

Rebarino



Corrugado de acero inoxidable
del Grupo Acerinox
para armaduras



cedi
nox



ACERINOX, S.A.



COLUMBUS
STAINLESS
[Pty] Ltd



1957	1970	1989	1990	2001	2009
------	------	------	------	------	------



ROLDAN,
producto largo.
Ponferrada,
España

ACERINOX
EUROPA,
producto plano.
Algeciras,
España

INOXFIL,
producto largo
- alambre.
Barcelona,
España

NORTH AMERICAN
STAINLESS, EE.UU
1990:
producto plano
2002:
producto largo

COLUMBUS
STAINLESS,
producto plano.
Sudáfrica

BAHRU
STAINLESS,
producto plano.
Malasia

Rebarino

Acero inoxidable



ROLDAN PRODUCTO LARGO DE ACERO INOXIDABLE



Barra negra
Ø16-115 mm



Barra fría
Ø2-110,3 mm



Alambrón
Ø5,5-41,5 mm



Barra hexagonal
Ø11-30 mm



Ángulo
alas: 20-100 mm



Alambrón hexagonal
Ø14,5-31,5 mm



ROLDAN PRODUCTO LARGO DE ACERO INOXIDABLE

SUMINISTRO	Ø (mm)	Largo (mm)
Barra	3 - 14	3.000 - 8.000
	16 - 50	3.000 - 12.000
Bobina	3 - 32	

Otras longitudes más cortas bajo pedido.

DIMENSIONES				
Ø (mm)	Sección (mm)	Peso (kg/m)	Laminado en frío	Laminado en caliente
3	7,1	0,06	x	
4	12,6	0,1	x	
5	19,6	0,155	x	
6	28,3	0,224	x	x
8	50,3	0,397	x	x
10	78,5	0,62	x	x
12	113,1	0,893	x	x
14	153,9	1,216	x	x
16	201,1	1,589		x
20	314,2	2,482		x
25	490,9	3,878		x
28	615,8	4,864		x
32	804,2	6,353		x
40	1256,6	9,927		x
50	1963,5	15,512		x

Valores aproximados.
Otras medidas bajo pedido.

Rebarino

Material corrugado





Normativa internacional para materiales corrugados

XP A 35 - 014	PNE 36067	BS 6744
ASTM A955	TC104WI EC 104031:2016	

Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

NORTE AMÉRICA & EUROPA

Conexión entre Autopista Garden State y I-80. New Jersey (EE.UU)

Glacier National Park de Flathead River. Southeast Essex, Montana (EE.UU)



Estructuras de corrugado de acero inoxidable de Arminox | Fotografía cortesía de Arminox

Aparcamiento en el aeropuerto de Boston (EE.UU)

Blackpool (IRLANDA)

Metro de Copenhage (DINAMARCA)



Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

Extensión MÓNACO





Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

Museo de Arte Contemporáneo. Vitoria (ESPAÑA)

Palacio de Justicia. Guernica (ESPAÑA)

AVE León – Palencia (ESPAÑA)



Fuente: Revista Acero Inoxidable 68



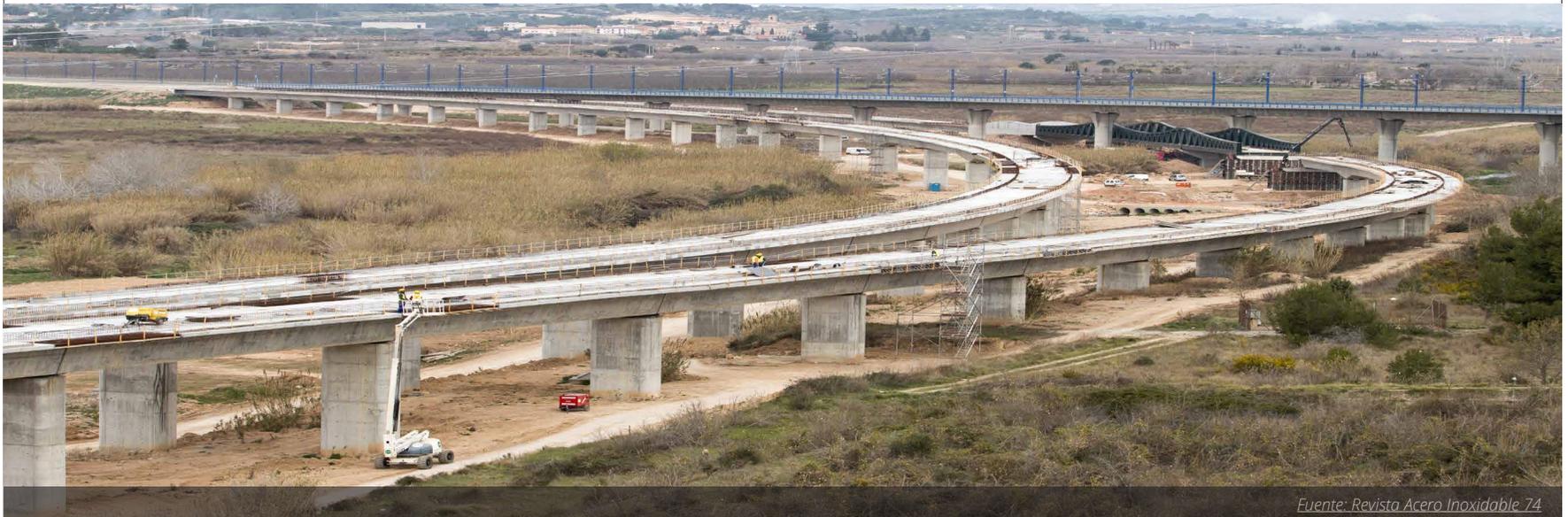
Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

