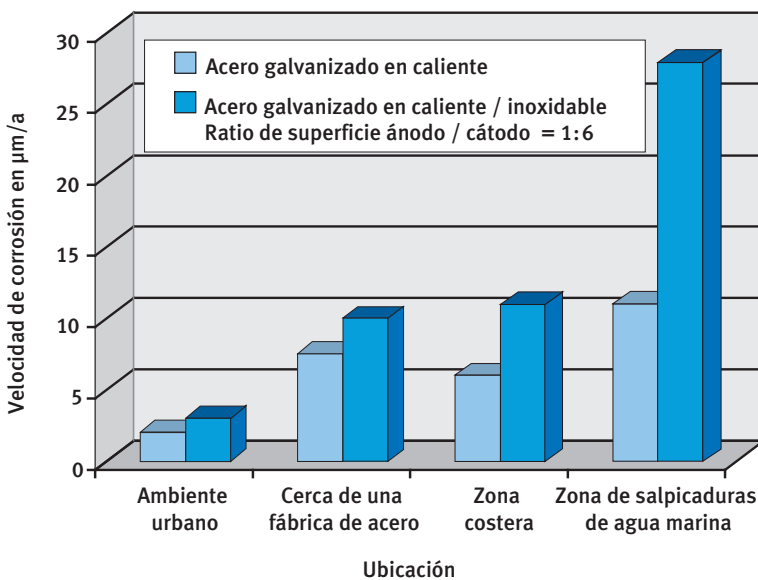


Figura 6:
Velocidades de corrosión del acero galvanizado en caliente, con y sin contacto con el acero inoxidable, en diversos entornos.

Figura 5:
Dado que por lo general los electrolitos no están presentes en ambientes de interiores, con temperaturas moderadas y apropiada ventilación, la combinación de acero inoxidable con otros materiales metálicos tales como el acero al carbono pintado no implica, por lo general, riesgo de corrosión galvánica en tales circunstancias.

3.3 La cinética de las reacciones electrolíticas

La cinética de las reacciones electrolíticas se expresa en la *Ecuación 3* mediante los valores de la resistencia de polarización del ánodo y del cátodo. La diferencia de potencial de tan sólo 100 mV puede dar lugar a la corrosión, mientras que los metales con diferencia de potencial considerablemente mayor se pueden unir sin problema. De hecho, la diferencia de potencial no proporciona información sobre la cinética de la corrosión galvánica, pues depende del metal. El titanio, por ejemplo, reduce el oxígeno disuelto con mayor dificultad que el cobre. Esto explica porqué el acero al carbono se corroe más rápidamente en contacto con el cobre que con el titanio, dado que este último tiene un potencial positivo mayor que el del cobre.

En este contexto, la formación de capas de corrosión también juega un papel decisivo. Éstas pueden cambiar de forma significativa el potencial de un material y ser un obstáculo para una reacción parcial anódica y/o catódica.

3.4 Áreas del cátodo y del ánodo

Uno de los factores más influyentes en la velocidad de corrosión galvánica es la i_{el} (corriente de la pila galvánica relacionada con el área). Es la relación entre las superficies del cátodo (S_c) y del ánodo (S_a) (*Ecuación 3*).

$$i_{el} = \frac{S_c}{S_a} \cdot \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dado que el área de la superficie catódica (el metal más noble del par galvánico) es muy pequeña en comparación con el área de la superficie del ánodo (el metal menos noble) no se observa ningún tipo de cambio

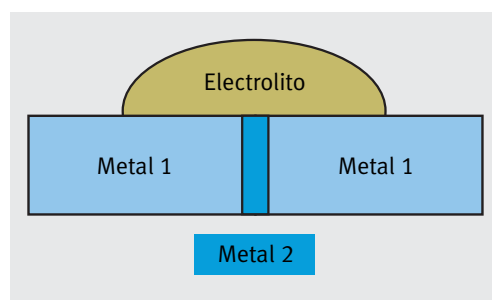
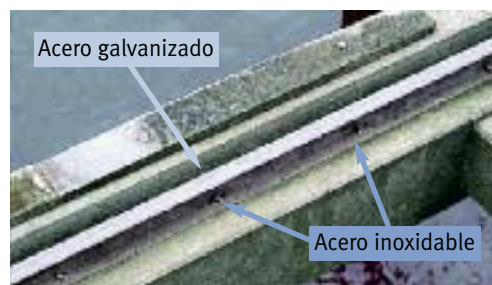


Figura 7:
Dado que el cátodo (metal 2) es pequeño en comparación con el ánodo (metal 1), no se produce ningún daño.

