

Resumen del contenido

Finalidad de este documento:

Material didáctico para docentes de Arquitectura e Ingeniería Civil. Puede ser utilizado como un todo o como secciones separadas

Preparado por un grupo de trabajo del ISSF

Miembros:

- Eduardo Carragueiro (Böllinghaus)
- Thiery Cremailh (Schmolz + Bickenbach)
- Bernard Heritier (ISSF)
- Clara Herrera (Deutsche Edelstahl Werke)
- Jun Ishikawa (ISSF)
- Marco Massazza (Cogne Acciai Speciali)
- Thomas Pauly (Euro-Inox)
- Luis Peiro (Acerinox)

* International Stainless Steel Forum, Avenue de Tervueren 270, B-1150 Brussels www.worldstainless.org

Revisado por un comité asesor

Miembros:

- Prof. Dinar Camotim (Instituto Superior Técnico , Lisboa, Portugal)
- Prof. Katherine Cashell (Brunel University, London, UK)
- Prof. Christelle Gress (Ecole Nationale d'Architecture, Strasbourg, France)
- Prof. Laura Daglio (Politecnico Milano, Italy)
- Prof. Helmut Hachul (Fachhochschule Dortmund, Germany)
- Prof. Satish Kumar (Indian Institute of Technology, Chennai, India)
- Prof. Satoshi Nara (University of Osaka, Japan)
- Prof. Esther Real (Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain)
- Prof. Barbara Rossi (KU Leuven, Belgium)
- Prof Antonio Santa-Rita (Universi Lusofona ... Lisboa, Portugal)
- Prof. Pedro Vellasco (Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brazil)

Contenidos

1. Acero inoxidable en Arte

2. Aplicaciones - arquitectura

1- Fachadas 2 – Jardines verticales 3 – Tejados 4 – Decoracion Interior 5 – Fontaneria 6 – Ascensores y elevadores 7 – Aeropuertos 8 – Mobiliario urbano 9 – Rehabilitacion 10 – Estadios 11 – Piscinas

Aplicaciones - infraestructura

1 - Distribución de agua 2 – Puentes 3 - Infraestructuras costeras

3. ¿Porqué usar el acero inoxidable?

4. ¿Qué son los aceros inoxidables?

5. Resistencia a corrosión

6. Propiedades mecánicas

7. Aplicaciones estructurales

A – Corrugado B – Producto plano


























8. Acabados en acero inoxidable

9. Unión y fabricacion de aceros inoxidables

10. Formas y suministro

11. Sostenibilidad






Asociaciones para la promoción y difusión del acero inoxidable en el mundo: dónde encontrar información y descargas

Asociación	Website	Country/Region	Social media
ISSF	worldstainless.org	Global	   
Abinox	abinox.org.br	Brazil	  
ASSDA	assda.asn.au	Australia	  
BSSA	bssa.org.uk	United Kingdom	  
Cedinox	cedinox.es	Spain	
Centro Inox	centroinox.it	Italy	
IMINOX	iminox.org.mx	Mexico	  
ISER	edelstahl-rostfrei.de	Germany	 
ISSDA	stainlessindia.org	India	  
JSSA	jssa.gr.jp	Japan	
KOSA	kosa.or.kr	Korea	  

Asociaciones para la promoción y difusión del acero inoxidable en el mundo: dónde encontrar información y descargas

Asociación	Website	Country/Region	Social media
NZSSDA	nzssda.org.nz	New Zealand	 
PASDER	turkpasder.com	Turkey	
SASSDA	sassda.co.za	South Africa	  
SSINA	ssina.com	North America	
CSSC	cssc.org.cn	China	
SSN	stalenierdzewne.pl	Poland	
Swiss Inox	swissinox.ch	Switzerland	
TSSDA	tssda.org	Thailand	
USSA	ussa.su	Russia	
ICDA	icdacr.com	Global	 
IMOA	imoa.info	Global	 
Nickel Institute	nickelinstitute.org	Global	  

Asociaciones para la promoción y difusión del acero inoxidable en el mundo: dónde encontrar información y descargas

Asociación	Website	Country/Region	Social media
Construiracier	construiracier.fr/tout-sur-lacier/les-aciers-inoxydables/	France	    
Team Stainless	Stainlessconstruction.com	Global	
Stainless Steel Training Portal	issftraining.org	Global	

Material didactico de apoyo para
docentes en Arquitectura o
Ingenieria Civil

Capitulo 01

Arte

**Localización:**

Falkirk, Escocia

Material:Acero estructural
recubierto con acero
inoxidable tipo 316L
(S31603)**Dimensiones:**

30 metros altura

Peso:

300 tons cada uno

Año creación:

2013

Andy Scott: The Kelpies ^{1,2}

Andy Scott: “El concepto original de los mitológicos caballos del agua fue un punto de partida interesante para el desarrollo artístico de las estructuras. Partiendo de ese concepto lo desarrolle hacia una respuesta más equina y contemporánea, moviendome desde las referencias mitológicas hacia un monumento histórico y social con el fin de celebrar el rol de los caballos en la industria y agricultura así como su obvia asociación con los canales como remolcadores.”

**Localización:**

Bruselas, Belgica

Material:

Acero inoxidable pulido 1.4404 (316L)

Dimensiones:

102 metros de altura con un diametro de cada esfera de 18m

Peso:

2400 toneladas

Año construcción:

1958

Diseño: A. Waterkeyn Arquitectos: A. and J. Polak: Atomium ^{3, 4}

El Atomium fue construido para la Exposición Universal de Bruselas de 1958. Sus nueve esferas están conectadas de manera que el conjunto forme la figura de una unidad celular de un cristal de hierro aumentado 165 billones de veces. Fue renovado en un periodo de 3 años entre 2004 y 2006. La remodelación incluyó el reemplazo de las descoloridas planchas de aluminio por acero inoxidable. La CNN le denominó como el edificio más extravagante de Europa. Es una las mayores atracciones de Bruselas.

**Localización:**

St. Louis, MO, USA

Material:

Cobertura de acero inoxidable AISI 304

Dimensiones:

192m altura

Peso:

4164 toneladas

Año construcción:

1965

Diseñador: E. Saarinen Ingeniero: H. Bandel: Gateway Arch ^{5, 6}

Con la intención de ser *“Un adecuado y permanente memorial a los hombres que hicieron posible la expansión hacia el oeste de los Estados Unidos...”*, La “Gateway” de San Louis tiene una altura de 192 m, siendo el arco más alto del mundo y el símbolo de la ciudad de Saint Louis. El arco pesa 4164 toneladas, de las cuales 803 se corresponden con forro acero inoxidable AISI 304.

**Localización:**

Chicago, USA

Material:

Chapas de acero inoxidable AISI 316 con pulido espejo especial.

Dimensiones:

10m x20m x 13 m

Peso:

110 toneladas

Año construcción:

2004

Sir Anish Kapoor: Cloud Gate ^{7, 8}

Cloud Gate es el primer trabajo público al aire libre del artista británico Anish Kapoor instalado en los Estados Unidos. La escultura elíptica de 110 toneladas está compuesta de una serie perfecta de placas de acero inoxidable altamente pulidas, que reflejan el horizonte famoso de Chicago y las nubes del cielo. Un arco de 12 pies de altura proporciona una "puerta" a la cámara cóncava debajo de la escultura, invitando a los visitantes a tocar su superficie como un espejo y ver su imagen reflejada desde una variedad de perspectivas. Inspirado por el mercurio líquido, la escultura es una de las más grandes de su tipo en el mundo.



Localización:
Normandy, Francia

Material:
Acero inoxidable 2205
y 316L

Dimensiones:
9m altura

Peso:

Año construcción:
2004

Anilore Banon: Les Braves^{9 - 11}

Este monumento se encuentra en la playa conocida como Omaha Beach en el pueblo de St. Laurent-sur-Mer en Normandía, Francia y conmemora a los soldados que cayeron en las playas de Normandía el día D, 6 de junio de 1944. El monumento fue inaugurado el 5 de junio de 2004, por el 60 aniversario del desembarco.

**Localización:**

Museo de arte de Toledo, Toledo, OH, USA

Material:

Acero inoxidable pintado

Dimensiones:

377 cm x 235m x 245 cm cada una

Peso:**Año construcción:**

2010

Jaume Plensa: Mirror I and II 12, 13

El principal concepto de esta pieza es el diálogo. Las dos figuras están mirándose una frente a otra en perpetua y silenciosa conversación. El título *Mirror*, es el acto que cada figura realiza sobre la que tiene enfrente, actuando como reflejos de lo que el otro piensa y sueña. Existe espacio suficiente entre las dos figuras para el espectador para estar y participar de la conversación. Las figuras están modeladas con letras de 8 alfabetos-Árabe, Chino, Griego, Indú, Hebrero, Japones, Latín y Ruso. El artista considera este diálogo e interacción como capital para aprender, y lo que es más importante, como vía de entendimiento entre pueblos y culturas.

**Localización:**

Guggenheim Museo,
Bilbao, España

Material:

Bronce, mármol y acero
inoxidable

Dimensiones:

9mx10mx12m

Peso:**Año construcción:**

1999

Louise Bourgeois: Maman ¹⁴

El título *Maman* resalta las contradicciones dinámicas en el corazón de la escultura. ¿Porqué una araña? *“Porque mi mejor amiga ha sido mi madre, y era reflexiva, prudente, lista, paciente, reconfortante, razonable, delicado, sutil, indispensable, limpia y tan util como una araña. Es capaz de defenderse a si misma y a mi, rehusando contestar preguntas “estupidas, inquisitivas, embarazosas y personales.”*

**Localización:**

Helsinki, Finlandia

Material:

600 tubos de acero inoxidable

Dimensiones:

8.5 m altura, 10.5m de longitud, and 6.5m de profundidad

Peso:

24 toneladas

Año construcción:

1967

Eila Hiltunen: Sibelius Monument (1967) ¹⁵

El monumento a Sibelius en Helsinki, Finlandia, está dedicado al compositor finés Jean Sibelius. Con un peso cercano a las 24 toneladas, la escultura está realizada con más de 600 tubos de acero inoxidable, soldados conjuntamente de forma tal que represente los tubos de un órgano.

**Localización:**

Oslo, Noruega

Material:Acero inoxidable y
paneles de cristal**Dimensiones:**

12m x 17 by 16 m

Peso:**Año construcción:**

2010

Monica Bonvicini: Hun Ligger (She Lies) ¹⁶

Se trata de una instalación permanente, que flota en el agua en medio de un fiordo sobre una plataforma de hormigón cercana a la ópera de Oslo, que se eleva 12m sobre la superficie del agua. La escultura gira sobre su eje en función de la marea y del viento, ofreciendo experiencias distintas a través de los reflejos del agua y sus superficies transparentes.

**Localización:**

Jerusalen

Material:Acero inoxidable
pulido**Dimensiones:**5m altura and 5m de
diámetro**Peso:****Año construcción:**

2010

Sir Anish Kapoor: Turning the world upside down ¹⁷

Esta pieza de acero inoxidable de 5 m de altura y 5 de diámetro, voltea la totalidad de la ciudad de Jerusalen hacia el cielo, resaltando la importancia espiritual de Jerusalen como ciudad santa.



Localización:
Reykjavík, Iceland
Material:
Acero inoxidable
Dimensiones:
9 m x 18 m x 7 m
Peso:

Año creación:
1990

Jon Gunnar Arnason: Sun Voyager ¹⁸

“Sun Voyager es un barco de sueños, una oda al sol. Intrínsecamente, contiene dentro de él la promesa de territorios por descubrir, el sueño de una esperanza, progreso y libertad. La escultura está situada en Sæbraut, cerca del mar, en el centro de Reykjavík, Islandia.



Localización:
Trentham Gardens, UK

Material:
Alambre de acero
inoxidable

Dimensiones:

Peso:

Año creación:

Robin Wight: Fantasywire ¹⁹

El escultor británico Robin Wight crea dramáticas escenas de hadas agarrando dandelios, enredados en los arboles, o suspendidos en el aire, todos densamente creados con duiferentes formas de alambre inoxidable. El artista tiene actualmente diferentes piezas a la vista en Trentham Gardens.

<http://www.fantasywire.co.uk/>



Localización:
Versailles, France
Material:
Acero inoxidable
Dimensiones:
3m x 1.5m x 4m
Peso:

Año creacion:
2009

Joana Vasconcelos: Marylin (2009) ²¹

Marilyn toma la forma de un elegante par de sandalias de tacón alto, a gran escala resultado de emplear ollas con sus respectivas cubiertas.

**Localización:**

Tuxtla Gutierrez, Mexico

Material:

Acero inoxidable recubierto

Dimensiones:

48m (62m contando la base)

Peso:

2000 toneladas

Año construcción:

2007

Arquitecto Jaime Latapi Lopez: Cristo de Chiapas ²¹

El "Cristo de Chiapas" es una impresionante cruz, forrada con un acero inoxidable coloreado en oro que acentúa la figura de Cristo y brilla reflejando la luz del sol.

**Localización:**

New York, USA

Material:

Acero inoxidable de alto contenido en Cromo con una cubierta transparente

Dimensiones:

357 x 218 x 121 cm

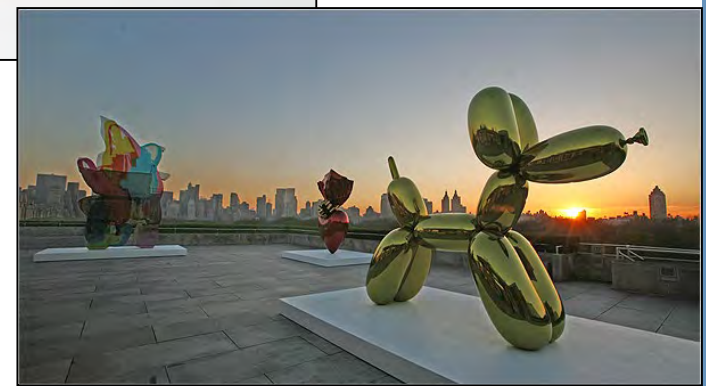
Peso:**Year created:**

1 de 5 versiones únicas
1994–2007

Jeff Koons: Sacred Heart Red/Gold ... ²²

“...comentarios ácidos sobre la degradación comercial de las emociones y experiencias religiosas.”

(NY Times)





Localización:

Material:

Acero inoxidable 316L

Dimensiones:

71 cm x 41 cm x 41 cm

Peso:

Año construcción:

Gil Bruvel: Dichotomy ²³

Inspirado en las complejidades de vivir plenamente en muchos mundos a la vez, Dichotomy plantea una reflexión sobre el tema y celebra la natural dualidad de la existencia. Compuesta de “frangas de energía” que buscan capturar el proceso de integrar todos los niveles del ser con el objetivo de lograr la plenitud humana, la escultura refleja la fuerza natural y la silenciosa majestuosidad inherente al proceso de integración de los diferentes niveles de existencia. Como resultado, la escultura ocupa un sereno espacio de meditación abrazando la dicotomía sobre las existencias: alma y animus, hombre y mujer, consciencia e inconsciencia, sueño y despertar.



Localización: Charlotte, NC, USA

Material: Acero inoxidable

Dimensiones: 8 m de altura

Peso: Emplea 14 toneladas de acero inoxidable

Año construcción: 2011

David Černý: Metamorphosis ²⁴

La estructura consta de 7 capas separadas que rotan intermitentemente, diseccionando las características de la escultura. Dispone de programas de control automatizados para realizar diferentes coreografías. Cada motor tiene un sistema que le permite conocer la posición de cada pieza en cada momento, permitiéndole mover cada una de ellas durante las secuencias. Este movimiento es controlado a través de internet por el propio diseñador y representa una continuación de sus trabajos que incorpora ingeniería mecánica e informática a sus diseños como una parte integral del mismo. Un video de la escultura en movimiento puede verse en el siguiente enlace www.metalmorphosis.tv

**Ubicación:**

A medio camino entre Oslo y Trondheim, Noruega

Material:

Acero inoxidable 316 pulido

Medidas:

H: 10,3 m

L: 11,5 m

Peso:

Año de creación: 2015

Linda Bakke: The Big Elk²⁵ (El Gran Alce)

El Gran Alce, diseñado por la artista noruega Linda Bakke, se alza sobre el área de descanso Bjøråa en Stor-Elvdal una localidad a mitad de camino entre Oslo y Trondheim en Noruega. Este monumento, aparte de su belleza intrínseca, sirve para captar la atención de los conductores y mejorar la seguridad en carretera al invitarles a parar, estirar las piernas y descansar.

Además el Gran Alce centra la atención en los animales que son un símbolo de la región.

El Fondo de Arte de Sparebanken Hedmark proporcionó 2 millones de coronas noruegas (207.000€) para realizar la escultura.

<http://lindabakke.webs.com/sculptureskulptur.htm>



Ubicación : París
 Plaza Augusta Holmes
Materiales :
 Acero inoxidable,
 cristal y plástico
Medidas :

Peso :
Año de creación :
 2008

Chen Zhen: La danse de la fontaine émergente (La danza de la fuente emergente) ²⁶

La Fuente, diseñada por el artista chino-francés recuerda a un dragón que traza su camino alrededor de la plaza, emergiendo y sumergiéndose de la calzada. La piel transparente del dragón muestra el agua que fluye dentro. La fuente tiene 3 partes. Un dragón en bajorrelieve que emerge desde la pared de la planta de suministro de agua y se sumerge en el subsuelo. La segunda y tercera parte del dragón, ambas transparentes, parecen salir arqueadas del asfalto. El agua a presión fluye dentro y se ilumina de noche. La fuente fue encargada por la Ciudad de París en 1999 e inaugurada el 6 de febrero de 2008. Aunque el artista falleció en el año 2000, dejó bocetos donde especificaba cómo debería ser la fuente y fue completada por Xu Min, esposa y colaboradora del escultor. La fuente costó 1.200.000€, en gran parte financiada por la Ciudad de París y el Ministerio de Cultura de Francia

Fuentes: Wikipedia y <https://www.parisladouce.com/2013/03/paris-la-danse-de-la-fontaine-emergente.html>



Ubicación: Barcelona, España
Material: acero inoxidable
Medidas: H: 38 m, L: 58 m
Peso: no disponible
Año de creación: 1992

Frank Gehry: El pez dorado²⁷

El Pez Dorado es una escultura de entramado en forma de pez ondulado con la boca abierta. Fabricada en acero inoxidable, y piedra. Sus escamas de acero inoxidable coloreado color cobre, brillan bajo el sol del Mediterráneo y cambian su apariencia, según la posición del sol y las condiciones meteorológicas, acentuando la forma orgánica de esta gran escultura.

El Pez Dorado, cuyo nombre en catalán es “Peix d’Or”, fue diseñado para el puerto y la villa olímpica de Barcelona en 1992. La estructura de acero coloreado sirve como dosel para el área comercial que une el lujoso Hotel Arts al paseo marítimo cerca del puerto deportivo olímpico. Es uno de los más apreciados e impresionantes enclaves del paseo marítimo de Barcelona.

<http://www.barcelonaturisme.com/wv3/en/page/1232/peix-fish-frank-gehry.html>



Ubicación: Shanghai, China
Material: acero inoxidable
Medidas: H: 8 m, L: 12 m
Peso: no disponible
Año de creación: 2015



Zhan Wang + Atelier Deshaus: Pabellón de las Flores (Blossom Pavilion)²⁸

El punto de partida del Proyecto fueron las esculturas de acero inoxidable de la Serie “Rockery” de Zhan Wang, en las que el artista ha estado trabajando desde 1995. Atelier Deshaus reinterpretó esas formas como elementos estructurales, queriendo crear un pabellón esculpido en un jardín de rocas. Seis esbeltas columnas en forma de roca sujetan un sólido tejado de acero, rematado por plantas y flores. Las columnas reflectantes están colocadas aleatoriamente en lugar de en los puntos estructurales más eficientes, para enfatizar la idea de rocalla.

<https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo>



Material: acero inoxidable
Medidas: tamaño natural
Peso: no disponible
Año de creación: -

Martin Debenham: sirena 3²⁹

El escultor británico contemporáneo Martin Debenham crea esculturas de alambre de acero inoxidable inspiradas en fantasía y naturaleza. Trabaja con un material maleable que tiene un potencial infinito, la creciente colección de arte en alambre del artista autodidacta, se caracteriza por impresionantes estructuras ejecutadas tras intrincados giros, curvas y soldadura experta. Como si fueran dibujos tridimensionales, muchas de las obras de Debenham se han realizado para el exterior. Cuando se colocan en entornos naturales, parecen evocar narrativas míticas brillando al sol. Por ejemplo, una sirena esculpida de alambre de una pieza se sienta sobre una roca en un estanque de lirios, como si estuviera pensando en saltar a nadar. Cada filamento de alambre se esculpe en curvas que forman el cuerpo femenino, que termina en una larga cola de sirena.

<https://mymodernmet.com/wire-sculptures-martin-debenham/>



Localización:

Material:

Acero inoxidable
pulido y coloreado

Dimensiones:

3 paneles de 1mx1m
cada uno

Weight:

Año de

construcción:

2011

Robert Gahr: Surge³⁰

Mural escultórico

Localización:

Material:

Dimensiones:

2.1m altura

Peso:

Año construcción:



Ralfonso Karo: #1 Kinetic Wind Sculpture ³¹

25 elementos de acero inoxidable en forma de diamante, interconectados y con balanceo propio, moviéndose independientemente cada uno de ellos en función del viento. Pincha [here](#) para ver video (4':51'')



Location: S. Korea

Material: Acero
inoxidable pintado

Dimensiones:
273x160x95cm

Weight:

Año de creación:
2017

**NUEVO
2019!**

Sun Hyuk Kim: Memoria olvidada ^{32, 33}

El artista Sun-Hyuk Kim toma como inspiración los complejos sistemas de las raíces arbóreas que podemos encontrar en la naturaleza para, dándoles forma, contruir una forma humana. De cada figura escultórica brota una rama o, a veces, un árbol pequeño, que parece ser algún tipo de híbrido humano-botánico. Las grandes esculturas de acero inoxidable presentan fragmentos de caras, cuerpos sin cabeza y figuras agachadas hacia el suelo como si estuvieran sobrepasadas por un gran peso sobre sus espaldas. Las esculturas minimalistas de Kim nos permiten proyectarnos en cada una de sus piezas. Comunican fragilidad. Todos sabemos cómo se siente ser arrastrado en diferentes direcciones y el estado a menudo incómodo de crecimiento y cambio que esto conlleva. Pero al tener este conocimiento, nos conecta y nos recuerda que la experiencia humana es vasta y cambiante, como la de un árbol.

Y existen muchos más!

<http://www.worldstainless.org/applications/art>

Si tienes en mente algún otro trabajo artístico reseñable en inoxidable, por favor haznoslo saber!



Referencias (1/3)

ACTUALIZADO
2019!

1. <http://www.andyscottsculptor.com/>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/The_Kelpies
3. <http://atomium.be/>
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Atomium>
5. <http://www.gatewayarch.com/>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_Arch
7. http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/dca/supp_info/millennium_park_artarchitecture.html
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_Gate
9. <http://saintluciasculpturepark.com/portfolio/anilore-banon/>
10. <http://www.war-memorial.net/The-Braves---Les-Braves-1.292>
11. <https://www.youtube.com/watch?v=yHkOQWPZhyM>
12. <https://jaumeplensa.com/works-and-projects/public-space/mirror-2012>
13. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2011/mar/30/jaume-plensa-show-at-yorkshire-sculpture-park>
14. <https://www.theguardian.com/arts/gallery/2007/oct/03/spider>
15. <http://www.eilahiltunen.net/monument.html>

Referencias Arte (2/3)

ACTUALIZADO
2019!

16. <http://monicabonvicini.net/work/she-lies/>
17. <http://anishkapoor.com/111/turning-the-world-upside-down>
18. <https://www.gpsmycity.com/attractions/sun-voyager-28054.html>
19. <http://twistedgifter.com/2014/07/wire-fairy-sculptures-by-robin-wight/>
20. <http://megaconstrucciones.net/?construccion=cristo-chiapas>
21. http://joanavasconcelos.com/det_en.aspx?f=2393&o=933
22. <http://www.jeffkoons.com/artwork/celebration/sacred-heart>
23. <http://www.bruvel.com/exhibitions/houston-art-fair-2015>
24. <http://twistedgifter.com/2011/10/metalmorphosis-sculpture-david-cerny/>
25. <https://www.dailyscandinavian.com/the-worlds-biggest-elk-statue-in-norway/>
26. <https://www.parisladouce.com/2013/03/paris-la-danse-de-la-fontaine-emergente.html>
27. <http://www.barcelonaturisme.com/wv3/en/page/1232/peix-fish-frank-gehry.html>
28. <https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo>

Referencias Arte (3/3)



29. <https://mymodernmet.com/wire-sculptures-martin-debenham/>
30. [http://www.gahr-metalart.com/artworks/metal wall art.htm](http://www.gahr-metalart.com/artworks/metal_wall_art.htm)
31. <http://www.ralfonso.com>
32. <https://mymodernmet.com/sun-hyuk-kim-stainless-steel-sculptures/>
33. <https://www.sunhyuk.com/sculpture>

Material didáctico de apoyo para
docentes en Arquitectura o
Ingeniería Civil

Capítulo 2
Aplicaciones

Contenidos

1. Fachadas
2. Fachadas verdes y jardines verticales
3. Tejadoss
4. Decoración
5. Tuberías
6. Escaleras y ascensores
7. Aeropuertos
8. Mobiliario urbano
9. Rehabilitación
10. Estadios
11. Piscinas

Fachadas

REVISADO

Referencias (1/2):

1. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Facades_SP.pdf
2. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Innovative_facades_SP.pdf
3. <http://www.archiexpo.com/architecture-design-manufacturer/stainless-steel-facade-cladding-2964.html> Más ejemplos aquí!
4. <http://www.steelcolor.com.au/westfield-doncaster/>
5. <http://wikimapia.org/7695594/Cleveland-Clinic-Lou-Ruvo-Center-for-Brain-Health#/photo/3116187>
6. <http://cambridgearchitectural.com/>
7. <https://newyorkbygehry.com/>
8. <http://archinect.com/firms/project/39353/edf-archives-center/9174600>
9. http://greatbuildings.com/buildings/Weisman_Art_Museum.html
10. <http://www.arcspace.com/features/moshe-safdie-/kauffman-center-for-the-performing-arts/>
11. <http://pattersons.com/civic/len-lye-contemporary-art-museum/>
12. http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/SI_Mar08.pdf
13. <http://www.archilovers.com/projects/30432/centrale-termica-teleriscaldamento-iride-energia.html>
14. <http://www.skyscrapercenter.com/building/capital-gate-tower/3172>

Fachadas

Referencias (2/2):

15. <http://www.dailymail.co.uk/travel/article-1284591/Abu-Dhabi-Capital-Gate-skyscraper-leans-times-Tower-Pisa.html>
16. <http://www.e-architect.co.uk/dubai/capital-gate-abu-dhabi>
17. <http://hda-paris.com/>
18. <https://www.parisinfo.com/musee-monument-paris/71198/La-Geode>
19. http://issuu.com/hda_paris/docs/hda_2011_references_web_issu
20. <http://5osa.tistory.com/entry/Cepezed-and-Ned-Kahn-Studios-Vertical-Canal-fa%C3%A7ade-Utrecht-Netherlands>
21. <http://www.reseaux-artistes.fr/dossiers/beatrice-dacher/architecture-sully-2006-2010>
22. <http://www.marneetgondaire.fr/les-albums-photos/album-photos-490/le-chateau-de-rentilly-renaissance-en-2013-230.html?cHash=d2d475c49fe75ee015495efb35c04460>
23. <http://www.marneetgondaire.fr/le-parc/les-espaces-1705.html>
24. <http://www.dezeen.com/2007/08/20/boiler-suit-by-thomas-heatherwick>
25. http://www.gkdmediamesh.com/blog/the_role_of_metallic_mesh_in_transforming_stadium_architecture.html



En sentido horario desde arriba a la izquierda:

1. Fachada del centro comercial Westfield Doncaster en Victoria, Australia ⁴
2. Parasol realizado en malla de inoxidable en la fachada de un colegio cerca de Whashington, DC, USA. Reduce brillo, energía y ofrece una buena visibilidad ⁶
3. Malla de acero inoxidable sobre patio, Arizona, USA. Maximiza la protección solar mientras permite el paso de aire ⁶
4. Centro de investigación médica Lou Ruvo diseñado por Frank Gehry, Las Vegas, USA ⁵

Fachada de acero inoxidable de 285m de altura en edificio de apartamentos , New York, USA. Arquitecto: Frank Gehry ⁷



Acero inoxidable reflectante insertado en una pared de hormigón para una biblioteca, Bure-Saudron (51), Francia⁸





Museo de arte F. R. Weismann , Minneapolis, EEUU (1993)

Arquitecto: Frank Gehry⁹

Gehry: "Siempre pensé que la arquitectura trata sobre los materiales. Observando a mis amigos artistas trabajando directamente sobre ellos, el producto adecuado es aquel que parece correcto, real, aceptable y no forzado o artificial."

Para el museo Weisman, Gehry escogió el acero inoxidable. Su resplandeciente, reflectante, pero extramadamente duradera superficie, ha dotado al edificio de una identidad única.



Centro de artes escénicas Kauffman, Kansas City, EEUU (2011)
Arquitecto: Moshe Safdie; Ingeniería: Arup¹⁰

La cara norte del edificio, que mira directamente al centro urbano de Kansas City, recrea una serie de arcos forrados en acero inoxidable que emergen desde el suelo como una ola. Desde la cresta, un techado curvo de vidrio descende hasta el nivel de la calle con unas dimensiones de 65 pies de alto por 330 de largo. Este tejado de vidrio aporta luminosidad y unas vistas panorámicas de la ciudad de Kansas City. La fachada de vidrio está sustentada mediante anclajes y 27 cables tensionados que recuerdan las cuerdas de un instrumento.



Centro Len Lye , New Plymouth, Nueva Zelanda
Arquitecto: A. Patterson¹¹

Una fachada de 14m de altura realizada con 32 tons de acero inoxidable 316 acabado pulido espejo.



Oficinas centrales del metro , India
Arquitecto: Raj Rewal & Associates¹²

El estudio de arquitectura Raj Rewal & Associates optó por un revestimiento con acero inoxidable para este edificio en Nueva Delhi, valiéndose de una cercha tubular de acero inoxidable que mezcla paneles de inoxidable con otros de vidrio.



Instalación de calefacción urbana, Torino, Italy

Arquitecto: JP Buffi¹³

Este edificio de calefacción ha sido revestido con paneles curvos.

Los flejes de acero inoxidable coloreados en color cobre han sido colocados para obtener espacios huecos por donde entre la luz a la instalación .



Capital gate Tower (2010), Abu Dhabi **Arquitectos: RMJM Architects**¹⁴⁻¹⁶

La estructura adosada tan característica está realizada en acero inoxidable, desciende desde la planta 19 hasta el suelo. Se trata de un elemento de diseño destinado a reducir en un 30% la incidencia de la radiación solar, reduciendo la temperatura de la torre. La estructura también gira hacia el sur para proteger la torre lo máximo posible de la incidencia directa del sol.

La citada estructura está compuesta de 580 paneles que hacen un total aproximado de 5000 m² de malla de acero inoxidable.



Fachada de cristal¹⁷

Una telaraña de barras de acero inoxidable unidos mediante conectores sostiene la fachada de cristal, maximizando la cantidad de luz incluidas las esquinas.



Fachada con vidrio, Paris ¹⁸

La fachada de cristal está soportada por una ligera pero muy resistente estructura de acero inoxidable.

La esfera al fondo es conocida como « la geoda » un recinto de espectáculos con un revestimiento en acero inoxidable situado dentro de la «Cité des Sciences et de l'industrie»



Fachada de cristal, Paris¹⁸



Fachada con malla en edificio de oficinas,Utrecht, Holanda¹⁹

Arquitectos: Cepezed

Esta fachada de 3000 m² realizada en malla de acero inoxidable sostiene discos plásticos transparentes.

El viento hace vibrar la malla y mueve los discos, resultando en increíbles efectos de ondas y luces.



Edificio de bajo consumo energético, Nantes, Francia ²⁰

Arquitectos: FORMA 6 & B. Dacher

Las intrincadas formas realizadas por corte con laser sobre el acero inoxidable dan a este edificio un aspecto espectacular.



Centro académico Mc Gowan , Washington, DC, EEUU Malla Parasol⁶

El centro académico McGowan Academic es un edificio en colegio comunitario.

El edificio esta provisto de un atrio integrado con una fachada ventilada situada en el centro del edificio que mira directamente al este en las horas de la mañana.

El parasol de acero inoxidable reduce el brillo durante el dia así como la cantidad de aire acondicionado necesaria para enfriar en los meses de verano. Los parasoles metálicos convencionales no pudieron emplearse en esta ocasion dado que la visibilidad era crucial, y no ofrecian suficiente luz de malla.

Rehabilitación del castillo de Rentilly, Francia²¹⁻²³



Izquierda: Antes
Dejabo: Después

Un edificio de arte contemporáneo en el parque de un château.

La fachada ha sido revestida de un acabado espejo en acero inoxidable.

Xavier Veilhan,
arquitecto:

*«... el edificio era una
sombra de lo que fué...»*

*Quería paredes que
reflejasen el parque
circundante... »*





St Guy Hospital , Londres²⁴
Arquitecto: T. Heartherwick

Se trata de una fachada única para cubrir el edificio de calderas que provee al hospital. Está realizado gracias a 180 azulejos ondulados entretejidos de acero inoxidable que se iluminan de noche para provocar una especial bienvenida a los trabajadores y visitantes que acudan al hospital de noche.



American Airlines Arena, Miami, EE.UU

Fabricado con 315,87 m² de tela metálica arquitectónica de acero inoxidable con perfiles LED entrelazados, la pantalla Mediamesh® de Miami proporciona a los visitantes del Arena una vista libre del interior y contenido digital atrayente en el exterior. Tiene una altura de 3 plantas (12,8 m de alto y 243,8 m de ancho). La fachada Mediamesh de Miami es 4 veces mayor que una valla publicitaria estándar. El Arena alberga a más de 1,3 millones de visitantes al año en conciertos, eventos familiares y deportivos.

2. Jardines verticales

Referencias:

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/VertGardens SP.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/VertGardens%20SP.pdf)
2. <http://www.ronstantensilearch.com/melbourne-city-council-chambers-northern-green-facade/>
3. <http://www.jakob.co.uk/information/image-galleries/greenwall-systems-gallery/large-scale-greenwall-systems.html>
4. [http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/11291/1/Price u md 0117N 11876.pdf](http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/11291/1/Price_u md_0117N_11876.pdf)
5. <http://www.architectureartdesigns.com/30-incredible-green-walls/>

Sobre jardines verticales

Los jardines verticales son un elemento arquitectónico emergente, aportando una enorme cantidad de beneficios al edificio, haciéndolo más ameno y habitable, a la vez que realiza un control térmico y mejora la calidad del aire.

El empleo de cables, conectores y malla de acero inoxidable por donde puedan trepar las plantas, constituye una alternativa al sistema tradicional.

La aplicación de este sistema sobre fachadas existentes es fácil y sencillo.



Jardin Vertical¹

Edificio con transformadores eléctricos, Barcelona. Anclajes y cables de acero inoxidable soportan las plantas.



Jardines verticales para edificios de apartamentos² (asequible en cualquier parte)



Ventajas :

- Mejora el aislamiento
- Reduce el ruido
- Enfria con micro-clima
- Fomenta la biodiversidad
- Mejora la calidad del aire (filtra)
- Estico
- Bueno psicológicamente
- Positivos efectos colaterales económicos y sociales

Los cables y anclajes son en acero inoxidable



Jardines verticales para edificios de apartamentos²

Los beneficios de reintroducir a la madre naturaleza en el creciente entorno antinatural son tan evidentes que el el Gobierno Australiano ha creado el Green Building Council of Australia (GBA) con el objeto de abogar por un adecuado desarrollo sostenible.



Coberturas vegetales verticales

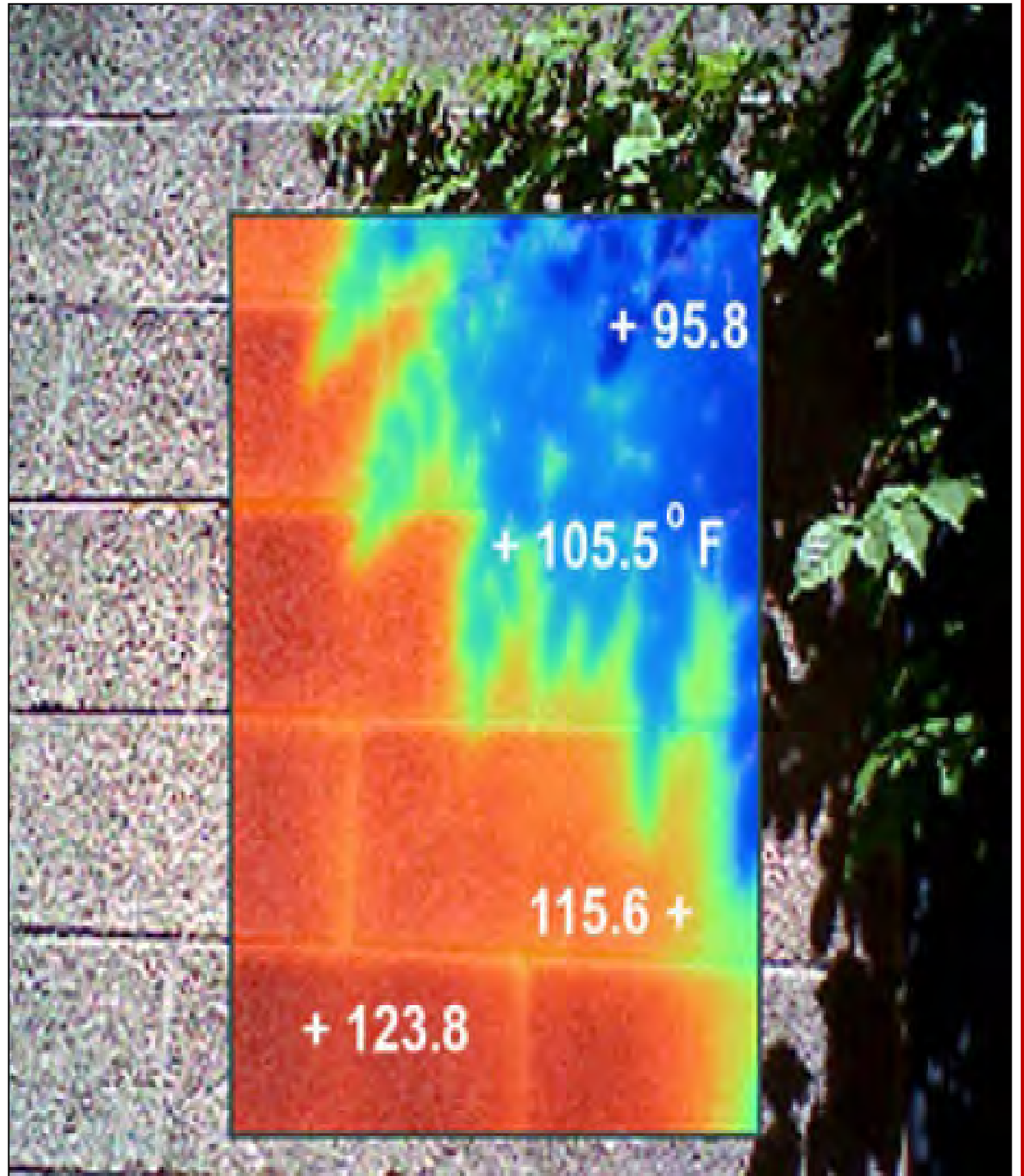
Salas del ayuntamiento de Melbourne: El sistema de enrejado en acero inoxidable, así como sus componentes, constituyen una perfecta estructura para las plantas trepadoras, transformando una superficie acumuladora de calor, en vibrantes jardines verticales.





Jardin vertical⁴

Fotografía en infrarrojos demostrando las temperaturas alcanzadas en la superficie de un edificio, Tampa, AZ. °F, ref. 4.





Cables y anclajes


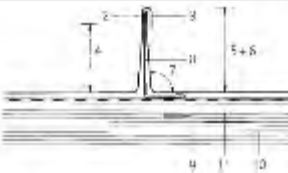
Los sistemas en acero inoxidable son fáciles de instalar

3. Tejados

Referencias:

1. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Roofing_SP.pdf
2. http://ssina.com/download_a_file/roofing.pdf
3. <http://www.worldstainless.org/About%20stainless/videos>
4. <http://www.bssa.org.uk/cms/File/The%20Growing%20Market%20for%20Stainless%20Steel%20Roofing.pdf>
5. O. Wallinder and C. Leygraf ASTM Special Technical Publication N°1421, « Outdoor Atmospheric Corrosion » pp 185-199
6. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Parliament_Library_Building_Domes.pdf
7. http://www.architectureweek.com/2003/1022/design_1-3.html
8. <http://www.fosterandpartners.com/projects/uae-pavilion-shanghai-expo-2010/>
9. <http://www.hok.com/design/service/engineering/hamad-international-airport/>
10. <https://www.rigidized.com/exteriorscmt.php>
11. a) <http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I.pdf>
b) <http://www.wbdg.org/resources/cool-metal-roofing>
12. http://www.constructalia.com/repository/transfer/en/01921518ENLACE_PDF.pdf
13. <http://www.rigidized.com/saveenergy.php>
14. <http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I.pdf>
15. www.cambridgearchitectural.com/

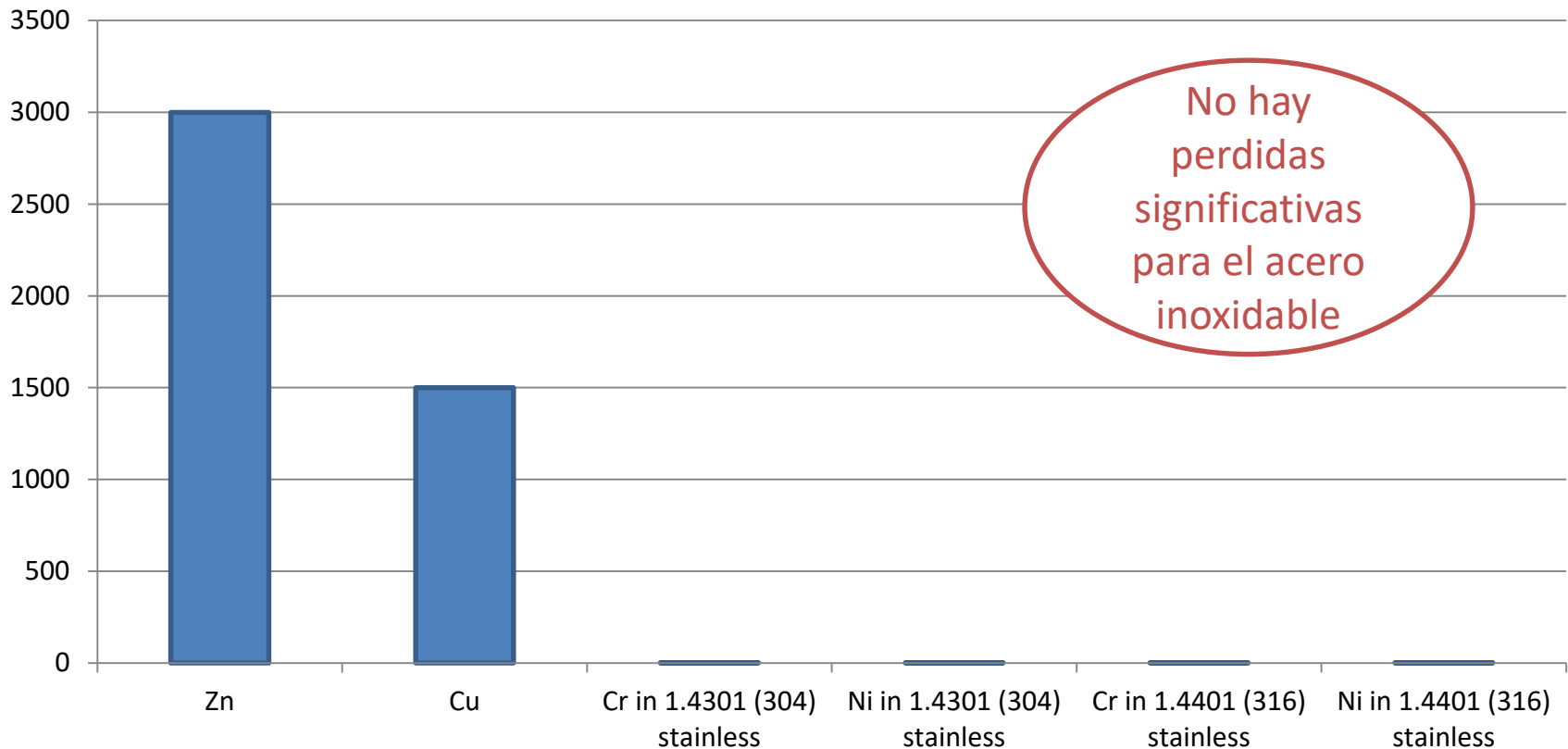
Características más comunes de los tejados con acero inoxidable¹⁻⁴

	Inclinado (>3%)	Horizontal
Material	Ferriticos 1.4509 1.4510	Austeniticos 1.4301 1.4401
Unión	Mecanica	Soldada (por la acumulación de agua)
		 <ol style="list-style-type: none"> 1 Stainless steel strip 2 Continuous seam weld 3 Folded top of standing joint 4 Height to seamweld about 16 mm 5 Height of joint before folding about 30 mm 6 Height of joint after folding about 20 mm 7 Angle of about 92° 8 Sliding cleat 9 Stainless fastener 10 Acoustic/protective membrane 11 Supporting structure
Acabado Superficial	Mate o con recubrimiento (Sn)*	Mate o 2B (cuando hay una capa superior)
Èspesor	0,5mm; 0,4 mm para elementos que deban aguantar agua de lluvia Permite una estructura más ligera	
Durabilidad	La vida util del edificio	
Otras	Adecuado para tejados verdes En rehabilitación puede instalarse directamente sobre el tejado	

* En algunas zonas el Cu y el Zn están restringidos por ser ecotoxicos y poder lixivarse con el agua de lluvia

Perdidas de metal por agua de lluvia, algo a tener en cuenta⁵

Principalmente en el norte de Europa ... Para garantizar la calidad del agua, su disponibilidad y reutilización



Biblioteca del Parlamento en Delhi⁶⁻⁷

Arquitecto: Raj Rewal Associates



1. Izquierda : Vista general, con el parlamento al fondo.

2. Derecha: Vista de la cupula central

La biblioteca, de unos 55,000 m², tiene su altura limitada para evitar obstruir la visión del Parlamento. La cupula central, contiene un entramado tubular y de cable realizado en acero inoxidable que converge en nódulos reguladores de tensión. La segunda cúpula, conocida como la cúpula VIP, también está realizada con tubos de acero inoxidable y tiene un diámetro de 16m y una altura de 2,5m.

En sentido horario desde esquina superior izquierda:¹

1. Tejado de una iglesia en acero inoxidable, Leicester, UK
2. Restaurante escolar, Oyonnax, Francia
3. Universum Science centre, Bremen, Alemania





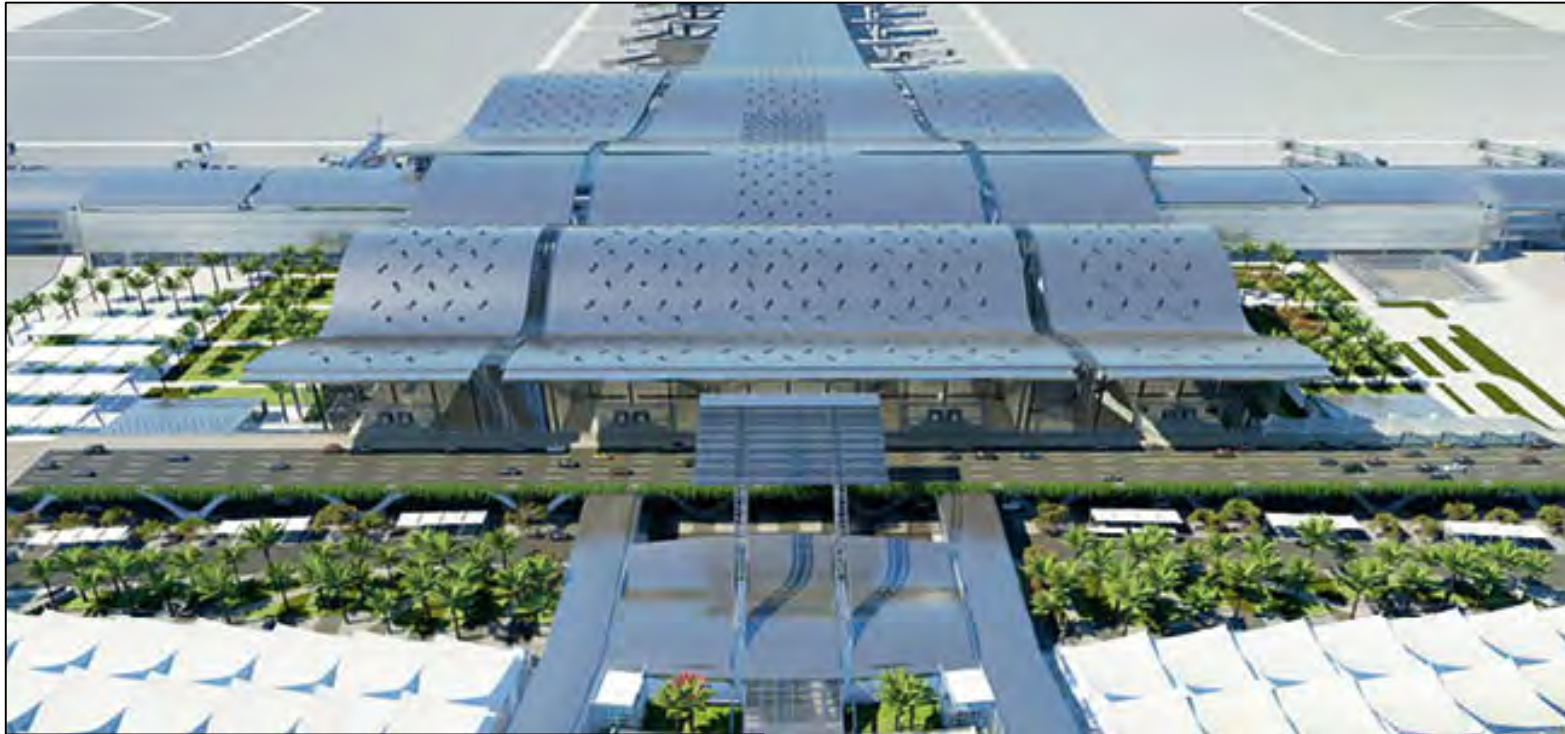
Pabellón de Emiratos Arebes Unidos en la expo de Sanghái⁸

Arquitectos: Foster & Partners

La estructura en forma de duna está realizada a partir de un entramado triangular recubierto con paneles coloreados de acero inoxidable. Fué diseñado para su posterior desmantelamiento.