Rehabilitación de Puente Eiffel (PORTUGAL)



Fuente: Revista Acero Inoxidable 62

Autovía del Mediterráneo (ESPAÑA)



Fuente: Revista Acero Inoxidable 74



Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

Queensferry Crossing (ESCOCIA)





Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

ASIA & ORIENTE MEDIO

Palacio Qasr al Alam Guest, Muscat (Sultanato de Oman)



Estructuras de corrugado de acero inoxidable de Arminox | Fotografías cortesía de Arminox

Ampliación de la zona Jebel Ali Free (Emiratos Árabes Unidos)

Puerto Sohar (Sultanato Oman)

Puente Sheikh Zayed, Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos)

Museo de Arte Islámico, Doha (Qatar)

Ras Laffan Gas Loading Piers (Qatar)

Pearl Island, Doha (Qatar)



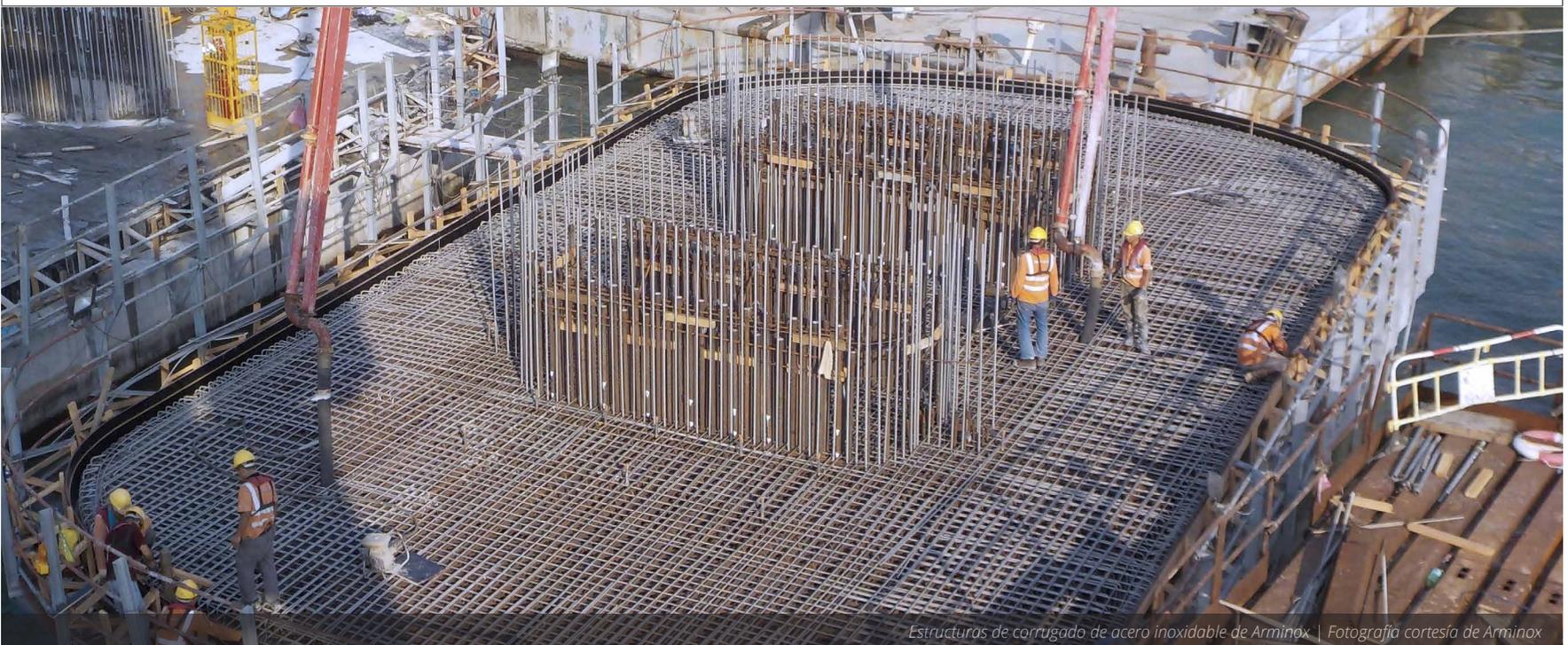
Proyectos desarrollados con CORRUGADO INOXIDABLE DE ROLDAN