Figura 8a, 8b:
Las sujeciones de acero inoxidable en componentes mucho mayores de acero galvanizado, normalmente, no provocan corrosión



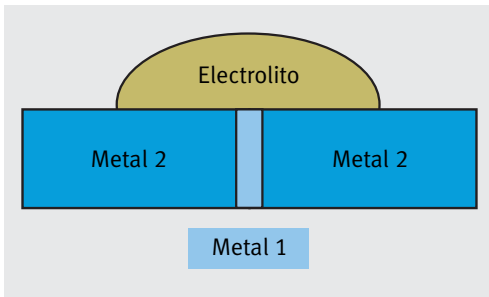


Figura 9:
Es probable que se produzca corrosión galvánica si el ánodo (metal 1) es pequeño y el cátodo (metal 2) grande

en el comportamiento frente a la corrosión. Esta situación se muestra en la *Figura 7*.

Se pueden encontrar ejemplos típicos cuando se emplean sujeciones de acero inoxidable sobre componentes de aluminio o de acero al carbono galvanizado. Dos aplicaciones prácticas se muestran en la *Figura 8*. Incluso en ambientes corrosivos, este material no provoca prácticamente corrosión galvánica.

En condiciones atmosféricas, a veces resulta difícil valorar la actividad de las superficies anódicas y catódicas. Para una evaluación práctica, es posible que no sea necesario. Normalmente es suficiente con

una consideración del sistema en general. Si se han de combinar distintos materiales, las sujeciones siempre se deberían realizar con el material más noble, de forma que la superficie catódica sea pequeña.

La situación opuesta, sin embargo, puede provocar un problema. Un ánodo pequeño rodeado por un cátodo grande, puede producir corrosión galvánica, como se muestra en la *Figura 9*.

Ejemplos típicos de dicha situación se muestran en la *Figura 10*. En estos casos, está claro que en ambientes corrosivos, el metal menos noble podría sufrir corrosión acelerada.



Figura 11:
Para prevenir la corrosión galvánica, sólo se deben instalar sujeciones de acero inoxidable en los paneles de acero inoxidable.

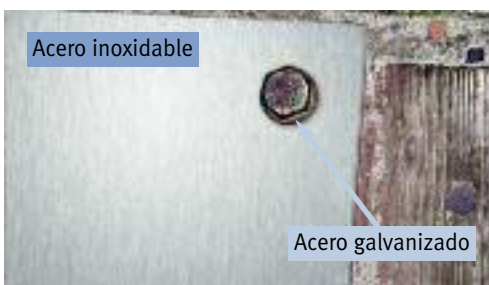


Figura 10a, 10b:
Ejemplos prácticos del principio se muestran en la *Figura 9* (acero al carbono galvanizado en contacto con acero inoxidable, en un ambiente marino)

4 Experiencia práctica en diversas aplicaciones

Hay disponibilidad de la extensa investigación y experiencia práctica en relación al comportamiento corrosivo de las combinaciones de materiales que implican el acero inoxidable, bajo diversas condiciones. Algunos resultados relevantes se muestran en las *Tablas 2 a 5*. Todos los resultados hacen referencia a los tipos de acero inoxidable estabilizado con un mayor contenido de carbono. En principio, los resultados se

pueden extender a los tipos con contenido de carbono bajo, tales como 1.4307 ó 1.4404. Se puede encontrar más información en la bibliografía de referencia, siempre que el sistema de corrosión se considere como un todo.

Independientemente de los valores numéricos, la experiencia hace posible realizar algunas afirmaciones generales, que se resumirán en las siguientes secciones.

Tabla 3: Velocidades de corrosión de distintos materiales metálicos en contacto con el acero inoxidable

Pila galvánica		Entorno	Ratio de superficies	Velocidad de corrosión (mm/a)
1.4016	Acero al carbono Zn 99,9 Al 99,9 Cu-DGP Ti	Agua potable, ventilada	1:1	0,47
				0,26
				0,17
				0,07
				< 0,01
1.4541	SF-Cu	Agua de mar artificial	1:1	0,12
			1:10	0,07
			10:1	1,00
	Acero al carbono		1:1	0,38
			1:10	0,25
			10:1	1,10
	Zn Ti		1:1	0,61
			1:1	< 0,01

Tabla 4: Velocidades de corrosión de ZnCuTi en contacto con acero inoxidable de grado 1.4541 y 1.4571 en 0,1 N NaCl (ventilado, CO₂ saturado, a temperatura ambiente) de acuerdo con la DIN 50919

Pila galvánica		Ratio de superficies	Velocidad de corrosión (mm/a)
1.4541	ZnCuTi	1:1	4,39
		1:5	1,43
1.4571	ZnCuTi	1:1	3,88
		1:5	0,91

Tabla 5: Velocidad de corrosión de distintos materiales metálicos en contacto con diferentes aceros inoxidable en una solución acuosa de NaCl con un 5 % en volumen. NaCl a 35 °C, ratio de superficies 1:1 (DIN 50919)