Nuevo aeropuerto de Doha , Qatar⁹⁻¹⁰

Arquitectos: HOK



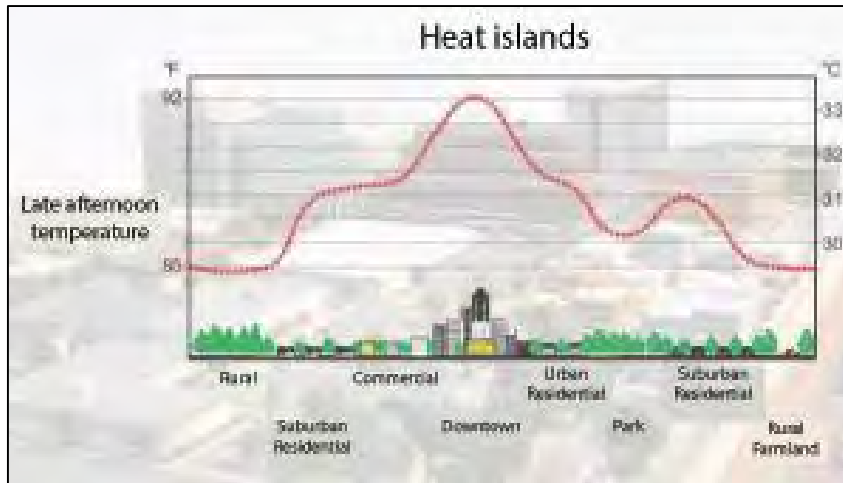
El tejado ondulado está considerado el más grande construido con acero inoxidable (195.000m²).

Está realizado en acero inoxidable en un acabado no direccional, de bajo brillo y texturado de manera uniforme.

El tipo de acero seleccionado fue un lean duplex.

No se requiere mantenimiento.

Tejados verdes^{1-4, 11-12}



Ventajas

- Mitiga las islas de calor
- Reduce el coste
- Promueve la biodiversidad
- Provee aislamiento
- Reduce el riesgo de inundaciones
- Reduce el ruido
- Absorbe el CO₂
- Estético
- Psicológicamente beneficioso
- Consecuencias sociales y económicas positivas

Limites

- Requiere una estructura robusta
- Necesita un know-how apropiado
- Puede requerir agua en verano
- Requiere algo de mantenimiento
- Más caro

Tejados de alta reflectividad

Austin Hall Sam Houston State University Huntsville, Tx, EEUU (1851)

Bajas pérdidas,

tejado de alta reflectividad en acero inoxidable¹³⁻¹⁵

Los albedos de alta reflectividad mitigan las islas calientes en las ciudades.

La reflectividad solar está ahora incluida en LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

SRI (solar reflective index) de los acabados debe ser > 100



Product	Temperature Rise, at C (F)	Solar Reflective Index
Stainless Steel, bare	27 (48 F)	39-60
Galvanized steel, bare	30 (55 F)	46
Aluminum, bare	27 (48 F)	56
Any metal, white coating	9 (16 F)	107
Clay tile, red	32 (5 8F)	36
Concrete tile, red	39 (71 F)	17
Concrete tile, white	12 (21 F)	90
Asphalt, generic white	36 (64 F)	26
Asphalt, generic black	46 (82 F)	1
Wood shingle, brown	37 (67 F)	22
Wood shingle, white	6 (10 F)	106



Parasoles¹⁶

Universidad de Arizona, Centro de investigación Médica & Centro de Bioinvestigación Thomas Keating

Toldo

Malla con abertura del 43%: Maximiza la protección del sol mientras permite el paso del aire.

4. Decoración

Referencias:

1. http://www.seoic.com/cable_railing.htm
2. <http://cambridgearchitectural.com/projects/louisiana-state-university-lsu-student-union-theater>
3. <http://www.twentinox.com/projects/item/36/Transparent+stainless+steel+curtain+panels>
4. <http://www.uginox.com/fr/node/180>
5. <http://www.cedinox.es>
6. <http://www.archilovers.com/projects/58425/mosteiro-da-batalha.html>
7. http://www.theinoxincolor.com/portfolio_category/decorative-mesh-projects/
8. <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/museum-of-contemporary-art-planning-exhibition>

En sentido horario, desde arriba a la izquierda:

1. Escaleras de madera y acero inoxidable (ubicación desconocida)
2. Techo curvo en malla inoxidable (Universidad del estado de Louisiana)
3. Restaurante en Finlandia con separadores transparentes
4. Manecilla





Banco de Francia, Paris, Francia⁴

Arquitectos: Moati -Rivière

Acabado Espejo EN 1.4301 (AISI 304)



Estacion del metro L5 El Carmel, Barcelona, España⁵

Malla de acero inoxidable forrando paredes



Monasterio de Batalha, Portugal⁶

Cortina malla de acero inoxidable

Área abierta 36 %

Peso 0.25 Kg/m²

Paso del cable 0.05 mm.

Paso del alambre 0.13 x 0.13 mm.



Cortina en vivienda/barandilla

Acero inoxidable

Area de paso 44 %

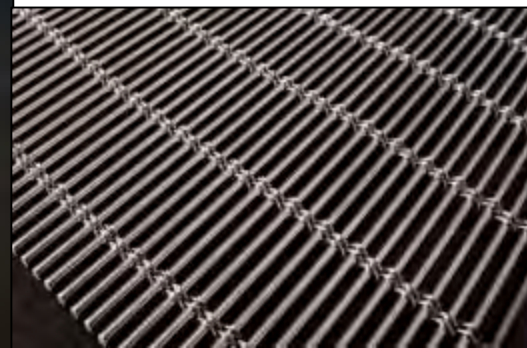
Peso 5,2 Kg/m²

Diametro del cable 4 x 0,75 mm.

Diametro del redondo 1,5 mm.

Paso del cable 26,4 mm.

Paso del alambre 3 mm.





Museo de arte contemporaneo , Shenzhen, China⁸ (en construcción)
Arquitecto: CoopHimmelblau

5. Tubería de acero inoxidable

Referencias:

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/PressFittingSystems EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/PressFittingSystems%20EN.pdf)
2. [http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/TechnicalLiterature/StainlessSteelPlumbing-color-EN 11019 .ashx](http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/TechnicalLiterature/StainlessSteelPlumbing-color-EN%2011019%20.pdf)
3. https://nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=pipes%20for%20buildings&page=1
4. [http://www.bssa.org.uk/cms/File/BSSA%20PLUMBING G%20P.1-4.pdf](http://www.bssa.org.uk/cms/File/BSSA%20PLUMBING%20P.1-4.pdf)
5. [https://www.grohe.de/de de/badezimmer.html](https://www.grohe.de/de_de/badezimmer.html)



Sentido horario, desde la esquina superior izquierda:

1. Tubería sanitaria
2. Tubos unidos con Press-Fitting
3. Fregadero
4. Ducha con luz



Sistemas de tuberías en acero inoxidable

6. Ascensores y escaleras mecánicas

Referencias:

1. <https://www.forms-surfaces.com/elevator-ceilings>
2. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metro_bruelles_la_ufband.jpg
3. <http://cambridgearchitectural.com/projects/ft-lauderdale-hollywood-international-airport-rental-car-center>
4. <http://www.cabworks.com/>

Sentido horario, desde esquina superior izquierda:

1. Ascensor (no especificada la localización)
2. Escaleras mecánicas (Metro de Praga)
3. Pasarela móvil (Metro Bruselas)





Forro con malla de inoxidable en ascensor³

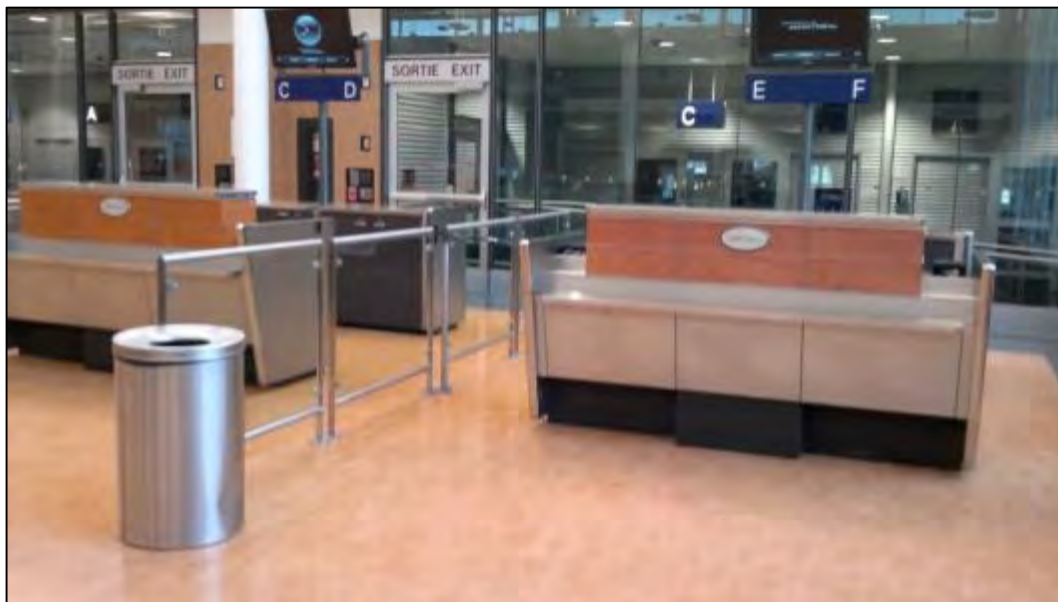


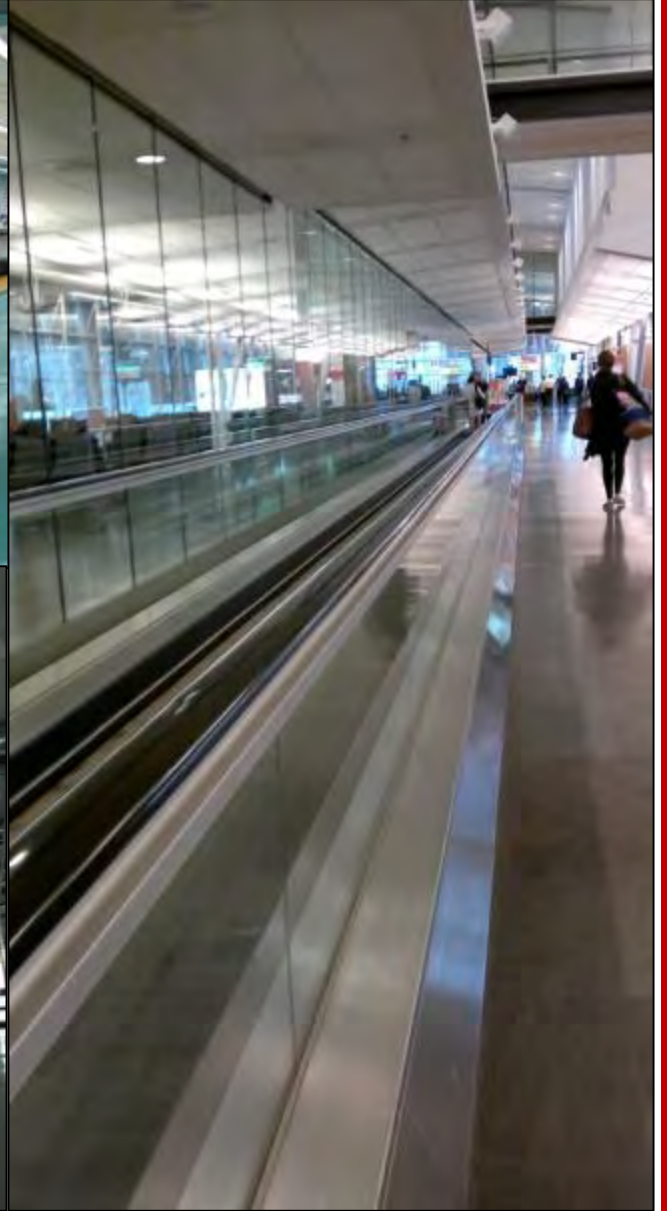
**Entrada a la estación de metro de Kraaiennest
Amsterdam, Holanda⁴**

7. Aeropuertos

Los aceros inoxidables se utilizan en cualquier sitio, ya que los requisitos son de materiales que se espera vayan a ser utilizados por el público 365 días al año manteniendo una apariencia estética excelente:

- Tejados
- Mobiliario urbano
- Mostradores
- Fuentes de agua potable
- Divisiones
- Equipos de ventilación
- Barandillas
- Ascensores, escaleras mecánicas, caminos rodantes
- Cinta de salida de equipajes
- Carretillas
- Cierres
- Etc...





8. Mobiliario urbano

Referencias:

1. <https://www.worldstainless.org/applications/architecture-building-and-construction-applications/street-furniture/>
2. http://norcor.free.fr/piazza_superbe_inox.jpg
3. <http://listraveltips.com/wellington-street-art-stainless-steel-braille-sculpture/>



En sentido horario, desde arriba a la izquierda:

1. Valla cerca de un colegio en Budang, Korea. Tipos: STS439 / STS304 Acabado: 2B / HL / Pulido
2. Barandilla en Gijón, España. Tipo: 316L Acabado: Pulido
3. Barandilla, India
4. Terminal sur Ferry en Lower Manhattan's "See it split, see it change" de Doug and Mike Starn



Sentido horario, desde arriba a la izquierda:

1. Banco en Paulinia (SP), Brasil. Tipo: 304 STS304 Acabado satinado
2. Banco mariposa en San Luis Potosi, Méjico
3. Banco en malla de inoxidable, Francia
4. Farola, Seoul, Korea : STS439 / STS304 / STS304N1 Acabado: 2B / BA / Pulido



Sentido horario, desde la parte superior izquierda:

1. Parada de autobús, Estambul, Turquía. Tipos: AISI 304 y AISI 316 Acabado: 2B / BA / Pulido / Scotch Brite.
2. Aparca bicis, Albenga, Italia. Tipos: EN 1.4301 (AISI 304)
3. Escultura , « Invisible City » , Wellington, Nueva Zelanda
4. Escultura Joana Vasconcelos's titulada « Marylin » y realizada con cacerolas de acero inoxidable



9. Rehabilitación

Referencias:

1. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/New meets Old SP.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/New%20meets%20Old%20SP.pdf)



Izquierda: Entrada en acero inoxidable a la cripta de la iglesia de St Martin-in-the-Field, Londres

Derecha: Acero inoxidable y cristal en la pirámide del Louvre , Paris



Teatro de la Ópera en Verona, Italia

Este grandioso monumento romano data de la primera mitad del siglo 1DC y es conocido como el recinto al aire libre de ópera más importante. La reciente restauración conllevó una nueva cobertura para la zona de la orquesta, así como los bajos y y tuneles subterráneos. Se ha empleado un sistema de tensores en inoxidable con barras roscadas que permiten regular la tensión mientras se garantiza la seguridad y durabilidad.



Teatro Romano, Frejus, Francia

Restauración del teatro romano empleando chapa perforada de 3mm de espesor en el tipo EN1.4571



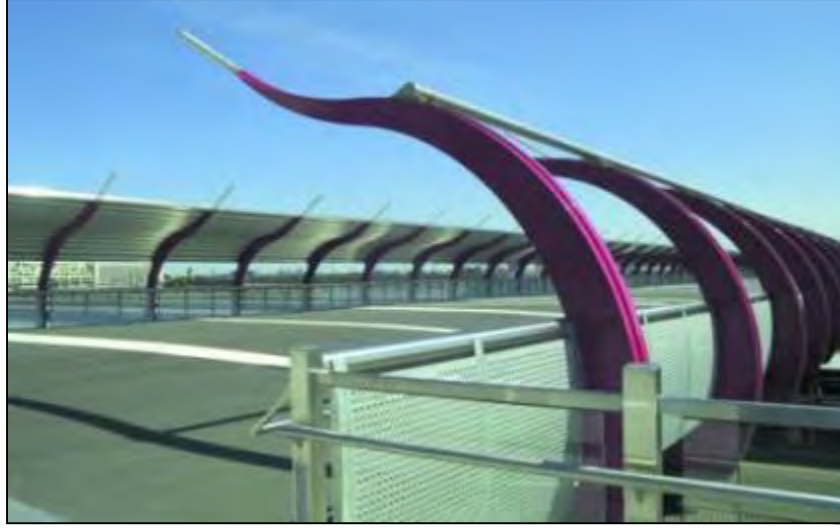
10. Estadios

Referencias:

1. http://www.cmf.co.uk/products/products.asp?id=92&product_id=4
2. <http://www.assda.asn.au/blog/223-stainless-welcome-for-sports-fans>
3. <http://www.controlledaccess.com/>
4. <https://gkd-india.com/metalfabrics/yamuna-sports-stadium>
5. <http://www.vigliecca.com.br/en/projects/castelao-arena#gallery;%20>
6. <http://www.copa2014.gov.br/en/noticia/see-details-castelaos-architecture-project>
7. <http://edorocha.com.br/portfolio/allianz-parque/>
8. <https://www.osram.com/ls/projects/grand-stade-lille/index.jsp>

En sentido horario, desde la parte superior izquierda: ¹⁻³

1. Barandilla en escaleras acceso a zona VIP, Wembley, UK;
2. Tornos Taquillas/consignas;
3. Cubierta acero inoxidable y barandilla en Bourke St puente peatonal hacia el estadio Melbourne's Colonial , Australia





Estadio Yamuna, Delhi, India ⁴

Arquitectos: Peddle Thorb

Con ocasión de los juegos de la Commonwealth en 2010, se contruyó un estadio multifuncional en Nueva Delhi. Con su superficie brillante, gracias a la malla de acero inoxidable instalada en su fachada, el estacio muestra al deporte como un símbolo de modernidad y desarrollo sostenible. El forro de acero inoxidable, con una superficie abierta del 53%, protege a los espectadores del fiero clima subtropical a la vez que constituye una efectiva protección contra el sol.

NUEVO



Estadio Castelão, Fortaleza, Brasil^{5,6}

Arquitecto: Vigliecca & Associados

La fachada ha sido enteramente contruida con chapa de acero inoxidable expandido. Además de la aplicación en el exterior, el acero inoxidable fué empleado en barandillas, pasamanos en las zonas VIPs del estadio, aseos y consignas del estadio. “Hemos optado por la durabilidad que nos ofrece el acero inoxidable, que es esencial en zonas como la fachada, que requiere una adecuada resistencia a la corrosión. Su apariencia de metal noble es muy importante en el sector servicios”, han indicado los responsables del proyecto.



Estadio Allianz Park Palmeiras , Sao Paulo, Brasil⁷

Arquitecto: Edo Rocha Arquitetura

Se trata de uno de los más hermosos estadios del mundo. El acero inoxidable esta muy presente en esta fachada. Las chapas de acero inoxidable han sido perforadas para permitir una correcta circulación de aire.



Fachada con publicidad, Estadio de Lille, France⁸

Arquitectos: Valode Pistre y Ferret

Malla de acero inoxidable con led.

La malla sustenta un sistema leds de gran potencia y versatilidad que permite programas individuales de iluminación, que va desde iluminación individual de simples gráficos hasta contenidos de video.

11. Piscinas

References:

1. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/french-pool-liner-article.php>
2. http://www.constructalia.com/repository/transfer/fr/02163065ENLACE_PDF.pdf
3. <http://www.awt-eisleben.de/en/swimming-pools-136.html>

En sentido horario:

1. Piscina olimpica, rodeada de acero inoxidable, Vichy, France
2. Spa de acero inoxidable personalizado
3. Barandilla de acero inoxidable



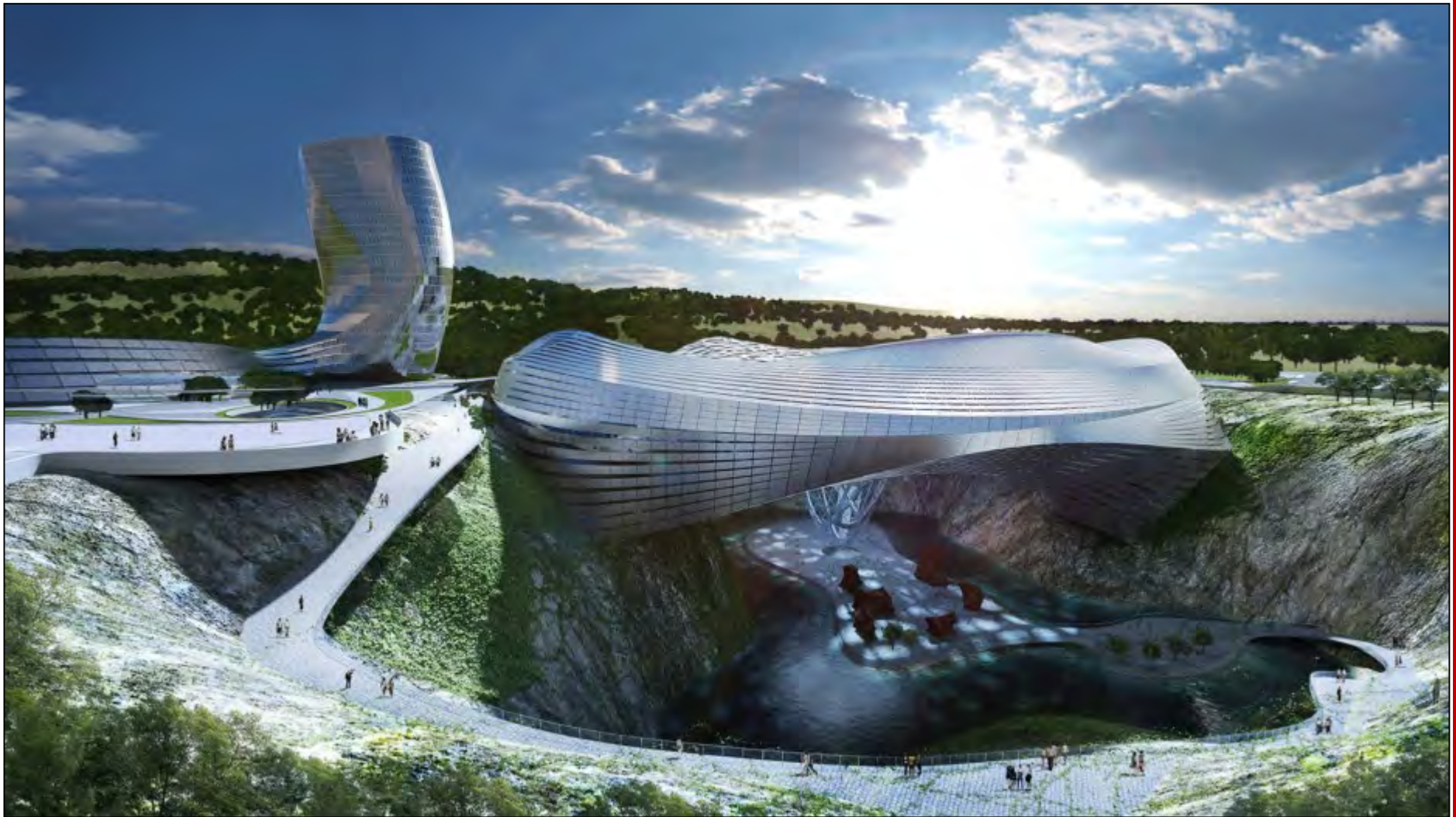
**NUEVO
2018!**



Tobogán acuático de acero inoxidable

Fabricado a partir de una única curva aerodinámica, el pie de la curva forma los peldaños que subirá el usuario hasta la cima del tobogán. Entonces se suelta y se gira sobre sí mismo. Para crear un mayor contraste, los diseñadores utilizaron acabado pulido espejo en el interior y pulido en el exterior. “El acero inoxidable pulido no se calienta demasiado al tacto incluso en climas soleados”, explicaron los diseñadores con base en Reino Unido. “De hecho, refleja la luz solar y la energía térmica y no se oxida como sucede con otros metales”.

Gracias



<http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/dawang-mountain-resort-changsha>

Fachadas bioclimáticas



Figure 2. Type 316 perforated screens on the San Francisco Federal Building helped eliminate air-conditioning in 70% of the building's occupied spaces.



Figure 3. Perforated Type 304 screens give 41 Cooper Square a sculptural appearance while reducing the building's energy consumption. © Iwan Baan Studio



Figure 4. Woven stainless steel sweeps down from the 19th floor of Abu Dhabi's Capital Gate Tower, reducing energy requirements. © Jeff Schofield

<http://ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=o5avvVa6LI8%3D&tabid=749&language=en-US>
<http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/bioclimate-facades.php?nl=%9DM%8B%BFmo%C1%BE%F7%C5%DA%9E%92%DA%E3%244%21%2C%87%94%E2%EC%AD%00%1F%14%A3%14%3E%1A%F0&u=heritier@issf.org>



**Sala de conciertos, Düsseldorf,
Alemania**



Hamer Hall Arts Centre, Melbourne, Australia



Material didáctico de apoyo para
docentes en Arquitectura o
Ingeniería Civil

Capítulo 2
Aplicaciones

Contenidos

1. Distribución de agua
2. Puentes
3. Infraestructuras costeras

12. Distribución de agua

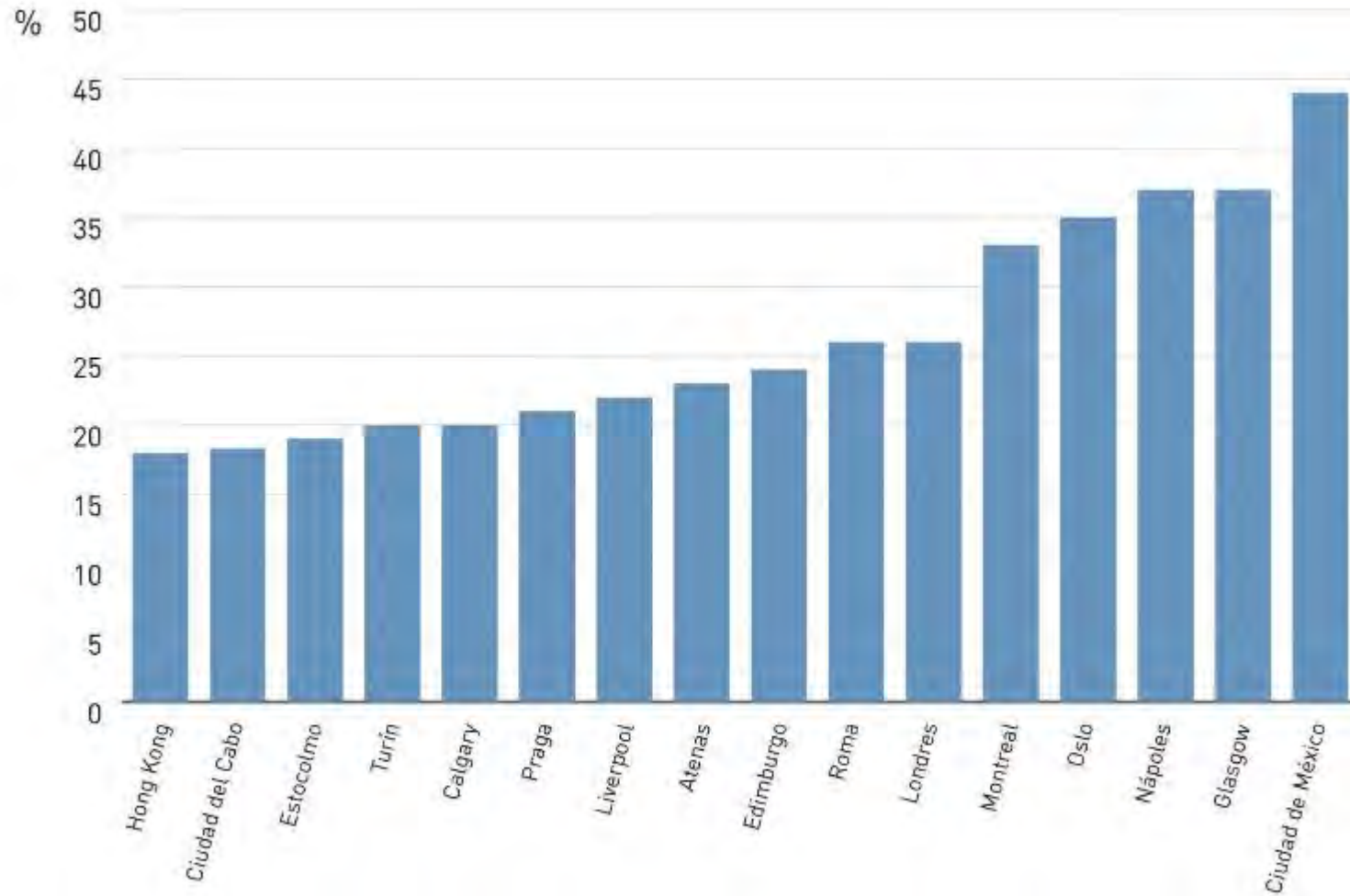
Referencias:

1. <http://www.nickelinstitute.org/en/NickelUseInSociety/MaterialsSelectionAndUse/Water/Distribution.aspx>
2. [http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Stainless Steel Pipe.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Stainless%20Steel%20Pipe.pdf)
3. <http://www.worldstainless.org/news/show/246>
4. <http://worldstainless.org/news/show/2140>
5. Source: POSCO, Korea (<http://www.posco.com>)
6. [http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel in Drinking Water Supply.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF%20Stainless%20Steel%20in%20Drinking%20Water%20Supply.pdf)
7. http://worldstainless.org/applications_protection_environment_and_human_health/water
8. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/CorrResist SoilsConcrete EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/CorrResist%20SoilsConcrete%20EN.pdf)
9. [https://www.nickelinstitute.org/~//Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService 12012 .pdf](https://www.nickelinstitute.org/~//Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService%2012012.pdf)
10. http://worldstainless.org/applications_protection_environment_and_human_health/water

¿Por qué se utiliza el acero inoxidable?

- Niveles bajos de fugas: los aceros inoxidables no sufren corrosión generalizada como sus equivalentes dúctiles hierro y acero, que pueden acabar en la rotura y el fallo de las tuberías. Las válvulas de acero inoxidable nunca se atascan. Con el diseño adecuado, la distribución con acero inoxidable funciona de forma segura en áreas susceptibles a terremotos.
- Higiénico: los aceros inoxidables son fundamentalmente inertes en agua potable, que mantiene la calidad y la integridad del agua potable.
- Prolongada vida útil: los componentes de acero inoxidable pueden proporcionar 100 años de servicio debido a su excelente resistencia a la corrosión. Resisten la corrosión en la mayoría de suelos y no necesitan revestimientos o sistemas de protección electroquímicos.
- Reciclable: a diferencia del mortero de cemento y las tuberías no metálicas, los aceros inoxidables son fácilmente reciclables y sus elementos aleantes son muy valorados.
- El acero inoxidable se utiliza en nuevos embalses de gran capacidad y en el reacondicionamiento de los ya existentes.

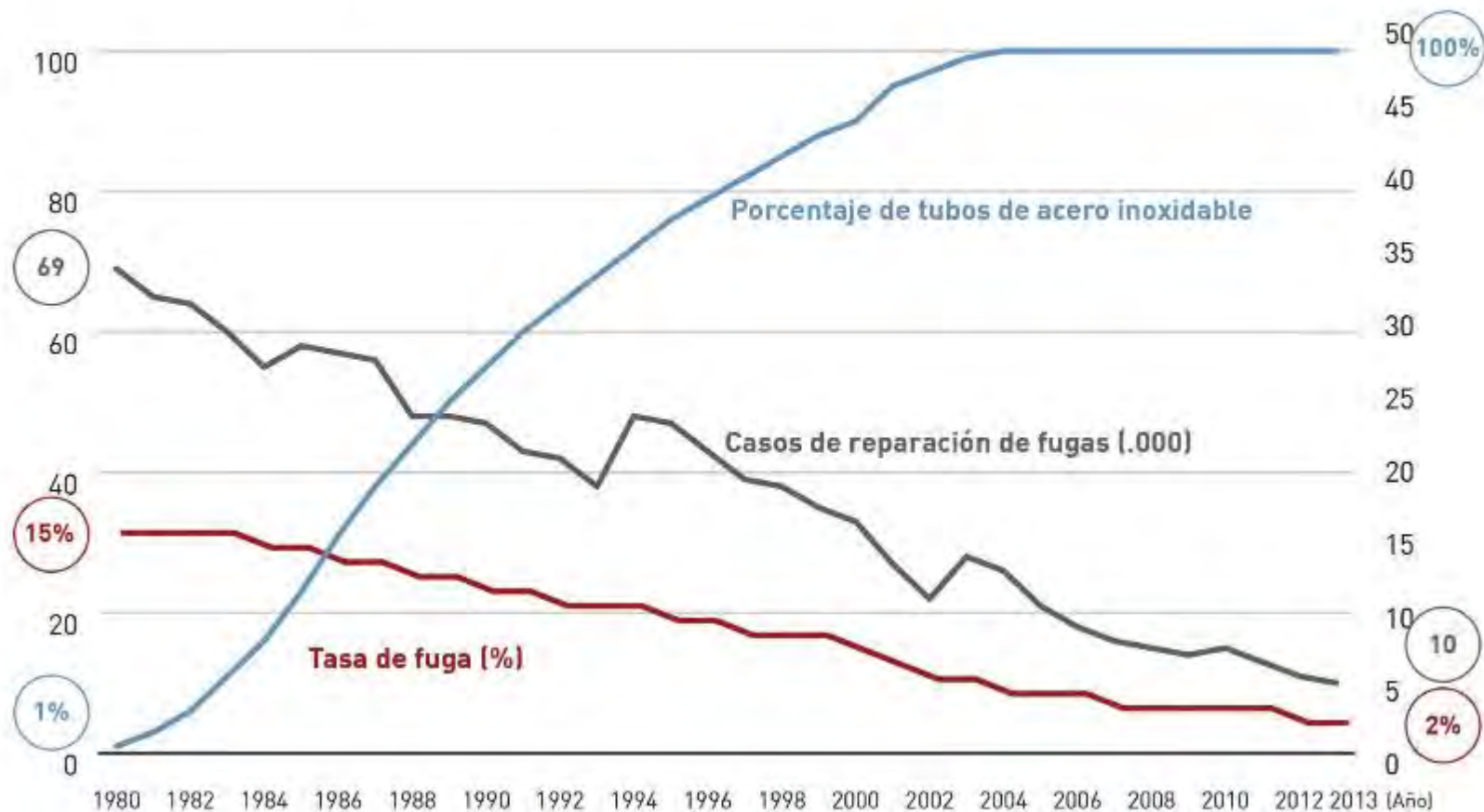
Fugas de agua en algunas de las mayores ciudades (2014)⁸



Tasa de fuga en las principales ciudades
Fuente: OCDE (Gestión del agua en las ciudades, 2014)

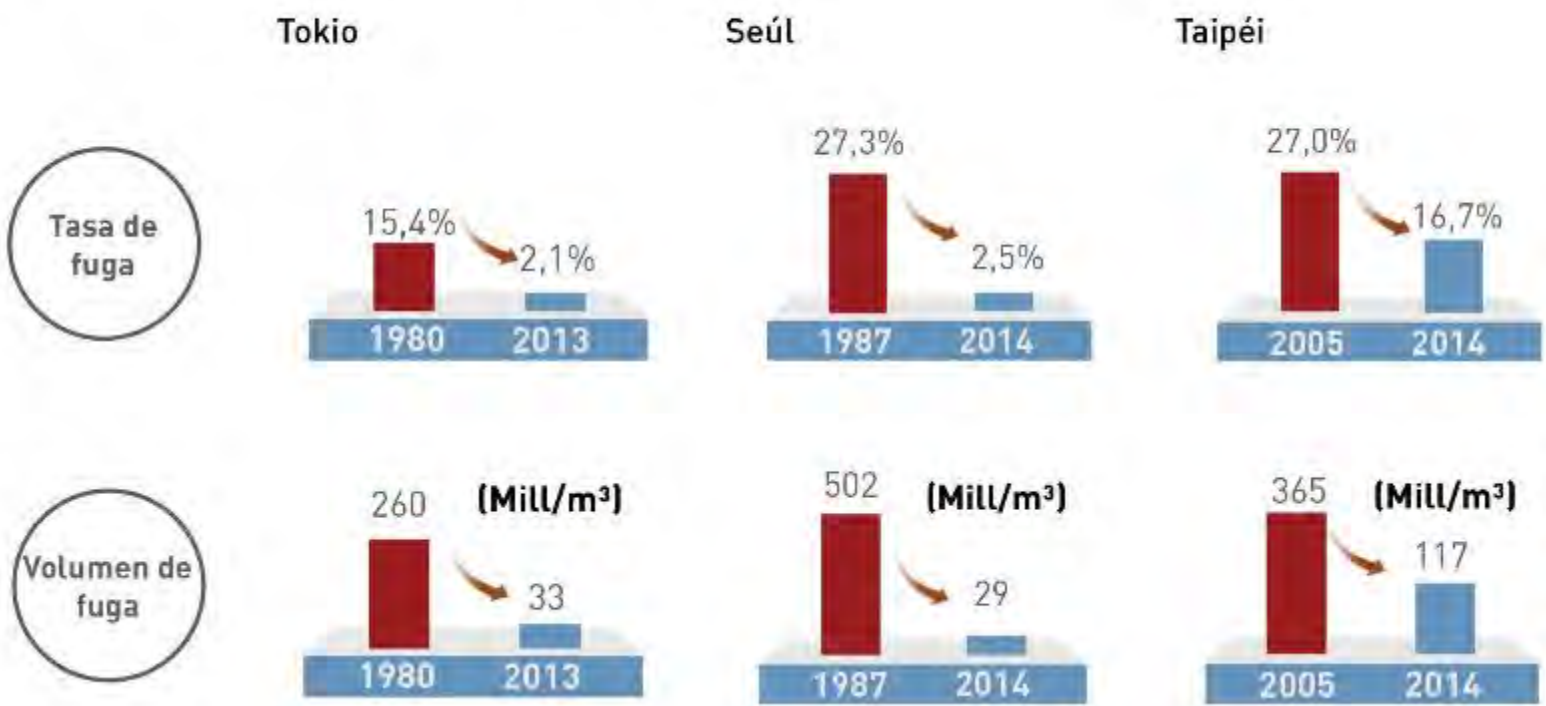
Reducción de fugas con la utilización de tubería de acero inoxidable en Tokio⁸

Reducción de fugas



Reducción de fugas con el reemplazo de las antiguas tuberías de agua por acero inoxidable ⁸

Resultados de los proyectos en Tokio, Seúl y Taipéi







Embalse de agua antes de la reparación, ciudad de Gangneung, Corea⁹

La corrosión y el deterioro del hormigón se aprecian en la fotografía y causan la fuga de agua.

El revestimiento epoxi fue rechazado por no ser duradero.

El reacondicionamiento con un revestimiento de acero inoxidable fue seleccionado por su resistencia a la corrosión, durabilidad, sin mantenimiento y sin crecimiento bacteriano.



ANTES

El mismo después del nuevo revestimiento de acero inoxidable

Se utilizan los tipos de acero inoxidable dúplex STS329LD y STS329J3L.

Los paneles se sueldan entre sí y anclan al hormigón.



DESPUÉS

¡NUEVO!

2. Puentes

¡NUEVO!

Muchos puentes están en malas condiciones

- Muchos de ellos fueron construidos después de la segunda guerra mundial.
- Con un periodo de vida útil de 60 años.
- El tráfico es mucho más denso del que habían considerado en ese momento.
- El recorte de los costes de mantenimiento suele ser una práctica muy habitual.

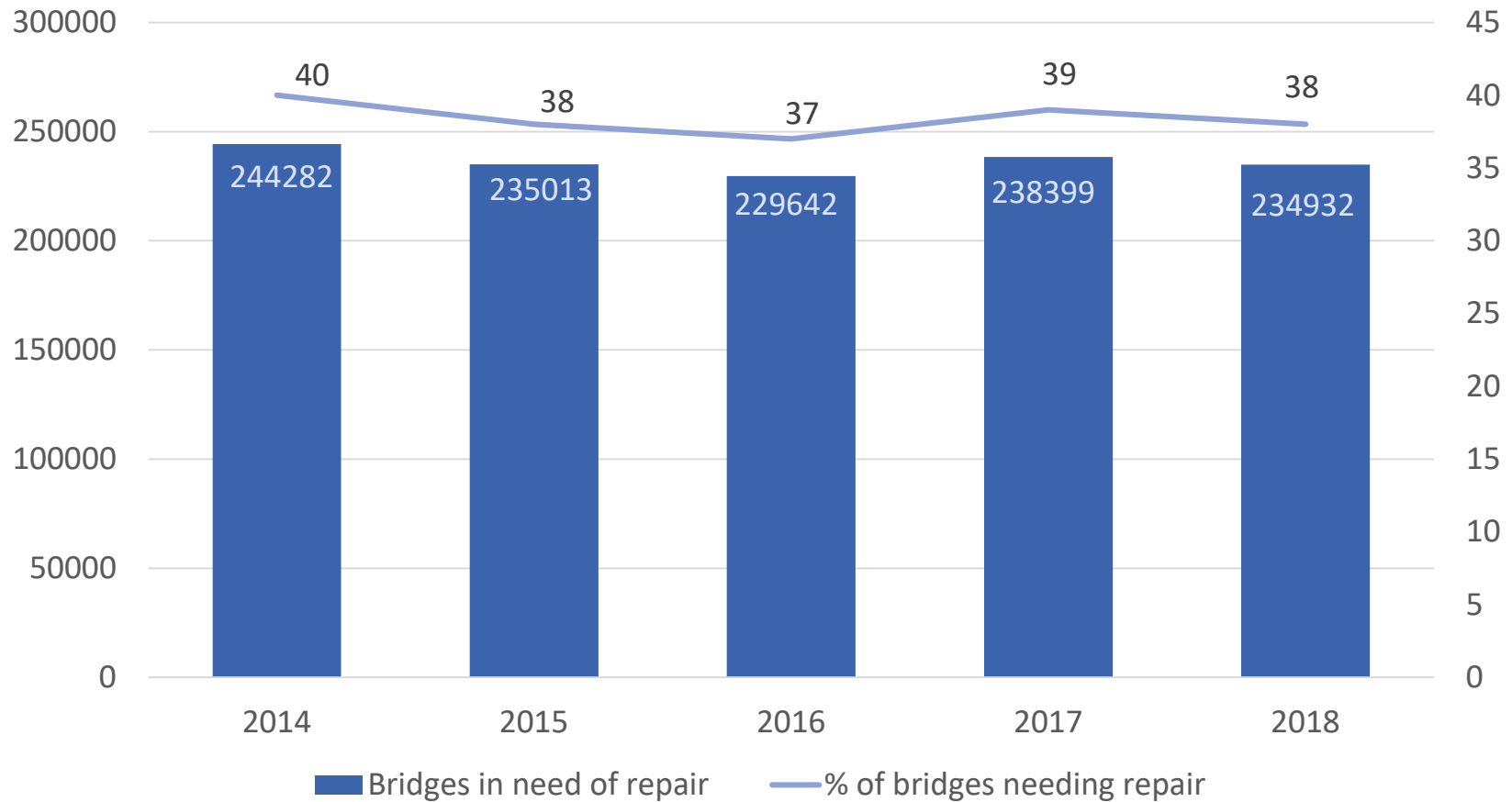
NEW!

Situación en la Unión Europea

- No existe una publicación/informe exhaustivo y completo sobre el tema
- Varía de país en país.
- Alemania: 12.5% de sus autopistas tiene puentes en buen estado mientras que hay otro 12,4% que requiere mantenimiento urgente.
- Francia: un reciente informe alerta de que 1/3 de sus puentes requiere actuaciones de mantenimiento debido a su pobre condición.
- etc...

La situación en Estados Unidos

Número de puentes en EEUU con necesidades de actuaciones de reemplazo o rehabilitación, incluyendo los estructuralmente deficientes.



¡NUEVO!

Acero inoxidable en puentes

Algunos ejemplos

Puente Stonecutter's, Hong Kong

¡NUEVO!

Este icónico puente está situado en un área urbana de gran congestión de tráfico. Ha sido diseñado para resistir los posibles riesgos de un clima tropical, contaminación urbana, spray salino, viento, tifones, impacto accidental de buques y el riesgo sísmico.

Fue en su momento (2009) el primer puente atirantado cuyo vano excedía de 1 km. Está diseñado para una vida de 120 años.

El acero inoxidable duplex UNS S32205 (EN1.4462) fue empleado como piel recubriendo los pilares superiores de hormigón, así como en los anclajes de los cables atirantados y para el refuerzo de los cimientos de los pilares de las torres.

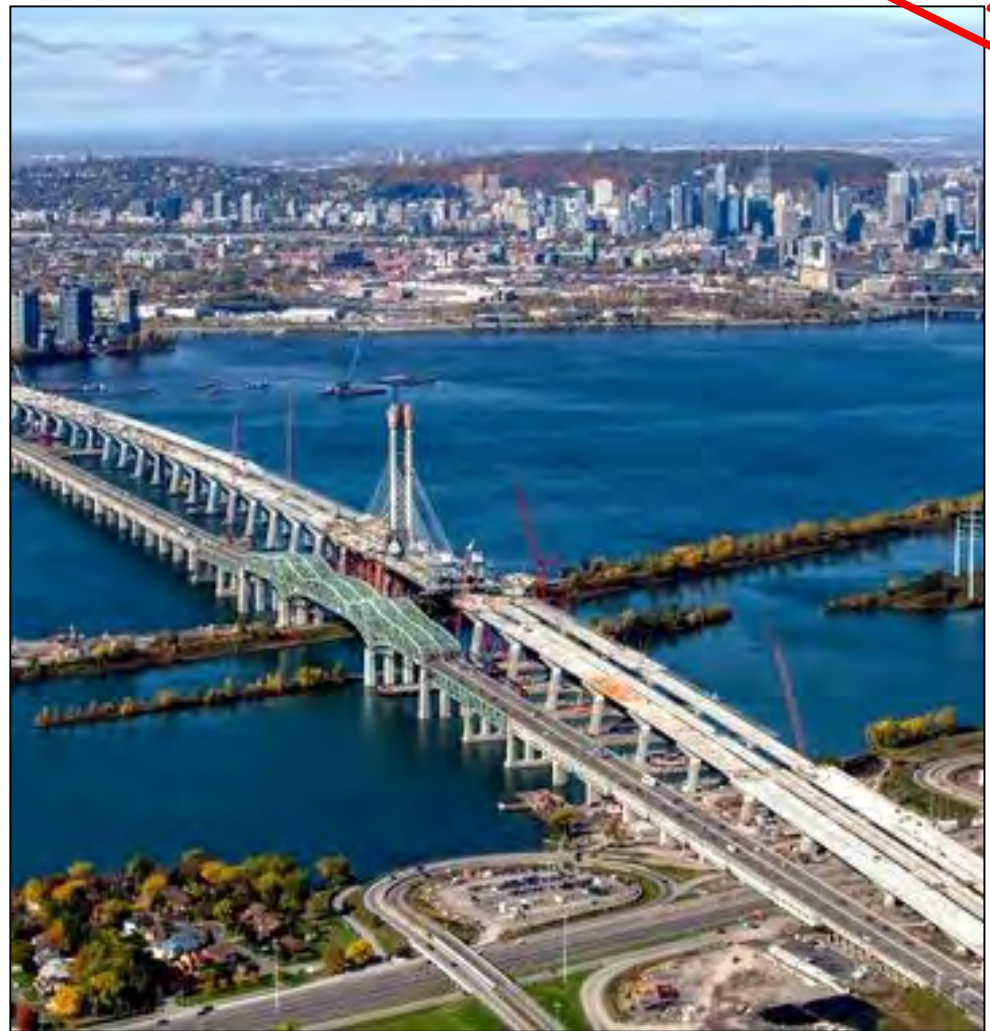


¡NUEVO!

Puente Champlain, Montreal

El nuevo puente (2019), reemplaza a otro anterior que estaba cayéndose debido a problemas de corrosión. Debe resistir a ciclos de hielo/deshielo desde -25°C hasta 30°C. Tiene una longitud de 3,4 km, está situado sobre el río St. Lawrence y su desembocadura y soportará un volumen de tráfico cercano a los 50 millones de vehículos al año. Dispone de 4 carriles de autopista, un servicio de ferrocarril público, carril bici y miradores. Se han usado más de 15000T de acero inoxidable S32305 (EN1.4362) en las partes críticas de la estructura.