Puente en Sitra (Bahrain)



Puente Shenzhen Western Corridor (Hong Kong)

Puente Hong Kong – Macao





APLICACIONES ESTRUCTURALES

Causas de fallo en estructuras de hormigón armado

El corrugado de acero inoxidable es un producto similar a la ferralla de acero al carbono en cuanto a sus dimensiones y forma pero con la característica especial de que su composición química es la de un acero inoxidable, que asegura un mejor comportamiento frente a la corrosión y dota al material de unas propiedades mecánicas, según el tipo inoxidable empleado, similares o superiores a las del acero al carbono. Este producto se emplea para armar hormigones en zonas concretas donde existe alto riesgo de que la armadura sufra problemas de corrosión, estos problemas pueden causar que la estructura llegue a colapsar.

Puente construido con corrugado de acero común en 1960

Existen dos causas fundamentales por las que una estructura de hormigón armado con acero al carbono puede acabar fallando por problemas de corrosión. La primera de ellas es la **CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN** y la segunda es el **ATAQUE POR CLORUROS**. Mientras que la primera puede darse en cualquier ambiente seco, la segunda está muy relacionada con los ambientes donde pueda existir la presencia de iones cloruro, que aunque preferentemente se relacionan con ambientes costeros existen en otros ambientes como en los que se utilizan sales para el deshielo en invierno, que pueden ser igualmente agresivos.

Puente Progreso, México



Puente construido con barra de acero inoxidable en 1930





APLICACIONES ESTRUCTURALES

Causas de fallo en estructuras de hormigón armado

1

CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN

En un estado inicial la barra corrugada de acero al carbono permanece inalterada, embebida y protegida por la alcalinidad del hormigón que presenta un Ph alrededor de 12,5. Sin embargo, a medida que el hormigón empieza a reaccionar con la atmósfera, comienza a carbonatarse, en presencia del CO₂ atmosférico. Su Ph va disminuyendo hasta llegar a un punto, por debajo de 9,5, en el cual se rompe la capa pasiva del acero al carbono y comienza la oxidación.

Hay que destacar que los aceros inoxidable, en general, incluidos los tipos ferríticos, más económicos, no son susceptibles a este tipo de corrosión por carbonatación del hormigón, ya que su capa pasiva, formada por óxido de cromo, permanece inalterable y se autoregenera, en presencia de oxígeno, a partir del contenido de cromo de su composición.

Es muy importante recordar que los óxidos de hierro que se forman en la superficie del acero al carbono,

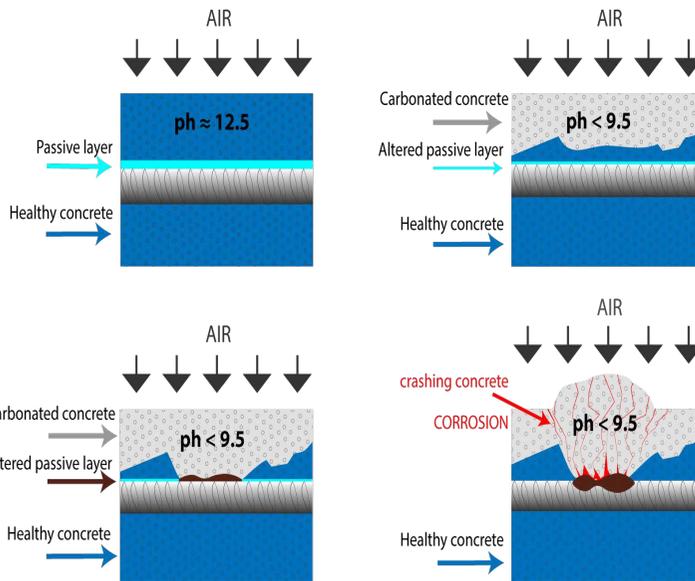
tienden a aumentar su volumen a medida que se van oxidando. Como la barra aún está embebida en el hormigón, se empiezan a generar tensiones entre el óxido que quiere expandirse y el hormigón que lo contiene. Estas tensiones acaban derivando en la generación de grietas y fisuras por donde se propagan los esfuerzos y que puede hacer que incluso el hormigón se acabe desprendiendo dejando la armadura totalmente expuesta.