Pila galvánica	Velocidad de corrosión (mm/a)		
	X6CrMo17-1 1.4113	X2CrTi12 1.4512	X5CrNi18-10 1.4301
Acero al carbono	0,62	0,66	0,69
Acero galvanizado en caliente	0,51	0,51	0,55
ZnAl 4 Cu 1	0,66	0,66	0,69
AlMg 1	0,15	0,29	0,29
Cu-DGP	0,04	0,04	0,04
CuZn 40	0,04	0,04	0,04

Tabla 6: Velocidad de corrosión de distintos materiales en contacto con acero inoxidable del tipo 1.4439 en el Mar del Norte (prueba de campo), duración 1 año

Pila galvánica		Ratio de superficies	Velocidad de corrosión (mm/a)
1.4439	Carbon steel	1:1	0,31
		4:1	0,75
		10:1	2,10
1.4439	AlMg 4,5 Mn	1:1	0,17
		4:1	0,26
		10:1	0,95
1.4439	CuNi 10 Fe	4:1	0,07
1.4439	CuZn 20 Fe	4:1	0,18

4.1 Tratamiento del agua y de las aguas residuales

Dependiendo de su composición, el efecto corrosivo del agua sobre el acero inoxidable puede variar considerablemente: el agua desionizada sin impurezas no es corrosiva (excepto a temperaturas extremadamente altas). Tanto el agua potable, como el agua con concentraciones moderadas en iones cloruro (máx. 250 mg/l, de acuerdo con la Directiva de Agua Potable), podrían en ambientes agresivos, dar lugar a corrosión por picaduras o por intersticios mediante la influencia combinada de altas temperaturas

y concentración de cloruros. En la mayoría de los casos, los tipos austeníticos CrNiMo tales como 1.4401, 1.4404 y 1.4571, son resistentes a la corrosión, si se han manipulado adecuadamente. Existen también numerosos casos de éxito en el empleo del tipo 1.4301.

Con agua potable, el riesgo de corrosión galvánica es moderado. Durante muchos años, uniones de acero inoxidable, cobre, y aleaciones de cobre y latón rojo, se han usado con éxito tanto para aplicaciones con agua fría como con agua caliente en tuberías, conexiones y depósitos, sin corrosión por contacto (Figura 12). Mientras que



Figura 12: En las tuberías se usan con éxito las combinaciones de acero inoxidable con cobre y aleaciones de cobre tales como el bronce de cañón.

el acero al carbono se puede combinar con el acero inoxidable en un medio de agua con poco oxígeno, si unimos elementos de acero galvanizado junto con aleaciones de aluminio, se corre el riesgo de que se produzca corrosión galvánica inmediata [2].

En las estaciones de aguas residuales, las condiciones son menos predecibles. Se observa una gran variedad de composiciones de aguas, algunas con alta conductividad, lo que implica un incremento del riesgo de corrosión galvánica. La *Tabla 6* proporciona una descripción general de la compatibilidad de diversos materiales en aguas residuales al aire libre. En las juntas soldadas, la elección de un método de soldadura resistente a la corrosión es crucial.

El agua de mar (con concentraciones de iones cloruro típicas de 16.000 mg/l) y el resto de aguas con altos contenidos en clo-

Tabla 11: Compatibilidad de materiales en aguas residuales al aire libre

		Material con un área pequeña				
		Acero al carbono / hierro colado	Zn / acero galvanizado	Al	Cu	Acero inoxidable
Material con un área grande	Acero al carbono / hierro colado	+	+	-	o / -	+
	Zn / acero galvanizado	-	+	-	o*	+
	Al	-	o / -	+	-	+
	Cu	-	-	-	+	+
	Acero inoxidable	-	-	-	o	+
	Acero en hormigón	-	-	-	+	+

Clave: + bueno o dudoso - malo

* Aunque combinar estos metales tiene una influencia insignificante sobre los materiales, estas uniones no se recomiendan debido a la elevada autocorrosión del metal menos noble.

ruros, implican un alto riesgo de corrosión, y por lo general, se aconsejan tipos más aleados tales como EN 1.4462, 1.4439, 1.4539 ó 1.4565, o las aleaciones en base níquel. Se pueden dar recomendaciones para prevenir la corrosión de diversos materiales metálicos en agua de acuerdo a la norma EN 12502, partes 1 a 5 [2]. El riesgo de corrosión galvánica depende fundamentalmente de la conductividad del agua (ver sección 2). El agua desionizada normalmente no es crítica en este sentido.

Como entorno altamente conductor, el agua residual tiende a fomentar la corrosión galvánica. No sólo las partes hechas de aleaciones de aluminio, zinc o acero al carbono galvanizado corren riesgo, sino también las de cobre o bronce de cañón. La *Figura 13* muestra la influencia de las proporciones de cátodo/ánodo sobre las velocidades de corrosión en combinaciones de materiales que aúnan acero inoxidable y acero al carbono. Está claro que en este entorno altamente conductor la distancia entre el cátodo y el ánodo no tiene influencia significativa. Los elementos metálicos pueden estar expuestos a corrosión de contacto incluso si están relativamente distantes entre sí, siempre que exista una conexión eléctrica conductora (por ejemplo, a través de tierra común).