El anterior puente databa de 1962. A pesar de las intensivas campañas de mantenimiento, tuvo que ser reemplazado. El nuevo puente costará alrededor de 4200Million CAD. Asimismo, el derribo del anterior costó 400Million CAD.



¡NUEVO!

Hong Kong, Zhuhai, Macau

El puente forma parte de una conexión de 50 kilómetros consistente en una serie de tres puentes atirantados, un túnel de 6,7 km bajo el mar y tres islas artificiales.

La construcción del puente, que se finalizó en 2018, duró mas de 9 años, con un coste estimado de 20 billones de dólares y una esperanza de vida en servicio de más de 100 años.

Se emplearon más de 10.000 toneladas de acero inoxidable duplex para las zonas más críticas.



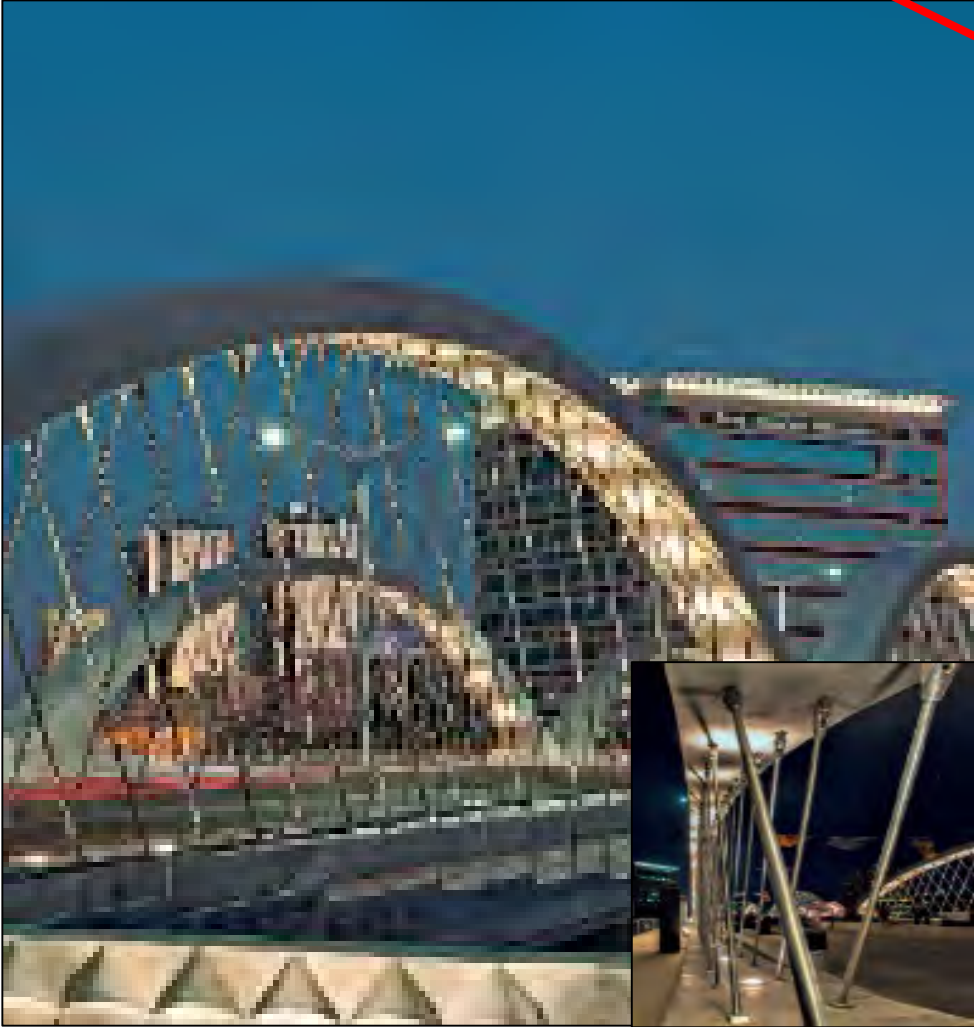
¡NUEVO!

Fort Worth, Texas

Estamos ante el primer puente de arco realizado con elementos prefabricados (12 en total), que fue completado en 2013.

La característica innovadora son las barras de suspensión en ángulo de carga que conectan la parte superior e inferior del puente de arco. Proporcionan estabilidad y rendimiento estructural.

Están hechos de acero inoxidable dúplex grado S32205 (EN1.4462). El diseño general es estructuralmente muy eficiente, muy elegante y garantiza una durabilidad a largo plazo.



¡NUEVO!

Cala Galdana, Menorca

Este puente de acero inoxidable, puesto en servicio en 2005, reemplaza una estructura de hormigón armado de acero al carbono.

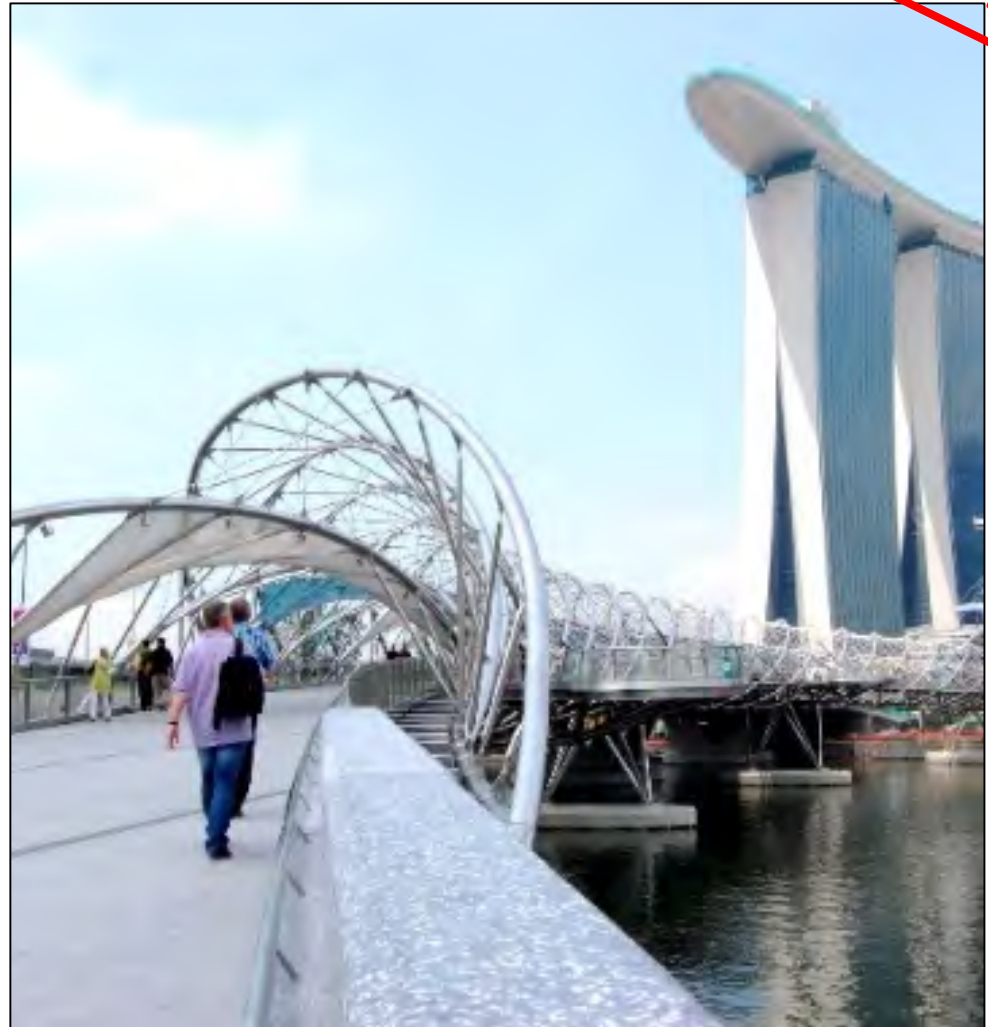
La calidad dúplex S32205 (EN1.4462) se seleccionó sobre el acero al carbono por sus mayores propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. El límite de elasticidad mínimo especificado fue de 460MPa, para un valor medido de 535MPa, mientras que el valor especificado para el acero al carbono fue de solo 355Mpa.



¡NUEVO!

Helix, Singapore

Su estructura única de doble hélice, de 280 m de largo, que soporta una pasarela está hecha de tubos y placas de dúplex S32205 (EN1.4462). Este grado ha sido seleccionado por su resistencia y resistencia a la corrosión en un entorno marítimo tropical. El costo del ciclo de vida del puente será menor que el de una solución de acero al carbono. La luz blanca en la noche es particularmente hermosa, realizada por el acabado superficial del acero inoxidable.



¡NUEVO!

Lyon, France

Ubicado en una área que se sometió a una mejora importante y cerca del nuevo Musée des Confluences, este puente peatonal dúplex de acero inoxidable se abre para permitir el paso de barcos que ingresan a los muelles. Es elegante, estético y no requiere mantenimiento.



¡NUEVO!

Trumpf, Germany

Esta pasarela sobre la muy transitada Gerlinger Strasse conecta dos sitios de trabajo en la sede de TRUMPF en Ditzingen, Alemania.

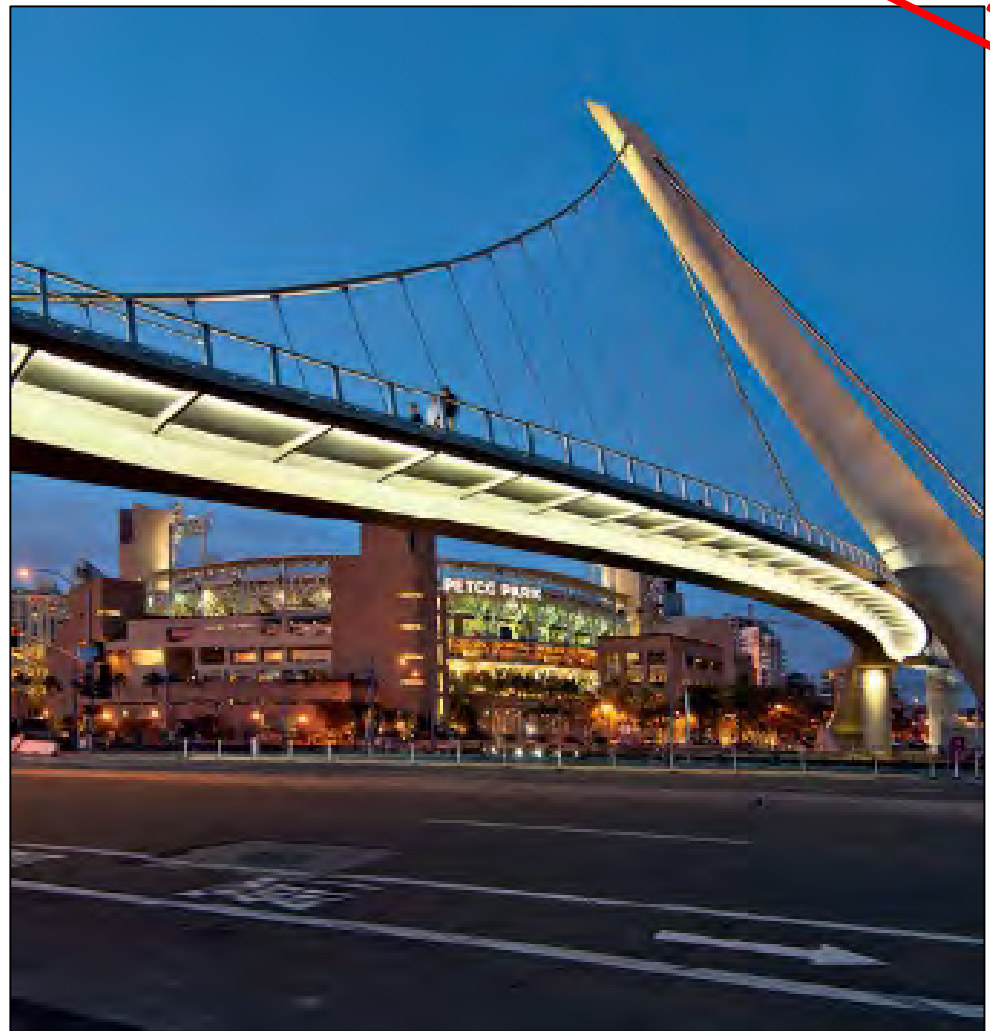
Hecho de acero dúplex S32205 (EN1.4462), es delgado, fuerte y resistente a la corrosión está cortado con tecnología láser TRUMPF y tiene una forma muy original que todos recuerdan. Demuestra que dúplex no es solo para estructuras icónicas.



¡NUEVO!

San Diego Harbor, California

Esta estructura de suspensión auto-anclada, de 168 m de largo, es sorprendentemente hermosa. La plataforma curva está soportada por cables de sujeción unidos a un solo pilón inclinado, lo que resulta en un diseño muy simple y atractivo. El acero inoxidable dúplex grado S31803 y el austenítico 317L se han seleccionado para piezas estructurales, barandas, cables y conectores. El tiempo de vida esperado superará los 100 años en este entorno marino.



¡NUEVO!

Muelle Progreso, México

A la izquierda, lo que queda de un muelle construido en 1970. El ambiente marino hizo que la barra de acero al carbono sufriera corrosión por lo que la estructura falló.

A la derecha, el muelle vecino se erigió en 1937 - 1941 utilizando un refuerzo de acero inoxidable 304 que no necesita mantenimiento y se mantiene en perfecto estado.



¡NUEVO!

Referencias sobre el estado de puentes actuales

1. <https://www.theguardian.com/world/2018/aug/16/bridges-across-europe-are-in-a-dangerous-state-warn-experts>
2. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/keeping-european-bridges-safe>
3. <https://www.thelocal.de/20180815/bridge-collapse-cannot-be-ruled-out-in-germany-says-expert>
4. https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Ingenieurbau/Statistik/statistik-node.html
5. https://www.lemonde.fr/securite-routiere/article/2018/08/15/un-pont-sur-trois-a-besoin-de-reparations-sur-les-routes-nationales-francaises-selon-un-rapport_5342799_1655513.html
6. <https://edition.cnn.com/2019/04/02/us/deficient-bridge-report-2019-trnd/index.html>
7. <https://artbabridgereport.org/>
8. <https://www.infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges/>

iNUEVO!

Referencias de puentes con acero inoxidable

1. IMO A web publication “Stainless steel in Vehicular, rail and pedestrian bridges” (March 2018) <https://www.imoa.info/stainless-solutions/archive/37/Vehicular-rail-and-pedestrian-bridges.php>
2. C Houska “More on duplex stainless steel and bridges “, The construction specifier, (May015) <https://www.constructionspecifier.com/duplex-bridges/>
3. EU Publication report “Application of duplex stainless steel for welded bridge construction in an aggressive environment”, (march 2009), ISBN 978-92-79-09948-9 <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ec2748d4-3269-43cd-9a34-3a0e1fba4e23/language-en/format-PDF/source-79161265>
4. Euro Inox publication « Pedestrian bridges in stainless steel » ISBN 2 87997 084 9 <https://www.bssa.org.uk/cms/File/Euro%20Inox%20Publications/Pedestrian%20Bridges.pdf>
5. N. Baddoo and A. Kosmač “Sustainable Duplex Sainless Steel bridges” Euro Inox publication [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable Duplex Stainless Steel Bridges.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable_Duplex_Stainless_Steel_Bridges.pdf)
6. “San Diego’s new harbor bridge sails onto the skyline” MolyReview, (June2012) <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

¡NUEVO!

Referencias de puentes con acero inoxidable

7. K F. Hansen, L. Lauge and S. Kite: “Stonecuttes bridge –Detailed design” (January 2004) DOI: 10.2749/222137804796291719
https://www.researchgate.net/publication/233611421_Stonecutters_Bridge_-_Detailed_Design/link/59ce24d3aca272b0ec1a4b34/download
8. Steel Construction Institute publication : “Stonecutters bridge Towers”(2010)
www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters_Bridge_Case_Study-2.pdf
9. G. Gedge: “Use of duplex stainless steel plate for durable bridge construction” (January 2007) DOI: 10.2749/222137807796119771
https://www.researchgate.net/publication/233632633_Use_of_Duplex_Stainless_Steel_Plate_for_Durable_Bridge_Construction
10. Champlain bridge, Montreal Nickel Institute magazine, Vol. 34, N°2, (2019)
<https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol34-no2-2019/?lang=English&p=6>
11. Champlain bridge, Montreal Stainless Steel World online, 05 January 2016
<http://www.stainless-steel-world.net/news/58262/nas-to-supply-stainless-steel-bar.html>
12. Hong-Kong Macau bridge ISSF Publication: “Stainless steel in Infrastructure”
http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Infrastructure_English.pdf

iNUEVO!

Referencias de puentes con acero inoxidable

13. Hong-Kong Macau bridge
https://en.wikipedia.org/wiki/Hong_Kong%E2%80%93Zhuhai%E2%80%93Macau_Bridge
14. IMOA publication “Innovative bridge at Ft Worth, Texas” Moly-Review 1/2018
<https://www.imoa.info/molybdenum-media-centre/downloads/>
15. Steel Construction Institute publication: “Cala Galdana Bridge” (2010)
http://www.worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications
16. Railways Bridges in India <https://www.apnnews.com/pamban-to-become-indias-first-railway-bridge-to-use-stainless-steel-structurals/>
17. Steel Construction Institute publication: “Helix Pedestrian Bridge” (2011)
http://worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications
18. ISSF Publication: Bascule pedestrian bridge in “Stainless steel as an architectural material”
http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_as_an_Architectural_Material.pdf
19. Trumpf bridge <https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2018/case-pedestrian-bridge-at-trumpf-headquarters>
20. IMOA Publication “San Diego’s new harbor bridge sails onto the skyline” MolyReview, (June 2012) <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

¡NUEVO!

3. Infraestructura Costera

El 37% de la población mundial vive en áreas a menos
de 100 km de la costa

¡NUEVO!

Cambio climático y costas

Algunas consecuencias:

- Los océanos están subiendo a un ritmo aproximado de 3mm al año... ¡y no se espera que retroceda! Algunas tierras serán o ya han sido inundadas.
- Los eventos meteorológicos extremos tales como huracanes clase 5, super tifones, etc... son cada vez más frecuentes, con el consiguiente deterioro costero que ello supone.
- Se están produciendo en la actualidad grandes cambios en los ecosistemas marinos, generalmente destructivos.
- Las poblaciones y actividades humanas están amenazadas y expuestas a un enorme costo humano y económico.

Inundaciones (Suroeste de Francia)

¡NUEVO!



¡NUEVO!

Daños costeros (ubicación desconocida)



¡NUEVO!

Posibles actuaciones

- Retiro gestionado (p. Ej., Estructuras móviles, defensas de inundación tierra adentro, sistemas de advertencia de inundación)
- Alojamiento (por ejemplo, reubicación de reservorios, manejo de dunas, manejo de lluvia / aguas residuales)
- Protección (incluye una amplia gama de tecnologías disponibles para los ingenieros costeros para estabilizar una costa, incluidas tecnologías menos agresivas como la alimentación de playas, así como estructuras fijas como muros de mar, revestimientos, espigones)

Source: www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf

<https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management>

¡NUEVO!

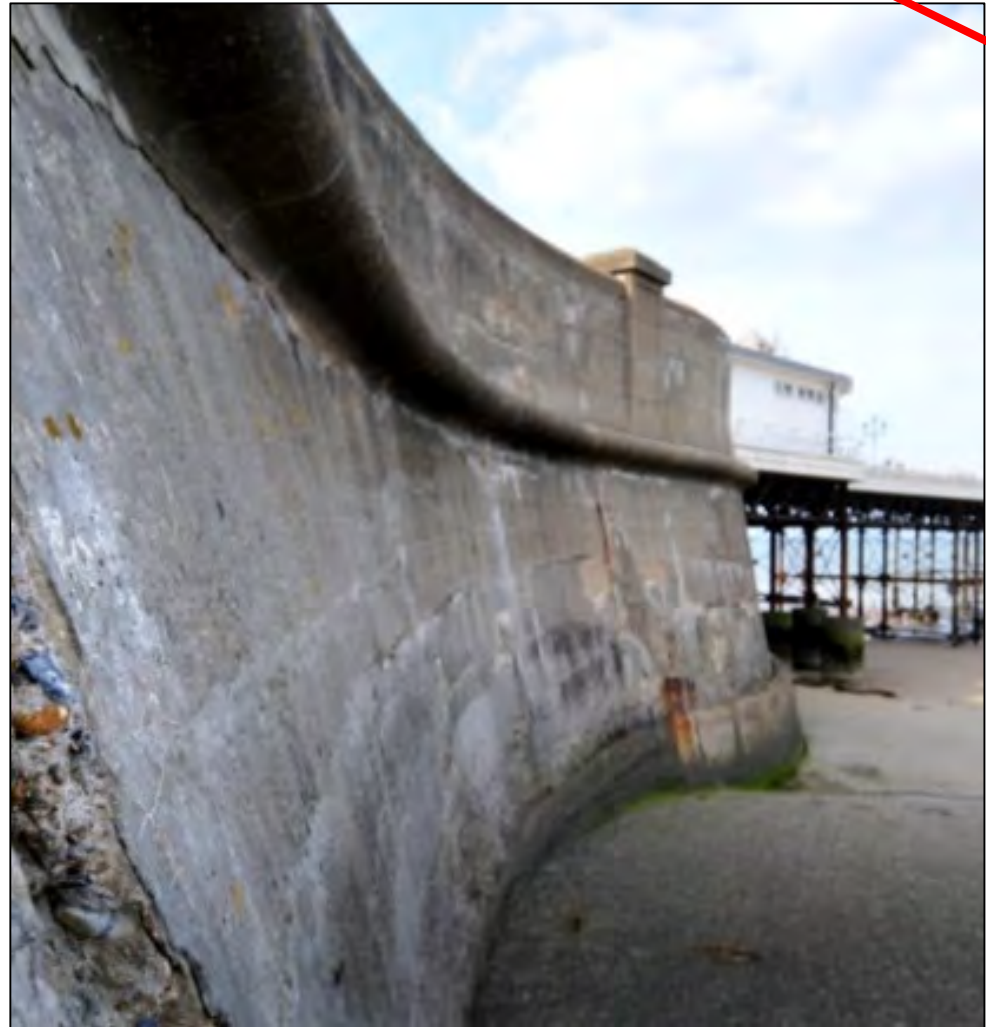
Algunos ejemplos de
estructuras de
protección que llevan
acero inoxidable

Sea Wall, Cromer, UK

Cromer es un hermoso balneario del norte de Norfolk de la época victoriana. La protección contra el mar se logra mediante un muro de hormigón y espigones de madera.

Después de una gran tormenta en 2013, tuvieron que llevarse a cabo reparaciones grandes y costosas, no solo para mantener el nivel real de defensa, sino también para anticipar 100 años el aumento previsto del nivel del mar.

En este proyecto, se utilizaron más de 300 TM de varilla de acero inoxidable dúplex S32304 (EN1.4362).



Breakwater, Bayonne, France

¡NUEVO!

El rompeolas, construido en la década de 1960, protege la entrada del puerto de Bayona contra las tormentas. Cuenta con una pared y una plataforma lo suficientemente anchas y fuertes como para soportar una grúa resistente. Esta grúa reemplaza los bloques de hormigón de 40 toneladas que disipan la energía de las olas entrantes en el lado del mar a medida que éstas se van desgastando.. Una vez que la plataforma comenzó a mostrar grietas, se reparó con una varilla de acero inoxidable dúplex S32205 (EN1.4462) de alta resistencia (Límite elástico mínimo 750Mpa), lo que permite una reducción significativa del tonelaje. Al final solo se necesitaron 130 toneladas de barras de refuerzo.



¡NUEVO!

Medidas de seguridad en Japón

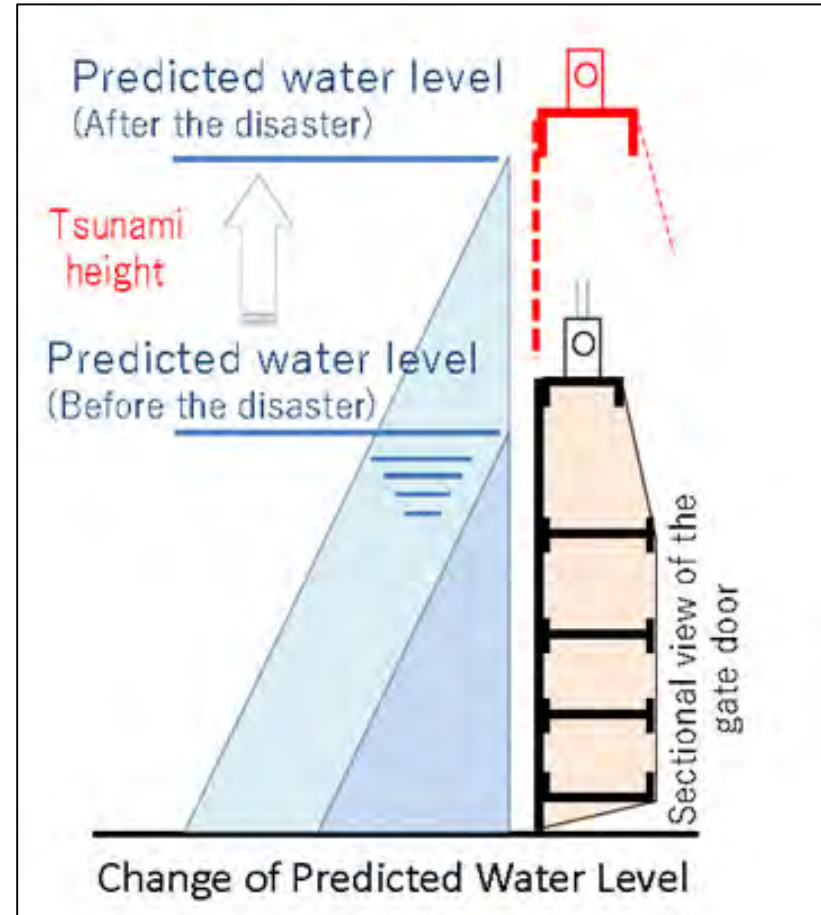
Contribución a la reconstrucción de los desastres y la resiliencia nacional.

El número de muertes causadas por el Gran Terremoto del Este de Japón en Marzo de 2011 fue de aproximadamente 16,000, y más del 90% de los muertos por el tsunami, que fue excepcionalmente grande.

Después del terremoto, el gobierno japonés cambió la especificación de la altura de las compuertas de agua de 5 m a 8 m. Este aumento de tamaño condujo al aumento de la presión del agua y fue necesario aumentar la resistencia de las compuertas con un diseño adicional.

Solución: NIPPON STEEL Stainless Steel Corporation propuso el acero inoxidable dúplex de ahorro de aleación (ASDSS), que permitió reducir su peso y simplificar el diseño por su resistencia.

Fuente: NIPPON STEEL Stainless Steel Corporation



Ejemplos de compuertas de agua en Japón

¡NUEVO!



Compuertas deslizantes o
correderas
Altura: 8.2 m x Anchura 15 m

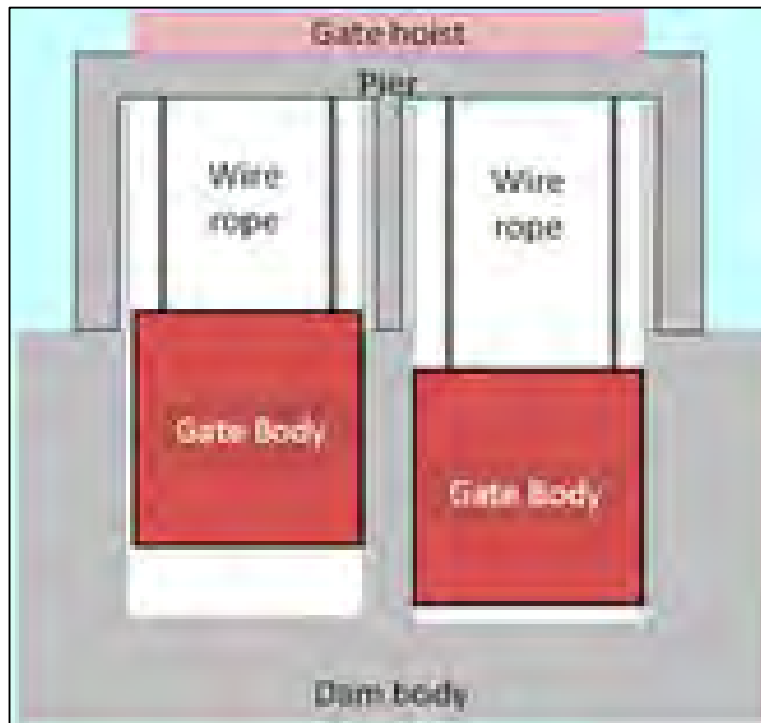


Compuertas
Altura: 6.2 m x Anchura 15 m

Fuente: NIPPON STEEL Stainless Steel Corporation

Reducción de peso en las compuertas lograda gracias al Acerinox inoxidable dúplex de baja aleación

¡NUEVO!



Grados	Acero al carbono (SM490)	Acero inoxidable standar (SUS 304)	ASDSS (NSSC2120)
Peso total	16.1 (t/gate)	14.7 (t/gate)	12.1 (t/gate)



25% reducción de peso

Comparación de diseño (compuerta de descarga de presas 7m x 7.8m = 54.6m²)

Fuente: Electric power civil engineering (2016.9)

¡NUEVO!

Algunos de los principales proyectos en Japón

● ASDSS is used for more than 50 Dams and Water Gates in Japan, especially for the Earthquake Reconstruction Project.



Kanogawa Dam (SUS821L1)



Kotonoura Gate (SUS316LN)
Hikata Gate (SUS323L)



Kosode Gate (SUS821L1)



Koishihama Gate (SUS821L1)



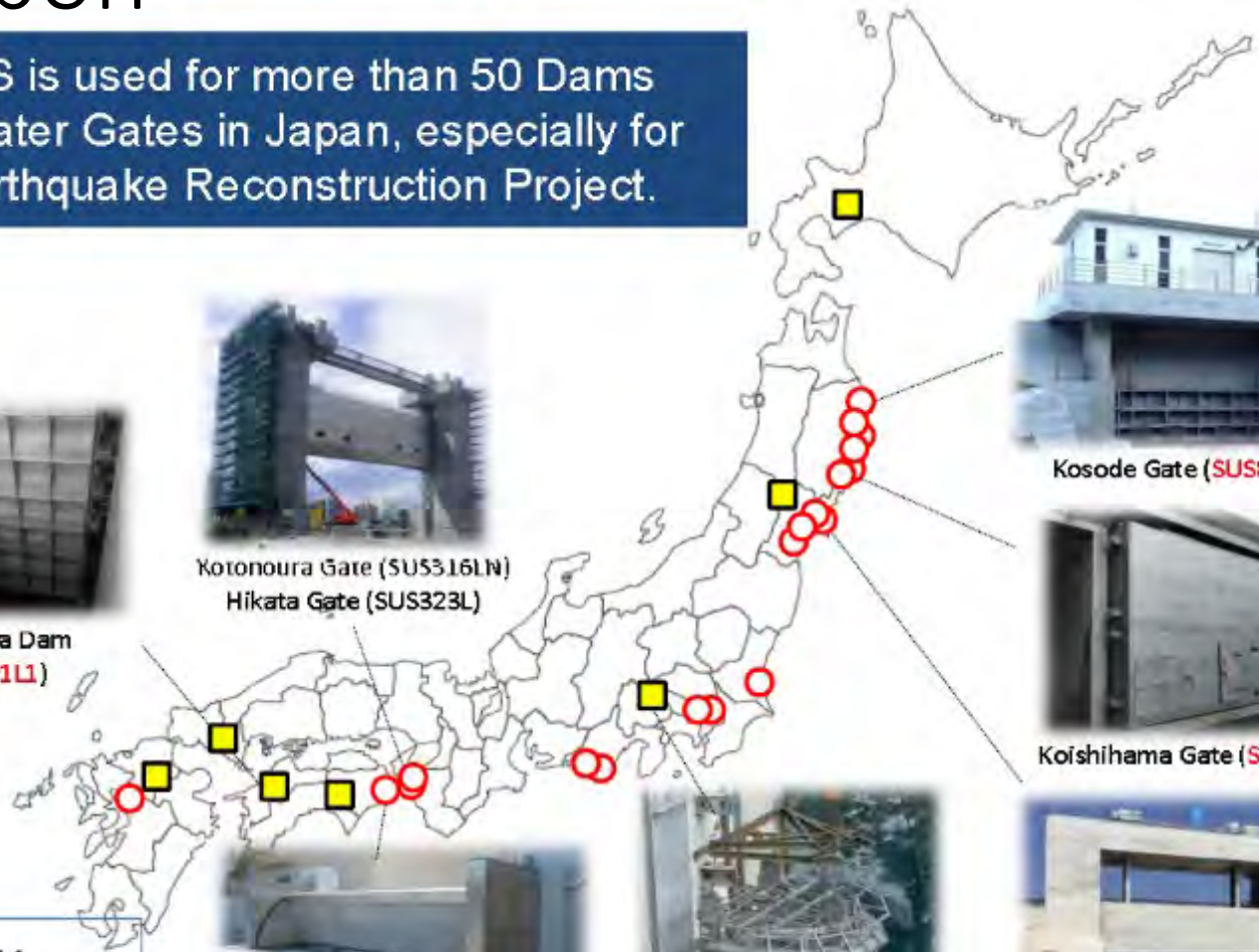
neo Rise (SUS821L1)



Futase Dam (SUS821L1)



Tsukihama Gate (SUS323L)



■ : DAM
○ : Water Gate

¡NUEVO!

Compuerta Kamihirai , Japón



Vista de la compuerta en su proceso de construcción

¡NUEVO!

Mont Saint Michel, Francia



¡NUEVO!

Mont Saint Michel, Francia

- Mont Saint Michel es uno de los lugares turísticos más visitados de Francia. La pequeña isla con su claustro y con un ángel en la parte superior se encuentra en una bahía. Con el tiempo, el incremento de la bahía se estaba produciendo lentamente, cambiando el paisaje.
- Las puertas se construyeron para almacenar el agua de la corriente entrante durante las mareas altas y liberarla durante las mareas bajas, lo que lleva algunos sedimentos al mar dos veces al día. Los ocho juegos de compuertas revestidos se construyeron con 36 T de acero inoxidable dúplex S32205 (EN 1.4462), seleccionado por su buena resistencia a la corrosión y a la abrasión.
- Mont Saint Michel, ha retornado al mar.

Extensión de Mónaco hacia el mar

El Principado de Mónaco, en la costa mediterránea, está expandiendo su pequeño territorio (2 km²) sobre el mar para construir un enorme desarrollo de nueva ciudad de 600 000 m², con un costo estimado de 2 mil millones de euros.

Los desafíos técnicos son enormes: crear una presa temporal para construir el recinto; erigir el muro de hormigón capaz de durar al menos 100 años, llenar el nuevo espacio ganado sobre el mar y prepararlo para edificios residenciales de varios pisos, minimizar el impacto en la vida marina, etc.

Se utilizarán más de 4000MT de varilla de acero inoxidable dúplex S32304 (EN1.4362) para reforzar los muros de hormigón y protegerlos contra la corrosión del agua de mar.



Referencias

¡NUEVO!

1. <https://www.ipcc.ch/>
2. www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf
3. <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/biodiversite/isr-rse/le-changement-climatique-grignote-nos-cotes-et-menace-plus-d-un-million-de-francais-147571.html>
4. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/adapter-documents-conception-entretien-exploitation>
5. <https://www.cerema.fr/fr/evenements/territoires-littoraux-transition-face-au-changement>
6. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management>
7. Sea Wall at Cromer <http://www.stainlesssteelrebar.org/applications/coastal-protection-at-cromer-uk/>
8. Bayonne breakwater <http://stainlesssteelrebar.org/applications/bayonne-breakwater/>
9. <https://www.constructioncayola.com/batiment/article/2008/11/20/23050/l-inox-pour-resister-atlantique>
10. Tsunami-proof floodgates Japan (NSSC presentation)

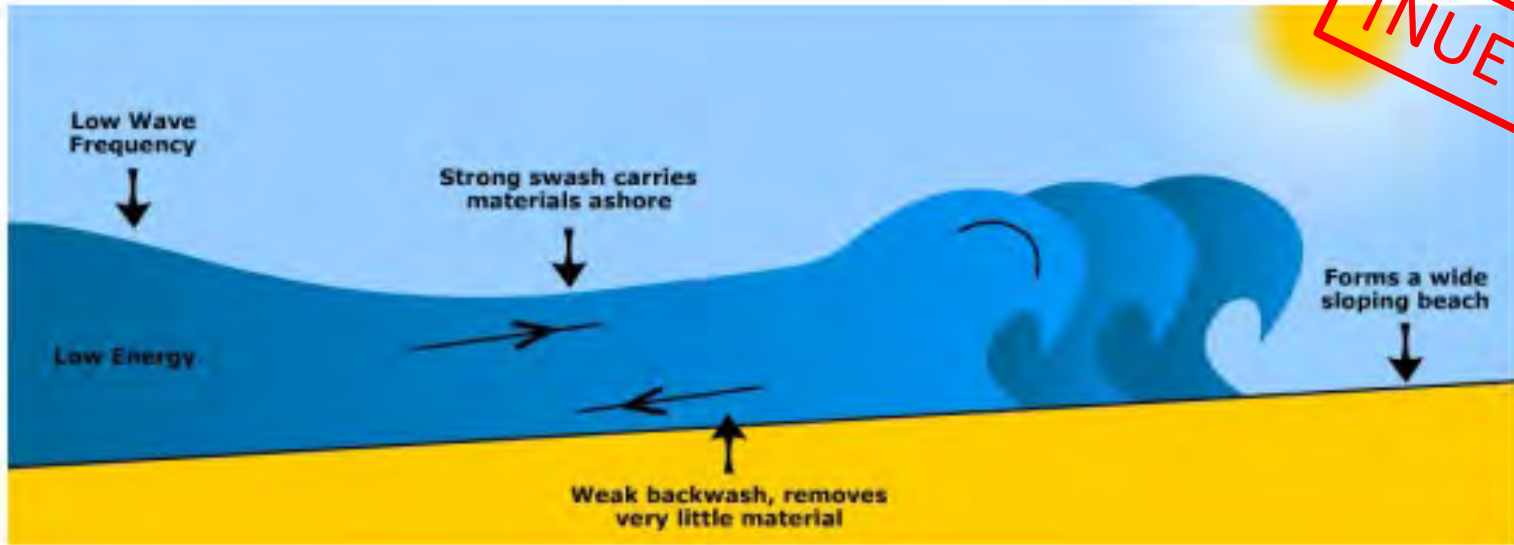
Referencias

¡NUEVO!

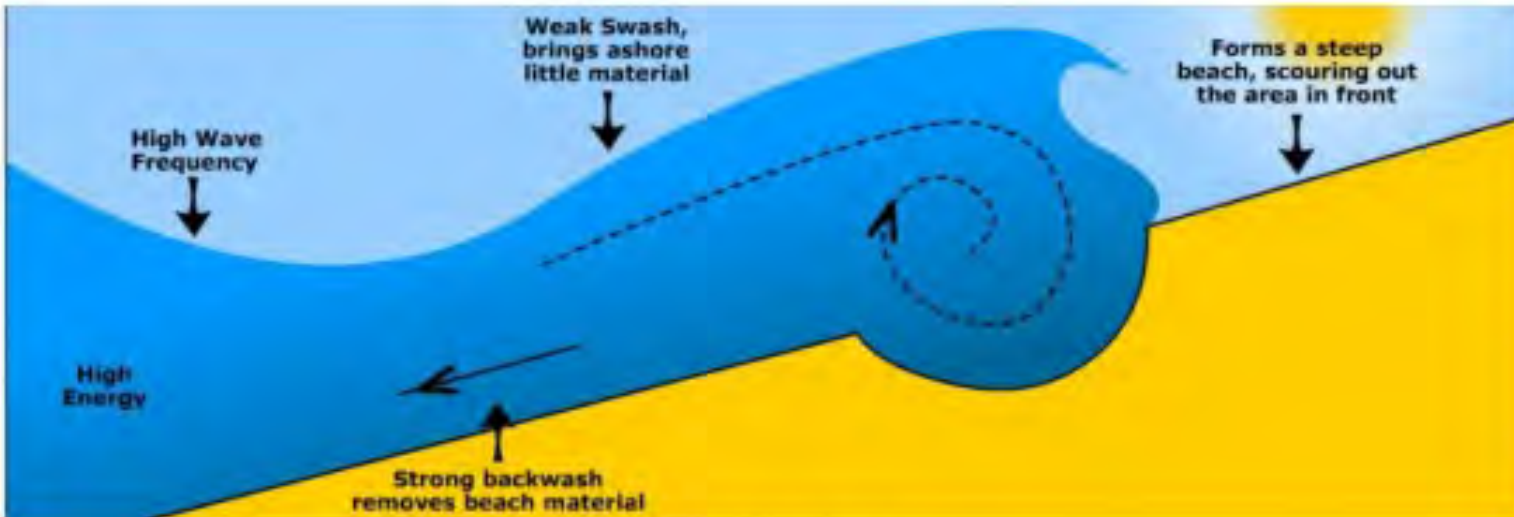
11. Sluices Mt St Michel
<https://www.nickelinstitute.org/en/NickelMagazine/MagazineHome/AllArchives/2015/Volume30-3/InUseMontStMichel.aspx?selected=year>
https://europe.arcelormittal.com/europeprojectgallery/foi_montsaintmichel
12. Tammeroski floodgate
<http://www.pratiwisteel.com/news/view/20110708090600/Outokumpu-Duplex-Stainless-Steel-For-Sluice-And-Flood-Gates-Structures-In-Finland.html>
<https://www.pontek.fi/in-english>
13. Monaco
<https://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/Extension-en-mer-de-Monaco.pdf>
14. Gårda Dämme floodgate, Göteborg
<https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2016/floodgates-to-fight-rising-sea-levels>
15. <https://coastal-environments.weebly.com/landforms-and-processes.html>

Las olas construyen y destruyen las costas¹

¡NUEVO!



Constructive Waves



Destructive Waves

Gracias

Material didáctico para docentes en Arquitectura e Ingeniería Civil

Capítulo 3

¿Por qué emplear aceros inoxidables?

Introducción

Principales materiales empleados en
la arquitectura, edificación y
construcción

Comparativa de uso de los principales materiales de construcción en la actualidad

Actualizado !

Materiales	Producción mundial 2016*	Densidad media	Observaciones
Tierra comprimida, <i>pisé</i>	nd		Se utilizó principalmente en casas tradicionales en África. Algún interés renovado por sus propiedades medioambientales
Ladrillos ²	4185	2,0	Año considerado 2017 Del que el 87% en Asia
Cemento ³	3545	2,4**	(Para obtener la cifra de hormigón multiplicar por 3-4) **Densidad del hormigón – Nota: Datos de 2018
Acero ^{4a}	1690	7,8	(Producción de Acero en bruto 2018) 14% en infraestructuras – la mitad como corrugado ¹⁰ 42% en edificación ¹²
Fundición Hierro y acero ^{4b}	110	7,8	Datos del 2017 De los cuales 46 Hierro gris, 25 hierro ductil, 1 hierro maleable, 10 acero
Madera ⁵	887	0,55	Solo paneles de madera aserrada + de base de madera (datos de 2016) Excluyendo la pasta de madera (alrededor de 656) Excluyendo combustible de madera (1860) y otros productos de madera
Polimeros artificiales ⁶	348	1,1	Algunos polímeros naturales: celulosa, goma, seda, quitina Datos de 2017
Vidrio artificial ⁷	75	2,6	Solo vidrio plano (80% del mercado total del vidrio) Otros mercados principales: automoción, vidrio para energía solar
Aluminio ⁸	64	2,7	(Producción de aluminio primario en 2018) 24% en construcción ¹⁰
Acero inoxidable ⁹	51	7,8	Datos de 2018 17% en construcción ¹¹

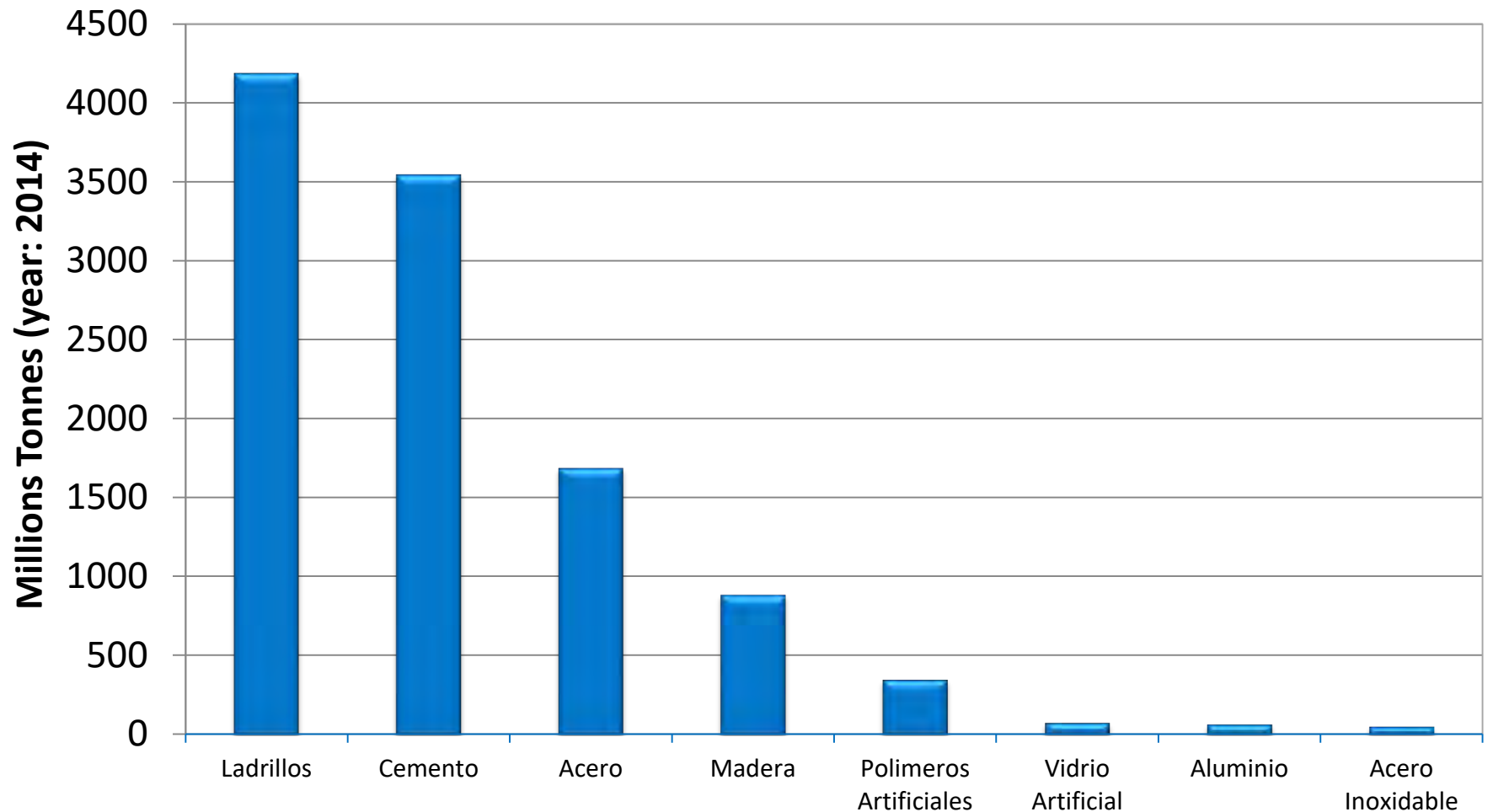
nd: no disponible

* en Millions Metric Tons

¿Por qué emplear aceros inoxidables?

Comparativa de uso de los principales materiales de construcción en la actualidad

Actualizado !

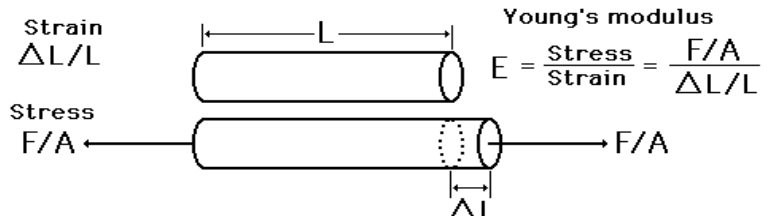


¿Por qué emplear aceros inoxidables?