En el caso del **ATAQUE POR CLORUROS** hay que considerar que este ión cloruro es

2

muy agresivo, y tiene mucha afección por los metales. En el caso concreto de estructuras de hormigón en ambiente con presencia de cloruros lo que genera la corrosión es la llegada del ion cloruro a contactar con la superficie del acero al carbono.

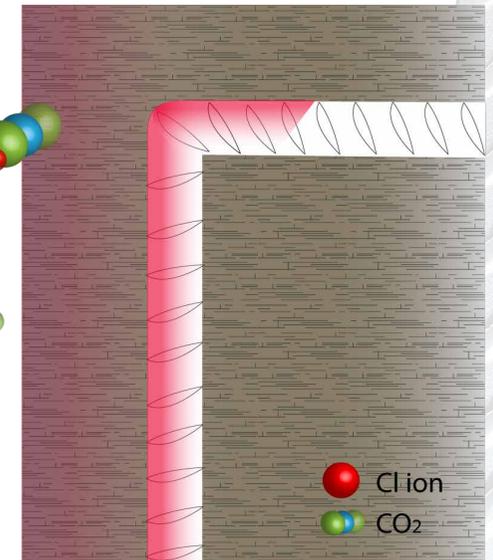
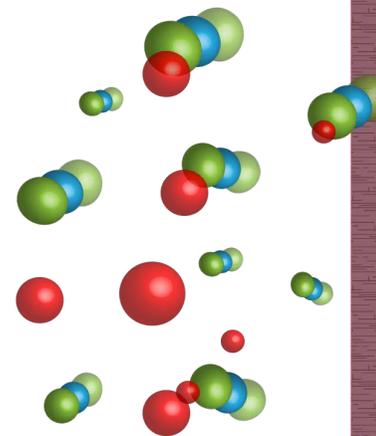
La capa de hormigón sobre la armadura es la barrera que debe protegerla de su alcance, pues una vez entra en contacto con el acero al carbono, ya sea por la porosidad o fractura o por la lenta difusión a través de éste, se empieza a producir una oxidación regular y continua que deriva en grietas y tensiones que incluso producen la rotura de esa capa de hormigón.



Carbonatación



Ataque por cloruros

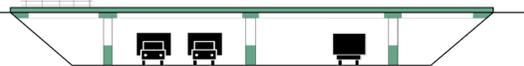




RENTABILIDAD CORRUGADO DE ACERO INOXIDABLE

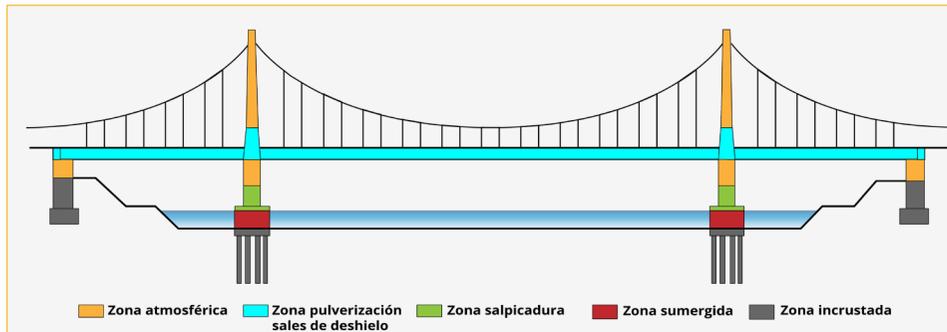
Cuando se plantea el empleo del corrugado inoxidable en una infraestructura se limita normalmente a las zonas críticas del proyecto, que por su situación son susceptibles de sufrir corrosión. De esta forma se busca una larga vida de las infraestructuras con un asumible bajo incremento de su coste.

En un puente en tierra firme, esas zonas son las juntas de dilatación de los tableros y su unión con los pilares. En puentes o túneles donde se emplean cloruros en forma de sales para luchar contra el hielo, el corrugado se puede emplear en la parte más superficial del tablero (evitando que la sal de deshielo vertida sobre el asfalto corra a la plataforma), y en la parte más baja de los pilares, donde las salpicaduras de agua con sales van a incidir sobre el pilar. Todo ello puede observarse en el siguiente esquema, donde las zonas en verde señalan las zonas preferentes de utilización del inoxidable.



En todos aquellos casos en que se requiera larga durabilidad de la estructura y ésta pueda verse reducida por problemas relacionados con la corrosión, debe considerarse el empleo del acero inoxidable.