Existe, generalmente, un riesgo de corrosión en los sistemas para la preparación del agua, porque ponen al acero inoxidable en contacto con carbono activo, empleado habitualmente en los filtros. En algunos casos, las partículas del material del filtro se pueden desprender y entrar en contacto con el acero inoxidable. La gran superficie del material del filtro puede funcionar así como cátodo y cambiar la polarización del acero

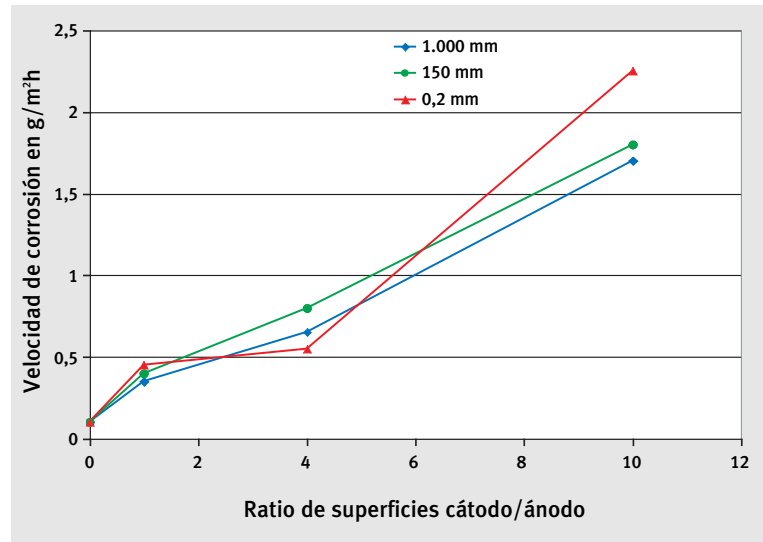


Figura 13:
La influencia del ratio de superficies y la distancia entre el ánodo y el cátodo en la velocidad de corrosión del acero al carbono en contacto con acero inoxidable en agua de mar (inmersión permanente en el agua del Mar del Norte)

inoxidable de 200 a 300 mV en la dirección positiva. Este cambio puede provocar corrosión por picaduras o por intersticios en tipos ferríticos y austeníticos que no contengan molibdeno, incluso con bajos niveles de cloruros. Un ejemplo de este proceso se muestra en la *Figura 14*. Se observa la corrosión producida en algunos conductos de alimentación de agua en las estaciones depuradoras, con un contenido medio de cloruros de 150 mg/l, afectando específicamente a las sujeciones de acero inoxidable que unen las placas del filtro al hormigón armado. La corrosión por picaduras e intersticios sólo se ha observado en los depósitos en los que se ha usado carbono activo como material para filtrados, y podría haber entrado en contacto con las sujeciones durante las operaciones de enjuague. Así como se han usado los tipos especificados 1.4301, 1.4571 y 1.4401 para los distintos elementos de las sujeciones, se empleó por error el acero inoxidable ferrítico del tipo 1.4016. No resulta sorprendente que dicho tipo fuera el más afectado por la corrosión.

Figura 14:
Corrosión galvánica en las sujeciones de acero inoxidable en conducción para filtración en una instalación de tratamiento de aguas, utilizando carbono activo: montaje (izquierda) y tornillo de anclaje desmontado de acero inoxidable de 1.4016, se aprecia la pérdida de área en la sección afectada por la corrosión (derecha).



4.2 Componentes atmosféricos

Mientras que, por lo general, si en todo momento hay un electrolito presente en conducciones y depósitos para medios acuosos, esto no sucede necesariamente de igual forma en el caso de los componentes del aire del ambiente. En dichas circunstancias, sólo se podría producir corrosión durante la exposición a la humedad. La superficie no tendría por qué entrar en contacto directo con agua de lluvia o de salpicaduras dado que con frecuencia, las películas de humedad microscópicas podrían formarse mediante la absorción del vapor de agua del ambiente. También se podría producir una condensación visible. Los depósitos de suciedad e higroscópicos en componentes pueden tener una influencia significativa en la duración de la humedad. Los intersticios poco ventilados, por ejemplo bajo las arandelas o entre las chapas solapadas, pueden dar lugar a la presencia casi permanente de humedad. En contraste con los agentes corrosivos en medios acuosos, aquí sólo puede afectar a un área muy limitada. La influencia de ambos materiales tiene lugar en una zona muy pequeña a lo largo de la línea de contacto, sin que la magnitud del

tamaño de los metales tenga un papel significativo. En estos casos, la relación entre las superficies tiene un efecto limitado, de forma que la regla de proporción entre las mismas no se aplica como anteriormente.