Modulo de Young's (E) de algunos materiales¹² (rigidez)

Material	Modulo de Young's E (GPa)
Aceros	~210
Aceros inoxidables	~210
Aleaciones de Cobre	~130
Aleaciones Titanio	~100
Aleaciones Aluminio	~70
Hormigon	~40
Madera	~10
Plasticos	~4

El acero inoxidable es tan rígido como el acero



Ratio resistencia/peso¹³ de metales empleados en arquitectura

El acero inoxidable ofrece un ratio resistencia/peso comparable al acero y al aluminio

Material	Ratio resistencia / peso especifico	Limite elastico, Mpa	Resistencia a traccion, Mpa	Peso especifico (Kg/dm ³)	Elongación mínima, %
Inoxidable 304 o 316, recocido	26	205	515	7,8	35
Inoxidable 304 o 316, procesado en frio CP 350	45	350	-	7,8	-
Inoxidable 304 o 316, procesado en frio CP 500	62	480	-	7,8	-
Inoxidable Duplex 2205	64	500	700/950	7,8	20
Inoxidable 630, envejecido	103	800	950/1150	7,8	10
Acero al carbono convencional en chapa caliente	30	234	317	7,8	35
Acero al carbono estructural (chapon y barra)	32	250	400/550	7,8	23
Aceros de alto limite elastico	49	380	460	7,8	25
Aceros de ingenieria 4140 recocido y templado	96	750	930/1080	7,8	12
Aleación de aluminio 3003- H14	37	145	150	2,7	40
Aleación de aluminio 3105- H14	38	150	170	2,7	5
Aleación de aluminio 5005- H16	44	170	180	2,7	5
Aleación de aluminio 6061- T6	71	275	310	2,7	12
Aleación de aluminio 6063- T5	37	145	185	2,7	12
Cobre	23	195	250	8,3	30

Comparativa simplificada de varios materiales 14

		Aceros Inoxidable			Cobre	Aluminio	Acero Carbono	Plasticos
Propiedades		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
Físicas	Densidad	-	-	-	--	+	-	++
	Expansion lineal	++	0	0	0	-	+	--
	Conductividad Eléctrica	--	-	-	+++	++	0	---
	Magnetismo	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Mecánicas	Modulo de Young	+++	+++	+++	+	-	+++	---
	Resistencia	+	++	++	0	-	+ / ++	--
	Elongación	+	+++	+++	+++	++	0	-- / ++ +
Otras	Fabricación	++	++	++	+	0	++	-
	Altas Temperaturas	++	++	+++	0	-	+	---
	Bajas Temperaturas	-	+++	+++	+	0	-	-
	Resistencia Corrosión	+++	+++	++++	++	+	--	+

Símbolos **+** Ventaja **-** Limitación (en relación con los otros materiales)

El acero inoxidable sigue siendo
un material « Joven »

De los nuevos materiales empleados a los largo de la historia el acero inoxidable es el más reciente*

Materiales	Periodo de tiempo	
Tierra comprimida, <i>pisé</i>		Empleada desde los albores de la humanidad!
Madera ¹⁵		Empleada desde los albores de la humanidad!
Ladrillo ¹⁵	7500 AC 4500 AC	Barro cocido/cerámicas
Acero ¹⁵	4000 BC 1858	Herrerías Proceso Bessemer
Vidrio artificial ¹⁵	3500 BC 100 BC 1950	Primeros cristales fabricados Vidrio transparente Proceso Pilkington
Aluminio ¹⁵	1825 1886	Oersted descubre el Aluminio Proceso Hall –Heroult
Hormigón armado ¹⁵	1850 1885	Pero el cemento es mas antiguo Proceso Rotary Kiln
Polimeros artificiales ¹⁵	1846 1907 1939	Celulosa Bakelita Nylon
Acero Inoxidable ²	1912-1913 1954 1955	Primeras aleaciones Proceso AOD Laminación en caliente

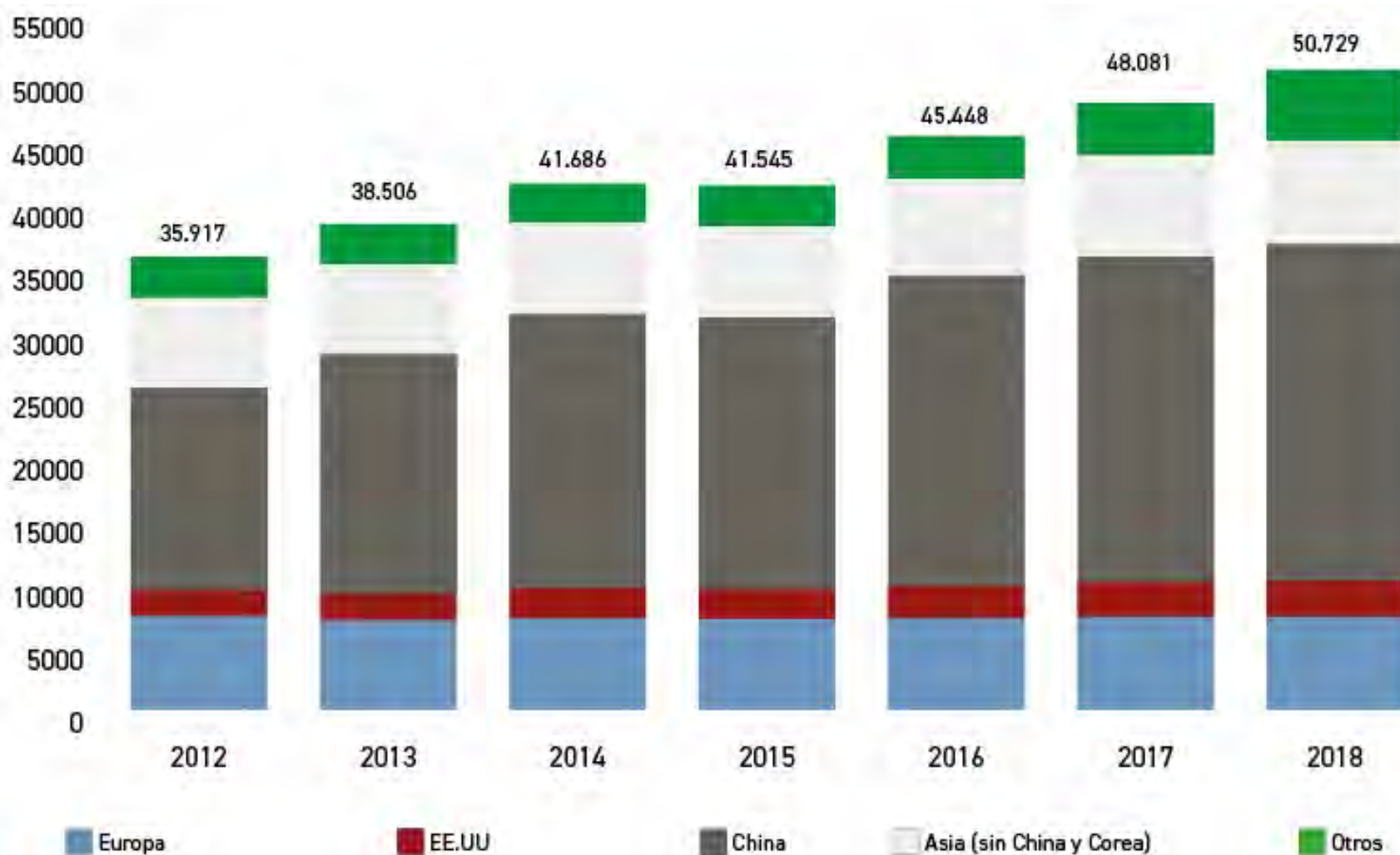
* Hay materiales mas modernos, por supuesto,pero no empleados en cantidades significativas.

Producción mundial de acero inoxidable por áreas²

Nueva!

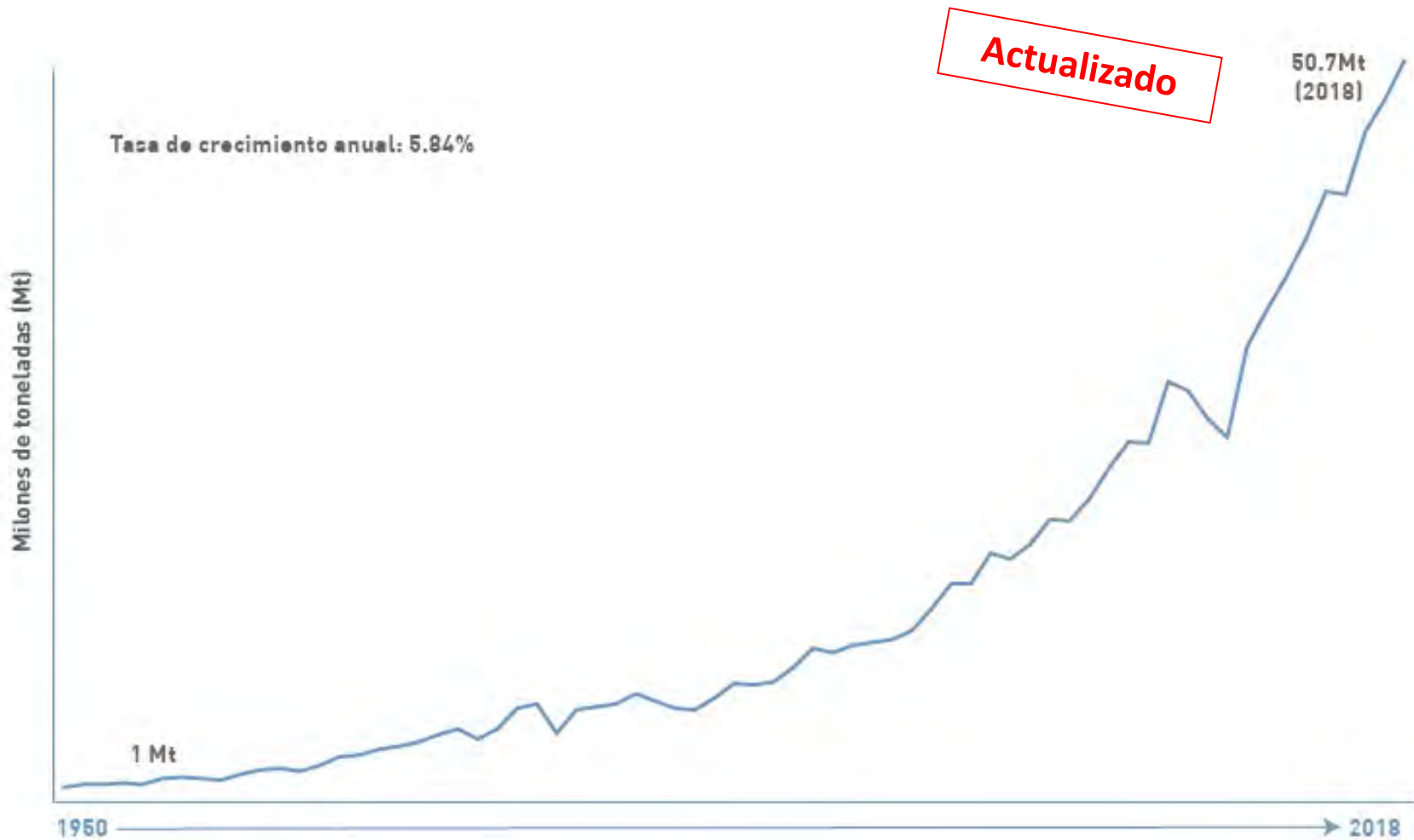
La demanda sigue creciendo

Producción de acero inoxidable (equivalente en desbaste/lingote) por zona x1.000 toneladas.
Otros: Brasil, Rusia, Sudáfrica, Corea del Sur, Indonesia



¿Por qué emplear aceros inoxidables?

Compound annual growth of world Stainless Steel meltshop production²² (Millions of Metric tons)



¿Por qué usar el acero
inoxidable?

Debido a sus excelentes propiedades

1. **Resistencia a corrosión**
 - En todos los ambientes: De tropical a polar, mar o desierto, contaminado o no..
 - Se auto repara a diferencia de los tratamientos superficiales
2. **Gran durabilidad** con poco o nulo mantenimiento
3. **Gran abanico de propiedades mecanicas** consecuencia de las multiples familias de aceros inoxidables (Cr-Ni Austeniticos – Cr-Mn Austeniticos – Cr Ferriticos – Duplex – Cr C Martensiticos) ahora incluidos en los principales códigos de edificación. Además presentan una excelente resistencia al fuego.
4. **Estéticas**: Amplia selección de acabados y colores disponibles. Asimismo presenta una resistencia al vandalismo en lugares publicos.
5. **Facil fabricacion y unión**
6. **Sostenibilidad excelente**
 - Permite una larga vida en servicio con poco o nulo mantenimiento.
 - 100% reciclable (y más del 85% reciclado) al final de su vida util como nuevo acero inoxidable sin perdida de sus propiedades.
7. **Seguro e Higienico**: Inerte, no se contamina, facil de limpiar y desinfectar
8. **Propiedades Especificas**: magneticas/no magneticas

Qué limita a los aceros inoxidable: El precio

Actualizado !

¿Es caro el acero inoxidable?

Respuesta: Si y No

Si:

Si el coste inicial es lo unico que interesa (generalmente relacionado con una financiación escasa)

Pero hay que tener en cuenta que una mala elección puede ser más costosa:

- El acero inoxidable generalmente representa una pequeña parte del proyecto
- Reparaciones imprevistas y mantenimientos pueden suponer un elevados coste adicional tanto directa como indirectamente.

No:

Si

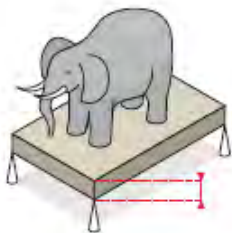
- El coste del ciclo de vida del proyecto (el coste real) es tenido en cuenta. Por ejemplo si el mantenimiento, el coste de operatividad y los temas relacionados con el reciclaje son tenidos en cuenta.
- El diseño es optimizado: chapas de bajo espesor, perfiles de formas complejas pueden revertir en estructuras resistentes con poca necesidad de material.

*El principal interes de la propiedad siempre consiste en hacer la correcta elección en función del analisis del ciclo de vida.

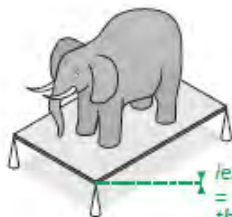
El acero inoxidable (y otros materiales) requieren de menor cantidad de material¹⁶

DOING MORE WITH LESS

Due to their high strength, metals can bear high loads with less material or be used to reinforce other materials.



non-metallic material

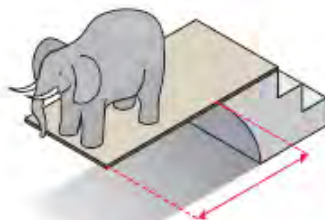


metal

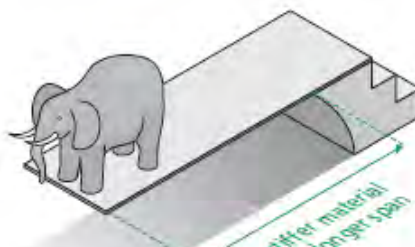
less material
= reduced
thickness

FREEDOM FOR DESIGNERS

Thanks to their high stiffness, metals can span greater distances, allowing more design freedom.



non-metallic material



metal

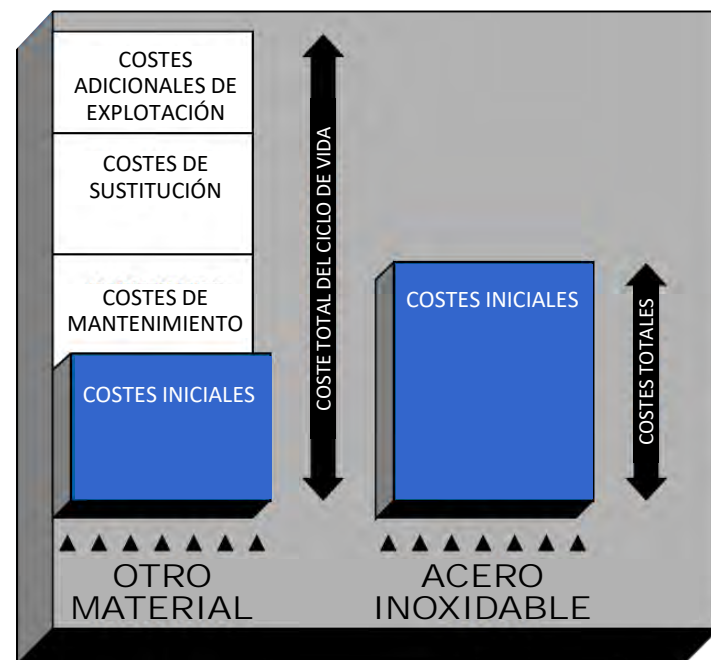
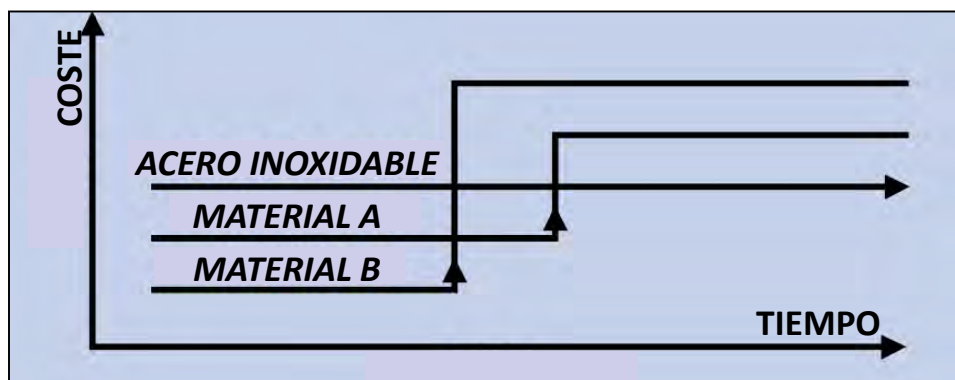
stiffer material
= longer span

Espesores finos de 0,4mm y 0,6mm en chapa son ampliamente empleados en inoxidable.

Peso: solo 3,12Kg y 4,68Kg respectivamente por m² !


Razones por las que el acero inoxidable no es caro si se tiene en cuenta el ciclo de vida

El coste de las estructuras realizadas con otros materiales se incrementa sustancialmente a lo largo del tiempo, mientras que las realizadas con acero inoxidable se mantienen constantes..



El coste relacionado con la corrosión excede los 276 Billions \$ en Estados Unidos ¹⁷

Comparativa del ciclo de vida de dos estructuras antiguas^{18,19}

Structuras	Finalizadas	Material	Altura	Mantenimiento
Torre Eiffel en Paris * 	1889 	Acero al carbono	324m	Cada 7 años. Cada campaña de pintura dura al menos año y medio (15 meses). Se usan entre 50 y 60 tons de pintura, 25 pintores, 1500 brochas, 5000 discos de lijado y 1500 sets de ropas de trabajo.
Edificio Chrysler (Tejado y Hall) – New York 	1930 (Tejado) 1929 (Hall) 	Acero inoxidable austenítico (tipo: 302)	319m	Dos veces en 1951, 1961, 1995. La solución empleada en 1961 se desconoce. Un detergente neutro, desengrasante y abrasivo fue empleado en 1995.

* La torre Eiffel se construyó antes de que el acero inoxidable se inventase...y se suponía que sería una obra temporal, pero a la gente la encantó !

Ejemplo:

Comparativa de mantenimiento de dos puentes importantes.^{20, 21}

- Puente Golden Gate en San Francisco
- Puente Stonecutter's en Hong Kong

En las siguientes 2 diapositivas

Puente Golden Gate (1937), San Francisco

<- Mantenimiento



“Un robusto grupo de **13 trabajadores del metal trabajan** junto con **28 pintores** y un **jefe de pintura de puente** batallan contra el viento, el aire marino y la niebla, generalmente suspendidos sobre el agua, para reparar el acero corroido. Los trabajadores reemplazan las partes de acero corroidas y los remaches con tornillos de acero de alta resistencia, a la par que fabrican pequeños componentes para empelar en el puente y asisten a los pintores con sus equipos de trabajo en altura. Los trabajadores ademas retiran barras y chapas para proveer el acceso al interior de las columnas y otros componentes a los pintores interiores. Los pintores preparan todas las superficies del puente y reparan todas las areas corroidas.” ²⁰

Puente Stonecutter's (2009), Hong Kong

<- Mantenimiento



Detalles del proyecto : 1,596m longitud. 2 carriles 3 pilares atirantados. Vano central de 1,018m. Resistente a tifones.

Material : Acero inoxidable EN1.4462 (Duplex) plate con 450MPa de límite elástico empleado para las torres de mas de 175m de altura y para el forrado de las mismas.

Porqué se seleccionó inoxidable frente al acero al carbono: por los requisitos de vida útil de 120 años en un ambiente cálido y contaminado por agua de mar. Diseñado con la idea de nulo mantenimiento. ²¹

Principales referencias

1. <https://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>
(b) [http://wiki.answers.com/Q/What is the weight of a red clay brick in Kilograms](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms)
3. CEM bureau <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/>
4. (a) <https://www.worldsteel.org/> (b) www.globalcastingmagazine.com
5. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
6. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
7. (a) <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php> (b)
<https://www.statista.com/statistics/609964/flat-glass-market-key-info-globally-projection/>
8. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
9. <https://www.worldstainless.org/statistics/stainless-steel-meltshop-production/>
10. <http://www.withbotheyesopen.com/>
11. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
12. <http://www.mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
13. http://www.nickelinstitute.org/~/_Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel_14057a_.pdf
14. <http://www.aperam.com/>
15. [Wikipedia](#)
16. <https://european-aluminium.eu/media/1310/en-metals-for-buildings-essential-fully-recyclable.pdf>

Principales referencias (Cont.)

17. US Federal Highway administration reports FHWA-RD-01-156 and 157 www.corrosioncost.com
18. a) <https://www.tou Eiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building b)
[https://www.nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=11023
&page=1](https://www.nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=11023&page=1)
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters_Bridge_Towers.pdf
22. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_English_public_version.pdf

Gracias

Material didactico para docentes en Arquitectura o Ingenieria Civil

Capítulo 4

Qué son los aceros inoxidable?

Videos



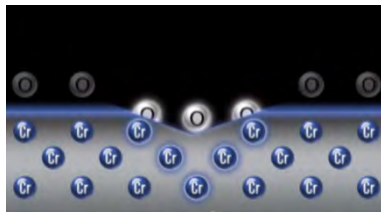
100 Años del acero Inoxidable

<http://worldstainless.org/publications/videos>



Aleados para una larga durabilidad

<http://worldstainless.org/publications/videos>

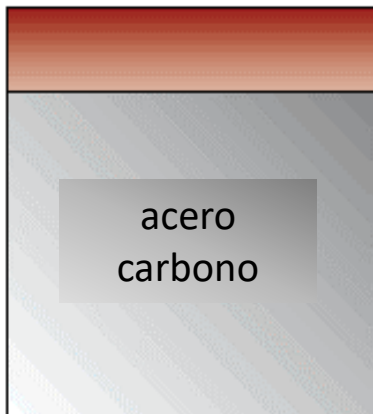


Autoreparación para una larga duración

<http://worldstainless.org/publications/videos>

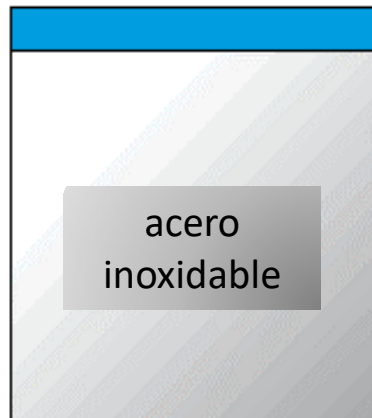
Los aceros inoxidable son aleaciones férricas que contienen al menos un 10,5% de Cromo

Óxido superficial
> 20 μ m espesor



< 11 % cromo

Capa pasiva superficial
~ 2nm espesor

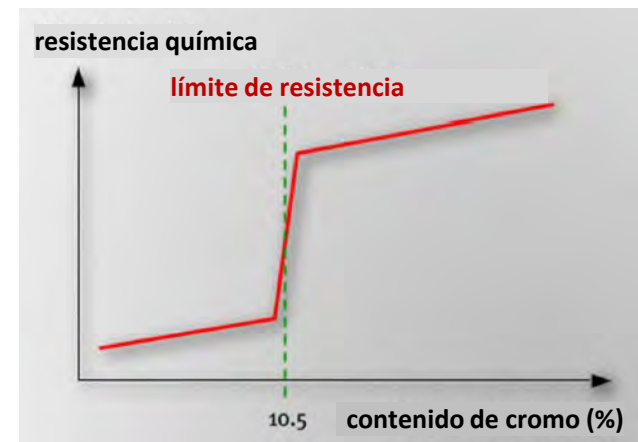


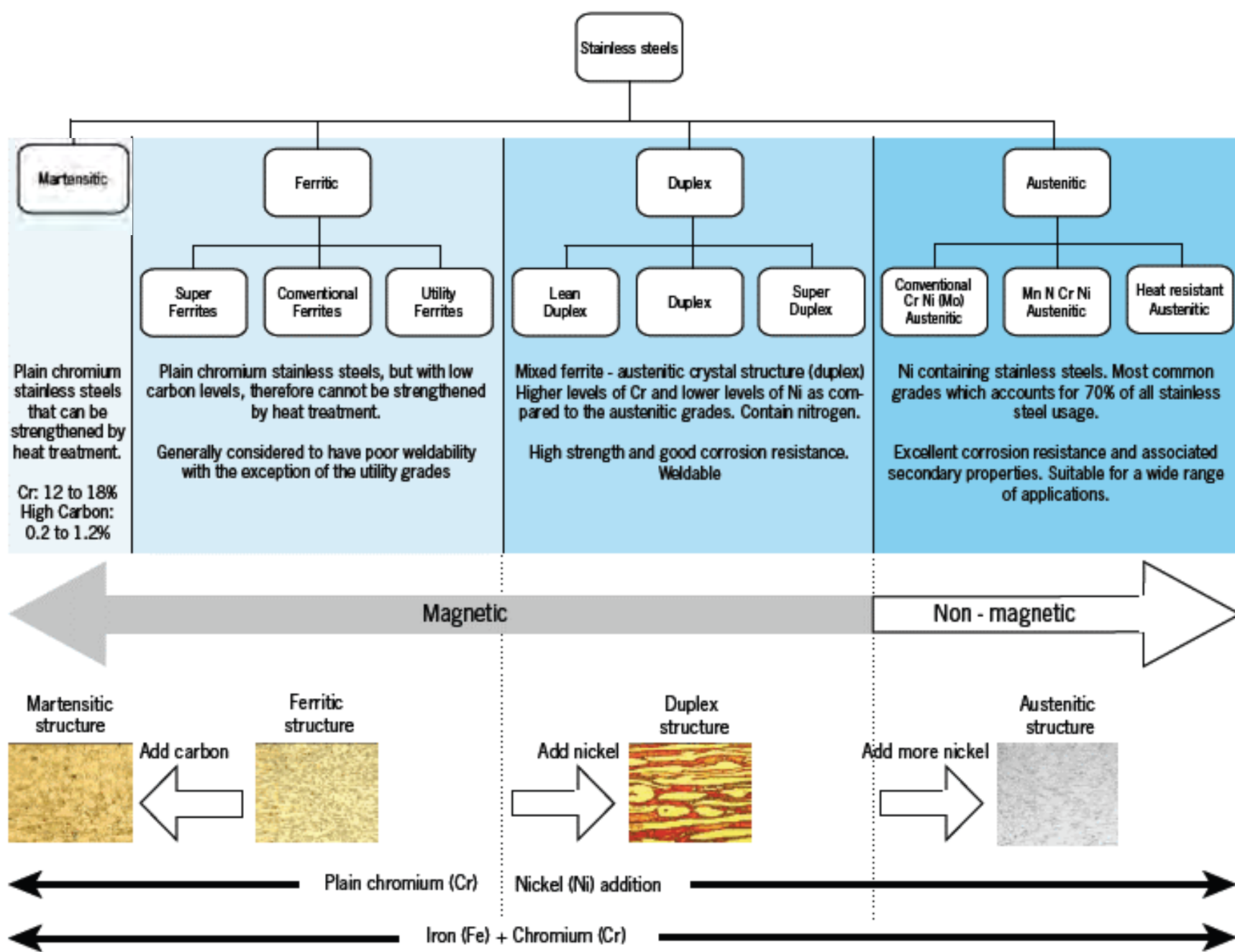
> 11 % cromo

Resistencia a corrosión

La capa pasiva se forma en pocos minutos

El incremento en Cromo aumenta la efectividad de la capa pasiva... Pero hay otros importantes factores que tienen influencia en la resistencia a corrosión (ver capítulo 5)





Aceros Cr-Ni (Austeniticos)⁴

Subgrupos:

▪ Cr-Ni	EN 1.4301/AISI 304	Cr: 18	Ni: 9	Fe: Balanceado
▪ Cr-Ni-Mo	EN 1.4401/AISI 316	Cr: 18	Ni 10 Mo: 2.5	Fe: Balanceado

Propiedades intrínsecas:

- Muy buena resistencia a corrosión, aumenta en función del contenido en aleantes
- ... Pero pueden ser susceptibles de sufrir corrosión bajo tensiones (SCC) en ambientes con temperaturas elevadas y cloruros (piscinas por ejemplo)
- Alta ductilidad y resistencia al impacto a cualquier (incluyendo las muy bajas) temperatura
- La resistencia del material puede ser incrementada por deformación en frío
- Muy buena resistencia al fuego
- Muy buena capacidad para la deformación tanto en frío como caliente (ductilidad, elongación)
- Facilmente soldable (TIG, MIG)

Código de color:

▪ Resistencia a corrosión

▪ Propiedades mecánicas

▪ Fabricación

Los más conocidos y empleados en la actualidad

Aceros Cr-Mn (Austeniticos al Manganeso)⁵

Tipo Acero más común:

▪ Cr-Mn-Ni-N	EN 1.4372/AISI 201	Cr: 17	Mn: 7	Ni: 4	N:0.15	Fe: Balanceado
--------------	--------------------	--------	-------	-------	--------	-------------------

Propiedades intrínsecas:

- Menor resistencia a corrosión
- ... Y mucho más susceptibles a la corrosión bajo tensiones (SCC) y a las picaduras, especialmente cuando los niveles de Ni y Cr son bajos
- Mayores resistencias
- Pobre comportamiento frente a la deformación en frío
- Pobre maquinabilidad
- Más difíciles de soldar
- Coste inferior a los austeniticos Cr-Ni ... pero superior a los ferriticos

Mayormente
empleados en
India y China

Código de
color:

▪ Resistencia a
corrosión

▪ Propiedades
mecánicas

▪ Fabricación

Aceros con Cr (Ferriticos)⁶

Subgrupos:

▪ Cr	EN 1.4016/AISI 430	Cr: 17	Fe: Balanceado
▪ Cr-Mo	EN1.4521/AISI 444	Cr: 18 Mo: 2 Ti+Ni: 0.4	Fe: Balanceado

Propiedades intrínsecas:

- No afectado por la corrosión bajo tensiones (SCC)
- Buena ductilidad (aunque menor que la de los austeníticos)
- No son válidos para su empleo a bajas temperaturas
- Se puede incrementar algo la resistencia por deformación en frío (pero no por tratamiento térmico)
- Muy buenas propiedades para la deformación en frío. (menor efecto muelle, menor desgaste de herramientas, pero requiere una operativa diferente de la de los austeníticos)
- Los tipos estabilizados (con Nb y/o Ti) son fácilmente soldables(TIG, MIG)

Ofrecen un óptimo funcionamiento/coste en múltiples aplicaciones y son cada vez más empleados

Código de color:

▪ Resistencia a corrosión

▪ Propiedades mecánicas

▪ Fabricación

Aceros Cr (Martensíticos)⁷

Subgrupos:

▪ C-Cr	EN1.4021/AISI 420	Cr: 13 C:0.2	Fe: Balanceado
▪ C-Cr-Ni	EN1.4057/AISI431	Cr: 16 Ni: 2 C: 0.2	Fe: Balanceado
▪ Endurecidos por precipitación	Typically EN1.4542/AISI630	Cr: 17 Ni: 4 Cu:4	Fe: Balanceado

Propiedades intrínsecas:

- **Aceptable a buena resistencia a corrosión, dependiendo de la cantidad de aleantes.**
- **Alta resistencia** obtenida por tratamiento térmico (no por deformación en frío). Limitada elongación.
- **No recomendable para su uso a muy bajas temperaturas**
- **No recomendable para su conformado, generalmente procesados por mecanizado**
- **Pueden ser soldados (TIG, MIG), pero requieren generalmente de tratamiento posterior**

Son usados como aceros de ingeniería con resistencia a corrosión

Código de color:

▪ **Resistencia a corrosión**

▪ **Propiedades mecánicas**

▪ **Fabricación**

Duplex (Austenitico-Ferritico)⁸

Subgrupos:

▪ Cr-Ni	EN1.4362	Cr: 23 Ni: 4	Fe: Balanceado
▪ Cr-Ni-Mo	EN1.4462	Cr: 22 Ni: 5 Mo: 3	Fe: Balanceado

Propiedades intrínsecas:

- Excelente resistencia a corrosión, se incrementa en función del contenido de aleantes
- No afectado por la corrosión bajo tensiones (SCC)
- Alta resistencia, buena ductilidad
- Resistencia puede incrementarse mediante deformación en frío (pero no por tratamiento térmico)
- Buenas propiedades para conformado en frío y en caliente(ductilidad, elongación)
- Soldable (TIG, MIG)

Ofrecen la mejor combinación de resistencia a corrosión y propiedades mecánicas

Codigo de color:

▪ Resistencia a corrosión

▪ Propiedades mecánicas

▪ Fabricación

Propiedades Físicas^{9, 10}

Materiales	Modulo de Elasticidad Gpa	Coefficiente de Expansión Térmica $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$	Conductividad Térmica $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$	Magnetismo	Densidad Kg/dm^3
Cr-Ni Austeniticos	210	18	15	No	7.8
Cr-Mn Austeniticos	210	17	15	No	7.8
Cr Ferriticos	220	11	23	Yes	7.7
Cr-Ni (Mo)-N Duplex	210	14	15	Intermediate	7.8
Cr-C Martensiticos	215	11	30	Yes	7.7
Acero al Carbono	210	12	18	Yes	7.8
Cobre	135	17	380	No	8.3
Aluminio	70	22	230	No	2.7
Vidrio	65	9	1,7	No	2.5
Hormigón	48	10	1	No	2.5

Normativa de Aceros inoxidables

Principales entidades normativas:

ISO



EN



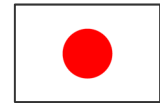
ASTM/AISI



UNS



JIS



Nota:

Muchos países referencian a las normas anteriores, que son ampliamente aceptadas.
 Muchos de los aceros son muy similares en todas las normas.

Listado de normativa Americana: ref 11

Listado de normativa Europea: ref 12

Existen tablas de correspondencia entre ambas: refs 13 – 15

Principales tipos de Acero inoxidable utilizados en Arquitectura y Construcción: EN 10088-4 (chapa/plate/fleje)^{16, 17}

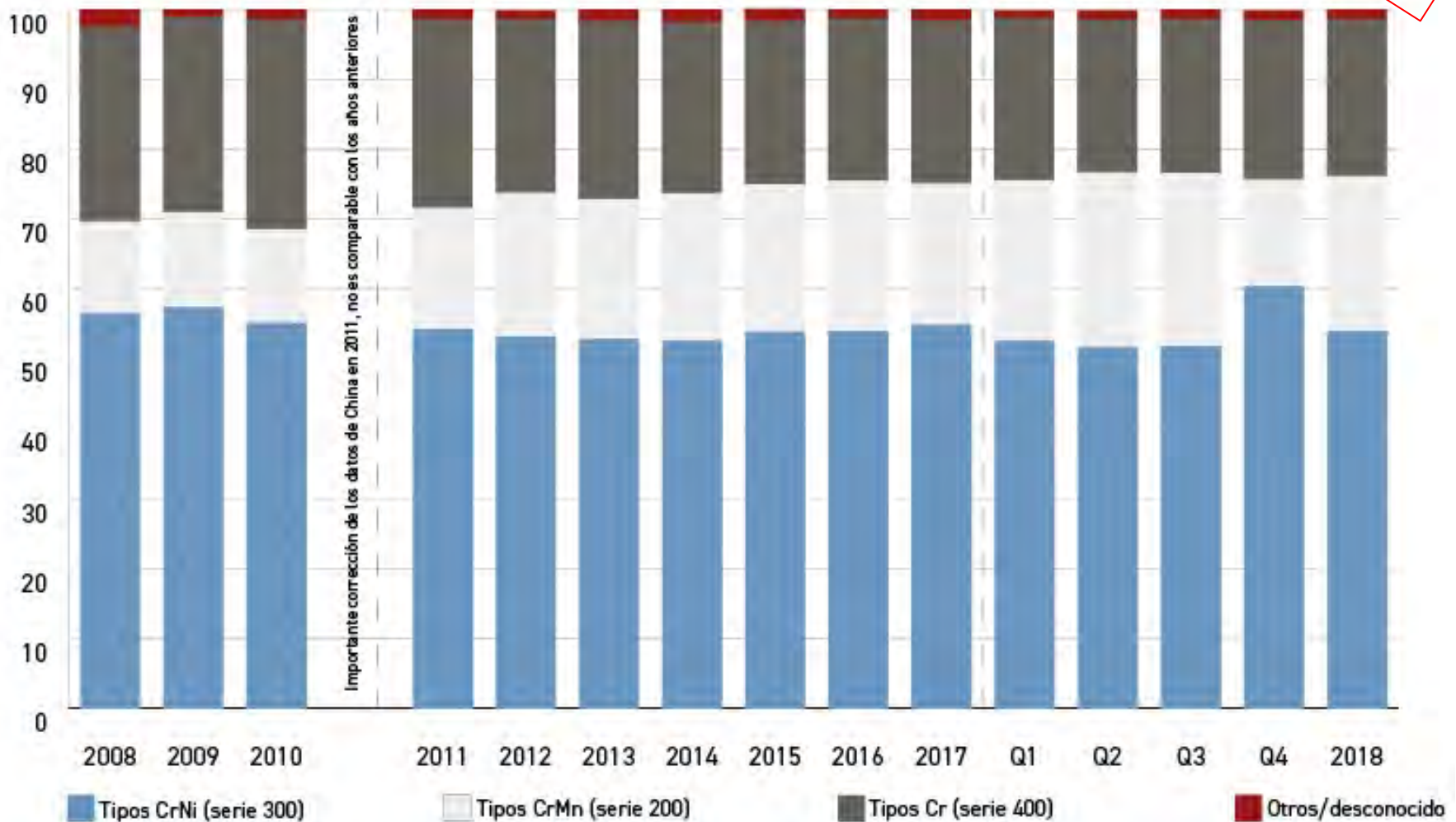
Tipo	ASTM UNS	C Wt%	Cr Wt%	Ni Wt%	Mo Wt%	Otros Wt%	Uso principal ^{3,4}
4003	S40977	0,02	11,5	0,5	-	-	Interiores (calidos o no)
4016	430	0,04	16,5	-	-	-	Revestimientos decorativos en interior
4509	S43932	0,02	18	-	-	Nb Ti	Tejados en zonas de interior y canalones de agua
4510	439	0,02	17	-	-	Ti	
4521	444	0,02	17,8	-	2,1	Ti	Mercado de tubería doméstica
4301	304	0,04	18,1	8,1	-	-	Interiores y exteriores de edificios en ambiente industrial normales alejadas de la costa
4307	304L	0,02	18,1	8,1	-	-	
4306	304L	0,02	18,2	10,1	-	-	
4401	316	0,04	17,2	10,1	2,1	-	Aplicaciones permanentemente húmedas, localizaciones en ambiente costero, ambientes industriales contaminados o cerca de carreteras con sales de deshielo
4404	316L	0,02	17,2	10,1	2,1	-	
4571	316Ti	0,04	16,8	10,9	2,1	Ti	
4529	N08926	0,01	20,5	24,8	6,5	N, Cu	Túneles de carretera y piscinas cubiertas
4547		0,01	20,0	18,0	6,1	N, Cu	
	S31254						

Principales tipos de Acero inoxidable utilizados en Arquitectura y Construcción: EN 10088-5(barra/alambre/perfiles)¹⁸

Tipo	ASTM UNS	C Wt%	Cr Wt%	Ni Wt%	Mo Wt%	Otros Wt%	Uso principal ⁶
4003	S40977	0,02	11,5	0,5	-	-	
4016	430	0,04	16,5	-	-	-	Ganchos para pizarra
4542	630	0,04	16,0	4,0		Cu,Nb	Barras de anclaje
4301	304	0,04	18,1	8,1	-	-	Corrugado Tornillería tipo A2
4307	304L	0,02	18,1	8,1	-	-	
4311	304N	0,02	18,1	8,6	-	N	
4567	304Cu	0,02	17,1	8,6	-	Cu	
4401	316	0,05	16,6	10,1	2,1	-	Interior y exterior de edificios en ambiente industrial normal, lejos de la costa, Corrugado
4404	316L	0,02	16,6	10,1	2,1	-	
4429	« 316LN »	0,02	16,6	11,1	2,6	N	
4529	« 926 »	0,01	20,5	24,8	6,5	N, Cu	Tuneles de carreteras y piscinas cubiertas.
4547	S31254	0,01	20,0	18,0	6,1	N, Cu	
4362	S32304	0,02	22,5	3,6	0,3	N, Cu	Corrugado y componentes mecánicos
4462	S32205	0,02	21,5	4,6	2,8	N	Corrugado y componentes mecánicos

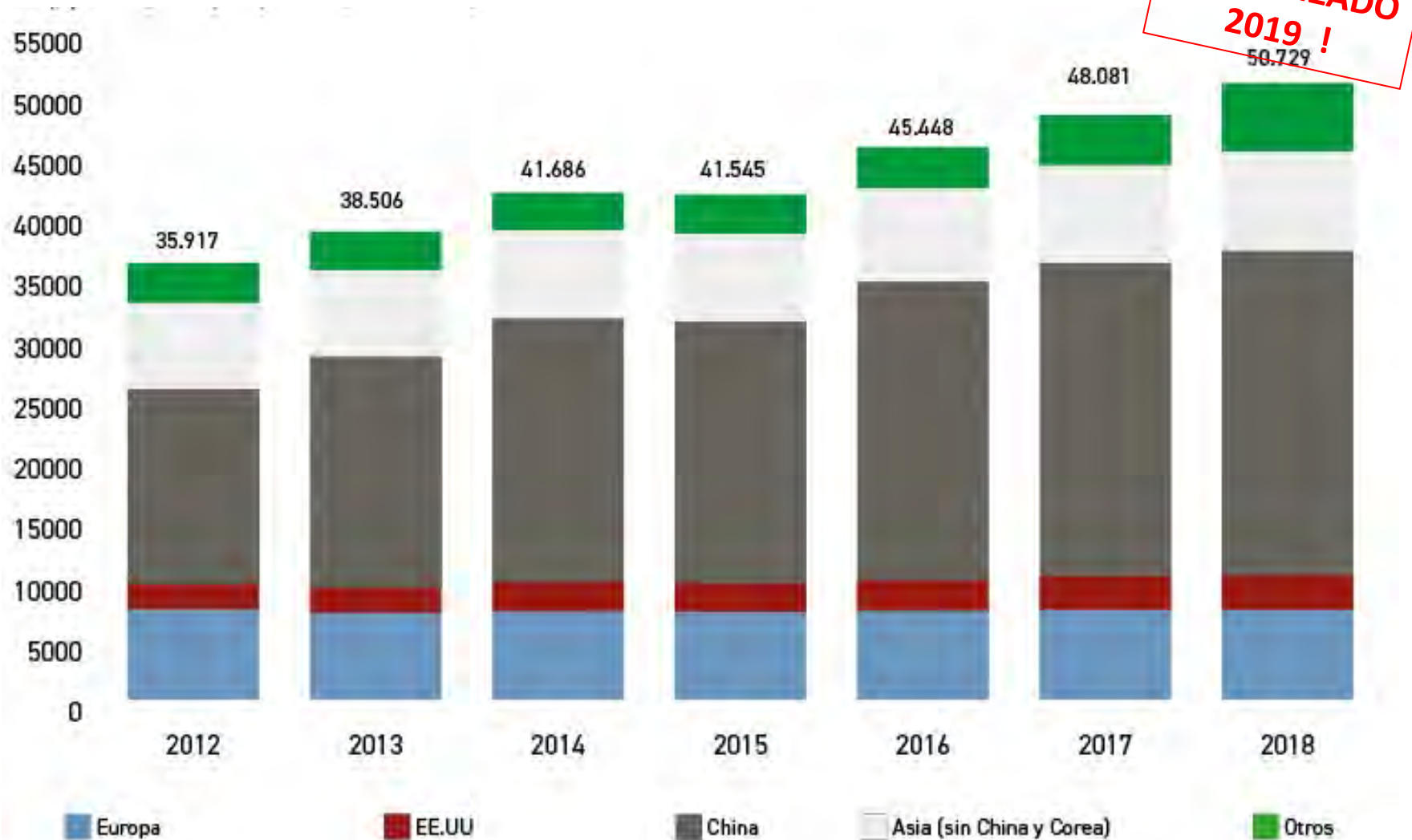
Desglose de la producción mundial por familia¹⁹

NUEVA

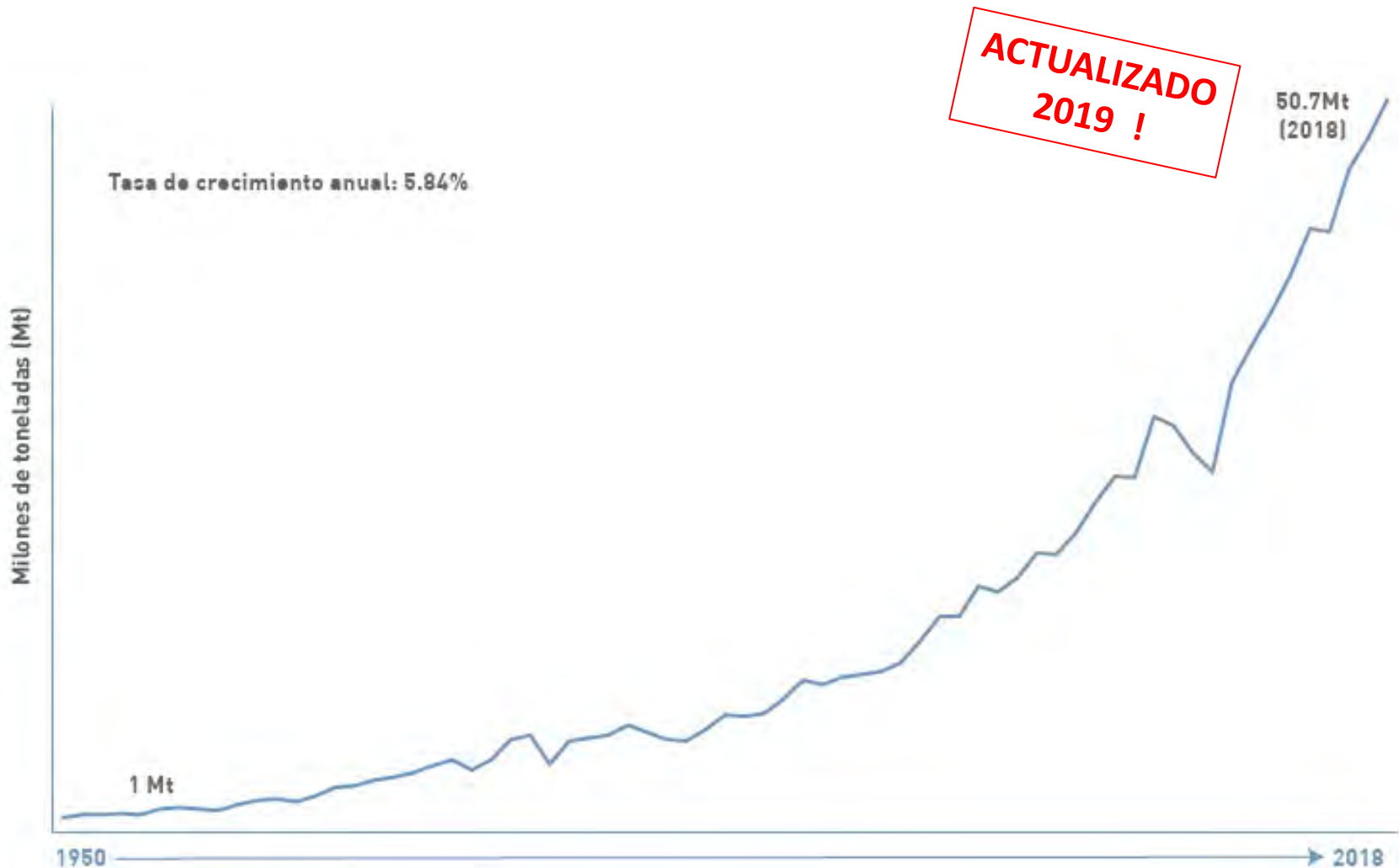


Altos valores del Ni favorecen el reemplazo de tipos CrNi por tipos como Cr-Mn o Cr
Los tipos Duplex, irrelevantes hoy en día, se espera que crezcan enormemente en el futuro.