Rebarino



Zona Atmosférica:

En esta zona, la infraestructura se encuentra solamente expuesta a la atmósfera, y el riesgo de corrosión de la armadura del hormigón difiere según la localización del puente. En los puentes situados en zonas geográficas interiores la atmósfera es en general de baja agresividad, por lo que estos puentes no son propensos a la corrosión, pero los puentes localizados cerca o sobre el agua de mar tienen una mayor posibilidad de corrosión, en esa zona atmosférica. Por lo tanto un corrugado inoxidable tipo lean dúplex (ACX 903-EN 1.4482), o incluso el tipo ferrítico (ACX 702-EN 1.4003) se pueden considerar para puentes, en zona atmosférica junto al mar.

Zona de pulverización de sal de deshielo:

En las zonas de rodadura de puentes y zonas aledañas, donde se utilicen sales de deshielo, los corrugados inoxidables dúplex (ACX 915-EN 1.4362 o ACX 917-EN 1.4462) son una opción adecuada.

Zona de salpicadura:

La zona de salpicadura es un ambiente corrosivo severo y necesita una excelente protección contra la corrosión en presencia de cloruros. Los tipos dúplex (ACX 915-EN 1.4362 o ACX 917-EN 1.4462) son adecuados para este fin.

Zona sumergida:

Aunque la zona sumergida en agua salada es menos corrosiva que la zona de salpicadura, por la menor presencia de oxígeno, los ingenieros de diseño pueden considerar el uso de un acero inoxidable ferrítico (ACX 702-EN 1.4003).

Zona incrustada:

La zona embebida en el terreno tiene a menudo un bajo potencial de corrosión según el contenido y la composición del suelo. Aquí, un tipo ferrítico (ACX 702-EN 1.4003) puede proporcionar una solución adecuada.

Caso 1: AMBIENTE AGRESIVO

Cuando el ambiente donde va a situarse la estructura es muy agresivo, lo que normalmente se produce en localizaciones con altas temperaturas y elevada concentración de cloruros, es alto el riesgo de corrosión de las armaduras.

En el caso de las siguientes imágenes se muestra un puente, sobre el mar, en Bahrein para el que los pilares se han reforzado por medio de armaduras de corrugado de acero inoxidable.



Puente de Sitra, Bahrein



RENTABILIDAD CORRUGADO DE ACERO INOXIDABLE

Caso 2: SALES DE DESHIELO

En un ambiente con heladas frecuentes, donde la forma de combatirlas es el empleo de sales, es conveniente el empleo del acero inoxidable.

Al verter sales para fundir y licuar el hielo, éste pasa a encontrarse en estado líquido pudiendo filtrarse a través de la estructura y derivar en problemas de corrosión.

En esta autopista de Montana, en el estado de Nevada, cerca de la frontera con Canadá, en invierno, las temperaturas son extremas por lo que se debe luchar contra la formación de hielo para que la autopista no se cierre. Se actúa empleando sales. Para evitar posibles problemas derivados de la corrosión, se ha decidido situar corrugado de inoxidable en la primera capa justo debajo del asfalto de manera que de producirse una filtración, ésta no sea crítica.



Estructuras de corrugado de acero inoxidable de Arminox
| Fotografías cortesía de Arminox

Montana Highway, USA



Caso 3: PLANTAS DESALINIZADORAS

La presencia de iones cloruro requiere de la presencia de inoxidable en sus instalaciones. En el caso concreto del corrugado de acero inoxidable, este se emplazaría en las cimentaciones.

Caso 4: PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Los diferentes reactivos químicos que contienen cloruros pueden derivar en corrosión de las armaduras. Así por ejemplo el empleo de cloruro de hierro puede reaccionar con el corrugado de acero al carbono, dando lugar a una corrosión fatal..



Saudi Arabia MED (Multi Effect Desalination) evaporator facilities

Acero Inoxidable

Coste inicial

Otro material

Costes de obra adicionales

Coste de sustitución

Coste de mantenimiento

Coste inicial



RENTABILIDAD CORRUGADO DE ACERO INOXIDABLE

Caso 5: LARGA VIDA ÚTIL

Existen numerosos ejemplos de empleo de corrugado en rehabilitación que han resultado ya dañadas por la corrosión y deben aún tener una larga vida útil.

El empleo de corrugado inoxidable en los cosidos de una rehabilitación no supone normalmente una gran cantidad de material ni aumento significativo de su coste y es en ocasiones la única solución que garantiza una larga durabilidad con una resistencia estructural adecuada.



La Sagrada Familia, Barcelona, Spain (fotografía de Internet)

Caso 6: INSPECCIONES Y REPARACIONES DIFÍCILES Y COSTOSAS

Existen estructuras cuya inspección y reparación puede suponer un coste muy elevado, para las que la mejor forma y más económica, de garantizar su resistencia y prevenir posibles problemas de corrosión es el empleo del corrugado de acero inoxidable.

Para puentes sobre el mar, las posibles reparaciones a realizar sobre un pilar conllevarían la creación de una zona estanca donde trabajar, el empleo de buzos y equipos especiales ,etc..