Debido al alcance limitado de los agentes corrosivos del ambiente, el hecho de proteger el acero inoxidable en la estrecha zona de contacto sería suficiente, por lo general, para evitar corrosión galvánica.

Los intersticios húmedos permanentemente entre el acero inoxidable y otro material menos noble, ya sea aluminio, zinc o componentes recubiertos de zinc, pueden ser zonas problemáticas. El sellado elástico para proteger el intersticio, es un remedio probado. Los materiales de sellado que sean propensos a resquebrajarse y agrietarse pueden, sin embargo, empeorar la situación.

La *Tabla 7* proporciona información sobre la compatibilidad de distintos materiales en condiciones ambientales.

4.3 El acero inoxidable en los edificios y en la construcción

El uso del acero inoxidable en edificios y en la construcción está aumentando. Más allá de sus posibilidades de diseño arquitectónico, la sencilla manipulación del material y su elevada resistencia frente a la corrosión son dos factores de gran importancia. El acero inoxidable se emplea en superficies que están a la vista, en componentes estructurales y en sujeciones mecánicas (tales como tornillos). Las calidades más comunes son las del tipo 18/8 CrNi y 17/12/2 CrNiMo – el segundo en particular para superficies de alta calidad en entornos industriales y urbanos o elementos estructurales de difícil acceso tales como soportes de fachadas. Evitar unir el acero inoxidable con otros materiales metálicos podría resultar complicado. El comportamiento frente a la corrosión dependerá también del diseño: en superficies con humedad ocasionada por la lluvia o por la condensación, ubicaciones

interiores o exteriores, la interacción entre metales finalmente acaba siendo relevante en las zonas de contacto.

En las partes expuestas a la intemperie y a condensación externa, la duración de la humedad sobre el material es el factor clave. La exposición ocasional y de corta duración a películas de humedad no da lugar, por lo general, a la corrosión galvánica. Por tanto, todos los factores de diseño son importantes. Todos aquellos diseños que favorezcan un secado rápido (buena ventilación, prevención de intersticios, drenaje libre del agua de lluvia, superficies lisas) reducen el ataque corrosivo. Sin embargo, las áreas permanentemente húmedas (en intersticios o elementos protegidos), el agua y la suciedad podrían quedar retenidas incrementando en gran medida el riesgo de corrosión galvánica. Las zonas superficiales deterioradas en las que la suciedad es eliminada mediante la lluvia y que están suficientemente ventiladas para secarse rápidamente son menos vulnerables a la

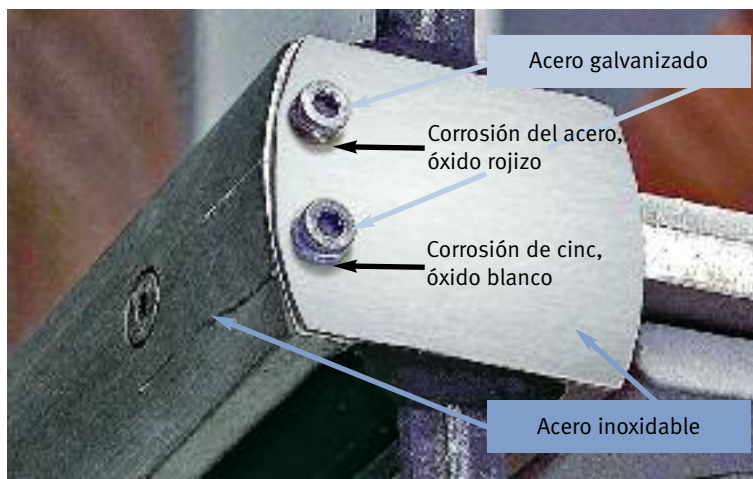
Tabla 7: Compatibilidad de materiales a la intemperie

Material de superficie grande		Material de superficie pequeña				
		Acero al carbono / hierro fundido	Zn / acero galvanizado	Al	Cu	Acero inoxidable
Material de superficie grande	Acero al carbono / hierro fundido	+	-	-	+	+
	Zn / acero galvanizado	+	+	+	o	+
	Al	o / -	o	+	o / -	+
	Cu	-	-	-	+	+
	Acero inoxidable	-	-	o / -	+	+

Clave: + bueno o dudoso - malo

* Aunque combinar estos metales tiene una influencia insignificante sobre los materiales, estas uniones no se recomiendan debido a la elevada autocorrosión del metal menos noble.

Figura 15:
Sujeción de una cubierta de acero inoxidable (en un montaje de una fachada) empleando tornillos galvanizados: los tornillos muestran óxido blanco y una decoloración inicial (corrosión del acero) después de un año en ambiente urbano



corrosión que las áreas cóncavas, que, aunque estén protegidas de la lluvia, permanecen húmedas durante un largo período y permiten que se acumule la suciedad.