Producción de acería de acero inoxidable (equivalente en desbaste/lingote) por zona x1.000 toneladas

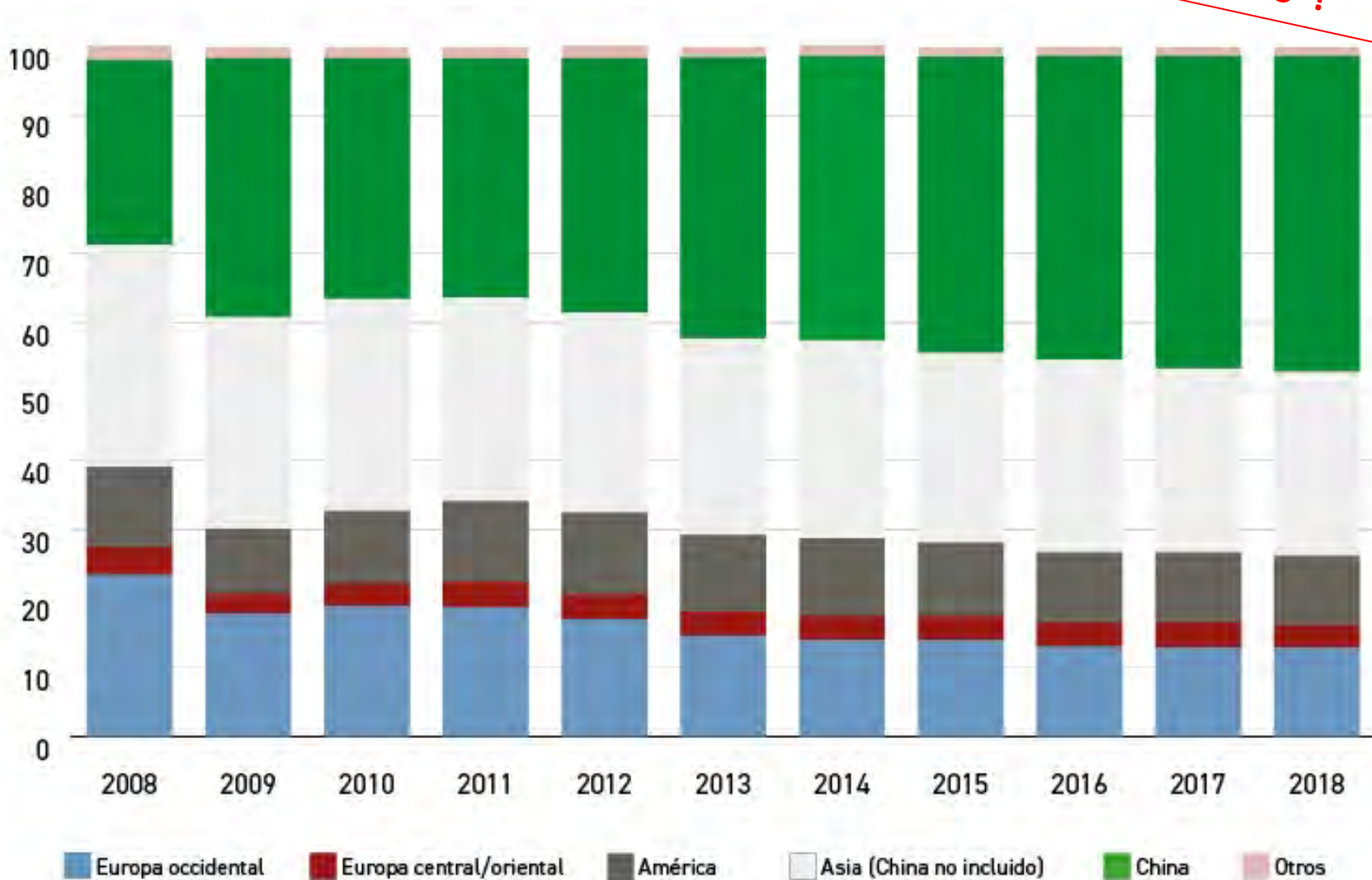


Tasa de crecimiento anual de producción de acería de acero inoxidable²² (millones de toneladas)



Consumo aparente del acero inoxidable por zonas

ACTUALIZADO 2019 !



Referencias bibliográficas (1/2)

1. <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/TheStainlessSteelFamily.pdf>
2. D. Peckner Handbook of Stainless Steels Hardcover – June, 1977 ISBN-13: 978-0070491472 ISBN-10: 007049147X
3. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf
4. New « 200 series steels »: An opportunity or a threat to the image of stainless steel?
http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSFNew200seriessteelsAnopportunityorathreat_EN.pdf
5. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/about-stainless-steel/stainless-steel-types/pages/default.aspx>
6. The ferritic solution http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_The_Ferritic_Solution_Spanish.pdf
7. Martensitic stainless steels http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Martensitic_Stainless_Steels.pdf
8. Duplex stainless steels: <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/structural-duplex-stainless.php?d=1>
9. https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel_14057a_.pdf
10. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Tables_TechnicalProperties_EN.pdf
11. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/2014-8-Specification-and-Guideline-list.pdf
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=370&featured=1>
13. <https://www.worldstainless.org/about-stainless/what-is-stainless-steel/standards/>

Referencias bibliográficas (2/2)

14. Chemical composition of stainless steel flat products for general purposes to EN 10088-2: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44>
15. Chemical composition of stainless steel long products for general purposes to EN 10088-3: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>
16. EN 10088-4:2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for construction purposes [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/EN10088-4 EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/EN10088-4%20EN.pdf)
17. Stainless steel flat products for building – the grades in EN 10088-4 explained: [https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/EN10088-4 EN.pdf](https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/EN10088-4%20EN.pdf)
18. EN 10088-5: 2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes.
19. ISSF publication « Stainless Steel in Figures »: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel in Figures 2019 English public version.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF%20Stainless%20Steel%20in%20Figures%202019%20English%20public%20version.pdf)

Gracias

Material didáctico de apoyo para docentes de
Arquitectura /Ingeniería Civil.

Capítulo 05:
Resistencia a la Corrosión de
los aceros inoxidables

Contenido

1. La mayoría de los materiales sufren un deterioro con el tiempo
2. Por qué los aceros inoxidables resisten la corrosión
3. Tipos de corrosión de los aceros inoxidables
4. Cómo seleccionar el tipo de acero inoxidable con una resistencia a la corrosión adecuada.
 - Aplicaciones estructurales
 - Otros usos
5. Referencias

1. La mayoría de los materiales sufren un deterioro con el tiempo


La mayoría de los materiales sufren un deterioro con el tiempo

Material	Madera	Acero	Hormigón
			
Tipo de deterioro	Hongos Insectos Insolación+ lluvia	Corrosión	Agrietamiento/ desprendimiento
Acciones para mitigarlo	Tratamientos químicos Pintura/barniz	Galvanizado Pintado	Barra de refuerzo resistente a la corrosión

La mayoría de los materiales sufren un deterioro con el tiempo

Material	Piedra	Vidrio	Polímeros
Tipo de deterioro	Daños de desgaste por la contaminación	Roturas	Se vuelve quebradizo por la acción de rayos UV
Acciones para mitigarlo	No se toman normalmente	Vidrios templados	Uso de tipos de polímeros mejorados

La mayoría de los materiales sufren un deterioro con el tiempo

Material	Aluminio*	Cobre	Inoxidable
			
Tipo de deterioro	Aparición de picaduras a lo largo del tiempo , posible corrosión galvánica	Forma una pátina verde con el tiempo	No sufre deterioro
Acciones para mitigarlo	La corrosión galvánica puede prevenirse	Ninguna	No se requieren

* El aluminio forma una delgada capa de óxido protector , como sucede con el inoxidable , pero de mucha menor resistencia a la corrosión

Corrosion en hormigón

(Los problemas de corrosión no se limitan a las superficies externas !)



Image courtesy of Arminox Stainless



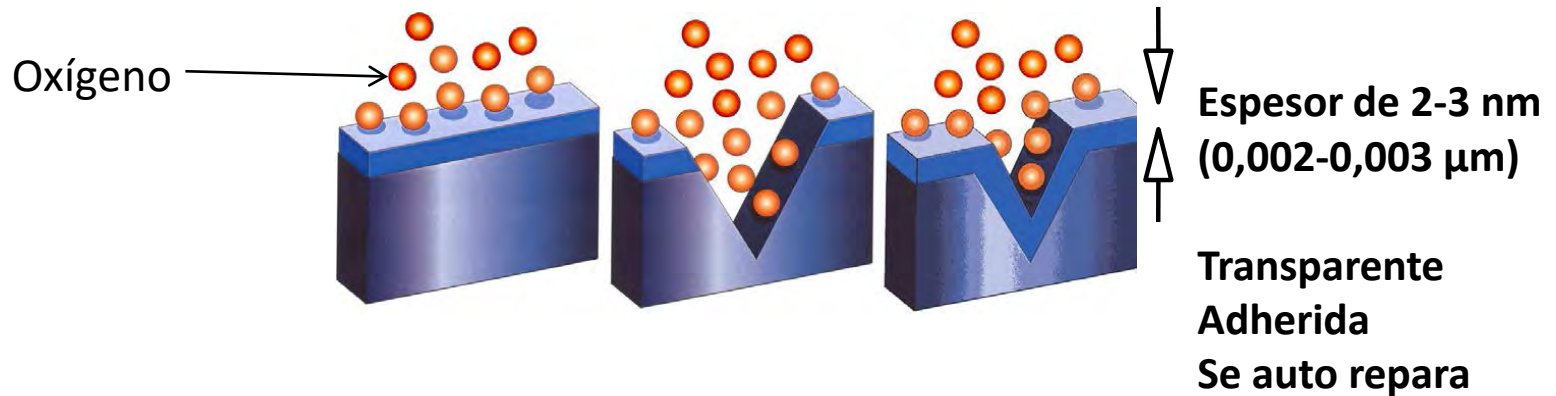
El acero inoxidable proporciona la resistencia estructural y la resistencia a la corrosión necesaria en el interior del hormigón, proporcionando una larga vida útil, sin necesidad de mantenimiento de la estructura.

- La corrosión de acero al carbono sin protección se produce incluso en el interior de estructuras de hormigón armado ya que los cloruros presentes en el medio (marino/ sales de deshielo) se difunden a través del hormigón.
- Los productos de corrosión (oxidación) tienen un volumen mayor que el metal y crean tensiones internas que causan el desprendimiento del hormigón al astillarse.
- Mitigar la corrosión de las armaduras de refuerzo es una necesidad.
- Se utilizan varias técnicas: Un recubrimiento de hormigón más grueso; protección catódica; membranas, revestimiento epoxi ... y acero inoxidable en lugar de acero al carbono

2. Por qué el acero inoxidable resiste la corrosión

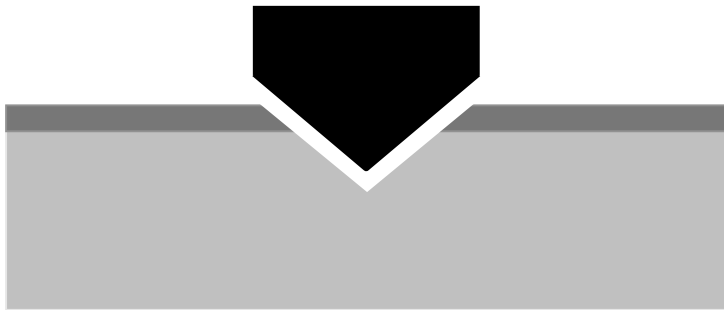
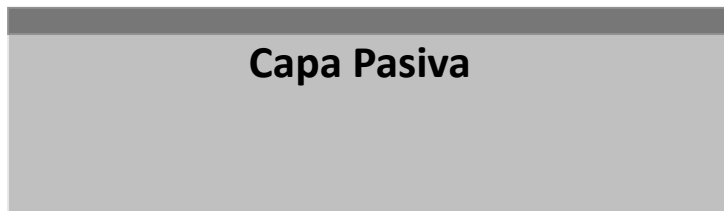
Passive Layer vs. Coatings

**Capa de PELICULA PASIVA en ACEROS INOXIDABLES:
Oxidos-hidroxidos de Fe y Cr**

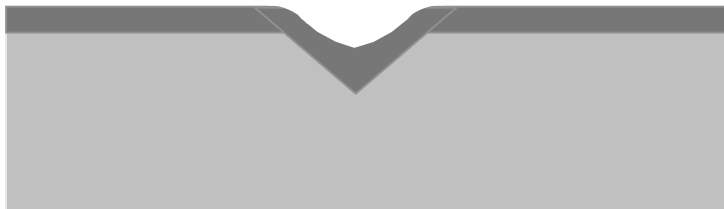


Daño a la capa protectora

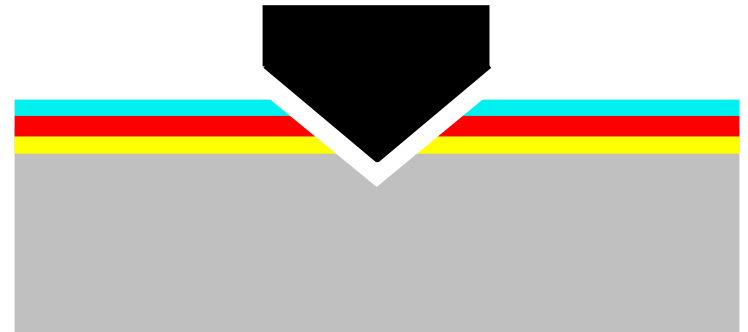
Acero Inoxidable



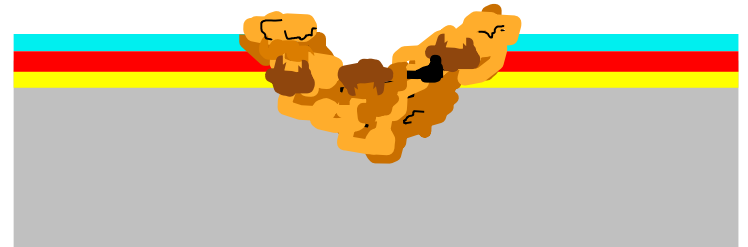
Auto reparación



Acero dulce



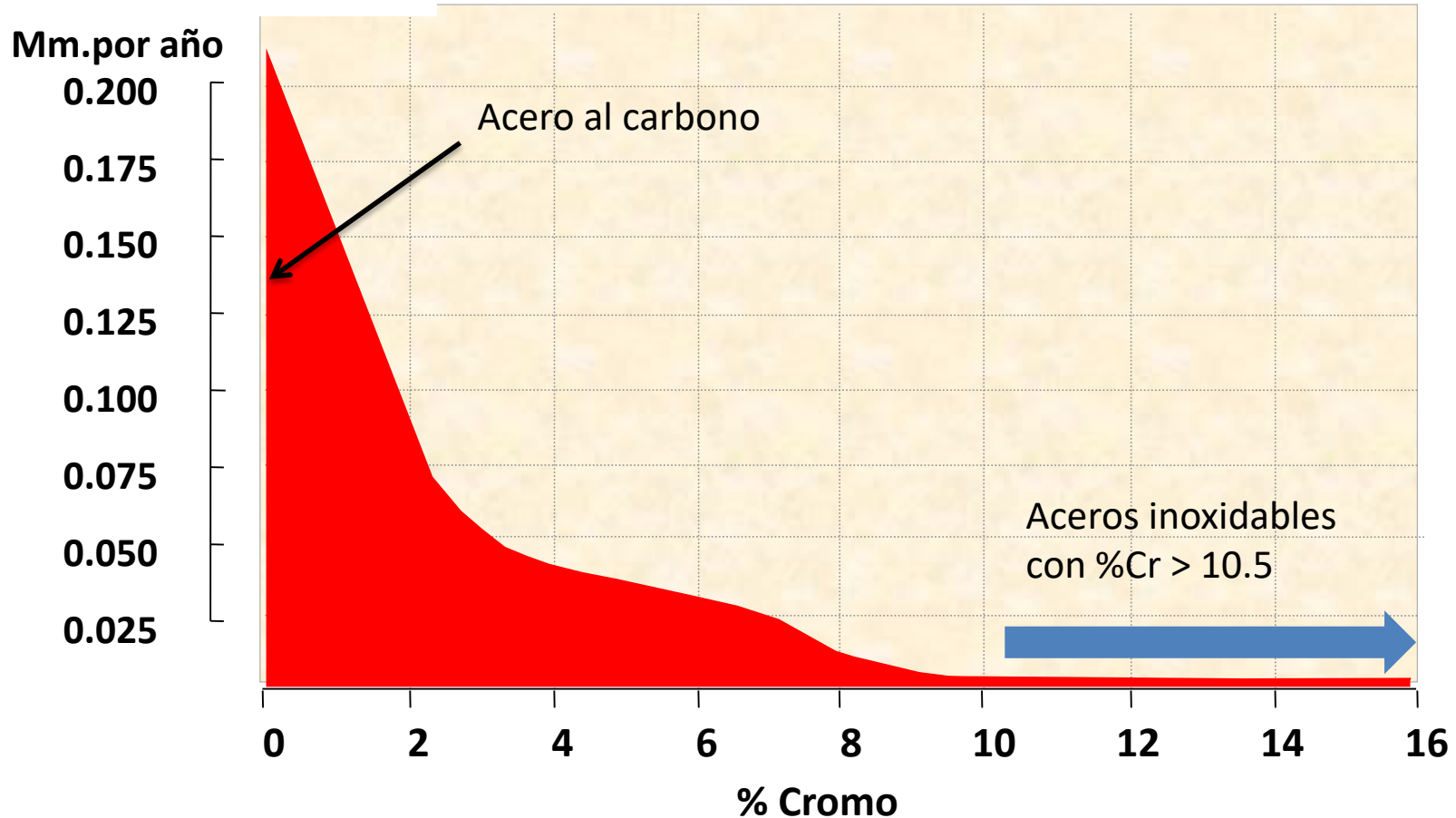
Productos de Corrosion



3. Tipos de corrosion de los aceros inoxidables

Efecto del Contenido de Cromo en la Resistencia a la corrosión atmosférica (corrosion tipo uniforme)

Velocidad de Corrosion



Cuando la selección de la clase de acero inoxidable no se ha hecho correctamente, se puede producir la corrosión

...no existen materiales perfectos!

Piensa que es como seleccionar el vehículo adecuado para el uso previsto

Tipos of corrosion de los aceros inoxidables

- a) Uniforme
- b) Picaduras
- c) Intersticial
- d) Galvánica
- e) Intergranular
- f) Agrietamiento por corrosion bajo tensiones

a) ¿Qué es una corrosión uniforme?

- Cuando la película pasiva es destruida por el medio ambiente agresivo, toda la superficie se corroe de manera uniforme y la pérdida de metal se puede expresar en micras / año
- Esta es típica en aceros al carbono no protegidos .
- No se produce en los aceros inoxidables ,en la industria de la construcción, ya que las condiciones de corrosión nunca son tan agresivos (normalmente se requeriría la inmersión en ácidos para que se produzca)



b) ¿Qué es una corrosión por picaduras? ^{1,2,3,7}

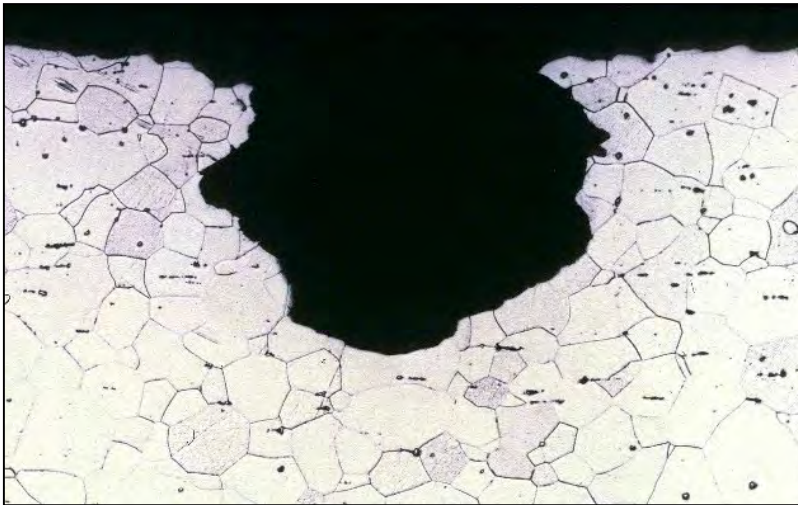
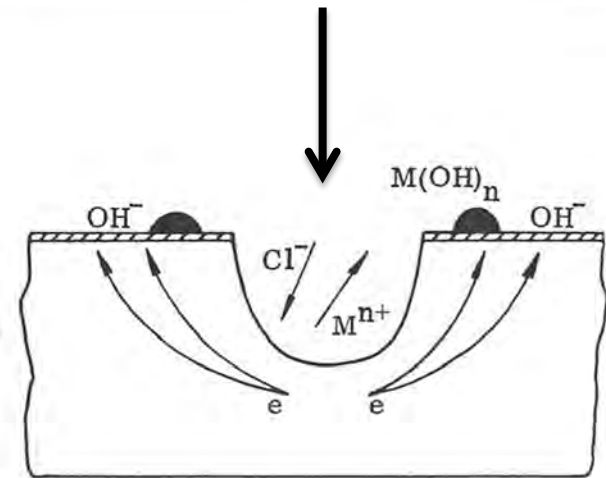
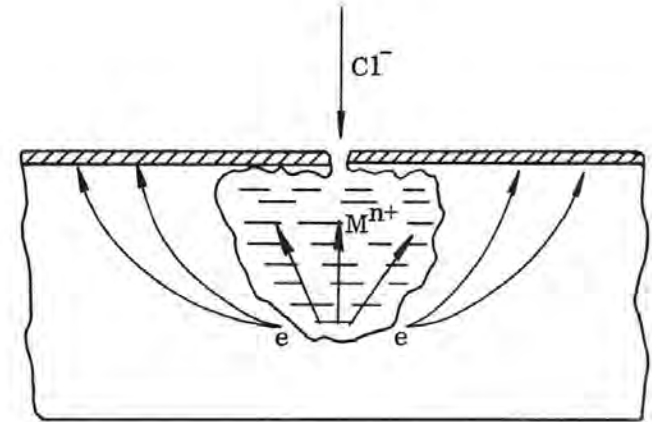
La corrosión por picaduras, o picaduras, es una forma de corrosión extremadamente localizada que conduce a la creación de pequeños agujeros en el metal.

Esta imagen muestra las picaduras del acero inoxidable EN1.4310 (AISI 301), como resultado de una insuficiente resistencia a la corrosión, en un entorno clorado muy agresivo



Mecanismos de la corrosión por Picaduras

1. Se inicia con la aparición de irregularidades de la superficie o inclusiones no metálicas muy pequeñas
2. Se propaga porque que las reacciones electroquímicas en la cavidad no se ven afectadas por la re-pasivación

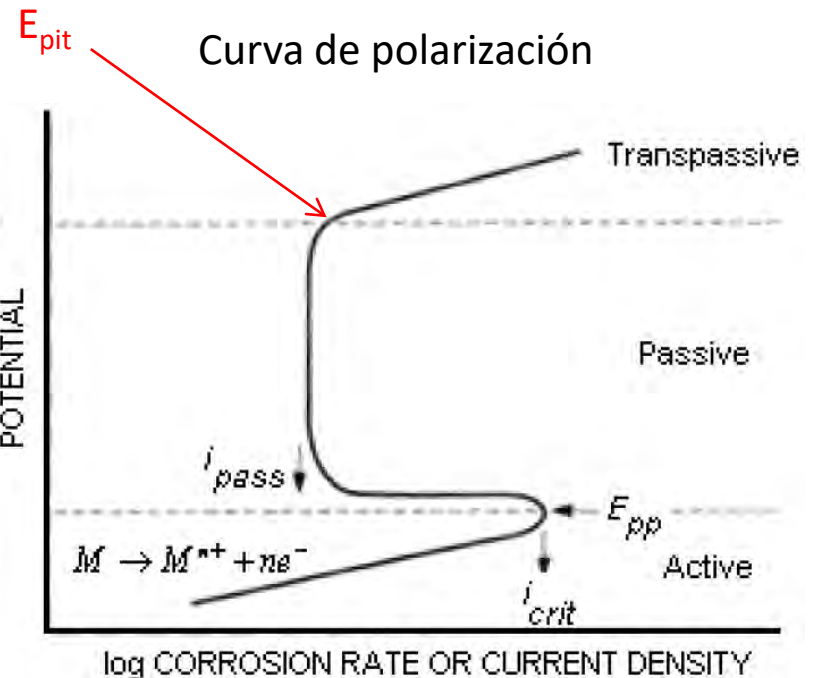
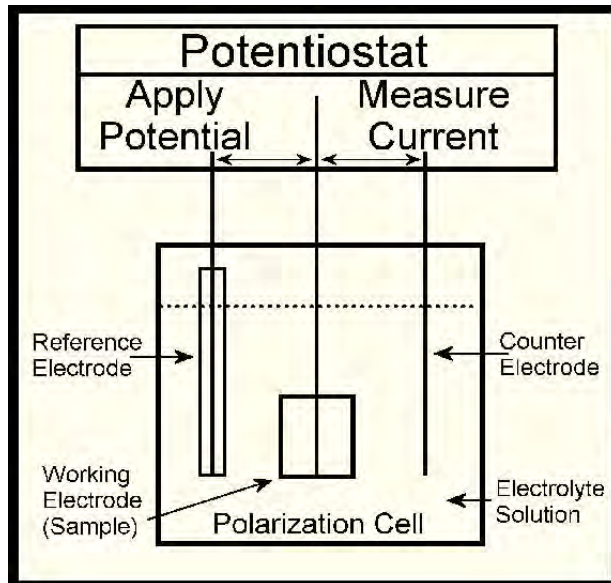


Las picaduras pueden ser reproducidas en una celda electroquímica

4

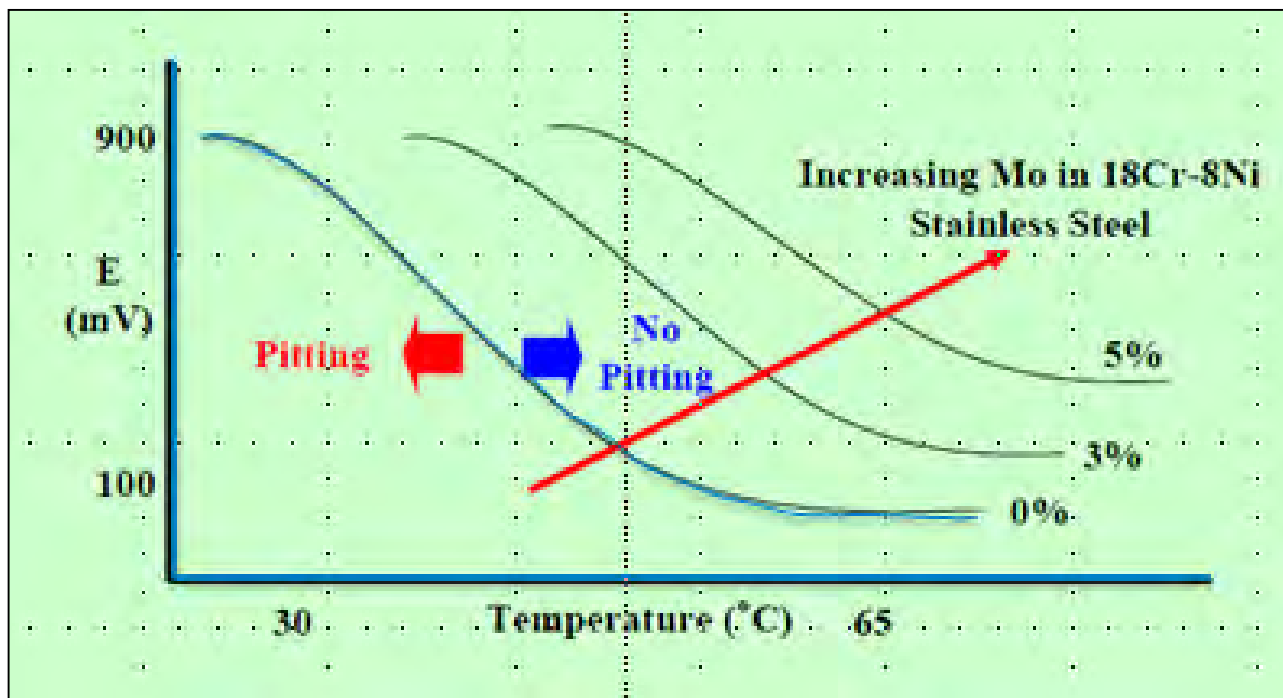
- Corrosión implica la disolución del metal, es decir, un proceso electroquímico con
- reacciones electroquímicas en la superficie del metal y
- una corriente entre el metal que se corroe (ánodo) y una parte catódica
- Estos procesos se pueden simular en una celda electroquímica, un dispositivo que permite el estudio de los procesos de corrosión

Electrochemical cell



¿Cuáles son los principales factores que influyen en la corrosión por picadura?
(El potencial de picadura de Epic se utiliza generalmente como el criterio para picaduras)

1. Temperatura



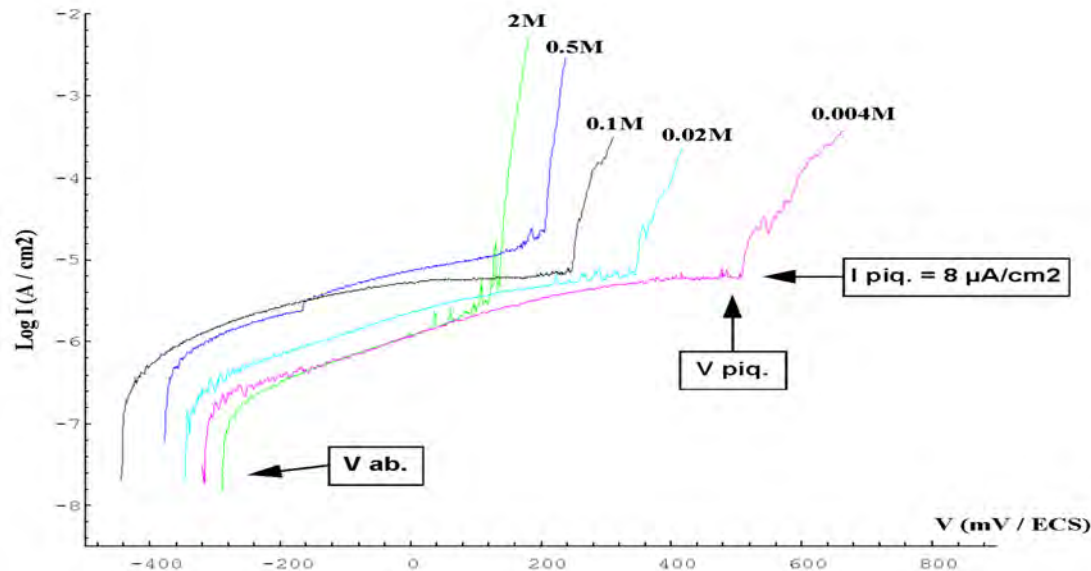
2. El aumento de la temperatura reduce drásticamente la resistencia a la picadura.

Los principales factores que influyen en la corrosión por picadura El potencial de picadura de Epic se utiliza generalmente como el criterio para picaduras)

2. concentración de cloruro

La resistencia a la picadura disminuye a medida que aumenta la concentración de Cl⁻ (el logaritmo de la concentración de Cl⁻)

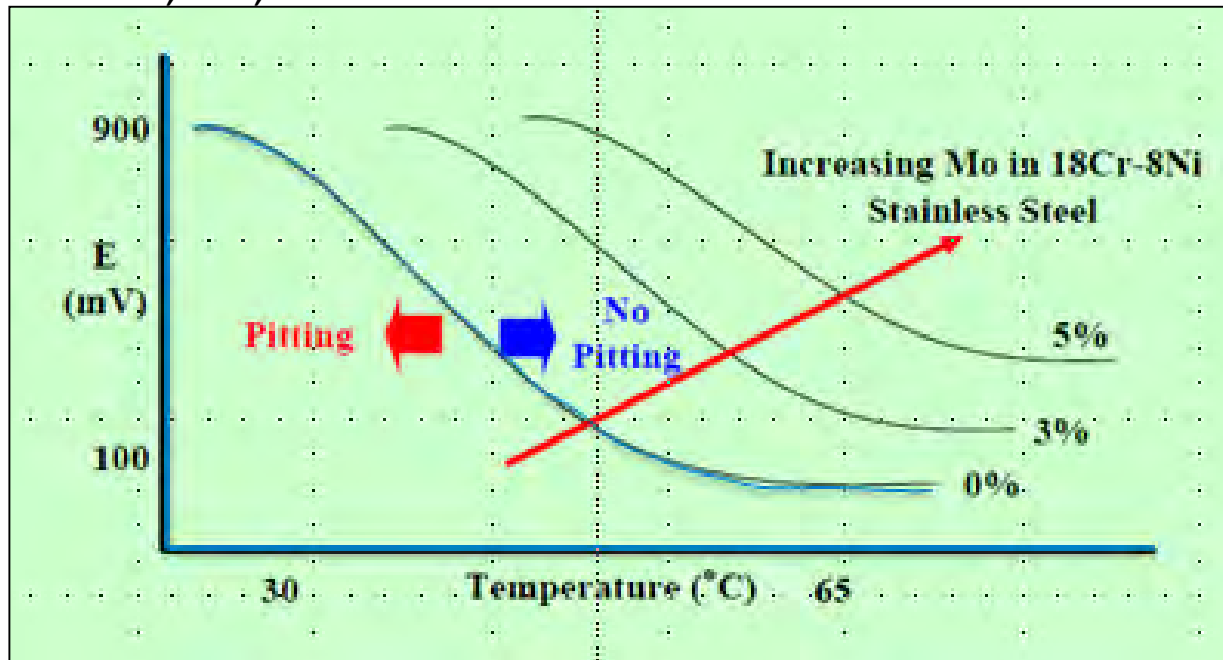
$$E_{\text{pit}} = A \log [\text{Cl}^-] + B$$



Los principales factores que influyen en la corrosión por picadura? (El potencial de picadura de Epic se utiliza generalmente como el criterio para picaduras)

2. Análisis del Acero inoxidable

La resistencia aumenta fuertemente con el contenido de algunos elementos de aleación: N, Mo, Cr



El papel de los elementos de aleación se describe por el PREN (Numero equivalente de Resistencia a Picaduras)

Número equivalente de Resistencia a Picaduras(PREN)⁶

Mediante el cálculo del PREN es posible comparar la resistencia de tipos de acero contra la corrosión por picaduras. Cuanto mayor sea el número, mejor es la resistencia.

Obviamente los PREN por sí solos no se pueden usar para predecir si un tipo en particular será adecuado para una aplicación dada

$PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$, donde

Cr = Contenido en cromo

Mo = Contenido en Molibdeno

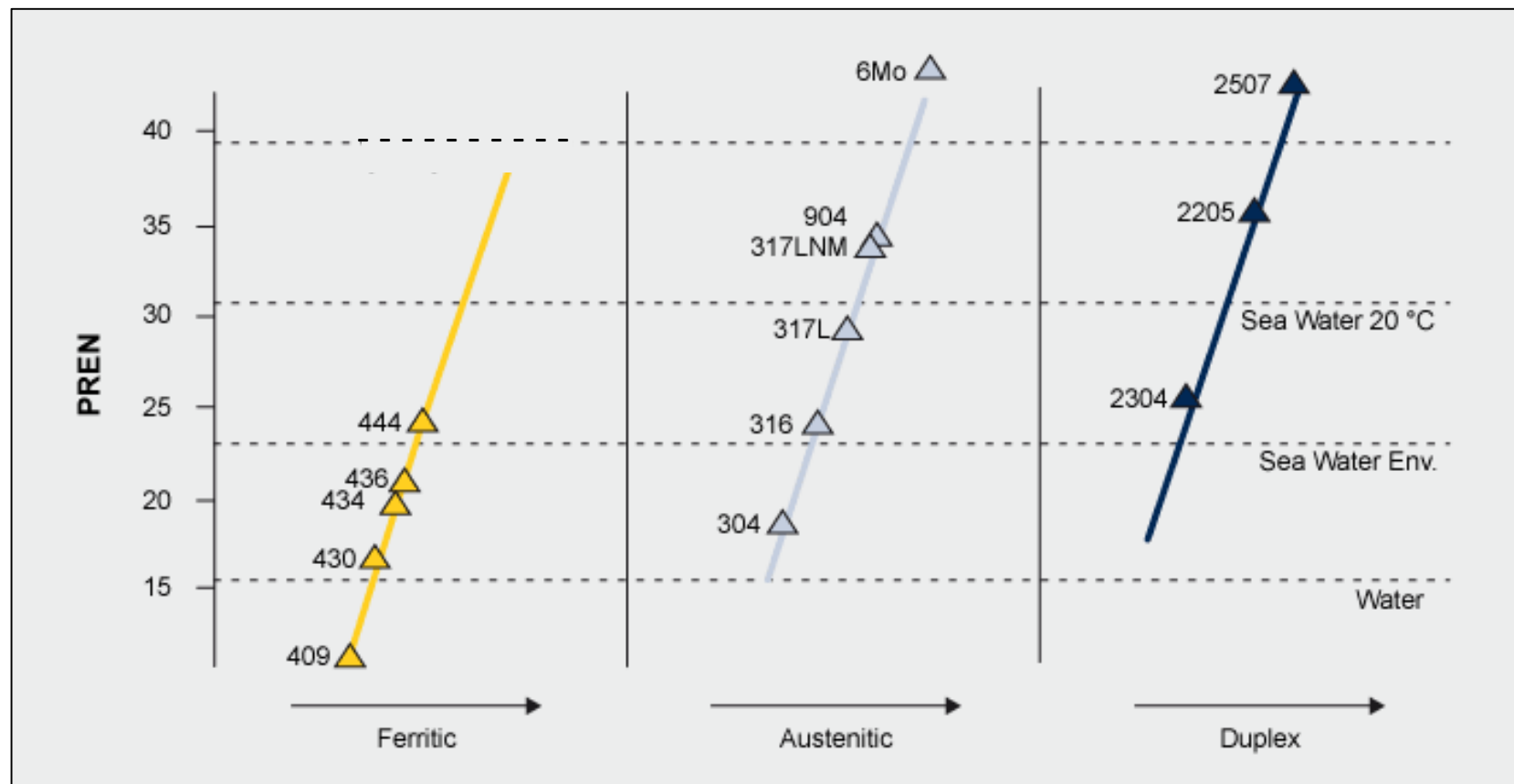
N = Contenido en Nitrógeno

EN	AISI	PREN
1.4003	-	10.5 - 12.5
1.4016	430	16.0 - 18.0
1.4301	304	17.5 - 20.8
1.4311	304LN	19.4 - 23.0
1.4401/4	316/L	23.1 - 28.5
1.4406	316LN	25.0 - 30.3
1.4439	317L	31.6 - 38.5
1.4539	-	32.2 - 39.9
1.4362	-	23.1 - 29.2
1.4462	-	30.8 - 38.1
1.4410	-	40
1.4501	-	40

Tengase en cuenta que la formula del PREN no incluye al Ni.

La resistencia a la corrosión por picaduras no depende en modo alguno del contenido de Ni del acero inoxidable.

PREN de algunos tipos comunes⁹



Los aceros inoxidable Ferríticos pueden competir con los aceros austeníticos 304 y 316 en cuanto a resistencia a corrosión por picadura.

Nota: Por favor, véase el Apéndice de designaciones de las euronormas EN

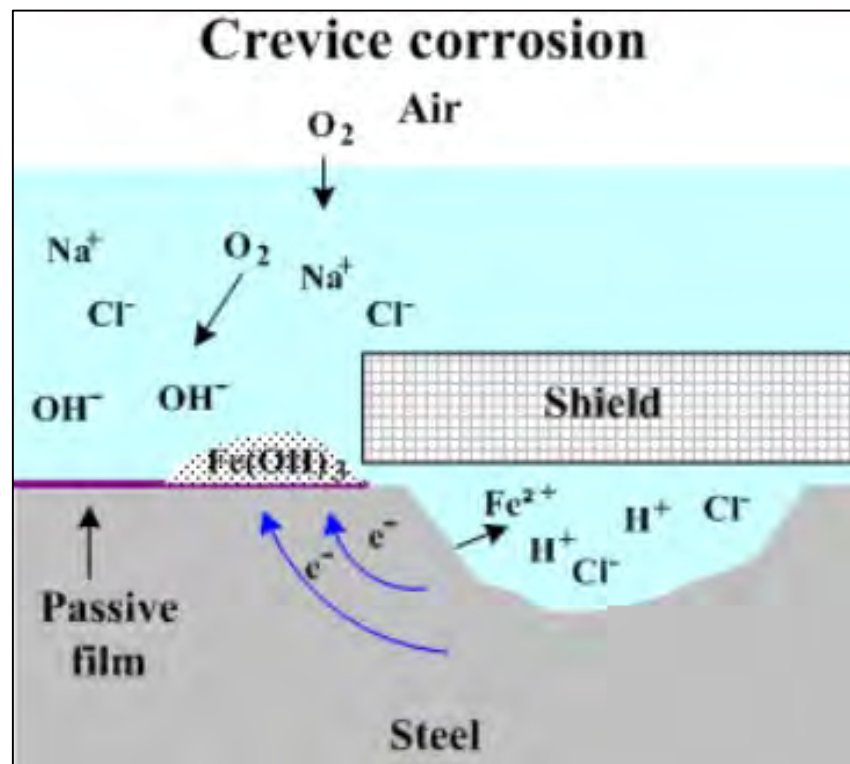
c) ¿Qué es la corrosión Intersticial ¹?

corrosión por hendiduras ó intersticial se refiere a la corrosión que ocurre en espacios confinados a la que el acceso del fluido de trabajo desde el entorno es limitado.

Estos espacios son generalmente llamados hendiduras. Ejemplos de hendiduras son los huecos y áreas de contacto entre las partes, por empaquetaduras o juntas, en el interior de grietas y costuras interiores, espacios donde se localizan depósitos y bajo capas de lodo.

Mecanismos de la Corrosión Intersticial

- Inicialmente, no hay diferencia entre la cavidad y el resto de la superficie
- Las cosas cambian cuando en el interior de la cavidad se agota el oxígeno
- Dentro de la grieta se producen un conjunto de reacciones electroquímicas, con el resultado de aumentar la concentración de Cl^- , disminuyendo el pH local, en la medida en que la pasivación no puede producirse.
- A continuación, el metal dentro en la grieta queda sometido a una corrosión uniforme



Temperatura crítica a la resistencia por Picaduras (CPT)? Temperatura crítica a la corrosión Intersticial (CCT)? de varios tipos austeníticos y dúplex 8

Nota: A mayor temperatura, peor es la resistencia a la corrosión

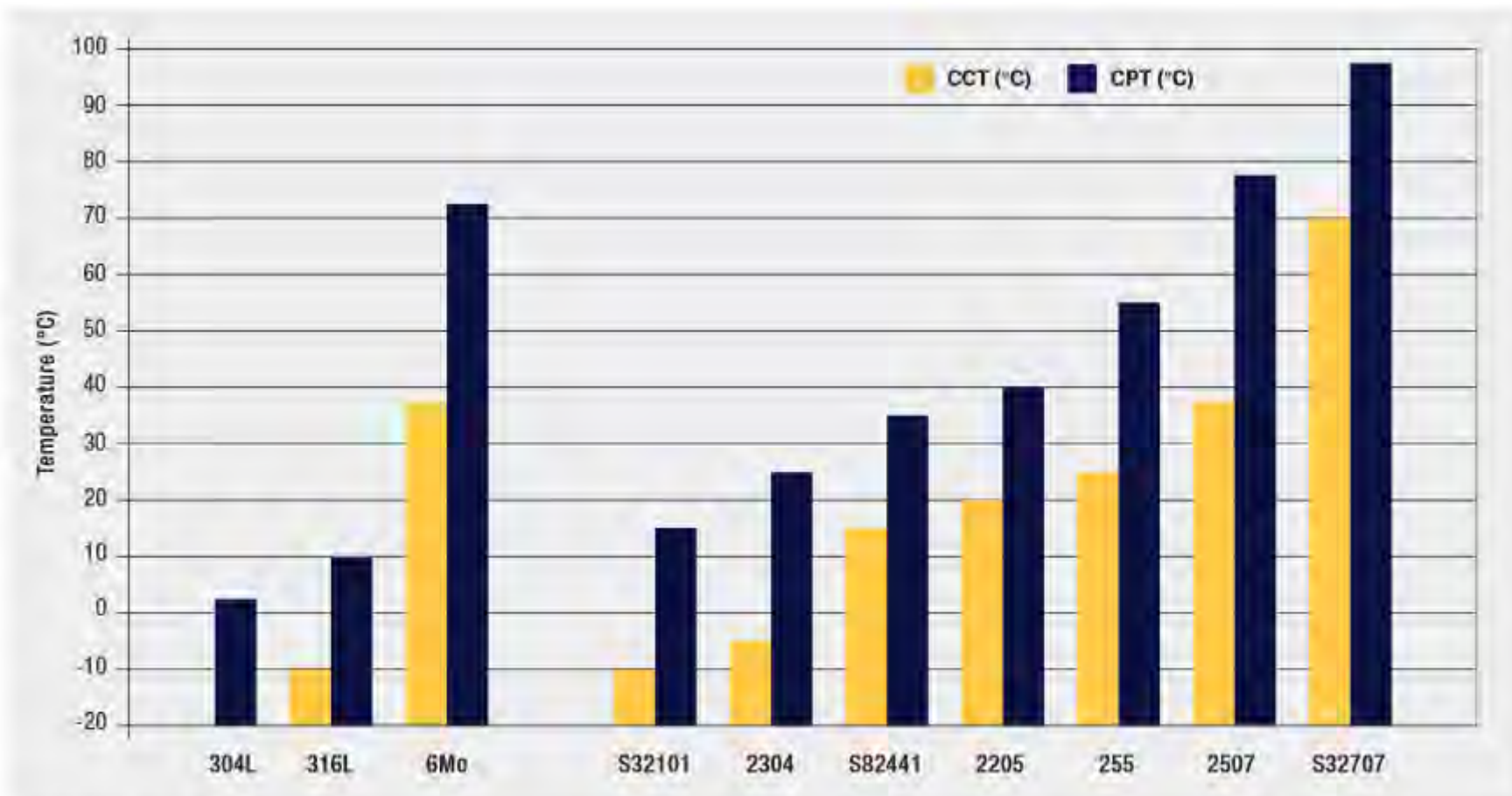


Figure 9: Critical pitting and crevice corrosion temperatures for unwelded austenitic stainless steels (left side) and duplex stainless steels (right side) in the solution annealed condition (evaluated in 6% ferric chloride by ASTM G 48).

Nota: Por favor, véase el Apéndice de designaciones de las euronormas EN

Cómo evitar la corrosión intersticial

Optimizar el diseño:

1. Utilice las piezas soldadas.
2. Diseñar para un completo drenaje de espacios
3. Limpieza para eliminar los depósitos (cuando sea posible)
4. Seleccionar un acero inoxidable resistente a la corrosión adecuado (véase la parte 4 de este capítulo)

d) ¿Qué es la corrosión Galvánica ¹? (también conocida como corrosión bimetálica)



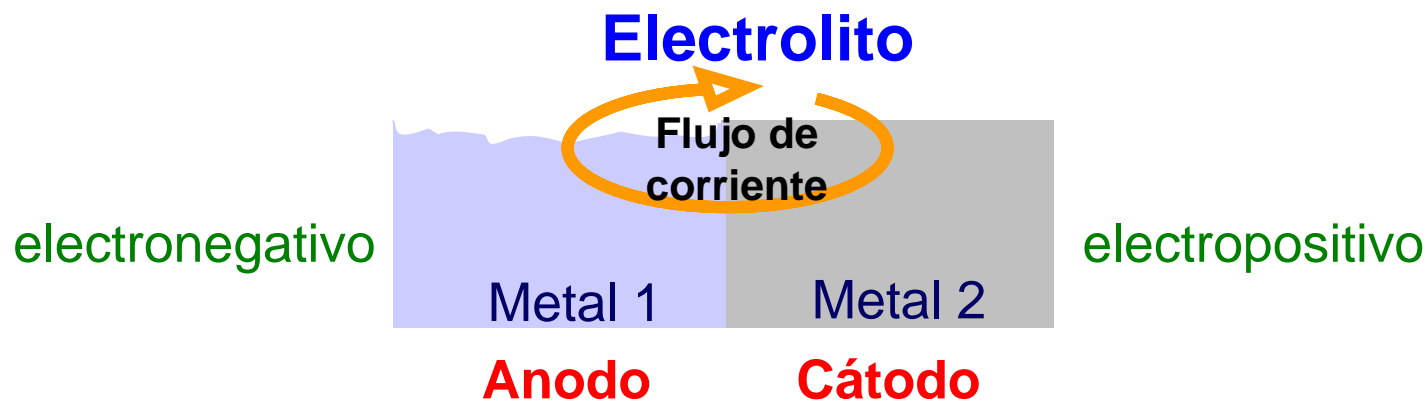
La corrosión que puede ocurrir cuando dos metales con potenciales galvánicos muy diferentes están en contacto directo.