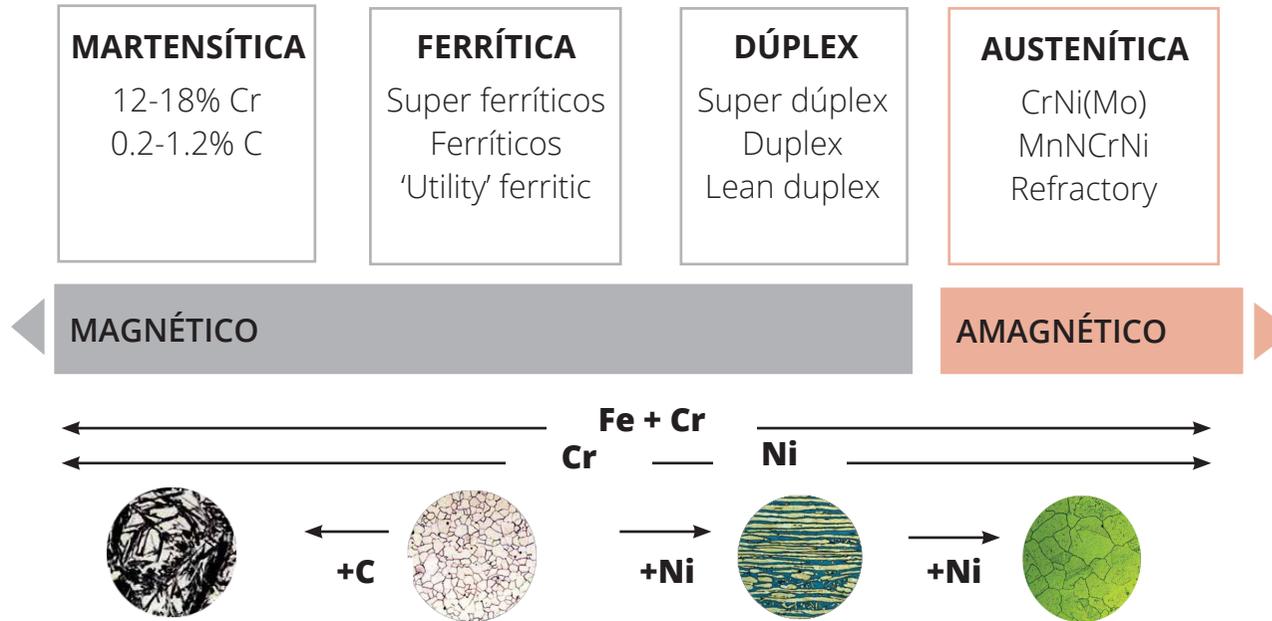


SZ Bridge, Abu Dhabi (fotografías cortesía de Arminox para la revista Acero Inoxidable)



ACERO INOXIDABLE

FAMILIAS



En función de la composición química y los elementos de aleación, podemos dividir el acero inoxidable en cuatro grandes familias: martensítica, ferrítica, dúplex y austenítica.

La familia **austenítica** es la mayoritariamente empleada, se caracteriza por su carácter no magnético y su elevada ductilidad.

Los **dúplex** aúnan una excelente resistencia a la corrosión junto con elevadas propiedades mecánicas y son los más empleados en corrugado.

Los **ferríticos** tienen un menor contenido en aleantes y por tanto un precio más competitivo siempre que su menor resistencia a la corrosión sea la adecuada.

Los **martensíticos** destacan por su elevada dureza pero no se suelen emplear como corrugado.

Rebarino



ACERO INOXIDABLE

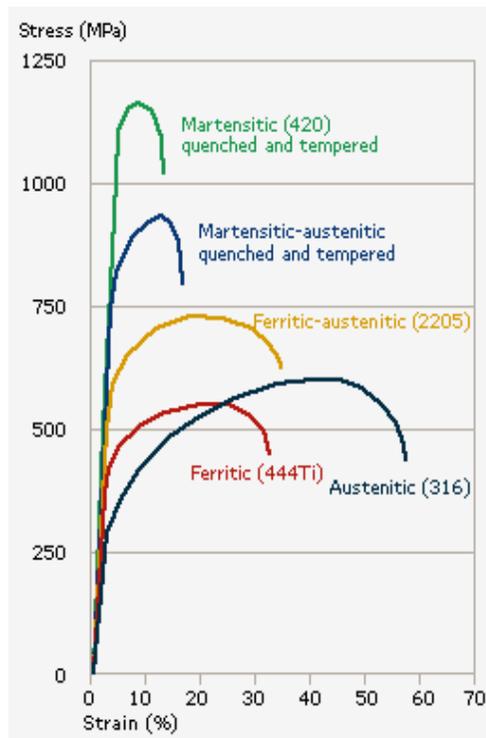
PROPIEDADES MECÁNICAS

1 CURVAS DE TENSIÓN DEFORMACIÓN

La normativa internacional exige un $R_{p0,2\%} \geq 500$ Mpa, lo que se garantiza en cada caso incidiendo sobre los parámetros de laminación de cada tipo.