Aunque el ratio entre superficies sólo tiene un valor limitado a la hora de identificar el riesgo de corrosión, por lo general se deben evitar los diseños con ánodos pequeños y cátodos relativamente grandes. La corrosión galvánica es una posibilidad, incluso en lugares bien ventilados.

La Figura 15 muestra un ejemplo. El extremo superior de las secciones horizontales de acero inoxidable en una fachada de acero y cristal se cubrió usando dos tornillos galvanizados. Se muestran formaciones marcadas de óxido blanco en el intersticio entre la tapa y el tornillo, que incluso, hasta cierto punto, podrían crear corrosión en el material base. Estos fenómenos se observaron tras 12 meses de funcionamiento, lo que indica que no es una solución duradera. Para

dichas sujeciones de acero inoxidable, se han de sustituir los tornillos galvanizados.

En la tecnología de tejados – tanto en edificios nuevos como en reformas – se usa normalmente acero inoxidable para las sujeciones que están en contacto con otros materiales metálicos o materiales con recubrimientos metálicos. Debido al ratio favorable de superficies anódicas y catódicas, por lo general no hay riesgo de corrosión en dichas combinaciones materiales. En reparaciones de tejados, es frecuente unir superficies mayores de acero inoxidable con las de otros metales. Dichas combinaciones también se pueden considerar no críticas a menos que la proporción entre el acero inoxidable y el aluminio o galvanizado se supere de forma significativa 1:1.

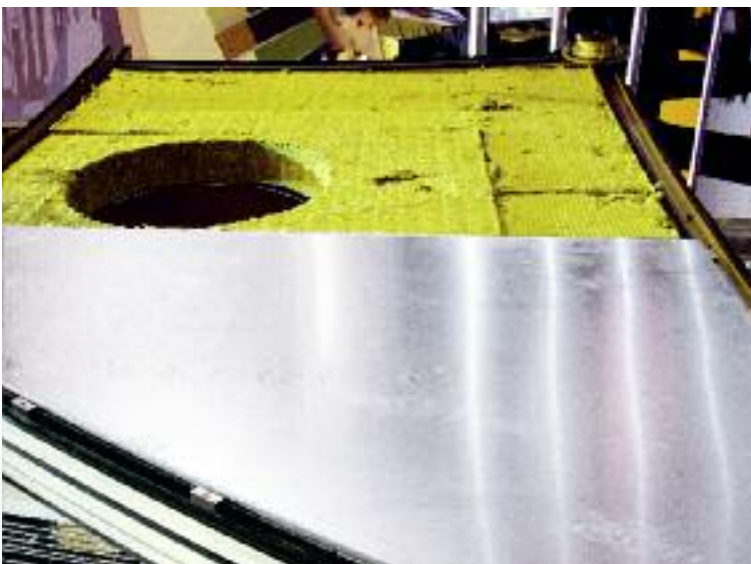
Las Figuras 17 - 20 muestran ejemplos prácticos del riesgo de corrosión galvánica en el cerramiento del edificio siendo evitada de una forma eficaz.



*Figura 17:
Sujeción de los paneles
exteriores de acero inoxidable a una estructura
de acero al carbono en el
Atomium, Bruselas*



*Figura 18:
La chapa exterior de
acero inoxidable está
aislada de la chapa inte-
rior de acero galvanizado
mediante uniones ade-
cuadas.*



*Figura 19:
Fabricación de paneles
aislados usando acero
inoxidable para el arma-
zón exterior y acero al
carbono galvanizado
para el armazón interior*



*Figura 20:
Para evitar la corrosión
galvánica, el revesti-
miento de acero inoxida-
ble se fija a la estructura
interna de acero al car-
bono en zonas no húme-
das.*



Figura 21:
En sistemas de escape del automóvil, el acero inoxidable es la elección normal. Las partes de goma de las sujeciones evitan la corrosión galvánica.

Figura 22:
Cada vez se usa más el acero inoxidable para los depósitos de combustible. Las sujeciones que incorporan, garantizan la interrupción de la conductividad eléctrica en la unión.



4.4 Acero inoxidable en los medios de transporte

En vehículos de pasajeros y otros medios terrestres, el acero inoxidable (los tipos ferríticos entre un 12 % y un 18 % de contenido de cromo y tipos austeníticos con aproximadamente un 18 % de cromo) se usa para sistemas de escape (*Figura 21*), depósitos de combustible (*Figura 22*) y, cada vez más, los componentes del cuerpo y del chasis. En aplicaciones de ferrocarriles, los tipos ferríticos junto con los recubrimientos son la opción habitual (*Figuras 23, 25, 26*). También existe una larga tradición de aceros inoxidables austeníticos empleados en vagones de ferrocarril (*Figura 24*) en muchas partes del mundo, sin problemas de corrosión galvánica.