El metal más anódico es el atacado

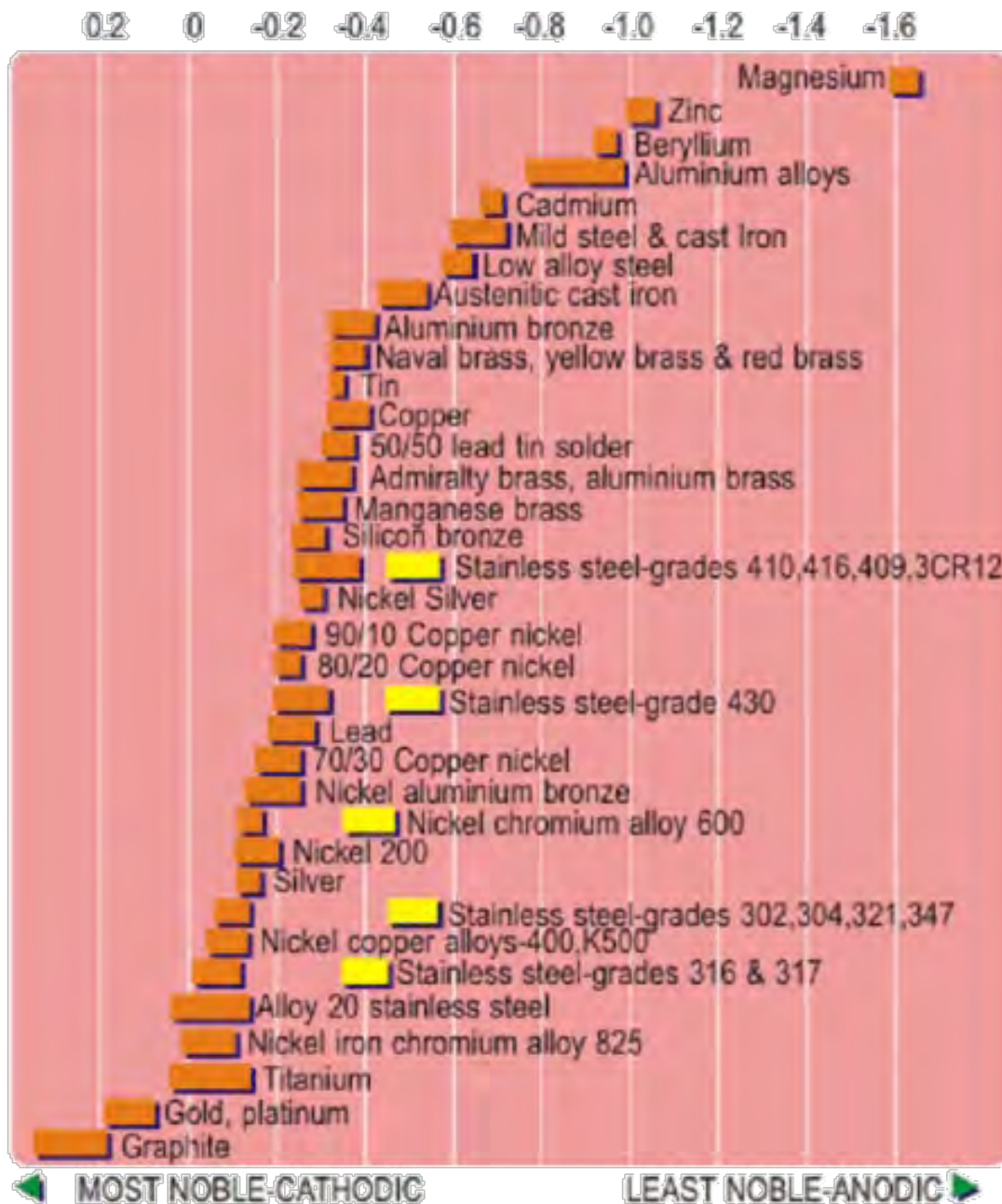
Ejemplo en la foto de la izquierda: La placa de acero inoxidable se asegura a un recipiente de acero inoxidable, con pernos de acero dulce - Lo que resulta en la corrosión galvánica de los pernos en presencia de humedad, (= electrolito)

Mecanismo de la corrosión galvánica

- Cada metal tiene un potencial característico cuando se sumerge en un electrolito (medido contra un electrodo de referencia.)
- Cuando 2 metales están conectados con un líquido conductor (humedad es suficiente):
- Y los 2 metales tienen potenciales muy diferentes
- La corriente fluirá desde el más electronegativo (ánodo) al más electropositivo (cátodo).
- Si el área del ánodo es pequeña se producirá la disolución del metal



Series de potenciales galvánicos de metales en agua de mar.



Reglas básicas sobre cómo evitar la corrosión galvánica

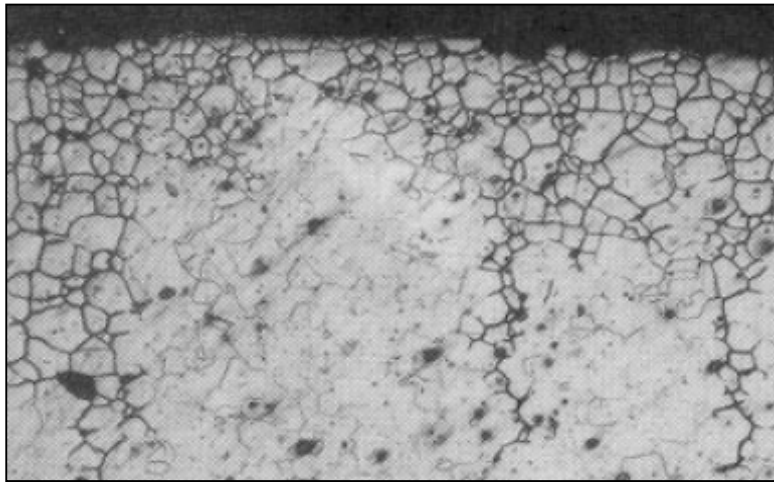
- Evitar ,en lo posible ,uniones de metales diferentes
- Cuando dos metales diferentes están en contacto asegurarse de que el metal menos noble (ánodo) tenga un área de superficie mucho más grande que el metal más noble (cátodo)

Ejemplos:

- Utilizar sujeciones de acero inoxidable con piezas de aluminio y elementos de fijación (no de aluminio para acero)
- Igualmente entre el acero inoxidable y acero al carbono

e) ¿Qué es la corrosión Intergranular¹?

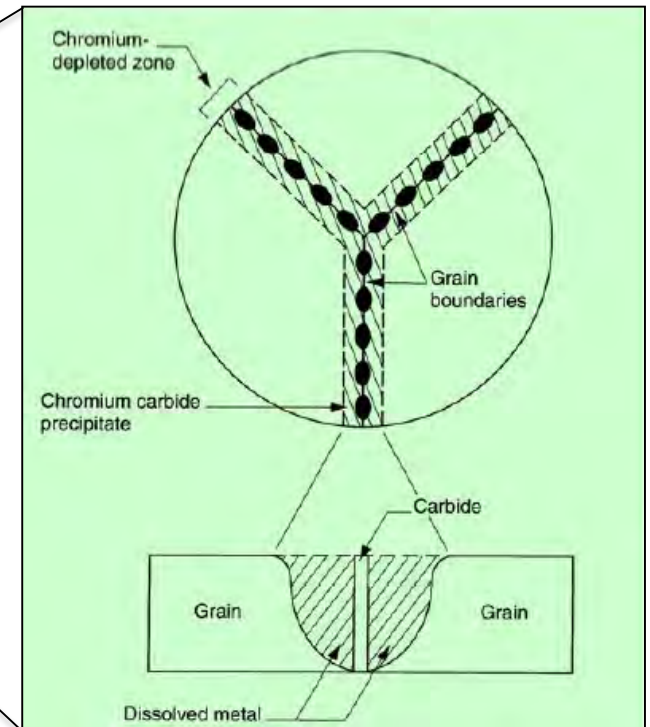
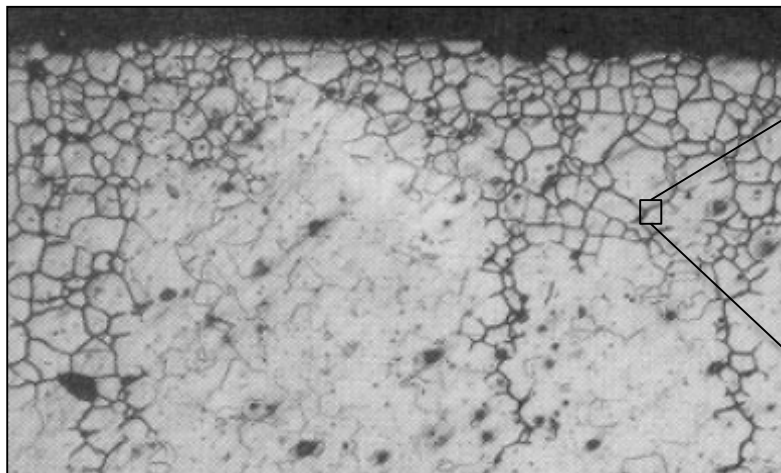
- El ataque intergranular es causado por la formación de carburos de cromo (Fe, Cr₂₃C₆ en los límites de grano, lo que reduce el contenido de cromo y la estabilidad de la capa pasiva.



En las micrografías anteriores, las probetas de aceros inoxidable se pulieron y después se grabaron con un medio fuertemente ácido. La red de líneas negras corresponde a un fuerte ataque químico de los límites de grano que presentan una resistencia a la corrosión mucho más bajo que los propios granos

En hormigones de alto PH contaminados con cloruros, el corrugado de acero inoxidable NO INCREMENTA de manera significativa la posible corrosión del acero al carbono debido al par galvánico. Ver referencias en www.stainlesssteelrebar.org

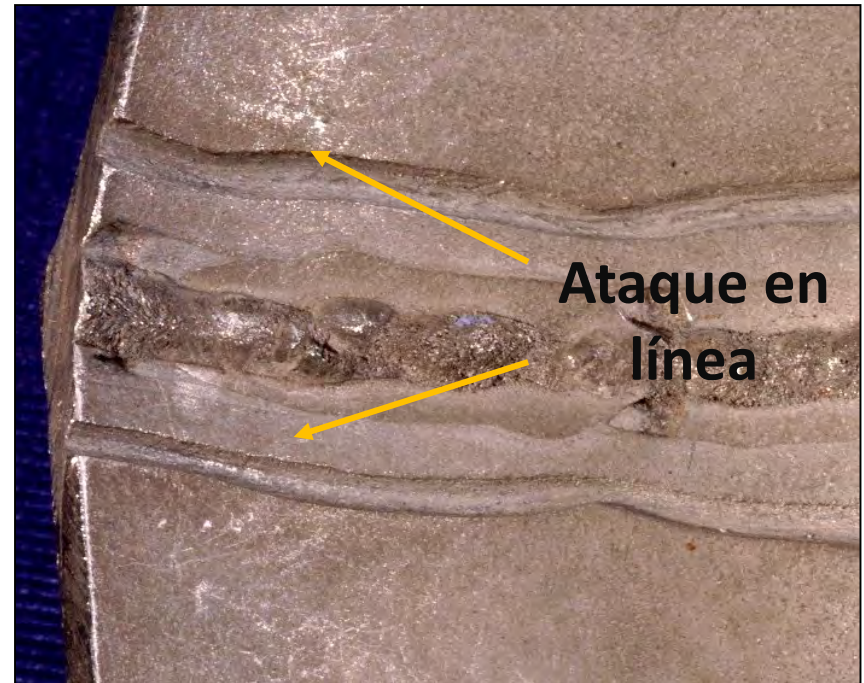
Vista esquemática de la reducción de Cr en los límites de grano



¿Cuándo ocurre la corrosión Intergranular?

- Los aceros inoxidable adecuadamente fabricados no son propensos a la corrosión intergranular
- Puede producirse por el calor en la zona afectada de una soldadura (a cada lado de un cordón de soldadura) cuando :
 - El contenido de carbono es alto
 - Y el acero no sea estabilizado (por contenidos de Ti, Nb, Zr * que “atrapan” el carbono en la matriz, evitando su precipitación en carburos de cromo, en los bordes de grano)

*Esta es la razón de que haya tipos de aceros inoxidable que contienen Ti, y/ó Nb, y/ó Zr, tipos llamados "estabilizados"



Deterioro de la soldadura

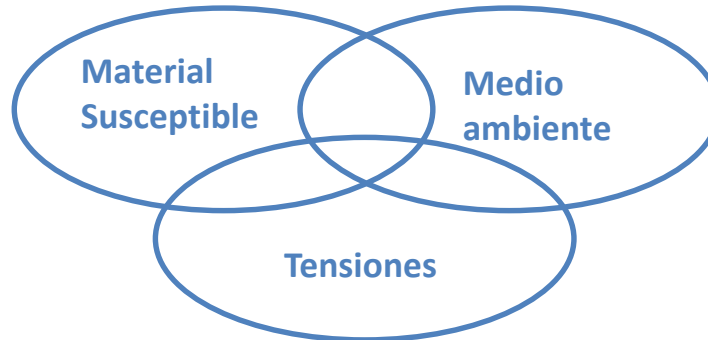
[Para obtener más información sobre soldadura y otros métodos de unión, por favor diríjase al Módulo 09](#)

Cómo evitar la Corrosion Intergranuular

- Utilice tipos con bajos contenidos de carbono, por debajo de 0,03% para los austeníticos.
- Ó el uso de tipos ferríticos y austeníticos estabilizados
- Ó para los austeníticos, llevar a cabo un tratamiento de recocido por disolución (a 1050 ° C se disuelven todos los carburos) ,seguido de inactivación. (Esto sin embargo es por lo general poco práctico.

f) ¿Qué es la Corrosion bajo tensiones¹ (SCC)?

- El agrietamiento súbito y fallo de un componente sin deformación.
- Esto puede ocurrir cuando
 - El elemento está sometido a tensiones (por una carga aplicada o por una tensión residual)
 - El medio ambiente es agresivo (alto nivel de cloruro, temperatura superior a 50 ° C)
 - El acero inoxidable no es suficientemente resistente a la corrosión bajo tensiones SCC

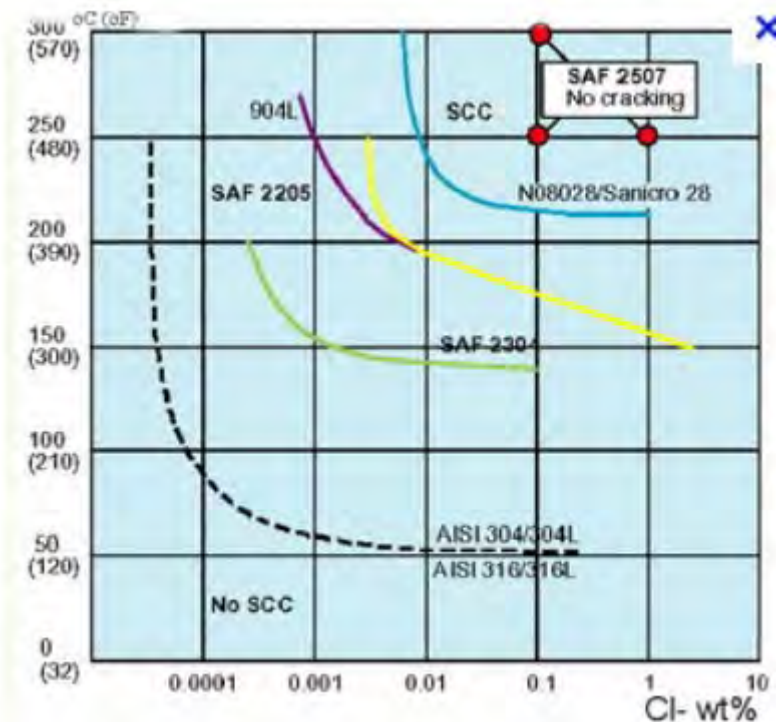


Los tipos de aceros inoxidables ferríticos y dúplex (austeno-ferríticos) ,son inmunes a la corrosión bajo tensiones SCC

Mecanismo de la corrosion bajo tensiones (SCC)

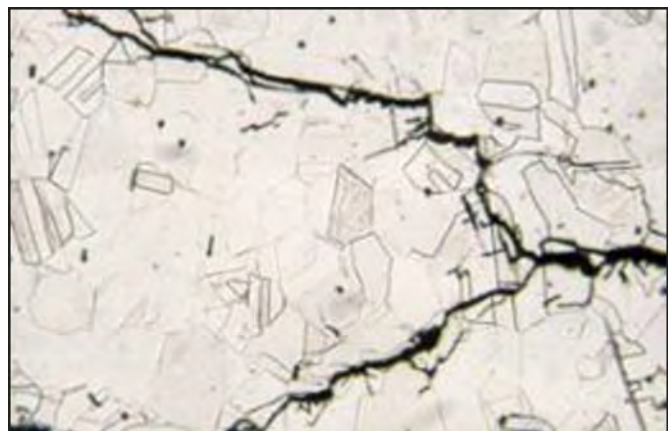
La acción combinada de las condiciones ambientales (cloruros/ temperatura elevada) y tensiones - Ya sea por carga aplicada, residuales ó ambas causan la siguiente secuencia de eventos:

1. Aparece una picadura
2. Comienza una grieta desde el lugar de inicio de la picadura.
3. Las grietas se propagan a través del metal de forma intergranular ó transgranular.
4. Se produce un fallo del elemento



Nota: Por favor, véase el Apéndice de designaciones de las euronormas EN

Evitar la corrosión bajo tensiones – Dos formas:



Agrietamiento por corrosión bajo tensiones inducida por cloruros en los aceros inoxidable austeníticos estándar, a saber. 1.4301/304 o 1.4401 /316

+Ni
+Mo

1.4539
1.4547 (6Mo)

+Cr

Seleccionar tipos duplex , con precios más estables (por contener menos nickel)

1.4462
1.4410
1.4501

Seleccionar tipos austeníticos con mayores contenidos de Ni y Mo (mayor resistencia a la corrosion)

Aceros inoxidable ferríticos y dúplex son inmunes a la corrosión bajo tensiones (debido a que la fase ferrita no es sensible a este tipo de corrosión, como lo es la austenita).

Para más información sobre estos tipos de acero inoxidable, por favor vaya al Módulo 04

4. ¿Cómo seleccionar el tipo correcto de acero inoxidable resistente a la corrosión adecuada?

Dos situaciones diferentes:

1. Aplicaciones estructurales (10a)
2. Otros usos (10b)

4 – 1 Aplicaciones estructurales

El Eurocódigo 1-4 proporciona un procedimiento para la selección de un tipo apropiado de acero inoxidable para el entorno de servicio de los elementos estructurales. (Tenga en cuenta que en el momento actual - es decir, Nov 2014 - las recomendaciones del Grupo de Evolución de EN 1993-1-4 no han sido todavía hechas obligatorias)

Este procedimiento se presenta en las siguientes diapositivas

Se aplica a:

- Elementos que soportan cargas
- Uso exterior
- Entornos con frecuente inmersión en agua de mar
- PH entre 4 and 10
- Sin exposición a corriente de flujo con procesos químicos

Cómo se produce el proceso

1. El entorno es evaluado por un Factor de resistencia a corrosión (CRF) compuesto por 3 sumandos ($CRF = F1 + F2 + F3$) donde
 - a) F1 tasa el riesgo de exposición a cloruros de agua salina ó sales de deshielo
 - b) F2 tasa el riesgo de exposición a dióxido de azufre
 - c) F3 tasa el regimen de limpieza ó exposición al lavado por lluvia
2. Una tabla de correspondencias indica para un CRF la clase CRC correspondiente
3. Los tipos de acero inoxidable se encuentran en las clases de resistencia a la corrosión (CRC) ,I a V de acuerdo con el valor de CRF

Las tablas se muestran en las siguientes 4 diapositivas

F₁ Riesgo por exposición a Cl (Agua salada ó sales de deshielo)

Nota: M es la distancia al mar y S es la distancia a carreteras donde se utilizan sales para el deshielo

1	Ambiente controlado	
0	Bajo riesgo de exposición	M > 10 km ó S > 0.1 km
-3	Riesgo medio de exposición	1 km < M ≤ 10 km ó 0.01 km < S ≤ 0.1 km
-7	Alto riesgo de exposición	0.25 km < M ≤ 1 km ó S ≤ 0.01 km
-10	Muy alto riesgo de exposición Los túneles de carretera donde se utiliza la sal de deshielo ó vehículos puedan trasladar las sales de deshielo por el interior del túnel	
-10	Muy alto riesgo de exposición Costa Norte de Alemania Todas las areas costeras del Báltico	M ≤ 0.25 km
-15	Muy alto riesgo de exposición Costa Atlántica de Portugal, España, Francia Costa de Reino Unido , Francia , Belgica, Paises Bajos, Sur de Suecia Todas las areas costeras de Reino Unido , Noruega , Dinamarca e Irlanda Costa Mediterranea	M ≤ 0.25 km

F₂ Riesgo de exposición al Dióxido de azufre

Nota: para ambientes costeros europeos el valor de dióxido de azufre es generalmente bajo. Para ambientes interiores el valor de dióxido de azufre es bajo o medio. La alta clasificación es poco común y se asocia con localizaciones industriales especialmente duras o entornos específicos, como los túneles de carretera. La deposición de dióxido de azufre puede ser evaluada de acuerdo con el método en la norma ISO 9225.

0	Bajo riesgo de exposición	($<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deposición media)
-5	Riesgo medio de exposición	($10 - 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deposición media)
-10	Alto riesgo de exposición	($90 - 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deposición media)

F₃ Regimen de limpieza ó exposición al lavado por agua de lluvia

(Si $F_1 + F_2 = 0$, entonces $F_3 = 0$)

0	Totalmente expuesto a la lluvia
-2	Con regimen especifico de limpieza
-7	No lavado por la lluvia ó sin regimen específico de limpieza







Tabla de correspondencias

Tabla A.2: Determinación de la Clase de Resistencia a Corrosion - CRC	
Factor de Resistencia a Corrosion (CRF)	Clase de Resistencia a Corrosion (CRC)
CRF = 1	I
$0 \geq \text{CRF} > -7$	II
$-7 \geq \text{CRF} > -15$	III
$-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	IV
CRF < -20	V

Clases de Resistencia a Corrosión de aceros inoxidables

Tabla A.3: Tipos en cada Clase de Resistencia a Corrosion - CRC

	Clases de Resistencia a Corrosion CRC			
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4539	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4462	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4578		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4162		

	Ferriticos		Austeniticos		Mo Austeniticos
	Lean duplex		Super Austeniticos		Duplex/super duplex

Notas: Nota: Por favor, véase el Apéndice de designaciones de las euronormas EN
Este método no se aplica para piscinas

4 -2 Otros Usos

- No existen regulaciones específicas aplicables
- La selección de tipo debe ser adecuada para el uso esperado
- Tres maneras de hacer esto:
 - Preguntar a un experto
 - Obtener ayuda de las asociaciones de desarrollo de acero inoxidable
 - Descubre casos exitosos en entornos similares (generalmente disponibles)

Selección de tipo de acero en Arquitectura¹⁰

Precaución: NO es aplicable cuando :

- La apariencia no preocupa
- La Integridad estructural es la principal condición (Entonces ir a 4 – 1)

Cómo se procede

- Se debe calcular una evaluación
- Para cada evaluación corresponde una lista de los tipos de acero inoxidable recomendados

Los criterios utilizados en la puntuación de la evaluación (ver las siguientes diapositivas):

- i. Contaminación ambiental
- ii. Exposición a la costa ó sales de deshielo
- iii. Patrón de clima local
- iv. Consideraciones del diseño
- v. Plan de mantenimiento

i. Contaminación ambiental

Puntuación	
	Rural
0	Sin contaminación ó muy baja
	Contaminación urbana (Industria ligera, gases de escapes de automóviles)
0	Baja
2	Moderada
3	Alta *
	Contaminación Industrial (Gases agresivos, óxidos de hierro, productos químicos , etc.)
3	Baja ó moderada
4	Alta *

* Localización potencial altamente corrosiva. Disponer de un experto en inoxidable para evaluar la localización.

ii. A) Exposición en la Costa

Puntuaciones	
	Exposición en la costa ó a sal marina
1	Baja (>1.6 a 16 km (1 to 10 millas) del agua de mar) **
3	Moderada (30m to 1.6 km (100 pies to 1 milla) del agua de mar)
4	Alta (<30m (100 pies) del agua de mar)
5	Marina (Niebla salina ó salpicaduras ocasionales) *
8	Ambiente marino severo (salpicaduras continuas) *
10	Ambiente marino severo (Inmersión continua) *

* * Potencialmente es una ubicación altamente corrosiva. Haga que un experto en la corrosión del acero inoxidable evalúe el sitio.

** Este rango muestra las distancias en que se encuentran cloruros normalmente por grandes masas de agua salada. Algunos lugares de este tipo están expuestos a cloruros pero otros no .

ii. B) Exposición a sales de deshielo

Points	
	Exposición a sales de deshielo (Distancia a carreteras ó terrenos)
0	No se detectó la sal en una muestra del lugar y no se espera ningún cambio en las condiciones de exposición.
0	Los niveles de tráfico y el viento de las carreteras cercanas son demasiado bajos para llevar los cloruros al lugar y no se utiliza sal de deshielo en las aceras.
1	Muy baja exposición a sales (≥ 10 m a 1 km (33 a 3.280 pies) ó 3 a 60 pisos de altura) **
2	Baja exposición a sales (< 10 a 500 m (33 to 1600 pies) ó 2 a 34 pisos) **
3	Exposición moderada a sales (< 3 a 100 m (10 a 328 pies) ó 1 a 22 pisos) **
4	Alta exposición a sales (<2 a 50 m (6.5 a 164 pies) ó 1 a 3 pisos) * **

* Potencialmente una ubicación altamente corrosiva Haga que un experto en la corrosión del acero inoxidable de evaluar el sitio.

** Este rango muestra la distancia a la que se encuentran concentraciones de cloruros desde pequeñas carreteras rurales y grandes vías de alto tráfico . Comprobar las concentraciones de cloruro superficiales.

Nota: Si están presentes ambas, exposición a sales de deshielo y exposición costera ,por favor consultar a un experto.

iii. Patrón de tiempo local

Puntuaciones	
-1	Temperatura ó climas fríos, con fuertes lluvias regulares
-1	Climas calientes o fríos con la humedad típica por debajo del 50%
0	Temperatura o el clima frío, de vez en cuando fuertes lluvias
0	Muy fuertes lluvias tropicales o subtropicales, húmedo , con fuertes lluvias regulares ó estacionales
1	Alta temperatura, lluvia poco frecuente, la humedad por encima del 50%
1	Lluvia muy ligera ó nieblas frecuentes
2	Caliente, con humedad por encima del 50%, muy baja o ninguna lluvia ***

*** Si también hay sal o exposición a la contaminación, buscar un experto en la corrosión del acero inoxidable para evaluar el lugar.

iv. Consideraciones del Diseño

Puntuaciones	
0	Bien expuesto para una fácil limpieza de desagües
0	Las superficies verticales con un acabado de grano esmerilado en sentido vertical ó ningún grano.
-2	Acabado superficial es decapado , electropulido ó de rugosidad $\leq R_a 0.3 \mu\text{m} (12\mu\text{in})$
-1	Rugosidad superficial $R_a 0.3 \mu\text{m} (12\mu\text{in}) < X \leq R_a 0.5 \mu\text{m} (20\mu\text{in})$
1	Rugosidad superficial $R_a 0.5 \mu\text{m} (20\mu\text{in}) < X \leq R_a 1 \mu\text{m} (40\mu\text{in})$
2	Rugosidad superficial $> R_a 1 \mu\text{m} (40\mu\text{in})$
1	Lugar protegido por cubierta ó con hendiduras no selladas ***
1	Superficies horizontal
1	Acabado esmerilado con grano en dirección horizontal

*** Si también hay sal o exposición a la contaminación, buscar un experto en la corrosión del acero inoxidable para evaluar el lugar.

Esta tabla muestra que la resistencia a la corrosión también depende en el acabado superficial. Para más información sobre los acabados disponibles, vaya al Módulo 08

v. Plan de Mantenimiento

Puntuaciones	
0	Sin lavado
-1	Lavado , al menos natural
-2	Lavado , cuatro ó más veces por año
-3	Lavado al menos mensualmente

Sistema de puntuación para la selección del acero inoxidable

Puntuación total	Selección de Acero inoxidable
0 to 2	Tipo 304/304L es en general la alternativa más económica
3	Tipo 316/316L ó AISI 444 en general la alternativa más económica
4	Se recomienda el tipo 317L ó aleación más resistente a la corrosión
≥ 5	Un tipo de acero inoxidable más resistente como 4462, 317LMN, 904L, súper dúplex, super ferrítico o un 6% de molibdeno súper austenítico puede ser necesario.

Nota: Por favor, véase el Apéndice de designaciones de las euronormas EN

[De la correcta selección del tipo de acero inoxidable dependerá la durabilidad, necesidad de mantenimiento, vida de servicio con un coste de ciclo de vida bajo y excelente sostenibilidad.](#)
[Más información sobre sostenibilidad en Módulo 11](#)

Conclusión

- La selección adecuada del tipo correcto de acero inoxidable para la aplicación y el medio ambiente previstos ,merece atención.
- Cuando se hace esto, el acero inoxidable ofrece una vida útil ilimitada sin mantenimiento.

En el [Módulo 2](#) encontrará una gran variedad de aplicaciones de éxito del acero inoxidable y en el [Módulo 1](#) ¡arte atemporal por todo el mundo!

5. Referencias

1. Un excelente curso sobre la corrosión. Por favor mira los capítulos 7 (corrosión galvánica), 8 (corrosión intergranular), 11 (corrosión intersticial) 12 (picaduras) 14 (corrosión bajo tensión) y 15 (corrosión bajo tensiones en los aceros inoxidables) <http://corrosion.kaist.ac.kr/download/2008-1/chap11.pdf>
2. Nociones básicas sobre corrosión de NACE <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-History/Course.htm#Scope>
3. Curso online sobre corrosión http://www.corrosionclinic.com/corrosion_online_lectures/ME303L10.HTM#top
4. Información sobre ensayos electroquímicos <http://mee-inc.com/esca.html>
5. Ugitech: Comunicación privada
6. BSSA (British Stainless Steel Association) sitio web "Cálculo del Número equivalente de corrosión por picaduras (PREN)" <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=111>
7. Sobre corrosión por picaduras https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG_JournalElectrochemicalSociety_1998_v145n6_p2186-2198.pdf?sequence=1
8. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex_Stainless_Steel_3rd_Edition.pdf
9. http://www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_grade_stainless_steels/steel_grades.php
10. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/IMOA_Houska-Selecting_Stainless_Steel_for_Optimum_Performance.pdf
11. http://www.aiadetroit.com/~aiadetro/images/stories/demo/rokbox/BECPDF/2011_aia_deicing_detroit.pdf
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic_corrosion
13. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=668>
14. http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW_0812_duplex.pdf
15. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/grades/duplex/Pages/default.aspx>
16. http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex_Maastricht_EN-22p-7064Ko.pdf
17. a) Composición química de productos planos de acero inoxidable para aplicaciones generales en EN 10088-2: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44>; b) Composición química de productos largos de acero inoxidable para aplicaciones generales en EN 10088-3: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>

Apéndice: Designaciones¹⁷

EN Designation		Alternative Designations			
Steel name	Steel number	AISI	UNS	Other US	Generic/Brand
Ferritic stainless steels - standard grades					
X2CrNi12	1.4003		S40977		3CR12
X2CrTi12	1.4512	409	S40900		
X6CrNiTi12	1.4516				
X6Cr13	1.4000	410S	S41008		
X6CrAl13	1.4002	405	S40500		
X6Cr17	1.4016	430	S43000		
X3CrTi17	1.4510	439	S43035		
X3CrNb17	1.4511	430N			
X6CrMo17-1	1.4113	434	S43400		
X2CrMoTi18-2	1.4521	444	S44400		
Martensitic stainless steels - standard grades					
X12Cr13	1.4006	410	S41000		
X20Cr13	1.4021	420	S42000		
X30Cr13	1.4028	420	S42000		
X3CrNiMo13-4	1.4313		S41500	F6NM	
X4CrNiMo16-5-1	1.4418				248 SV
Martensitic and precipitation-hardening steels - special grades					
X5CrNiCuNb16-4	1.4542		S17400		17-4 PH

EN Designation		Alternative Designations			
Steel name	Steel number	AISI	UNS	Other US	Generic/Brand
Austenitic stainless steels - standard grades					
X10CrNi18-8	1.4310	301	S30100		
X2CrNi18-9	1.4307	304L	S30403		
X2CrNi19-11	1.4306	304L	S30403		
X2CrNiN18-10	1.4311	304LN	S30453		
X5CrNi18-10	1.4301	304	S30400		
X6CrNiTi18-10	1.4541	321	S32100		
X4CrNi18-12	1.4303	305	S30500		
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	316LN	S31653		
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	S31600		
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316Ti	S31635		
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	316L	S31603		
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	317L			
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539		N08904		904L
Austenitic-ferritic stainless steels-standard grades					
X2CrNiN22-2	1.4062		S32202		DX 2202
X2CrMnNiMoN21-5-3	1.4482		S32001		
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162		S32101		2101 LDX
X2CrNiN23-4	1.4362		S32304		2304
X2CrNiMoN12-5-3	1.4462		S31803/ S32205	F51	2205

Nota: Esta es una tabla simplificada. Para los tipos especiales, por favor vaya a la referencia

Gracias

Material didactico para docentes en
Arquitectura o Ingenieria Civil

Capítulo 7A:
**Aplicaciones estructurales
del corrugado de acero
inoxidable**

Una mala elección de materiales
puede derivar en graves problemas





Un caso de estudio: Corrosión en el intercambiador de la autopista Turcot en Montreal ^{1,2}

- Un intercambiador clave entre las autopistas Decarie (Norte-Sur) y Ville Marie (Este-Oeste), construidas en 1966.
- Cerca de 300,000 vehiculos al día
- Construido en hormigón armado muy corroidos actualmente como consecuencia de las sales de deshielo

Tiene que ser reemplazado

- A pesar de la constantes supervisiones y reparaciones, tiene que ser retirado o parcialmente reemplazado
 - Coste estimado más de CAD 3000M.
 - Además, otros CAD 254M serán necesarios para asegurar la seguridad hasta que se terminen las obras en 2018
- La esperanza de vida de la estructura será solo de 50 años

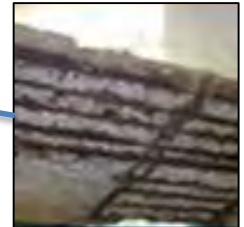
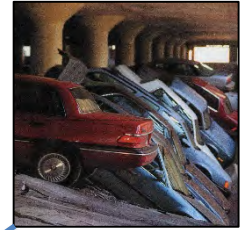
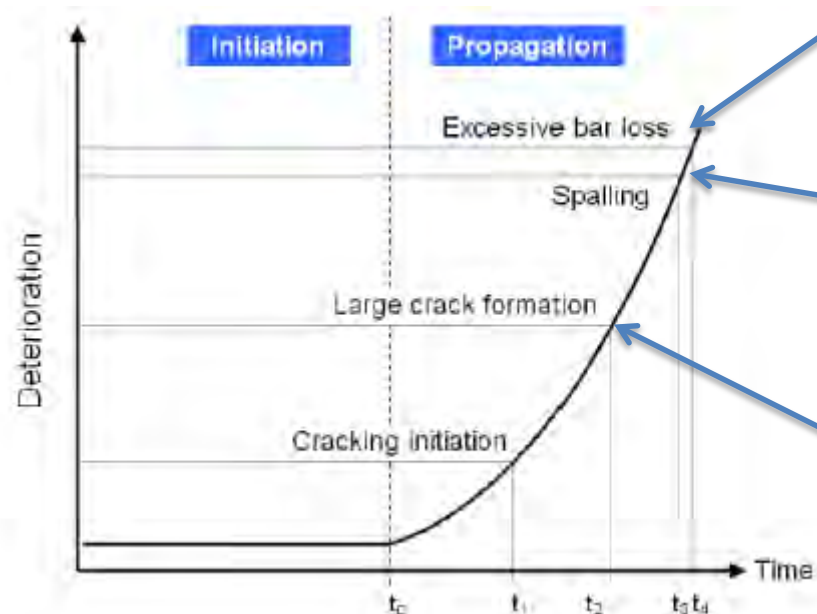


Cómo el hormigón armado puede ser dañado como consecuencia de la corrosión

Difusion de iones corrosivos (generalmente cloruros) a través del hormigón:

Pasos³:

1. Una vez los iones alcanzan el acero al carbono (t_0), la corrosión comienza
2. El material corroído, que ocupan un mayor volumen que en su estado original, genera presión hacia el exterior
3. Se generan grietas en el hormigón (t_1), creando acceso libre a los cloruros
4. La cobertura de hormigón se desprende (spalling) (t_3), exponiendo al aire la armadura
5. Si no se atiende a la corrosión, ésta continua, hasta que la armadura no puede soportar la carga aplicada y la estructura colapsa (t_4)



Las grietas en el hormigón aceleran la corrosión

El hormigón generalmente presenta grietas, a través de los cuales los iones corrosivos pueden alcanzar rápidamente el acero

A la derecha se muestran algunas causas de la formación de grietas (ref. 4).

Notese que las grietas no tienen lugar inmediatamente y que también ocurren en zonas escondidas donde no pueden ser reparados.

Tipo de grieta	Forma de la grieta	Causa principal	Tiempo de aparición
Deformación plástica	Por encima y alineado con el refuerzo de acero	Hundimiento alrededor de las barras de refuerzo, exceso de agua en mezcla	10 minutos a 3 horas
Disminución plástica	Diagonales o aleatorias	Excesiva evaporación	30 minutos a 6 horas
Expansión térmica y contracción	Transversales (a través del pavimento)	Excesiva temperatura generada o gradientes de temperaturas	1 día a 2 o 3 semanas
Perdidas por secado	Transversales o tipo patrón	Excesiva agua en la mezcla; Mala colocación de las juntas, o sobre espaciadas	Semanas a meses
Hielo y descongelación	Paralela a la superficie del hormigón	Inadecuada gestión de incorporación de aire; Agregados gruesos no duraderos	Después de 1 o 2 inviernos
Corrosión de la armadura	Sobre el corrugado	Cobertura de hormigón inadecuada, ingreso de humedad o cloruros	Más de 2 años
Reacciones electroquímicas	Desconchamiento; grietas paralelas a juntas o cantos	Reacciones en los áridos y la humedad	Generalmente al cabo de 5 años pero puede ser antes si existen áridos muy reactivos
Ataque de sulfatos	Desconchamiento	Sulfatos tanto externos como internos promueven la formación de ettringita	1 a 5 años

La selección adecuada de materiales
es una buena inversión a largo plazo

El embarcadero de Progreso (1/3)^{5,6}



En Progreso (Mexico), fué construido un embarcadero en 1970.

El ambiente marino hizo que se corroyera la estructura con el consecuente fallo de la estructura.

El embarcadero de Progreso (2/3)



El embarcadero que aparece al lado, fué edificado entre 1937 y 1941 empleando corrugado de acero inoxidable.

El embarcadero de Progreso (3/3)

Sustainable
Civil Works
with Stainless:



Desde entonces, se ha mantenido en servicio sin mantenimiento alguno y permanece en inalterado.

Las grandes obras de ingeniería civil
deben garantizar una vida útil de
más de 100 años en la actualidad

Puente Haynes Inlet Slough, Oregon, EEUU 2004^{7,8}

Se trata de un puente inusual de arcos con bisagras que contiene 400 toneladas de corrugado de acero inoxidable en su plataforma.

Este puente de 230m de longitud sobre el Haynes Inlet Slough está diseñado para una vida útil sin mantenimiento de más de 120 años.

Pese a que el acero inoxidable es considerablemente más caro que el acero al carbono, el análisis del ciclo de vida de la estructura nos indica que a la larga acaba siendo un coste menor que optar por un acero más barato y sucesivos mantenimientos.





Puente Hong Kong- Zhuhai- Macau⁹ (La construcción empieza en 2009 y se completará entre 2017-2018)

El prestigioso proyecto del puente Hong Kong- Zhuhai- Macau es uno de los mayores del mundo. El tiempo de vida útil requerido sin necesidad de mantenimiento es de 120 años. Por lo tanto, se hizo necesaria la prescripción de corrugado de acero inoxidable en las zonas críticas de la estructura, especialmente en las zonas de carrera de mareas. Cerca de 15.000 toneladas de corrugado inoxidable serán instaladas en el proyecto.



Puente Broadmeadow , Dublin, Irlanda (2003)¹⁰

Se trata de una nueva construcción construida sobre el estuario con 150 toneladas de corrugado inoxidable distribuidos entre los pilares y parapetos.



Vista aérea

Reparación dique en Bayonne, Francia

El dique fué edificado en 1960 para proteger la entrada al puerto

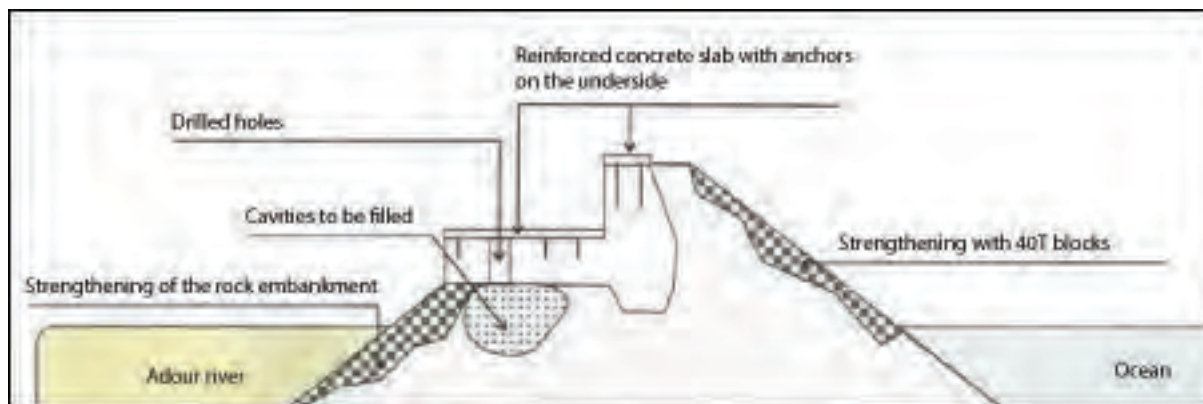
El lado que da al océano es mayor y está protegido por bloques de 40 tons que deben ser reemplazados a medida que las tormentas los van desgastando

En el lado del río, una plataforma de 7m de ancho permite a las grúas reponer los bloques

Grietas en el dique y las paredes que necesitan reparación



Sección del rompeolas



Reparación del rompeolas Bayonne, Francia

El rompeolas y la plataforma han sido reforzadas con un inoxidable tipo lean duplex (EN 1.4362)¹¹

Reparación del rompeolas

Principios de 2014, temporal sobre el dique





Puente Stonecutters Hong Kong^{12,13}

Se trata del segundo puente atirantado más largo del mundo, con un vano central de 1,018m. Las torres son de 298m de altura con 1,600 toneladas de acero inoxidable estructural en la zona de los anclajes del cable y 2800 toneladas de acero inoxidable corrugado en el hormigón armado de las torres.



Puente Belt Parkway, Brooklyn, EEUU (2004)¹⁴

Para asegurar una durabilidad de más de 100 años junto con una resistencia a la corrosión proveniente de las sales de deshielo y el ambiente marino, el puente y los parapetos fueron reforzados con corrugado de acero inoxidable tipo 2205.

Quando debe considerarse la barra de acero inoxidable corrugada¹⁵⁻²⁰:

- En ambientes corrosivos
- Cuando exista agua de mar y aún mas en climas cálidos
 - Puentes
 - Embarcaderos
 - Muelles
 - Anclajes de alumbrado,verjas,....
 - Rompeolas
 -
- Presencia de sales de deshielo
 - Puentes
 - Intercambiadores y pasos a nivel
 - Garajes y parkings
- Tanques de tratamientod e aguas residuales
- Plantas desalinizadoras
- En estructuras con largo ciclo de vida
 - Reparacion de estructuras patrimoniales
 - Cementerios nucleares
- En aquellos ambientes donde
 - La inspección es imposible
 - Las reparaciones son imposibles o muy costosas

Comparativa del corrugado inoxidable vs soluciones alternativas¹⁵⁻²⁰

	Ventajas	Limitaciones
Recubrimiento Epoxi	Menor coste inicial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se puede curvar sin romper ▪ Requiere manejo cuidadoso durante su instalación para evitar problemas
Galvanizado	Menor coste inicial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se puede curvar sin romper ▪ Pierde su efectividad una vez el Zn es corroído
Polimeros de fibra reforzada	Menor coste inicial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se puede curvar sin romper ▪ No resistente al calor ni al impacto en inviernos frios ▪ Menor resistencia que el acero ▪ No puede ser reciclado
ACERO INOXIDABLE	Bajo coste a lo largo de su ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none"> • Diseño similar que con acero al carbono • Se puede combionar acero inoxidable y acero al carbono en las armaduras • Facil instalacion y o afectado por trabajos poco cuidadosos • No requiere mantenimiento • No tiene limite de vida • Permite menor espesor de pared • Buena resistencia al fuego • Puede ser reciclado en su totalidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayores costes iniciales pero no más que un ligero % cuando <ul style="list-style-type: none"> ✓ El acero inoxidable es empleado en algunas zonas criticas ✓ Se seleccionan tipos lean duplex

Comparativa del corrugado inoxidable vs soluciones alternativas¹⁵⁻²⁰

	Advantages	Drawbacks
Protección catódica	¿Menores costes iniciales? Usado frecuentemente para reparaciones	<ul style="list-style-type: none">▪ Requiere un diseño cuidadoso para proteger toda la instalación▪ Requiere una instalación cuidadosa para mantener en funcionamiento los constactos eléctricos▪ Requiere una fuente de corriente permanente (que debe ser monitorizada y mantenida) o ánodos de sacrificio que tambien requieren monitorización y reemplazo.
Membranas/ selladores	¿Menores costes iniciales?	<ul style="list-style-type: none">▪ Requiere una instalación cuidadosa para evitar burbijas▪ No puede ser instalada en cualquier ambiente/clima▪ Funcionamiento a lo largo del tiempo en discusión▪ Limitado a superficies horizontales

Referencias bibliográficas

1. <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201111/25/01-4471833-echangeur-turcot-254-millions-pour-lentreten-avant-la-demolition.php>
2. <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/336978/echangeur-turcot-quebec-confirme-le-mauvais-etat-des-structures>
3. http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref07_The_use_of_predictive_models_in_specifying_selective_use_of_stainless_steel_reinforcement.pdf
4. <http://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htm> visual inspection of concrete
5. <http://www.nickelinstitute.org/en/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgresoPier.aspx> (progreso Pier)
6. http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref08_Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf
7. <https://www.roadsbridges.com/willing-bend-0> (oregon)
8. <http://structurae.net/structures/data/index.cfm?id=s0011506> (oregon)
9. <http://www.aeonline.ae/major-hong-kong-stainless-steel-rebar-contract-signed-by-arminox-middle-east-42317/news.html> (HK Macau)
10. <http://www.engineersireland.ie/EngineersIreland/media/SiteMedia/groups/Divisions/civil/Broadmeadow-Estuary-Bridge-Integration-of-Design-and-Construction.pdf?ext=.pdf> (Broadmeadow)
11. Courtesy Ugitech SA
12. http://www.arup.com/Projects/Stonecutters_Bridge.aspx (stonecutters' bridge)
13. https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters_Bridge_Towers.pdf (stonecutters' bridge)
14. http://www.cif.org/noms/2008/24_-_Ocean_Parkway_Belt_Bridge.pdf (belt parkway bridge)
15. Béton Armé d'inox: Le Choix de la durée (French) <http://www.infociments.fr/publications/ciments-betons/collection-technique-cimbeton/ct-t81>
16. Armaduras de Acero Inoxidable (Spanish) <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59armadurasaceroinoxidable.pdf>
17. www.ukcares.com/downloads/guides/PART7.pdf
18. http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref19_Case_study_of_progreso_pier.pdf
19. <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrapp%20405.pdf> (general)
20. http://americanarminox.com/Purdue_University_Report_-_Stainless_Steel_Life_Cycle_Costing.pdf (advantages of using ss rebar)
21. <http://www.stainlesssteelrebar.org>

NEW!