A modo orientativo, el corrugado de acero inoxidable cumple, como mínimo, lo siguiente:

PROPIEDADES MECÁNICAS			
$R_{p0,2}$ min MPa	R_m min MPa	A_5 min %	A_{gt} min %
500	540	14	5
Certificación CARES Mayores valores bajo consulta			



2 $PREN = Cr + 3,3Mo + 16N$

Los ambientes agresivos con elevados contenidos de cloruros son en general un factor crítico de corrosión para la mayor parte de los metales, agravado en caso de mayores temperaturas.

La elección del acero inoxidable correcto que garantice su resistencia es muy importante y dependerá de las condiciones particulares de servicio, como tasas existente de exposición a cloruros, temperatura, ph, durabilidad exigida, etc.

Una de las maneras más frecuentes de valorar la resistencia a la corrosión por picaduras de los diferentes tipos de aceros inoxidables es la del **PREN (Pitting Resistance Equivalent Number)**. A mayor PREN, mayor resistencia a la formación de picaduras y corrosión localizada en presencia de cloruros y otros líquidos reductores.

En la tabla adjunta se señalan valores típicos de PREN, para diversos tipos de aceros inoxidables normalizados, calculados según la fórmula de PREN y sus composiciones químicas correspondientes.

Resistencia a la corrosión/ Corrosion resistance class (CRC)	Pitting resistance equivalent number (PREN)	Tipo apropiado conforme a UNE EN 10088-1
CRC.1	$10 < PREN \leq 20$	1.4003
CRC.2	$20 < PREN \leq 25$	1.4482
CRC.3	$25 < PREN \leq 30$	1.4362
CRC.4	$PREN > 30$	1.4462

$$PREN = Cr + 3,3Mo + 16N$$

En el caso de los aceros dúplex suele utilizarse para su cálculo el último sumando como 30%N)





ACERO INOXIDABLE

EL ACERO INOXIDABLE ADECUADO

Condiciones de exposición conforme EHE-08 & EUROCÓDIGO

CLASE (ambiente)	SUBCLASE	DESIGNACION		PROCESO		ACERO INOXIDABLE RECOMENDADO	
		EHE-08	EUROCÓDIGO			EN	ACX
No agresivo		I	X ₀	Ninguno	Áreas interiores con baja humedad	No necesario	
NORMAL	Alta humedad	IIa	X _{C1} /X _{C2}	<ul style="list-style-type: none"> Corrosión debido a la carbonatación Origen diferente de cloruros 	<ul style="list-style-type: none"> Áreas interiores con humedad >65% Áreas exteriores con lluvia frecuente o moderada 	1.4003	702
	Humedad media	IIb	X _{C3} /X _{C4}			1.4482	903
MARINO	Aéreo	IIIa	X _{S1}	Corrosion due to chlorides	Estructuras cerca de costa	1.4362	915
	Sumergido	IIIb	X _{S2}		Estructuras sumergidas		
	Carrera de mareas	IIIc	X _{S3}		<ul style="list-style-type: none"> Piscinas cubiertas Tratamiento de aguas 	1.4462	917
con CLORUROS NO MARINOS		IV	X _{D1} /X _{D3}	Áreas expuestas al ataque del hielo y deshielo		1.4482	903
HELADA	NO SALES DE DESHIELO	H	X _{F1} /X _{F3}	Ataque de sales de deshielo		1.4362	915
	SALES DE DESHIELO	F	X _{D1} /X _{D3}			1.4462	917
						1.4401/1.4404*	339
Las siguientes situaciones pueden ocurrir independientemente o en combinación con las anteriores.							
QUÍMICA- MENTE AGRESIVO	BAJO	Q _a	X _{A1}	Ataque químico		1.4003	702
	MEDIO	Q _b	X _{A2}			1.4482	903
	ALTO	Q _c	X _{A3}			1.4362	915
						1.4462	917



* Tipos recomendados para temperaturas por debajo -50°C, bajo consulta



ACERO INOXIDABLE vs MATERIALES ALTERNATIVOS

Hemos visto anteriormente que la protección de las armaduras de aceros al carbono se basan en la capa protectora de hormigón que los cubre, siendo en ese caso importante a considerar, el empleo de un hormigón de alta calidad y una capa de suficiente profundidad hasta la armadura, que la proteja el mayor tiempo posible.