*Figura 23:
Las sencillas técnicas de aislamiento hacen que la estructura de acero inoxidable ferrítico del tranvía sea compatible con el chasis de acero al carbono.*

*Figura 24:
En los laterales de un tren de cercanías, la estructura y los paneles exteriores son de distintos tipos de acero inoxidable. Como todos ellos tienen potenciales idénticos, no se puede producir corrosión galvánica.*



*Figura 25:
Empleado en autobuses, el acero inoxidable (generalmente un tipo ferrítico pintado) ha demostrado ser compatible con un chasis de acero al carbono.*

En este caso también es esencial evitar intersticios entre los componentes del acero inoxidable y los materiales menos nobles, en los que se pueden producir ataques corrosivos por suciedad y humedad. Los intersticios se pueden rellenar con un polímero adecuado. Otra precaución eficaz contra la corrosión galvánica en medios de transporte es el recubrimiento local del acero inoxidable en la zona de contacto, tal y como se describe.



*Figura 26:
Los vagones de trenes con paneles exteriores en acero inoxidable austenítico se han utilizado en muchos lugares del mundo, sin problemas de corrosión galvánica.*

Preguntas Frecuentes

Pregunta:

¿Existe riesgo de corrosión galvánica si se unen tipos de acero inoxidable de diferente composición química?

Respuesta:

Entre distintos tipos de acero inoxidable (inclusive distintas familias de inoxidables) no existe, por lo general, corrosión galvá-

*Figura 27:
No se producirá ningún tipo de corrosión galvánica entre los distintos tipos de acero inoxidable, aunque no tengan la misma resistencia frente a la corrosión*



ca mientras los potenciales de corrosión de ambos metales sean idénticos. Sin embargo, la resistencia frente a la corrosión de cada aleación se debe considerar de forma individual. Del mismo modo, el material con menor resistencia a la corrosión debe comportarse correctamente frente a la corrosión en las condiciones de trabajo (Figura 27).

Pregunta:

¿Se puede usar el acero inoxidable en combinación con el cobre o el acero galvanizado para la reparación de sistemas de tuberías domésticas?

Respuesta:

No cabría esperar problemas cuando el acero inoxidable se combina con tuberías de cobre, dado que ambos materiales tienen un potencial de corrosión similar en un medio con agua potable. Los componentes de la tubería de acero galvanizado también se pueden combinar con el acero inoxidable. Sin embargo, se recomiendan elementos de unión con aleaciones de zinc, cobre o latón rojo.

Pregunta:

¿Puede unirse una barra corrugada de acero inoxidable con acero al carbono en el hormigón armado?

Respuesta:

Si se realiza apropiadamente, las barras corrugadas de acero al carbono se pueden emplear con barras de acero inoxidable, por lo general, no aumentan los problemas de corrosión, mientras que los potenciales de corrosión sean idénticos. Dicha combinación se puede emplear para evitar la corrosión de

barras inmersas en el hormigón, o en contacto con tuberías. La unión debe ser buena dentro del hormigón, con una capa de hormigón mínima de 3 cm. Si la barra corrugada de acero al carbono se encuentra en estado activo debido a la influencia de cloruros u otros agentes, podría tener lugar la corrosión galvánica. Sin embargo, en la mayoría de los casos, este efecto es mucho menos significativo que el par galvánico que se formaría entre barras corrugadas de acero al carbono pasivas y activas (corrosión galvánica a través de un elemento activo/pasivo), dado que la eficiencia catódica del acero inoxidable es mucho menor que la del acero al carbono (Figura 28).

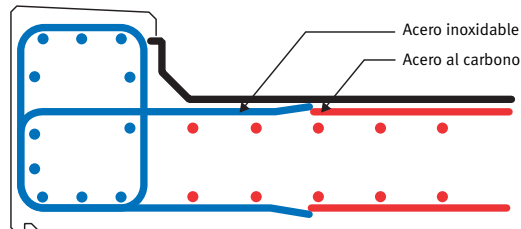


Figura 28:
Con una cobertura mínima de hormigón y siempre que el acero al carbono se encuentre en estado pasivo, se pueden unir acero inoxidable corrugado con acero al carbono sin riesgo de corrosión galvánica.

Pregunta:

¿Se pueden combinar parapetos de acero inoxidable con postes de acero de carbono?

Respuesta:

Si el diseño evita que se forme un electrolito (por ejemplo lluvia o nieve derretida) por un largo período de tiempo, dicho contacto directo es aceptable. De otra forma, se deberían usar elementos de plástico.

Pregunta:

¿Las arandelas de polímeros son aislantes eficaces para prevenir la corrosión de contacto en uniones mecánicas?

Respuesta:

Aunque esta unión no interrumpe el contacto metálico entre la rosca y el orificio roscado, dichas arandelas se recomiendan, dado que protegemos adicionalmente al intersticio que queda entre la cabeza y el material al que se está fijando el tornillo.