References on Galvanic Coupling

1. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore, M. P. Pedferri and P. Pedferri, "Effects of Galvanic Coupling between Carbon Steel and Stainless Steel Reinforcement in Concrete", International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998, Orlando, Florida.
2. A. Knudsen, EM. Jensen, O. Klinghoffer and T. Skovsgaard, "Cost-Effective Enhancement of Durability of Concrete Structures by Intelligent use of Stainless Steel Reinforcement", International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998, Orlando, Florida.
3. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore and M. P. Pedferri, "Effect of Chemical Composition on Corrosion Behaviour of Stainless Steel in Chloride Contamination and Carbonated Concrete", Properties and Performances, Proceedings of 3rd European Congress Stainless Steel '99, 1999, Vol .3, Chia Laguna, AIM
4. O. Klinghoffer, T. Frolund, B. Kofoed, A. Knudsen, EM. Jensen and T. Skovsgaard, "Practical and Economic Aspects of Application of Austenitic Stainless Steel, AISI 316, as Reinforcement in Concrete", Corrosion of Reinforcement in Concrete: Corrosion Mechanisms and Corrosion Protection, 2000, Mietz, J., Polder, R. and Elsener, B., Eds, London
5. Knudsen and T. Skovsgaard, "Stainless Steel Reinforcement", Concrete Engineering, 2001, Vol. 5 (3), p. 59.
6. L. Bertolini and P. Pedferri, "Laboratory and Field Experience on the Use of Stainless Steel to Improve Durability of Reinforced Concrete", Corrosion Review, 2002, Vol. 20, p. 129
7. [S. Qian](#), [D. Qu](#) & [G. Coates](#) Galvanic Coupling Between Carbon Steel and Stainless Steel Reinforcements [Canadian Metallurgical Quarterly](#) Volume 45, 2006 - [Issue 4](#) Pages 475-483 Published online: 18 Jul 2013
8. J.T. Pérez-Quiroz, J. Teran, M.J. Herrera, M. Martinez, J. Genesca : "Assessment of stainless steel reinforcement for concrete structures rehabilitation" J. of Constructional Steel research (2008) doi:10.1016/j.jcsr.2008.07.024
9. Juliana Lopes Cardoso / Adriana de Araujo / Mayara Stecanella Pacheco / Jose Luis Serra Ribeiro / Zehbour Panossian "stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure" (2018) <https://store.nace.org/stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure> Product Number: 51318-11312-SG
10. <http://stainlesssteelrebar.org/>

Presentación de ayuda para docentes de arquitectura e ingeniería civil

Capítulo 07B

Aplicaciones estructurales de productos planos de acero inoxidable

Acero inoxidable estructural

Proyectando en acero inoxidable

Barbara Rossi, Maarten Fortan
Departamento de Ingeniería Civil,
KU Leuven, Bélgica

A partir de la versión anterior preparada por Nancy Baddoo
Steel Construction Institute, Ascot, Reino Unido

Índice

- Ejemplos de aplicaciones estructurales
- Características mecánicas del material
- Cálculo de acuerdo con Eurocódigo 3
- Métodos alternativos
- Flechas
- Información adicional
- Herramientas para ingenieros

Parte 1

Ejemplos de aplicaciones estructurales



Estación Sint Pieters, Gante (Bélgica)

Arquitectura: Wefirna

Oficina Técnica: THV Van Laere-Braekel Aero

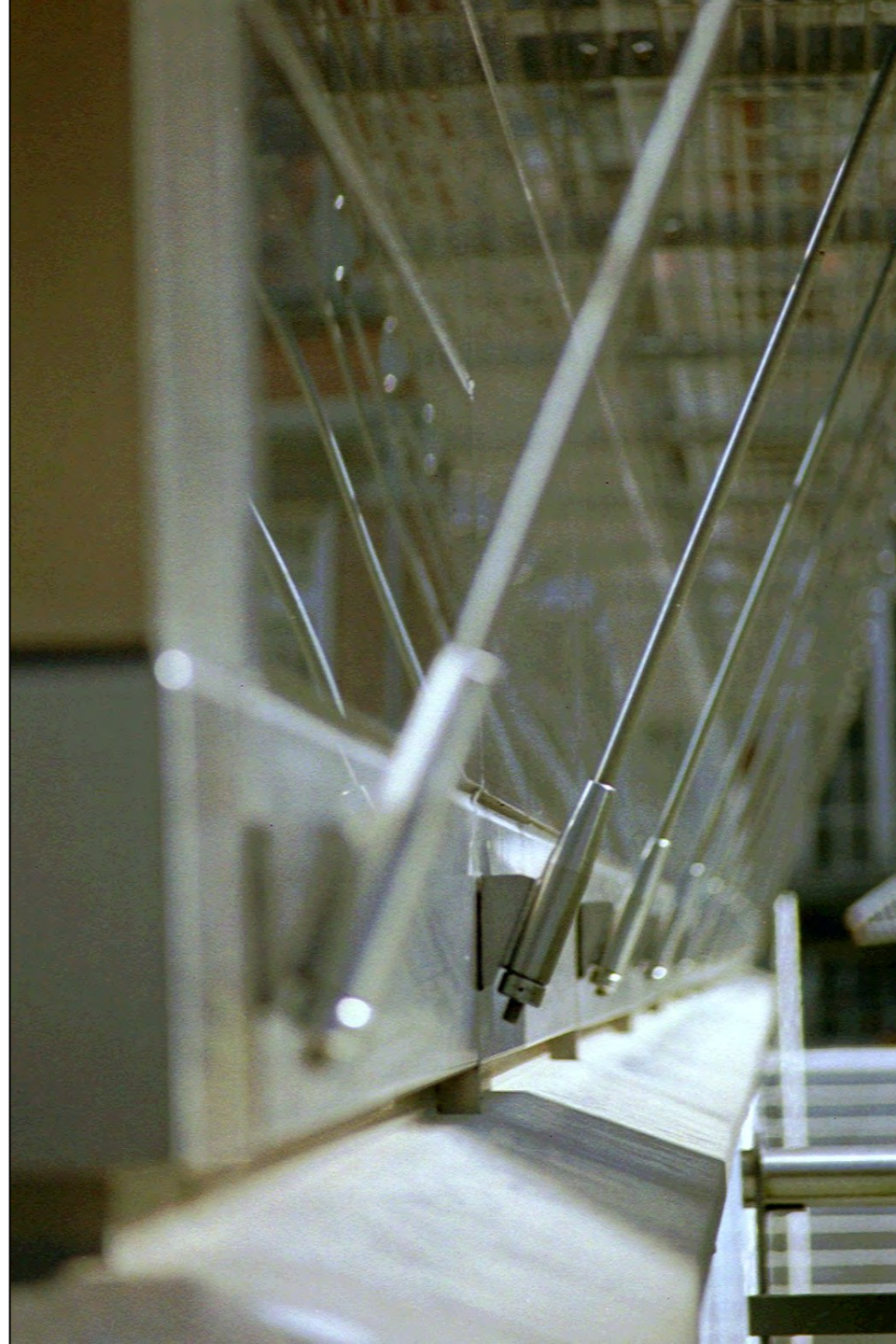
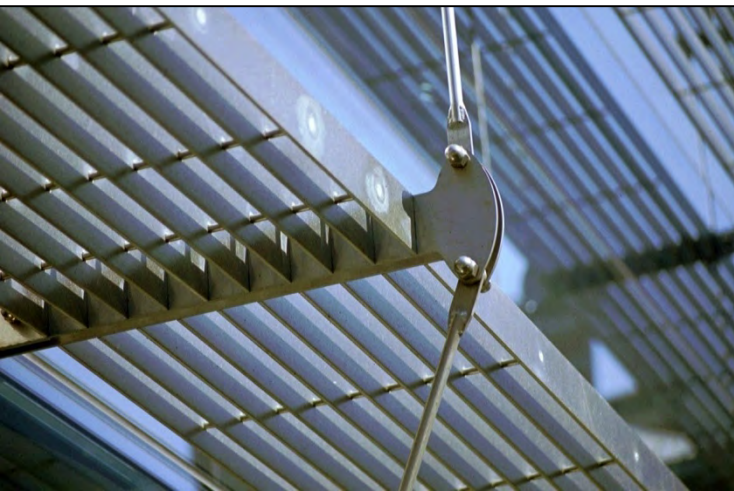
Escuela Militar en Bruselas

Arquit.: AR.TE

Ofic. Técnica:

Tractebel

Development

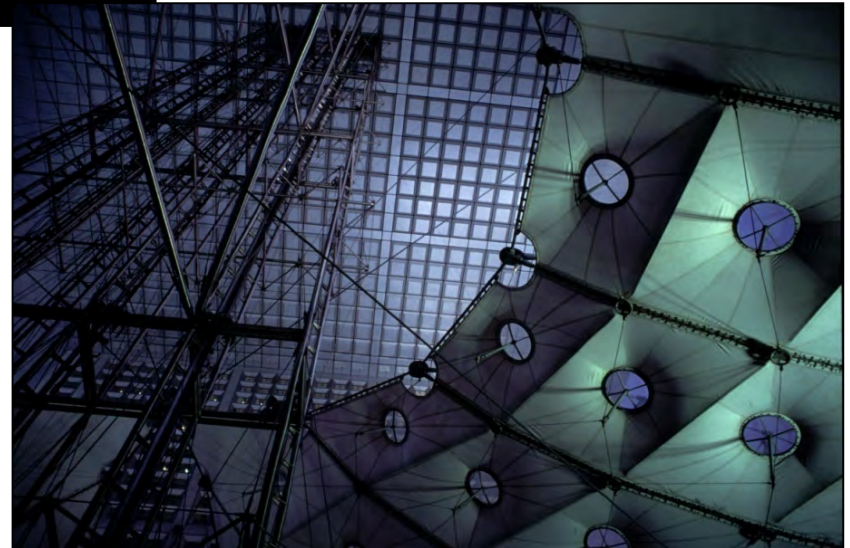




La Grande Arche de La Défense, París (Francia)

Arquit. : Johan Otto von Spreckelsen

Oficina Técnica: Paul Andreu





Villa Inox (Finlandia)



La Lentille de Saint-Lazare, París, (Francia)

Arquit.: Arte Charpentiers & Associés

Oficina Técnica: Mitsu Edwards

Estación en Porto (Portugal)



Oficinas Centrales Torno Internazionale S.P.A. Milán, (Italia)

Grado de acero inoxidable: EN 1.4404 (AISI 316L)

Arquitecto: Dante O. BENINI & Partners Architects



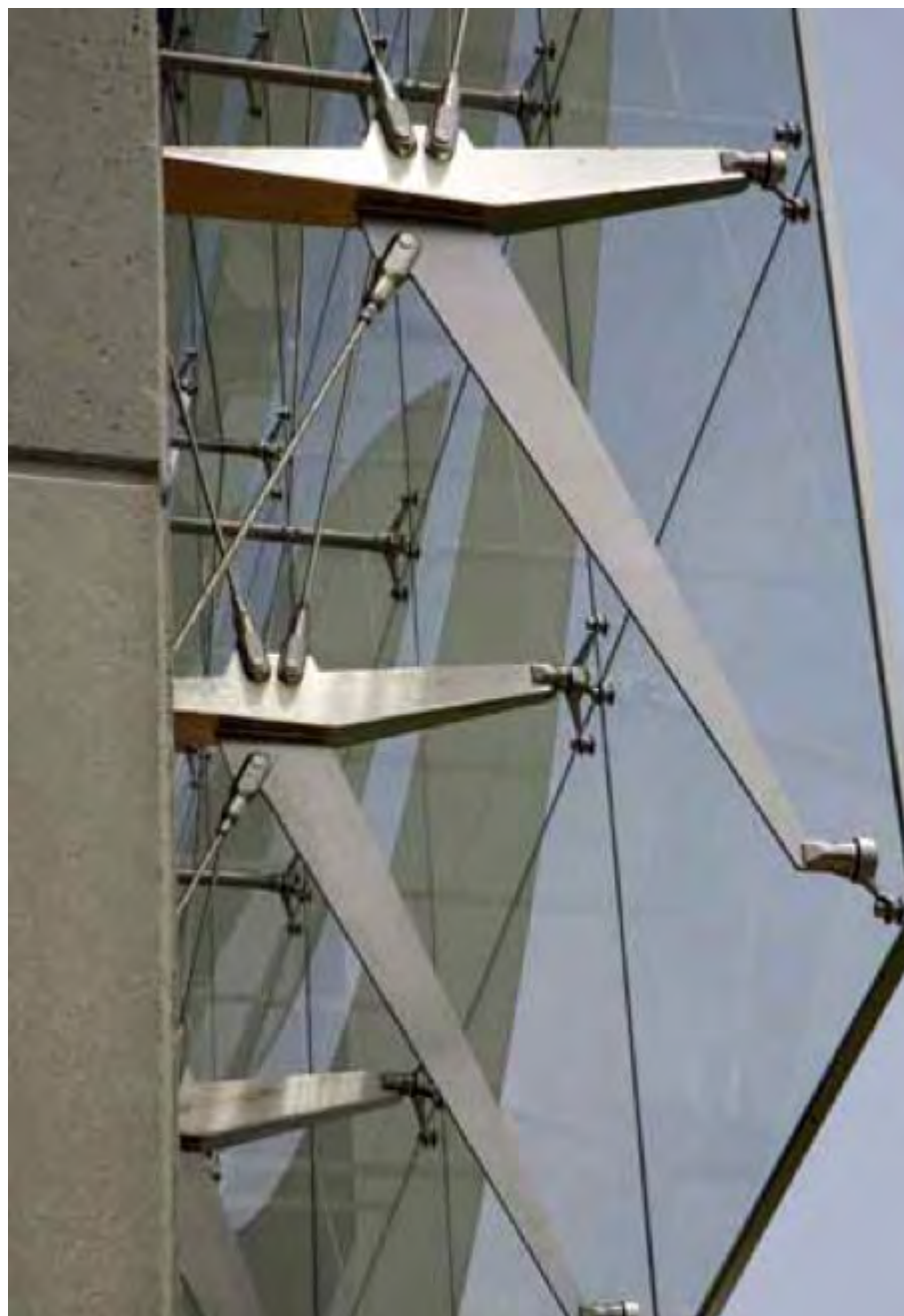
Fotografía: Toni Nicolino / Nicola Giacomini

Pórticos de acero inoxidable en una planta nuclear



Fotografía: Stainless Structural LLC

**Soportes de fachada de
acero inoxidable,
Tampa, (USA)**



Fotografía: TriPyramid Structures, Inc.

Vigas en I de acero inoxidable,

Planta de tratamiento de agua « Thames Gateway Water Treatment Works »,
(Reino Unido)



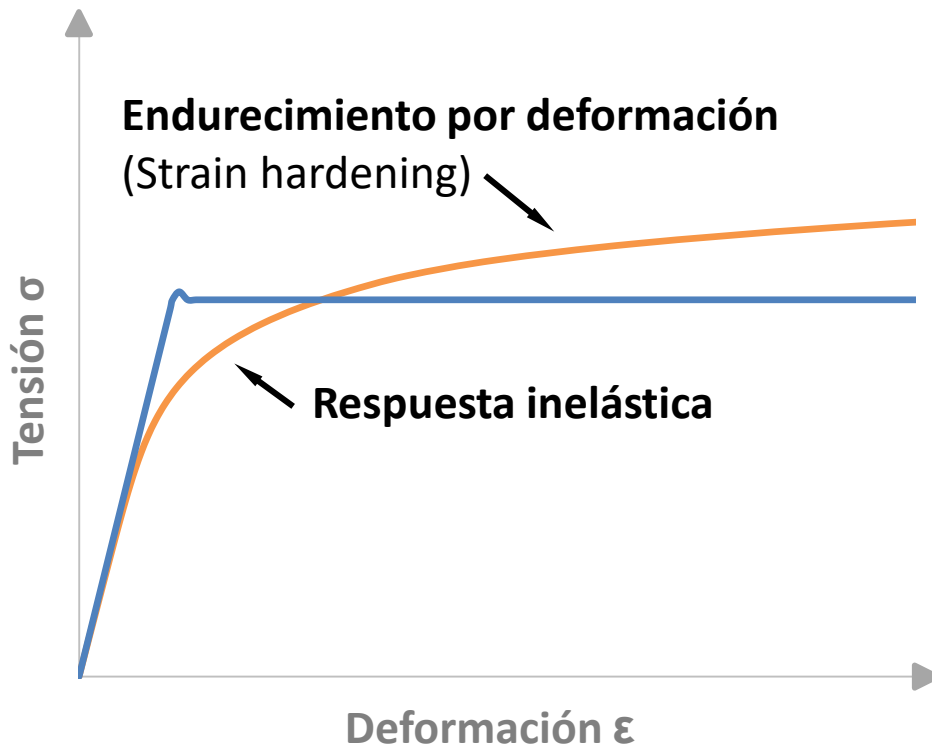
Fotografía: Interserve

Parte 2

Características mecánicas del material

Propiedades tenso-deformacionales: Acero al carbono vs acero inoxidable

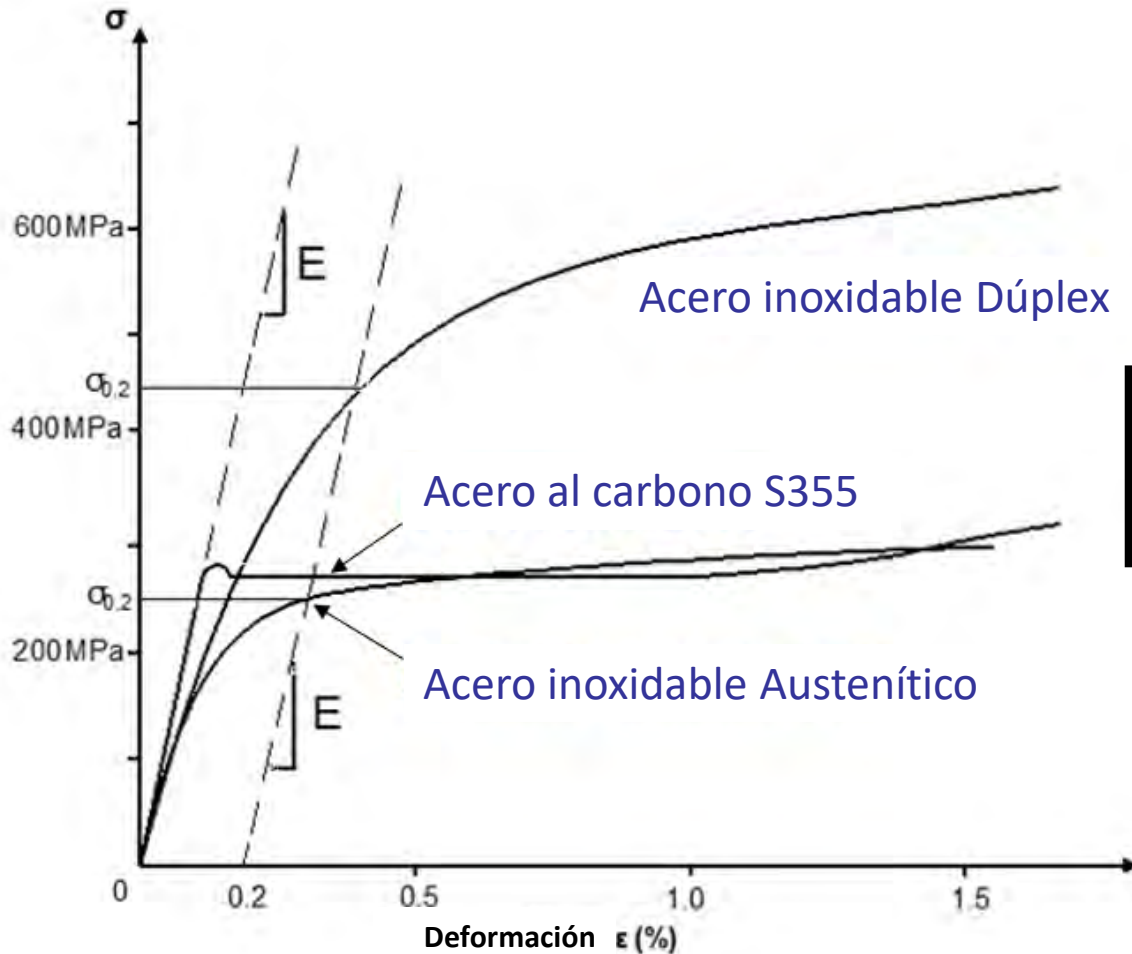
El acero inoxidable presenta un comportamiento σ - ϵ esencialmente diferente al del acero al carbono.



El acero al carbono presenta un límite elástico claramente marcado seguido de una rama plástica

El acero inoxidable presenta una plastificación gradual con un importante endurecimiento por deformación.

Características tenso-deformacionales a bajo nivel de deformación



La respuesta tenso-deformacional depende de la familia.

Resistencia de cálculo del acero inoxidable

Valores mínimos de la tensión correspondiente a una deformación remanente de 0.2% especificados en EN10088-4 y -5

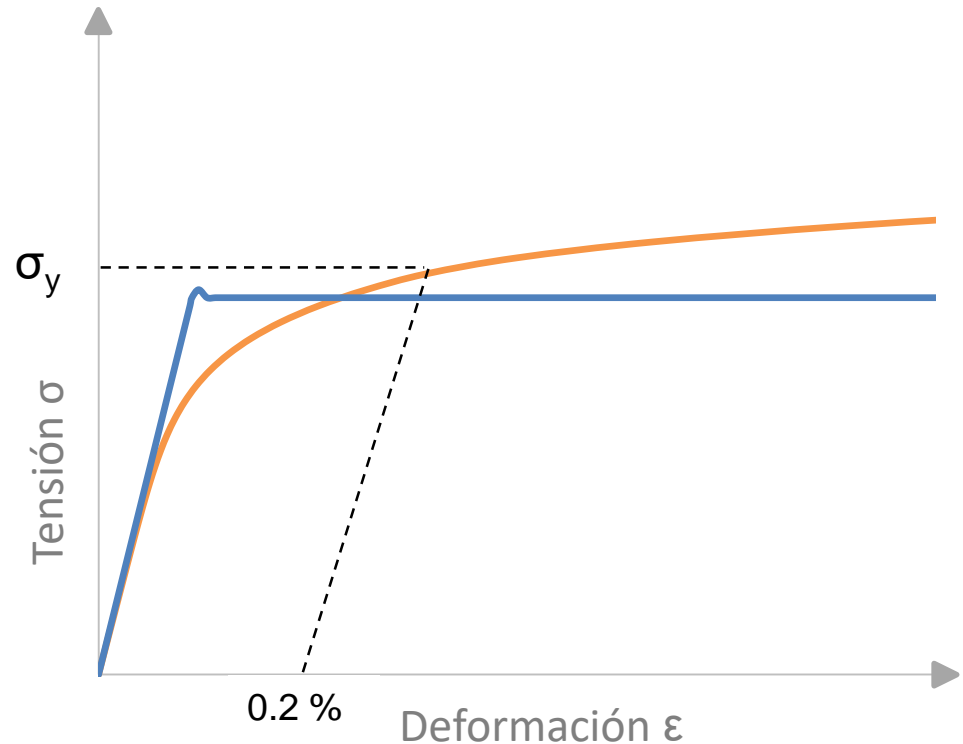
Austeníticos: $f_y = 220-350$ MPa

Dúplex: $f_y = 400-480$ Mpa

Ferríticos: $f_y = 210-280$ MPa

Módulo de Young:

$E=200,000$ a $220,000$ MPa



Resistencia de cálculo del acero inoxidable

Grado	Familia	Límite elástico (N/mm ²) (tensión a deformación remanente de 0.2%)	Resistencia última (N/mm ²)	Módulo de Young (N/mm ²)	Deformación en rotura (%)
1.4301 (304)	Austenítico	210	520	200000	45
1.4401 (316)	Austenítico	220	520	200000	40
1.4062	Dúplex	450	650	200000	
1.4462	Dúplex	460	640	200000	
1.4003	Ferrítico	250	450	220000	

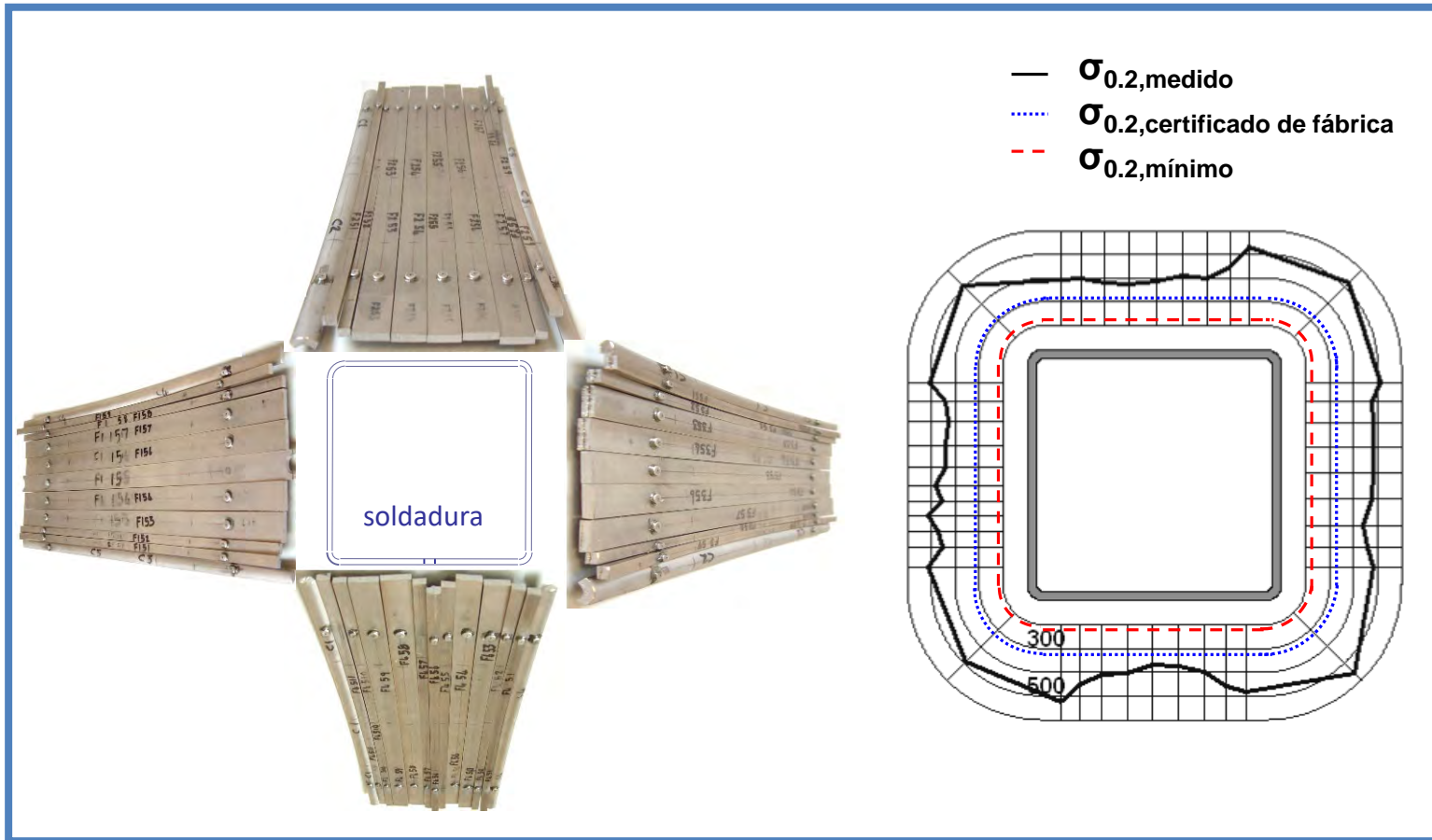
Endurecimiento por deformación (trabajado o laminado en frío)

- Incremento de la resistencia por deformaciones plásticas
- Causado por el conformado en frío, durante la producción del acero o en las operaciones de conformado

Durante la fabricación de una sección tubular rectangular, la tensión correspondiente a una deformación remanente de 0.2% aumenta alrededor de un 50% en las regiones conformadas de las esquinas!

Endurecimiento por deformación (trabajado o laminado en frío)

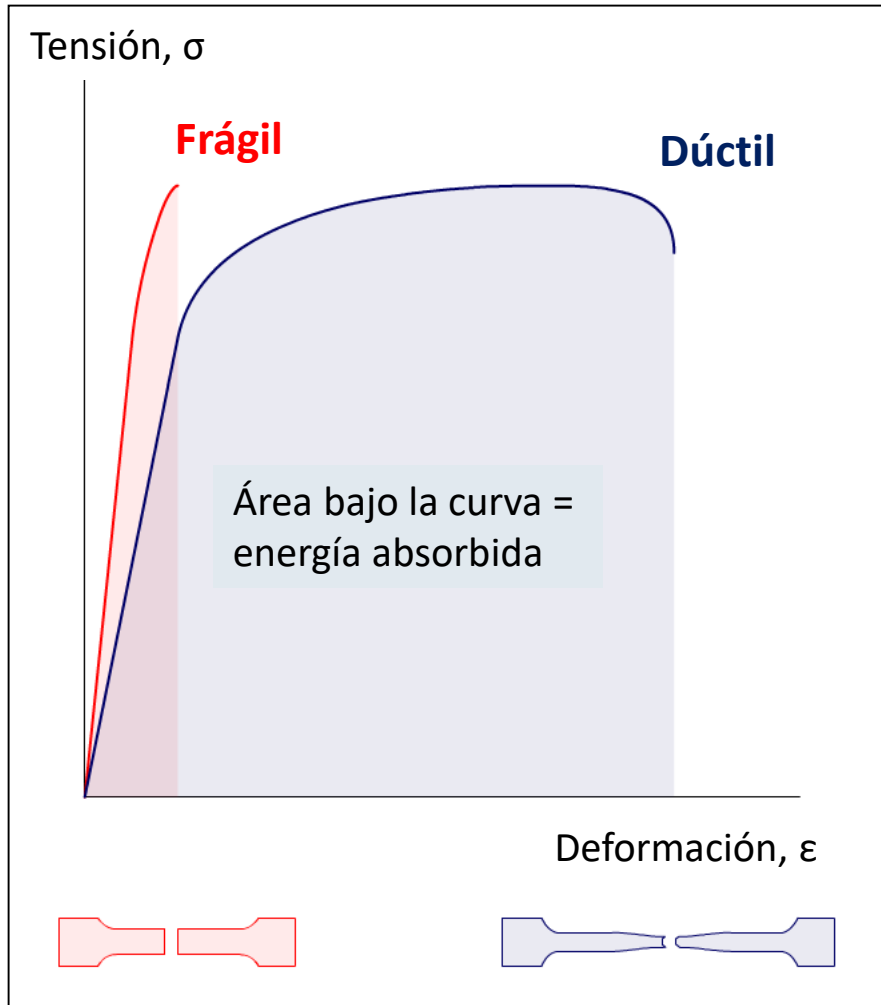
- Aumento de resistencia durante el conformado



Endurecimiento por deformación – no siempre beneficioso!

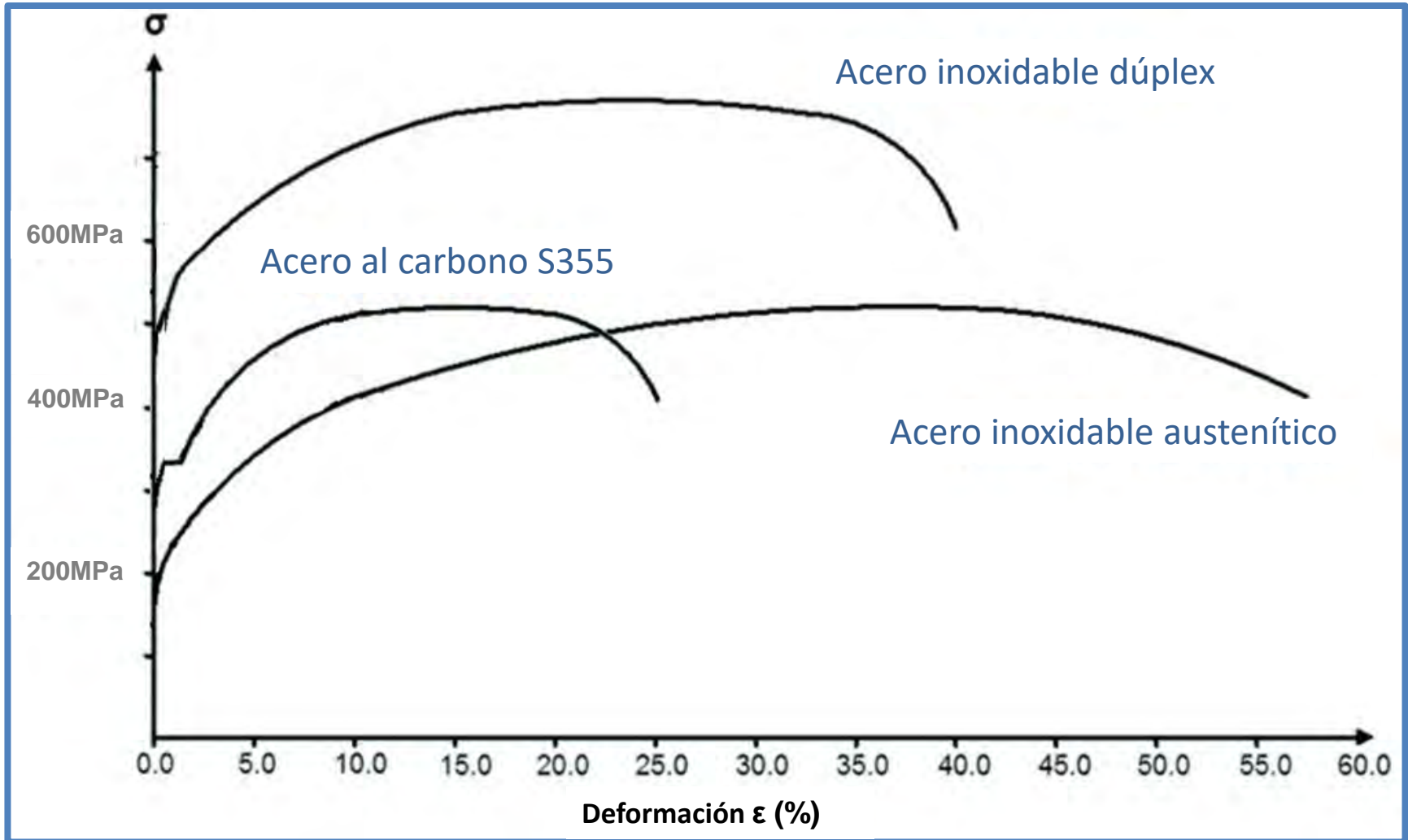
- Maquinaria de fabricación más pesada y potente
- Mayores requisitos de fuerza
- Reducción de ductilidad (no obstante, la ductilidad inicial es alta, especialmente para los austeníticos)
- Pueden producirse tensiones residuales no deseadas

Ductilidad y dureza



- **Ductilidad** – habilidad de deformarse sin rotura
- **Dureza** – habilidad de absorber energía y deformarse plásticamente sin fracturarse

Características tenso-deformacionales a altas deformaciones



Estructuras resistentes a explosiones e impactos



Baliza de seguridad



Fabricación del muro trapezoidal resistente a explosiones de la obra muerta de una plataforma offshore

Características tenso-deformacionales

La **no linealidad** lleva a.....

- Límites de ancho/espesor diferentes para efectos de abolladura local
- Comportamiento diferente de elementos frente a inestabilidades globales en compresión y flexión
- Mayores flechas

Influencia en el comportamiento frente a pandeo por flexión

- **Esbelteces bajas**

los pilares alcanzan o exceden la carga plástica

⇒ **beneficio** del endurecimiento por deformación

El inoxidable se comporta **al menos tan bien como** el acero al carbono

- **Esbelteces altas**

baja resistencia axial, bajo nivel tensional en el rango lineal del material

⇒ el inoxidable se comporta de **manera similar** al acero al carbono suponiendo geometrías y tensiones residuales similares

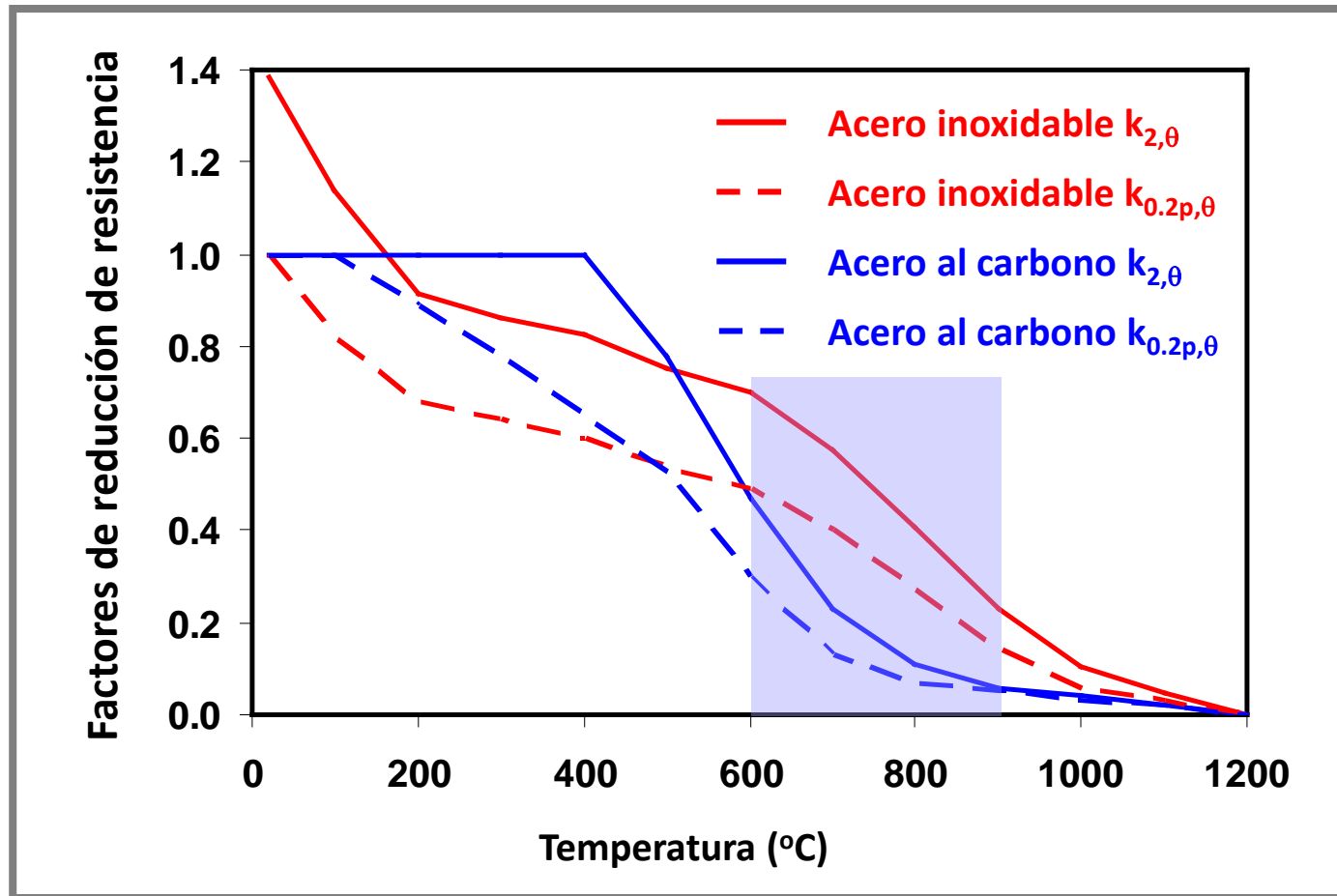
Influencia en el comportamiento frente a pandeo por flexión

- **Esbelteces intermedias**

la tensión media en el pilar se encuentra entre el límite de proporcionalidad y la tensión correspondiente a una deformación remanente de 0.2%,

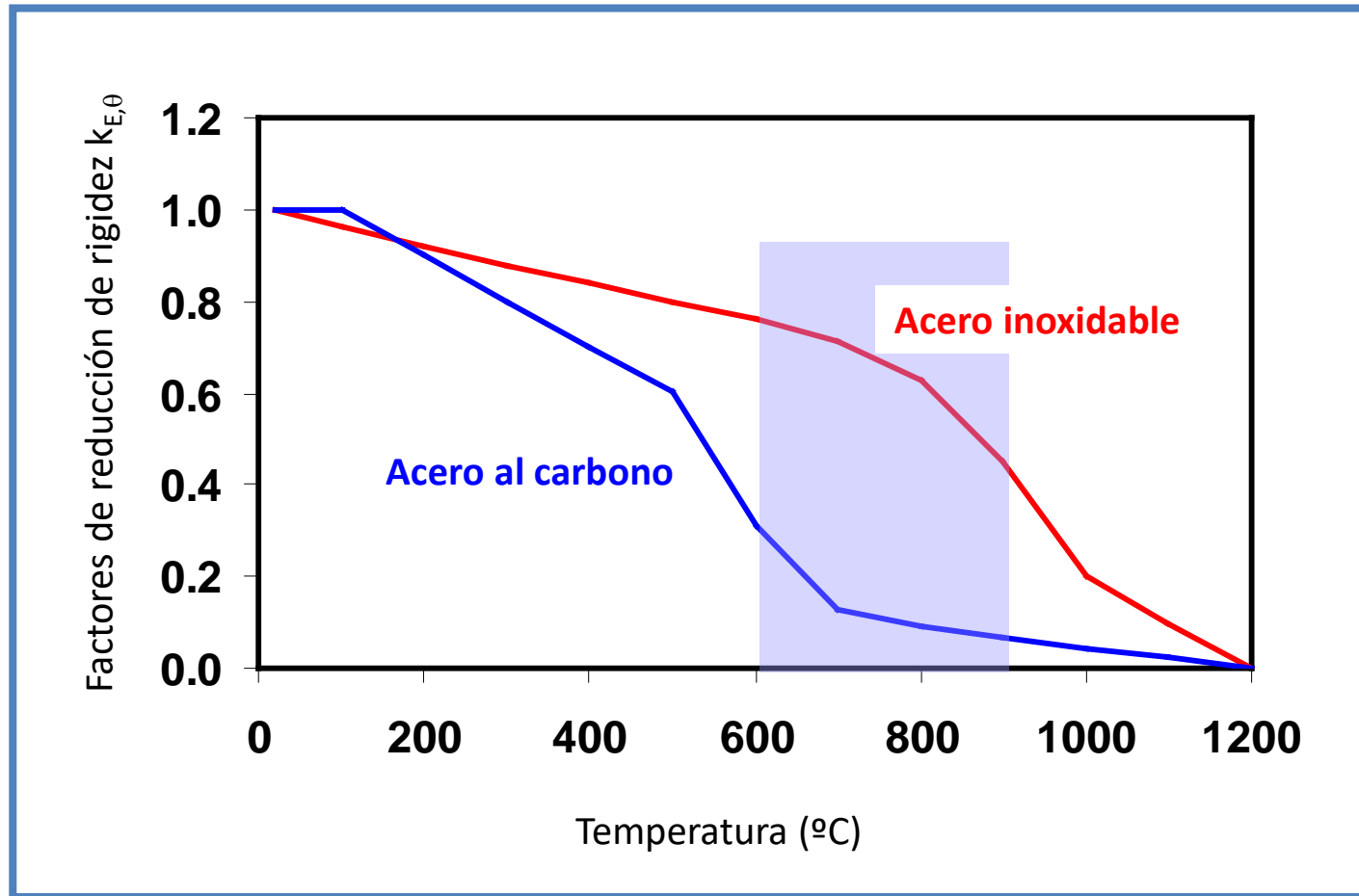
los pilares de acero inoxidable son **menos resistentes** que los de acero al carbono

Material a temperaturas elevadas



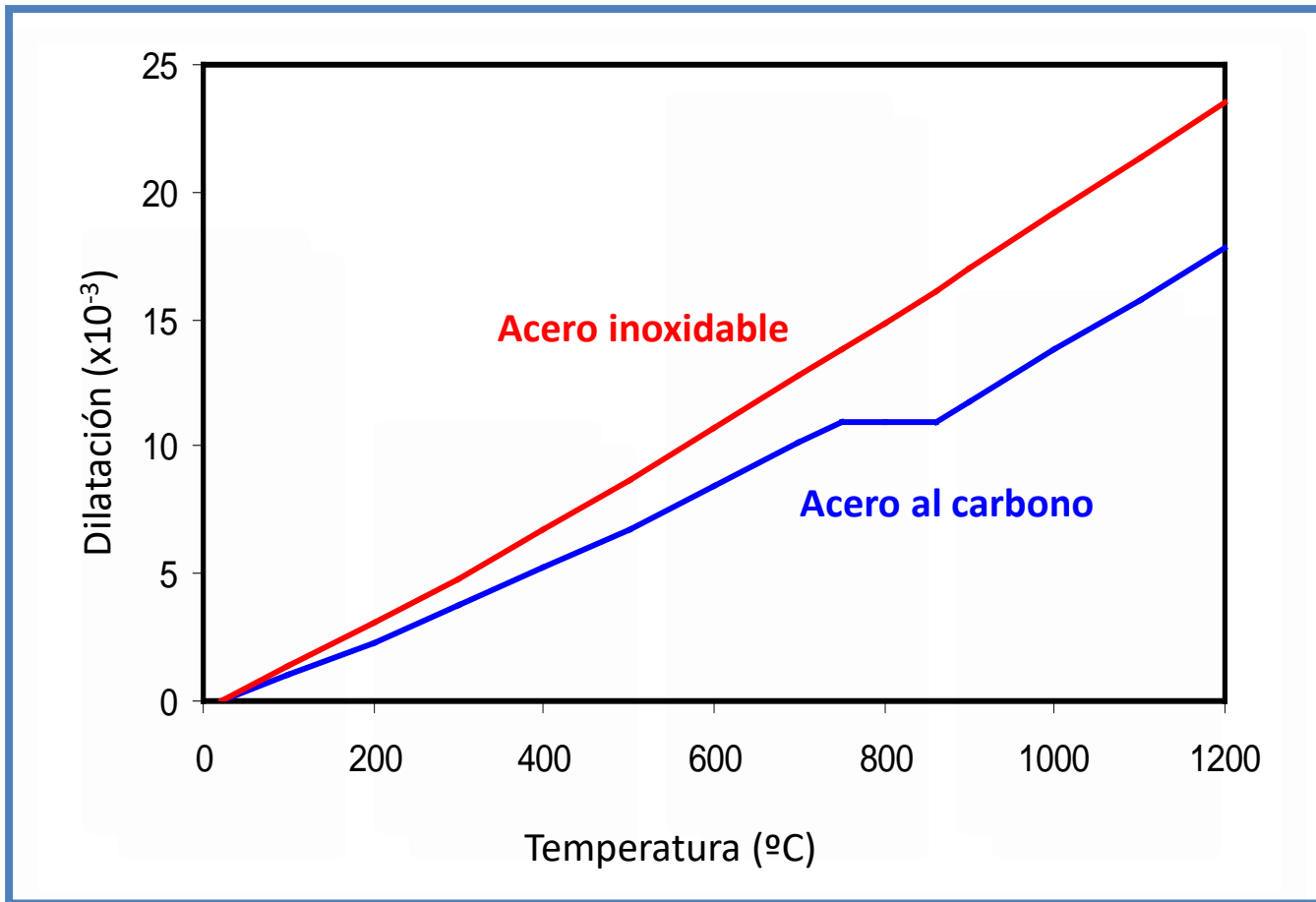
$k_{0.2p,q}$ = factor de reducción de resistencia a tensión de deformación plástica 0.2%
 $k_{2,q}$ = factor de reducción de resistencia a tensión de deformación total 2%

Material a temperaturas elevadas



Factor de reducción de rigidez

Material a temperaturas elevadas



Dilatación térmica

Parte 3

Cálculo de acuerdo con Eurocódigo 3

Normas de cálculo internacionales

¿Cuáles son las normas de cálculo disponibles para el acero inoxidable estructural?



Club Náutico Hamilton Island, Australia

EN 1990

Seguridad estructural, servicio y durabilidad

EN 1991

Acciones sobre estructuras

EN 1992

EN 1993

EN 1994

EN 1995

EN 1996

EN 1999

Diseño y detalles

EN 1997

Diseño geotécnico

EN 1998

Diseño sísmico

Conexiones entre los Eurocódigos

Los Eurocódigos son una colección de normas de cálculo europeas integradas que cubren los materiales de construcción más habituales

Eurocode 3: Parte 1 (EN1993-1)

EN 1993-1-1 General rules and rules for buildings.

EN 1993-1-2 Structural fire design.

EN 1993-1-3 Cold-formed members and sheeting .

EN 1993-1-4 Stainless steels.

EN 1993-1-5 Plated structural elements.

EN 1993-1-6 Strength and stability of shell structures.

EN 1993-1-7 Strength & stability of planar plated structures transversely loaded.

EN 1993-1-8 Design of joints.

EN 1993-1-9 Fatigue strength of steel structures.

EN 1993-1-10 Selection of steel for fracture toughness and through-thickness properties.

EN 1993-1-11 Design of structures with tension components

EN 1993-1-12 Supplementary rules for high strength steels

Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero, Parte 1.4 Reglas adicionales para aceros inoxidable

BRITISH STANDARD

Eurocode 3 — Design of steel structures —

Part 1-4: General rules —
Supplementary rules for stainless steels

The European Standard EN 1993-1-4:2006 has the status of a
British Standard

ICS 91.040.01, 91.080.10

BS EN
1993-1-4:2006

Proyecto de estructuras de acero.
Reglas adicionales para aceros
inoxidables (2006)

- Modifica y suplementa las directrices para acero al carbono dadas en otras partes de Eurocódigo 3 cuando necesario
- Aplicable a edificios, puentes, tanques, etc.

Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero,

Parte 1.4 Reglas adicionales para aceros inoxidables

- Proceder de la misma manera que para acero al carbono
- Emplear las mismas directrices que para acero al carbono para elementos traccionados y vigas arriostradas
- Existen diferencias en límites de clasificación seccional, abolladura local y curvas de pandeo por flexión debido a:
 - Curva tenso-deformacional no lineal
 - Propiedades de endurecimiento por deformación
 - Tensiones residuales diferentes

Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero,

Parte 1.4 Reglas adicionales para aceros inoxidables

Tipos de elementos

- Laminados en caliente y soldados
- Conformados en frío
- Barras

Número de grados

Familia	EC3-1-4	Revisión futura
Ferrítico	3	3
Austenítico	16	16
Dúplex	2	6

Alcance

- Elementos y uniones
- Incendio (*por referencia a EN 1993-1-2*)
- Fatiga (*por referencia a EN 1993-1-9*)

Otras normas y manuales de diseño

- **Japón** – dos normas: una para elementos conformados en frío y una para elementos soldados
- **Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda** – normas para elementos conformados en frío de acero inoxidable
- **China** – norma en desarrollo
- **US** – norma ASCE para elementos conformados en frío y el manual AISC Design Guide para elementos laminados en caliente y soldados

Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero,

Parte 1.4 Reglas adicionales para aceros inoxidables

¿Cuáles son las reglas de cálculo para acero inoxidable recogidas en EN 1993-1-4 y cuáles las principales diferencias con las equivalentes para acero al carbono?



Porche con pilares resistentes a explosión en la entrada del Seven World Trade Centre, Nueva York

Clasificación seccional y expresiones para la abolladura local en EN1993-1-4

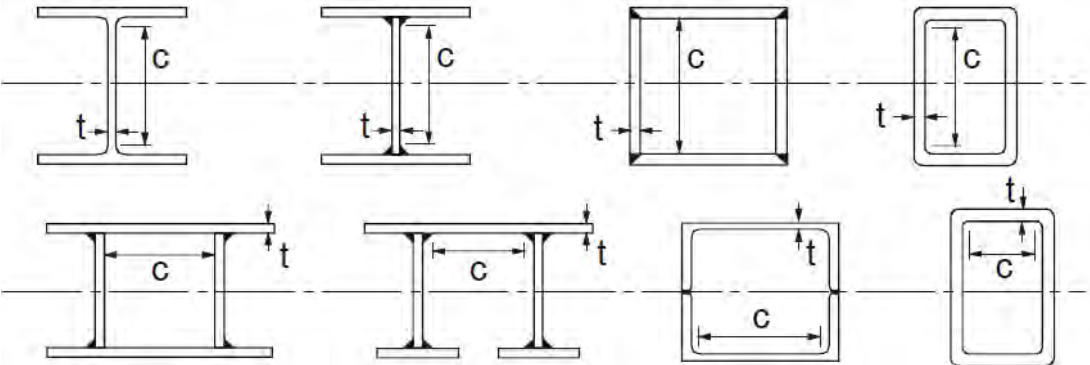
- Valores límite de los ratios ancho/espesor más bajos que para acero al carbono
- Expresiones ligeramente diferentes para el cálculo del ancho eficaz en secciones esbeltas

No obstante...

La versión revisada de EN1993-1-4 contendrá límites menos conservadores y expresiones de ancho eficaz.