Los diversos materiales alternativos al inoxidable basan también su protección en la propia resistencia a la corrosión de esas armaduras, tanto frente a la carbonatación como al contacto con cloruros u otros elementos agresivos que puedan entrar en contacto.

1 EPOXY. Consiste en aplicar un recubrimiento epoxy al corrugado de acero al carbono. Tiene como ventaja su coste inicial más económico que el del acero inoxidable, pero por el contrario al tratarse de un recubrimiento superficial en cuanto se rompe en algún punto, deja de hacer su función y es incluso más perjudicial al producirse una corrosión localizada, más agresiva y rápida. Por ello debe tener especial cuidado en el doblado.

La formación de posibles burbujas durante el vertido del hormigón en su instalación pueden derivar en poros por los que comience una oxidación, y no es resistente a las altas temperaturas (soldadura o fuego)

2 GALVANIZADO Recubrimiento superficial, presenta los mismos problemas que el epoxy en caso de fractura en algún punto, por lo que no se puede doblar, y hay que vigilar convenientemente su puesta en obra para evitar fisuras. Una limitación importante es que en piezas con mucho mecanizado este tratamiento superficial debe hacerse con posterioridad al doblado, y es complicado garantizar el mismo espesor de recubrimiento en



Galvanizado

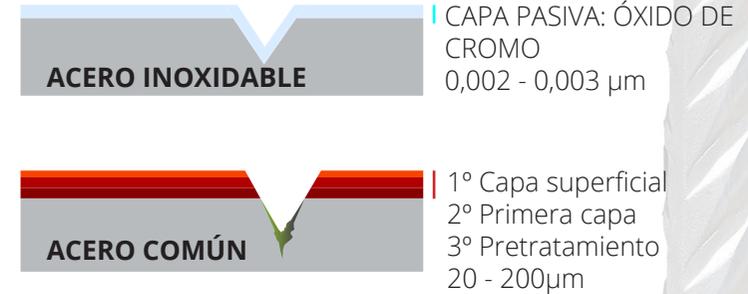
toda la pieza. Además de que hay piezas que por dimensión no se pueden tratar fácilmente.

Al fin de la vida útil de la infraestructura, la capa superficial de zinc del galvanizado debe ser tratada antes de su reciclado como chatarra, lo que supone un coste adicional a considerar.

3 POLÍMEROS DE FIBRA REFORZADA: Este producto tiene varios problemas para las operaciones de doblado, donde el plástico puede partir.

La resistencia a altas temperaturas de los plásticos es muy inferior a la de los

Durabilidad



metales por lo que no ofrece garantías frente a accidentes con fuego ni permite usos a altas temperaturas. Finalmente al tratarse de materiales plásticos, en caso de un reemplazo o reparación, los materiales retirados deben ser tratados convenientemente como residuos contaminantes.

4 PROTECCIÓN CATÓDICA: Consistente en hacer que la armadura metálica se comporte como un cátodo de manera que no exista en la misma diferencias de potencial galvánico que den problemas de corrosión. Esto se consigue mediante el empleo ánodos de sacrificio, con materiales de menor potencial galvánico y aportando una corriente continua a la misma armadura.

Tiene la ventaja de que se puede monitorizar pero la instalación o el diseño son más complejos y los ánodos de sacrificio tienen una duración alrededor de los 25 años frente a los 100 que garantiza el inoxidable adecuado.



Rebarino





ALGUNAS CONCLUSIONES

- 1 Altamente resistente a la corrosión frente a los iones cloruro presentes en el agua de mar y las sales de deshielo (mientras que el acero al carbono tolera concentraciones críticas máximas de cloruros del orden del 0,4% en peso de cemento, el acero inoxidable es resistente en concentraciones hasta 10 veces mayores, según el tipo inoxidable utilizado, pH y temperatura).
- 2 No requiere una alta alcalinidad del hormigón, debido a su autoprotección.
- 3 El uso de corrugado de acero inoxidable permite reducir la profundidad de la capa de hormigón que lo cubre.
- 4 Simplifica la selección del tipo de hormigón utilizado y elimina el uso de selladores para hormigón, como protección de la armadura contra la difusión de CO_2 e iones cloruro.
- 5 Aumenta la vida útil y evita trabajos de reparación y mantenimiento de infraestructuras.
- 6 Tiene un coste competitivo cuando se localiza su uso en áreas de alto riesgo de corrosión.
- 7 El acero inoxidable es totalmente reciclable, sin coste alguno, al final de la vida útil de la infraestructura. Por el contrario, su valor como chatarra es alto, dependiendo del precio de sus materias primas en ese momento particular.

cedi nox

Corrugado de acero inoxidable para armaduras

Creado por Cedinox, Asociación para la investigación y desarrollo del acero inoxidable. www.cedinox.es

Cedinox. Todos los derechos reservados, ©Madrid 2018



Rebarino 