5 Prevención de la corrosión galvánica

El método más eficaz para evitar la corrosión galvánica es seleccionar materiales compatibles adecuados en la etapa de diseño. Si los materiales que se tienen que instalar pudieran interferir entre sí, se habrían de adoptar medidas de protección. La sección 2 proporciona las directrices sobre la naturaleza de estas medidas. La *Figura 2* describe las posibilidades prácticas:

- El aislamiento eléctrico de los componentes (aislantes, elementos plásticos o arandelas de poliamida)
- Ubicación de la unión en una zona no expuesta a la humedad.
- Recubrimiento del cátodo, o de ambos (ánodo y cátodo), tanto en superficies grandes, como localmente, cerca de las uniones.

Se ha de tener en cuenta que sólo recubrir el ánodo no es una forma adecuada de evitar la corrosión galvánica. La imperfección del recubrimiento o los daños causados durante la instalación son difíciles de evitar

in situ, y crean un elemento de corrosión crítico: cualquier daño en el recubrimiento pone al descubierto un pequeño ánodo, que podría, por tanto corroerse rápidamente.

Para reducir el efecto catódico del elemento en acero inoxidable, por lo general es suficiente con recubrir el acero inoxidable alrededor de la unión (*Figura 29*). La magnitud de la zona a proteger depende de la conductividad del entorno corrosivo. En componentes expuestos a un ambiente doméstico poco agresivo y películas de electrolito bastante finas y débilmente conductoras, por lo general es suficiente con recubrir únicamente un área de unos cuantos centímetros a lo largo de la zona de contacto del acero inoxidable. Con ambientes de humedad salinos, el área de protección del cátodo efectivo habría de superar los 10 cm.

Figura 29:
Prevención de la corrosión de contacto en acero galvanizado mediante el recubrimiento de un área pequeña en el elemento de acero inoxidable. Resultados de una prueba de spray con elevado contenido en cloruros durante 48 horas: sin un recubrimiento, la corrosión galvánica induce a la oxidación (izquierda), mientras que el recubrimiento del acero inoxidable en la zona de contacto evita la corrosión galvánica (derecha).



6 Referencias

- [1] DIN EN ISO 8044,
Ausgabe:1999-11
Korrosion von Metallen und
Legierungen – Grundbegriffe
und Definitionen
- [2] DIN EN 12502
Teil 1 bis 5, Ausgabe:2005-03
Korrosionsschutz metallischer
Werkstoffe – Hinweise zur
Abschätzung der Korrosionswahr-
scheinlichkeit in Wasserverteilungs-
und Speichersystemen
- [3] H. Gräfen,
"Korrosionsschutz durch
Information und Normung"
Kommentar zum DIN-Taschenbuch
219, Verlag Irene Kuron, Bonn (1988)
S. 37
- [4] H. Spähn, K. Fäßler
"Kontaktkorrosion"
Werkstoffe und Korrosion 17 (1966)
S. 321
- [5] D. Kuron
"Aufstellung von Kontaktkorrosions-
tabellen für Werkstoffkombinationen
in Wässern"
Werkstoffe und Korrosion 36 (1985)
S. 173
- [6] D. Kuron, E.-M. Horn, H. Gräfen
"Praktische elektrochemische
Kontaktkorrosionstabellen von
Konstruktionswerkstoffen des Chemie-
Apparatebaues"
Metalloberfläche 26
(1967) Nr. 2, S. 38
- [7] H. Spähn, K. Fäßler
"Kontaktkorrosion im
Maschinen- und Apparatebau"
Der Maschinen Schaden 40 (1967)
Nr. 3, S. 81
- [8] W. Schwenk
"Probleme der Kontaktkorrosion"
Metalloberfläche 35
(1981) Nr. 5, S. 158
- [9] K.-H. Wiedemann, B. Gerodetti, R.
Dietiker, P. Gritsch
"Automatische Ermittlung von
Kontaktkorrosionsdaten und ihre
Auswertung mittels
Polarisationsdiagrammen"
Werkstoffe und Korrosion 29 (1978)
S. 27
- [10] E. Hargarter, H. Sass
"Kontaktkorrosion zwischen verschie-
denen Werkstoffen in Meerwasser"
Jahrbuch der Schiffbautechnischen
Gesellschaft 80
(1986) S. 105
- [11] R. Francis
"Galvanic Corrosion:
a Practical Guide for Engineers"
NACE International (2001)
Houston Texas 77084
ISBN 1 57590 110 2
- [12] GfKorr-Merkblatt 1.013
"Korrosionsschutzgerechte
Konstruktion"
(2005)
- [13] Allgemeine bauaufsichtliche
Zulassung Z-30.3-6
"Erzeugnisse, Verbindungsmittel und
Bauteile aus nichtrostenden Stählen"
(jeweils gültige Fassung)
Sonderdruck 862 der Infor-
mationsstelle Edelstahl Rostfrei

ISBN 978-2-87997-330-2