Clasificación seccional y expresiones para la abolladura local en EN1993-1-4

- Elementos internos comprimidos

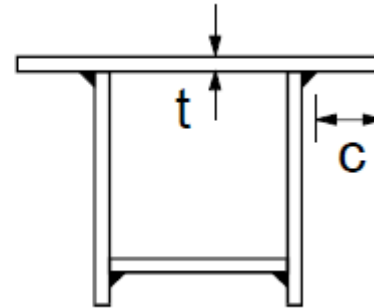
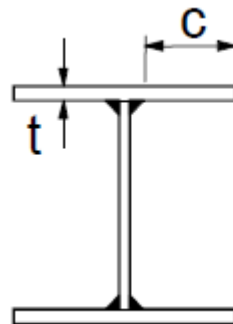


$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

Clase	EC3-1-1: acero al carbono		EC3-1-4: acero inoxidable		EC3-1-4: Revisado	
	Flexión	Compresión	Flexión	Compresión	Flexión	Compresión
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	$c/t \leq 56\epsilon$	$c/t \leq 25,7\epsilon$	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	$c/t \leq 58,2\epsilon$	$c/t \leq 26,7\epsilon$	$c/t \leq 76\epsilon$	$c/t \leq 35\epsilon$
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	$c/t \leq 74,8\epsilon$	$c/t \leq 30,7\epsilon$	$c/t \leq 90\epsilon$	$c/t \leq 37\epsilon$

Clasificación seccional y expresiones para la abolladura local en EN1993-1-4

- Elementos en voladizo comprimidos



$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

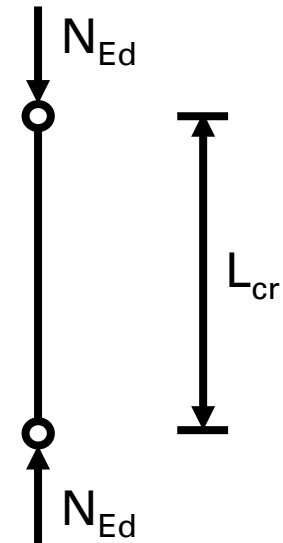
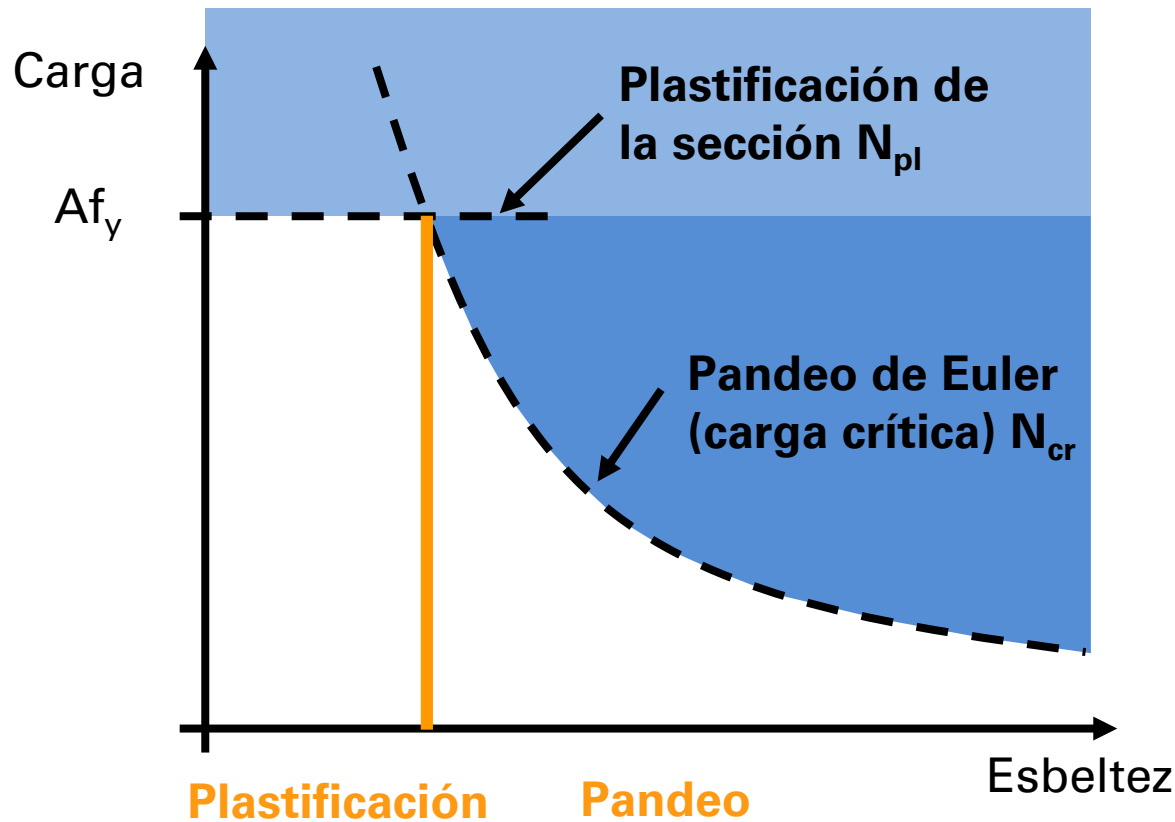
	EC3-1-1: acero al carbono	EC3-1-4: acero inoxidable		EC3-1-4: Revisado
Clase	Compresión	Compresión Soldado	Compresión Conformado en frío	Compresión
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq 9\epsilon$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq 9,4\epsilon$	$c/t \leq 10,4\epsilon$	$c/t \leq 10\epsilon$
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 11\epsilon$	$c/t \leq 11,9\epsilon$	$c/t \leq 14\epsilon$

Diseño de pilares y vigas

- En general, emplear las mismas directrices que para acero al carbono
- Pero considerar curvas de pandeo diferentes para el pandeo por flexión de pilares y pandeo lateral de vigas no arriostradas (pandeo lateral)
- Asegurarse de que se considera el valor adecuado de f_y para el grado considerado (valores mínimos especificados recogidos en EN10088-4 y -5)

Comportamiento del pilar “perfecto”

Dos límites: plastificación y pandeo



Pandeo por flexión de pilares

Resistencia de cálculo a pandeo por compresión $N_{b,Rd}$:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

para Clases 1, 2 y 3

Coefficiente de reducción

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

para Clase 4 (simétrica)

Pandeo por flexión de pilares

Esbeltez adimensional: $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \quad \text{para secciones Clase 1, 2 y 3}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{para secciones Clase 4}$$

N_{cr} es la carga crítica elástica de pandeo para el modo de pandeo considerado, basado en las propiedades brutas de la sección

Pandeo por flexión de pilares

Coefficiente de reducción: χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0,5}} \leq 1$$

$$\phi = 0,5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \lambda_0) + \bar{\lambda}^2)$$

Factor de imperfección

Esbeltez límite

Pandeo por flexión de pilares

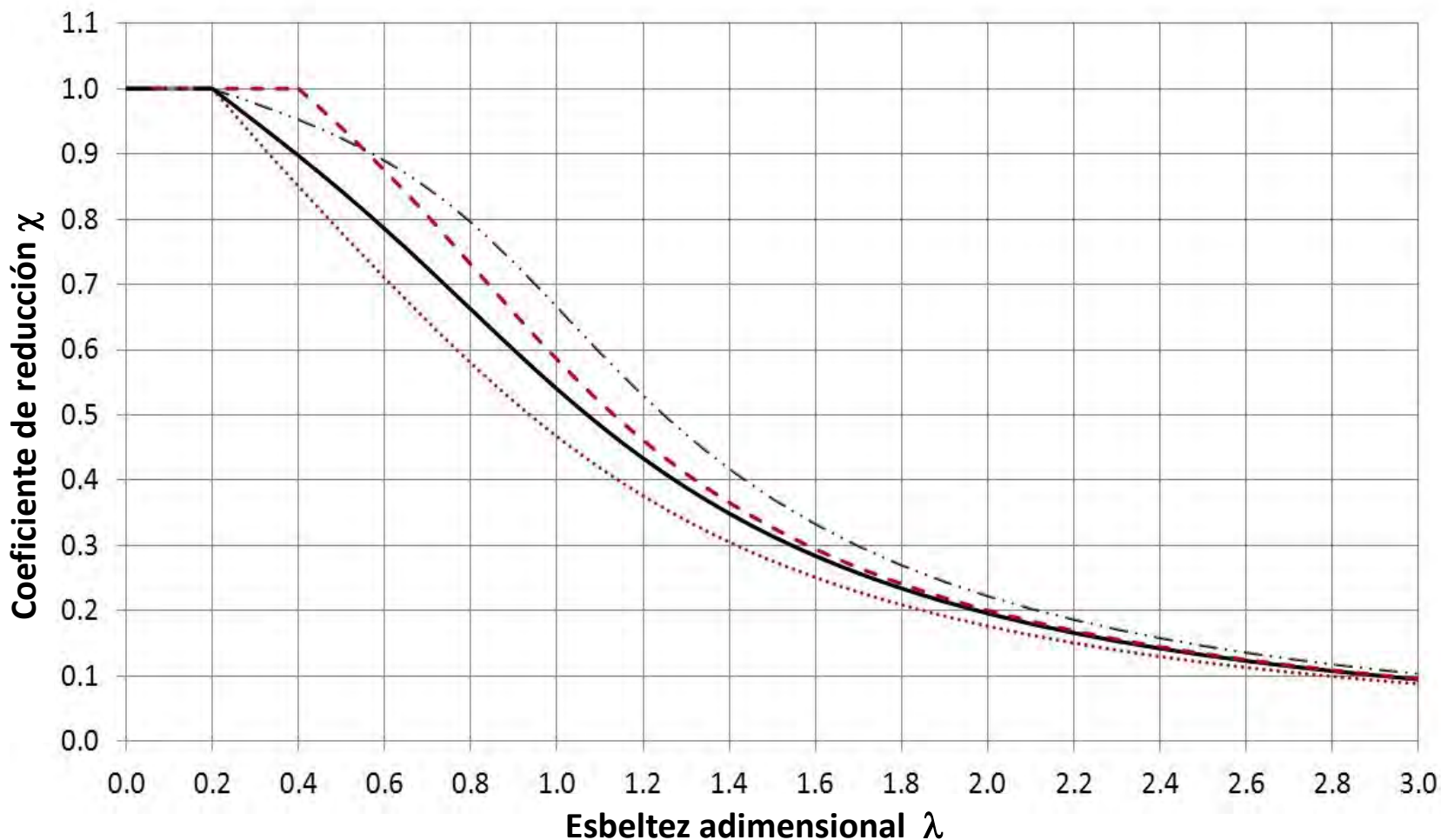
- La elección de la curva de pando adecuada depende de la sección transversal, proceso de fabricación y eje considerado

Tabla 5.3: Valores de α y λ_0 para pandeo por flexión, pandeo por torsión y pandeo por torsión y flexión.

Modo de pandeo	Tipo de elemento	α	λ_0
Flexión	Secciones abiertas conformadas en frío	0,49	0,40
	Secciones tubulares (soldadas o sin soldar)	0,49	0,40
	Secciones abiertas soldadas (eje fuerte)	0,49	0,20
	Secciones abiertas soldadas (eje débil)	0,76	0,20
Torsión y torsión y flexión	Todos los elementos estructurales	0,34	0,20

Extraído de EN1993-1-4

Eurocódigo 3. Curvas de pandeo por flexión

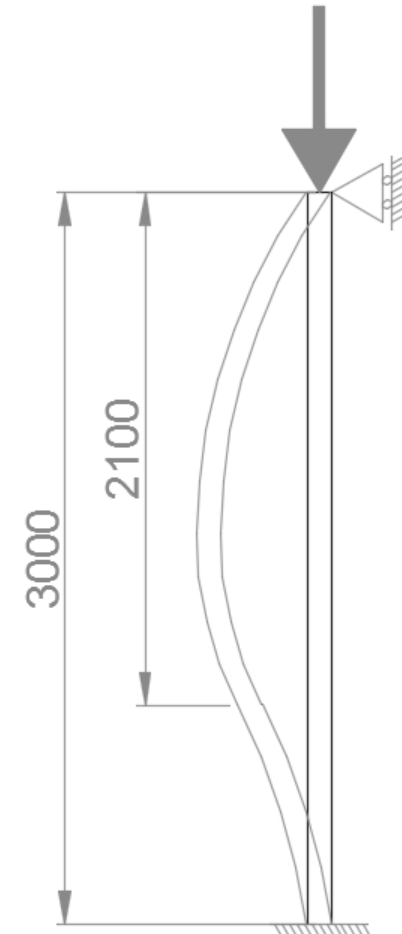
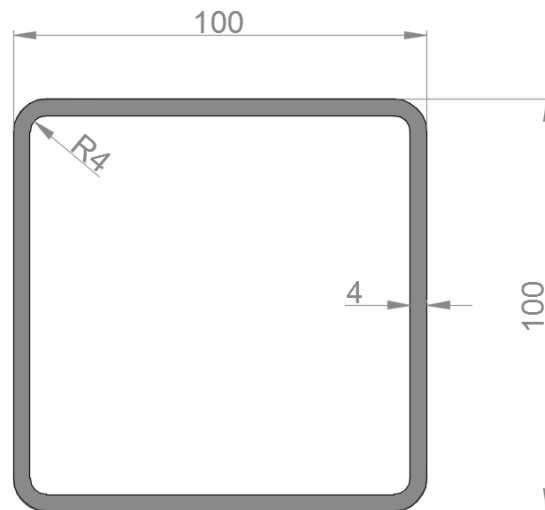


- - - Acero inoxidable: secciones tubulares (soldadas o sin soldar), secciones en C conformadas en frío
- Acero inoxidable: secciones en I soldadas
- Acero al carbono: secciones en I soldadas, secciones tubulares y en C conformadas en frío
- - - Acero al carbono: secciones tubulares acabadas en caliente

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo por Flexión

- Sección tubular rectangular conformada en frío sometida a una carga concéntrica de compresión

	Acero al carbono	Acero inoxidable austenítico
Material	S235	EN 1.4301
f_y [N/mm ²]	235	230
E [N/mm ²]	210000	200000



Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo por Flexión

EC 3-1-1: S235

- Clasificación

Todas son partes internas

Para Clase 1:

$$c/t = 21 < 33 = 33\varepsilon$$

$$\text{con } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

La sección es Clase 1

EC 3-1-4: Austenítico

- Clasificación

Todas son partes internas

Para Clase 1:

$$c/t = 21 < 25,35 = 25,7\varepsilon$$

$$\text{con } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,99$$

La sección es Clase 1

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo por Flexión

	EC 3-1-1: S355	EC 3-1-4: Dúplex
A [mm ²]	1495	1495
f _y [N/mm ²]	235	230
γ _{M0} [-]	1	1,1
N _{c,Rd} [kN]	351	313
L _{cr} [mm]	2100	2100
λ ₁ [-]	93,9	92,6
λ̄ [-]	0,575	0,583
α [-]	0,49	0,49
λ̄ ₀ [-]	0,2	0,4
φ [-]	0,76	0,71
χ [-]	0,80	0,89
γ _{M1} [-]	1	1,1
N _{b,Rd} [kN]	281	277

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo por Flexión

■ Comparación

	EC 3-1-1: S235	EC 3-1-4: Austenítico
f_y [N/mm ²]	235	230
γ_{M0} [-]	1,0	1,1
γ_{M1} [-]	1,0	1,1
Sección $N_{c,Rd}$ [kN]	351	313
Pandeo $N_{b,Rd}$ [kN]	281	277

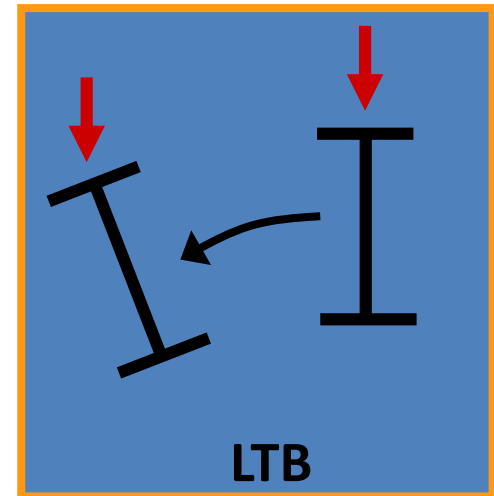
- En este ejemplo, los pilares de acero al carbono e inoxidable presentan una resistencia a pandeo por flexión similar

El **beneficio** del endurecimiento por deformación no es apreciable

⇒ EC3 1-4 no considera los efectos de endurecimiento por deformación debidamente

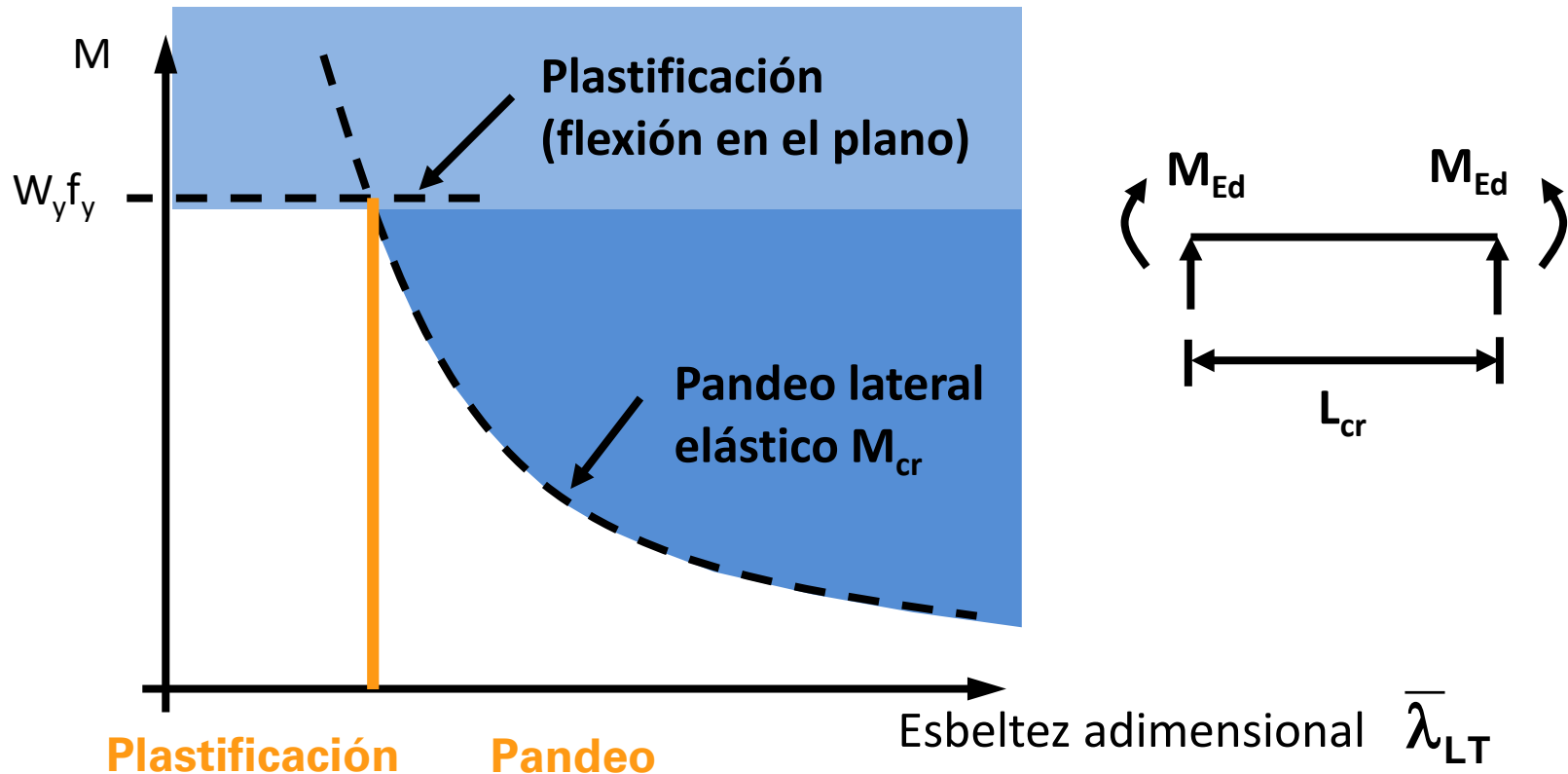
Pandeo lateral

- Puede despreciarse en caso de:
 - Secciones tubulares (CHS, SHS), barras circulares o cuadradas
 - Vigas totalmente arriostradas lateralmente
 - Flexión alrededor del eje débil
 - $\bar{\lambda}_{LT} < 0.4$



Pandeo lateral

- El método de cálculo frente a pandeo lateral es análogo al tratamiento del pandeo por flexión en pilares.



Pandeo lateral

- La resistencia de cálculo frente a pandeo lateral $M_{b,Rd}$ de una viga no arriostrada (o segmento de viga) debe determinarse a partir de:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Coeficiente de reducción por pandeo lateral (LTB)

Pandeo lateral

- Las curvas para pandeo lateral se muestran en la diapositiva siguiente:

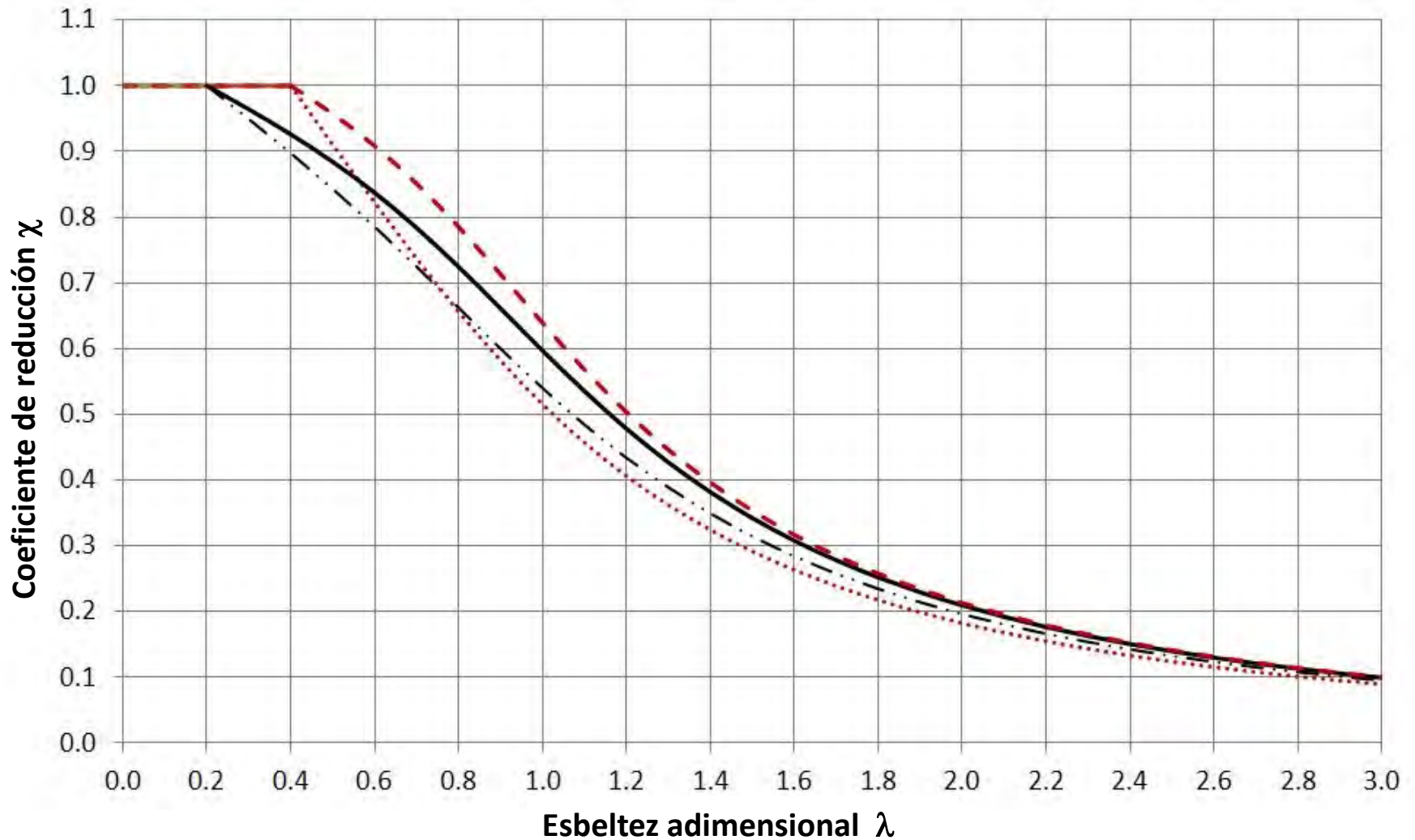
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{but } \chi_{LT} \leq 1.0$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Factor de imperfección

Esbeltez límite

Eurocódigo 3. Curvas de pandeo lateral



— · · Acero al carbono: secciones en I soldadas

— Acero al carbono: secciones en C conformadas en frío

· · · Acero inoxidable: secciones en I soldadas

— · - Acero inoxidable: secciones en C conformadas en frío

Esbeltez adimensional

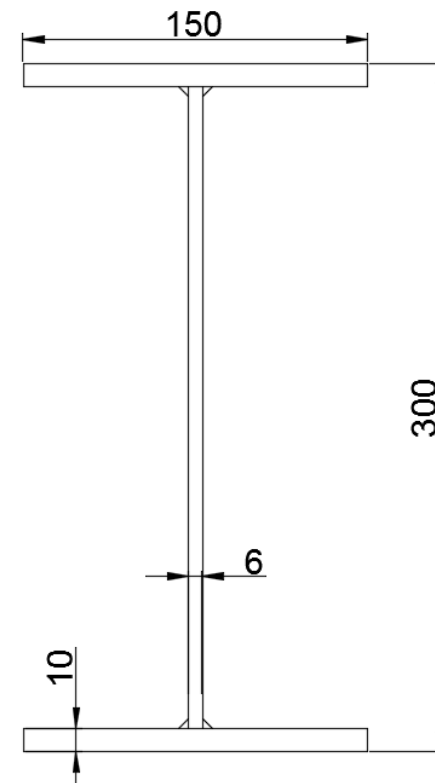
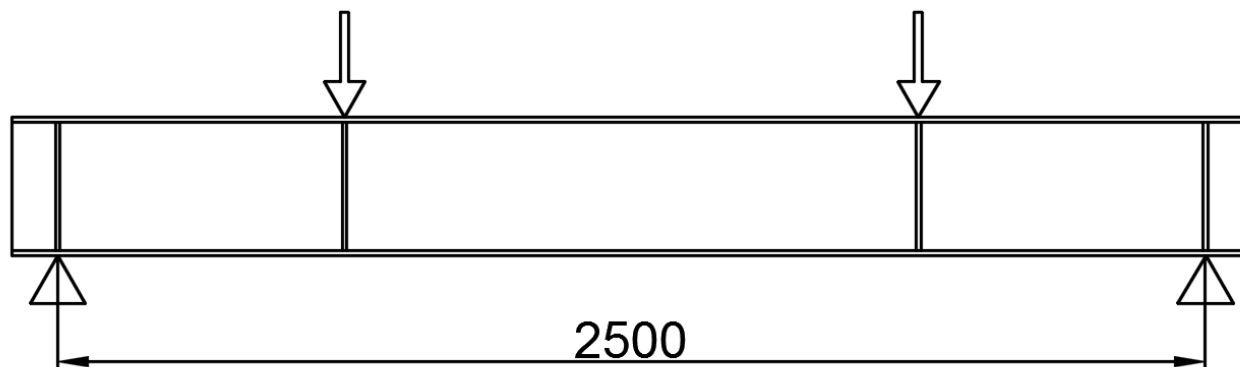
- Esbeltez a pandeo lateral:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

- Curvas de pandeo como para compresión (excepto curva a_0)
- W_y depende de la clasificación seccional
- M_{cr} es el momento flector crítico elástico de pandeo lateral

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo Lateral

- Viga de sección en I flectada



	Acero al carbono	Acero inoxidable dúplex
Material	S355	EN 1.4162
f_y [N/mm ²]	355	450
E [N/mm ²]	210000	200000

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo Lateral

EC 3-1-1: S355

■ Clasificación

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

–Ala: $c/t = 6,78 < 7,3 = 9\varepsilon$

Clase 1

–Alma: $c/t = 45,3 < 58,3 = 72\varepsilon$

Clase 1

La sección es Clase 1

EC 3-1-4: Dúplex

■ Clasificación

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,71$$

–Ala: $c/t = 6,78 < 7,76 = 11\varepsilon$

Clase 3

–Alma: $c/t = 45,3 < 58,3 = 72\varepsilon$

Clase 3

La sección es Clase 3

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo Lateral

EC 3-1-1: S355

- Momento último
 - Para Clase 1

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 196 \text{ kNm}$$

EC 3-1-4: Dúplex

- Momento último
 - Para Clase 3

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 202 \text{ kNm}$$

Revisión de EC 3-1-4:

- Límites de clasificación: más cercanos a los de acero al carbono
 - Con los nuevos límites la sección es Clase 2

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 226 \text{ kNm}$$

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo Lateral

Momento flector crítico elástico de pandeo lateral:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{k_z}{k_\omega} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]} - C_2 z_g \right\}$$

	EC 3-1-1: S355	EC 3-1-4: dúplex
C_1 [-]	1,04	1,04
C_2 [-]	0,42	0,42
k_z [-]	1	1
k_ω [-]	1	1
z_g [mm]	160	160
I_z [mm ⁴]	5,6.10 ⁶	5,6.10 ⁶
I_T [mm ⁴]	1,2.10 ⁵	1,2.10 ⁵
I_ω [mm ⁶]	1,2.10 ¹¹	1,2.10 ¹¹
E [MPa]	210000	200000
G [MPa]	81000	77000
M_{cr} [kNm]	215	205

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo Lateral

Resistencia frente a pandeo lateral

	EC 3-1-1: S355	EC 3-1-4: Dúplex	EC 3-1-4: Revisado
W_y [mm ³]	$5,5 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^5$
f_y [N/mm ²]	355	450	450
M_{cr} [kNm]	215	205	205
$\bar{\lambda}_{LT}$ [-]	0,96	1,04	1,10
α_{LT} [-]	0,49	0,76	0,76
$\bar{\lambda}_{LT,0}$ [-]	0,2	0,4	0,4
ϕ_{LT} [-]	1,14	1,29	1,37
χ_{LT} [-]	0,57	0,49	0,46
γ_{M1} [-]	1,0	1,1	1,1
$M_{b,Rd}$ [kNm]	111	99	103

Eurocódigo 3. Ejemplo de Pandeo Lateral

■ Comparación

	EC 3-1-1: S355	EC 3-1-4: Dúplex	EC 3-1-4: Revisado
f_y [N/mm ²]	355	450	450
γ_{M0} [-]	1,0	1,1	1,1
γ_{M1} [-]	1,0	1,1	1,1
Sección $M_{c,Rd}$	196	202	226
Pandeo lateral $M_{b,Rd}$	111	99	103

- En este ejemplo, las vigas de acero al carbono e inoxidable presentan una resistencia similar a pandeo lateral
- No obstante: Ensayos y estudios recientes indican que las especificaciones de EC3-1-4 deberían adaptarse para ser más reales
⇒ **demasiado conservadores**
(Esto se mostrará en el ejemplo de elementos finitos)

Parte 4

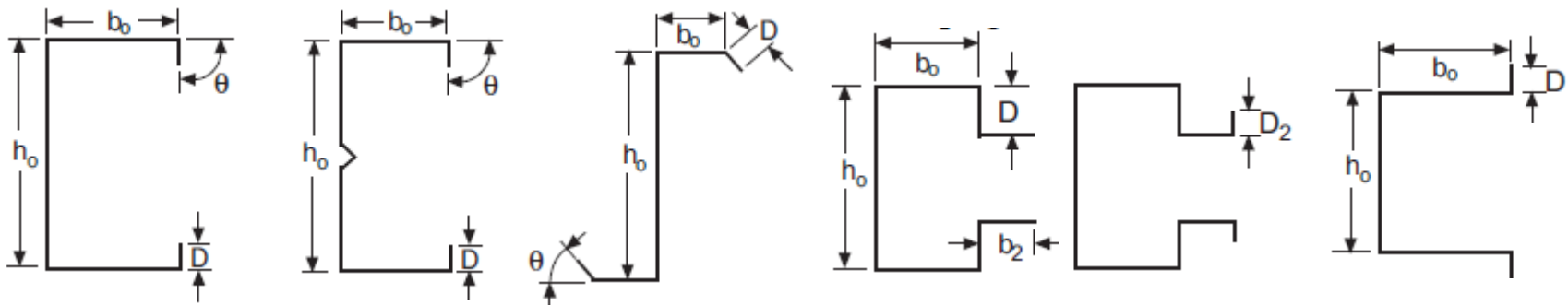
Métodos alternativos

Métodos alternativos

- Direct Strength Method (DSM)
 - Incluido en la norma americana
 - Para perfiles de pared delgada
- Continuous Strength Method (CSM)
 - Incluye el efecto beneficioso del endurecimiento por deformación
- Modelos de elementos finitos
 - Método más tedioso
 - Puede incluir todas las especificidades del modelo o problema estudiado

Direct Strength Method

- Apéndice 1 de la norma AISI
- Método muy sencillo y directo
- Empleado para secciones de pared delgada

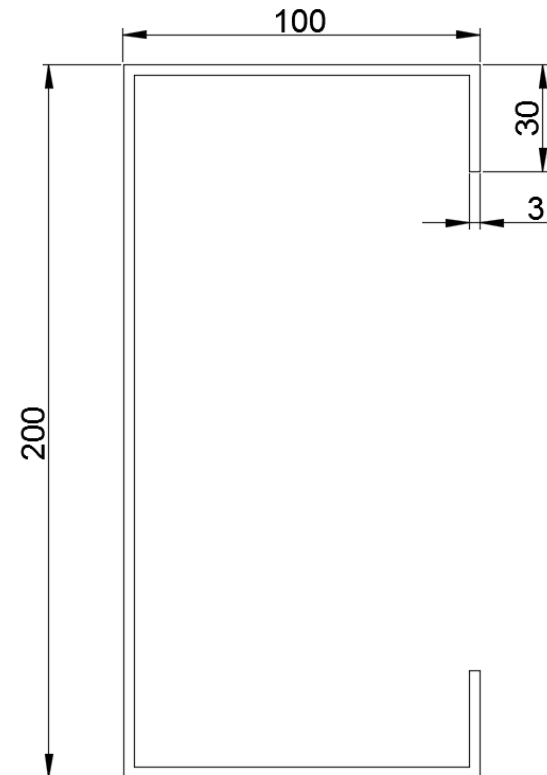


- Requiere un “Análisis de modos elásticos de pandeo”
 - Métodos teóricos disponibles en la literatura
 - Métodos de bandas finitas (por ejemplo CUFSM)
- Más información en: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/>

Direct Strength Method – Ejemplo

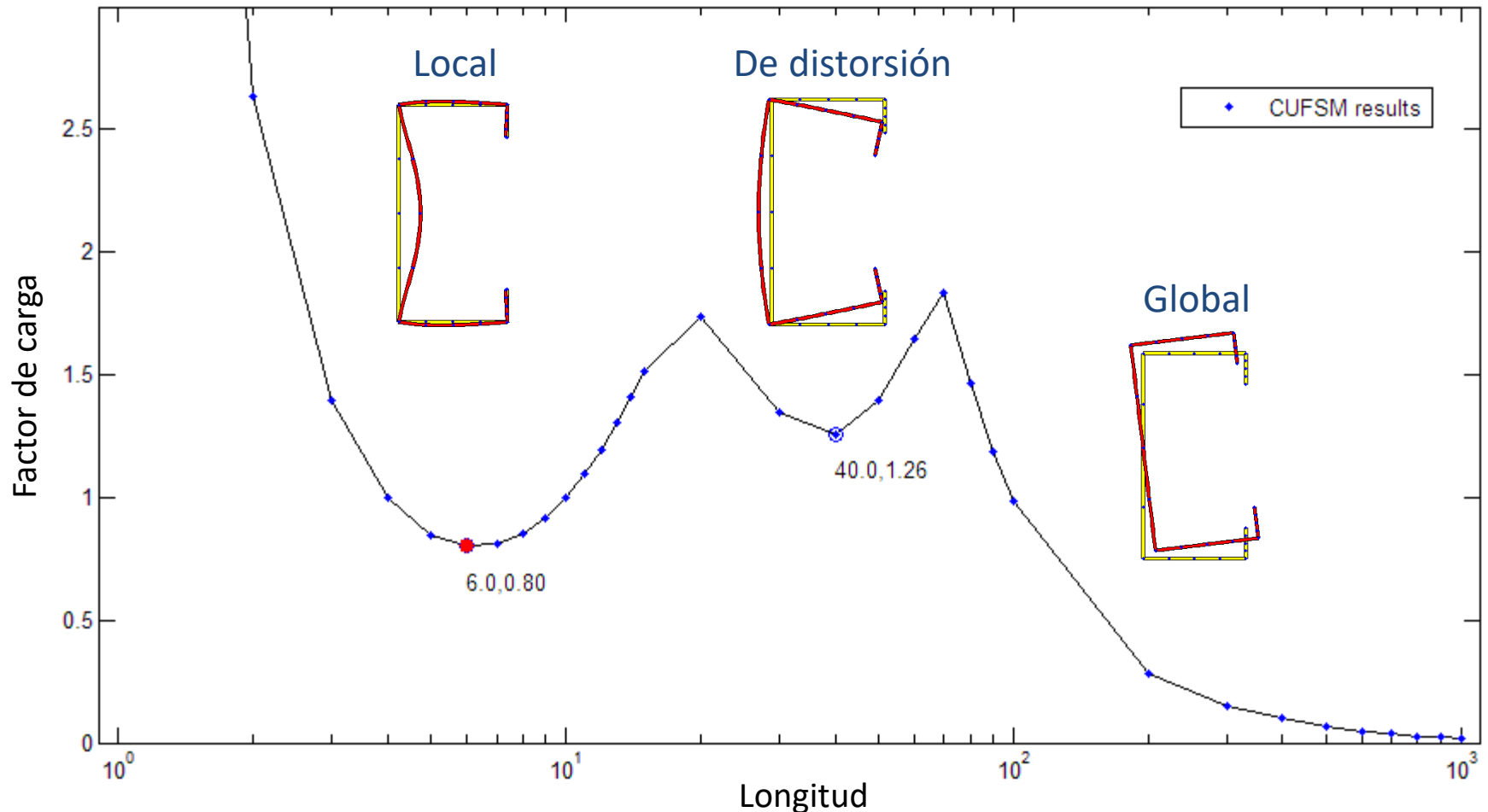
- Sección en C con labios rigidizados sometida a compresión
 - Pilar simplemente apoyado
 - Altura de pilar: 5m

	Acero inoxidable ferrítico
Material	EN 1.4003
f_y [N/mm ²]	280
f_u [N/mm ²]	450
E [N/mm ²]	220000



Direct Strength Method – Ejemplo

- Primer paso: Análisis de modos elásticos de pandeo



Direct Strength Method – Ejemplo

- Resultados del análisis de modos elásticos de pandeo
 - En el ejemplo, los factores de carga obtenidos del análisis de modos de pandeo son:
 - Para abolladura local: 0,80
 - Para abolladura por distorsión: 1,26
 - Para pandeo por flexión: 0,28

- Segundo paso: Cálculo de las resistencias nominales
 - Para abolladura local \Rightarrow una ecuación
 - Para abolladura por distorsión \Rightarrow una ecuación
 - Para pandeo por flexión \Rightarrow una ecuación

Direct Strength Method – Ejemplo

- Resistencia nominal de pandeo por flexión P_{ne}

- $\lambda_c = \sqrt{P_y/P_{cre}} = 1,88$

- $P_y = Af_y = 376 \text{ kN}$

- $P_{cre} = 0,28 * 376 = 107 \text{ kN}$

For $\lambda_c \leq 1,5$ $P_{ne} = (0,658^{\lambda_c^2})P_y$

For $\lambda_c > 1,5$ $P_{ne} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right)P_y$

- $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

Direct Strength Method – Ejemplo

- Resistencia nominal frente a abolladura local P_{nl}

- $\lambda_l = \sqrt{P_{ne}/P_{crl}} = 0,56$

- $P_{crl} = 0,80 * 376 = 302 \text{ kN}$

For $\lambda_l \leq 0,776$

$$P_{nl} = P_{ne}$$

For $\lambda_l > 0,776$

$$P_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} P_{ne}$$

- $P_{nl} = 93,81 \text{ kN}$

Direct Strength Method – Ejemplo

- Resistencia nominal frente a abolladura por distorsión P_{nd}

- $\lambda_d = \sqrt{P_y/P_{crd}} = 0,89$

- $P_{crd} = 1,26 * 376 = 473 \text{ kN}$

For $\lambda_d \leq 0,561$

$$P_{nd} = P_y$$

For $\lambda_d > 0,561$

$$P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y$$

- $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$

Direct Strength Method – Ejemplo

- Tercer paso: La resistencia a compresión es “simplemente” la menor de las tres resistencias nominales obtenidas
 - Abolladura local: $P_{nl} = 93,81 \text{ kN}$
 - Abolladura por distorsión: $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$
 - Pandeo por flexión: $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

$$\Rightarrow P_n = 93,81 \text{ kN}$$

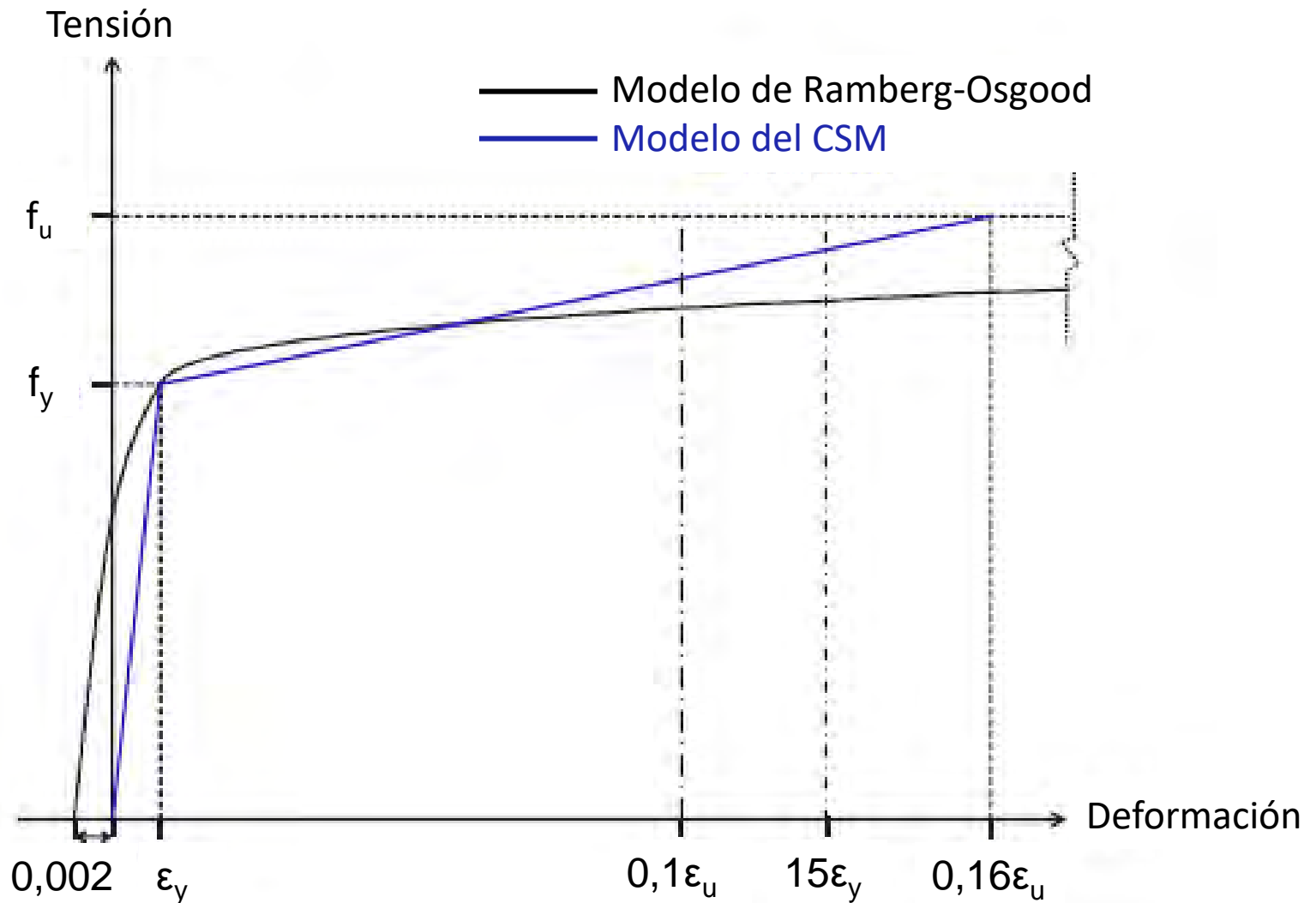
Continuous Strength Method

- Propiedades materiales del acero inoxidable:
 - Modelo material no lineal
 - Importante endurecimiento por deformación
 - Los métodos de cálculo convencionales no son capaces de considerar el potencial real de la sección transversal

El Continuous Strength Method
emplea un modelo material que
incluye los efectos de endurecimiento
por deformación

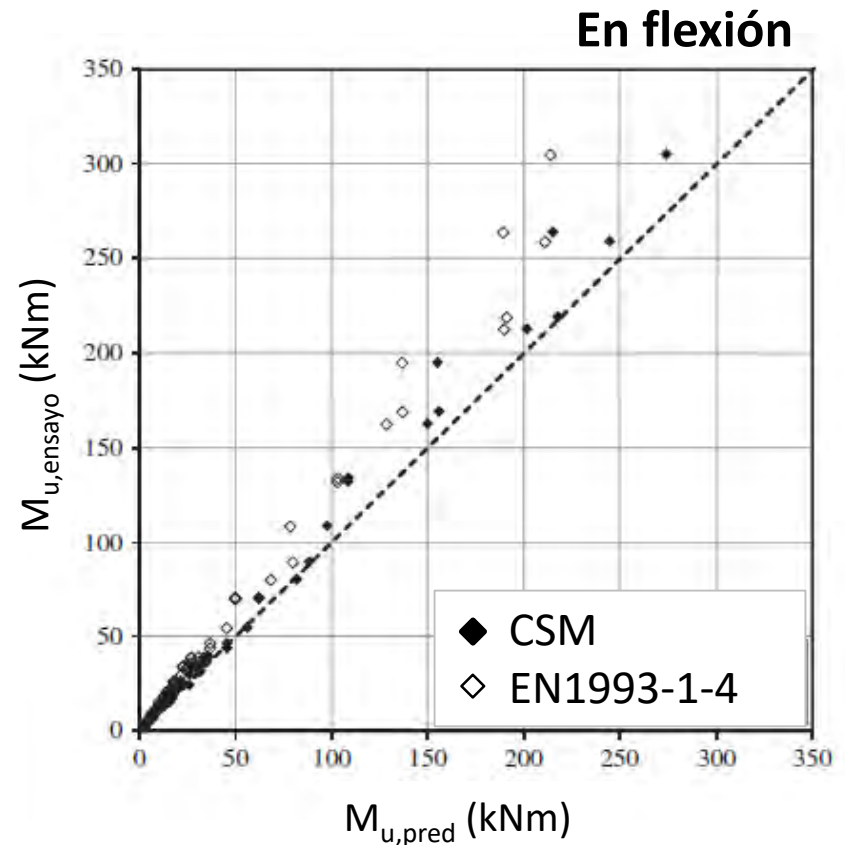
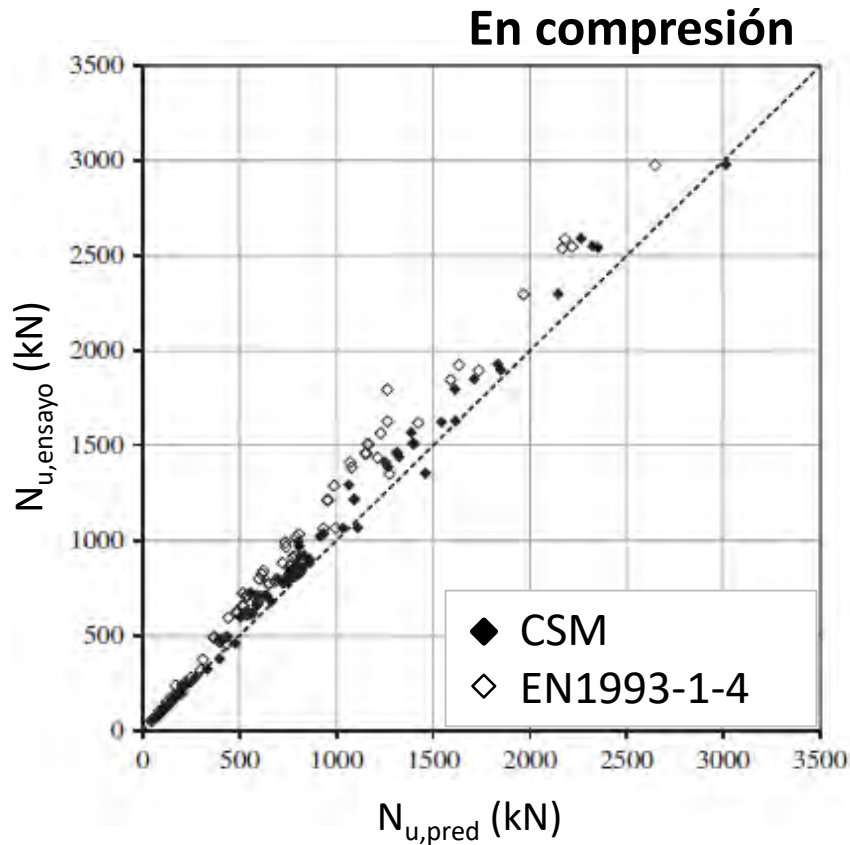
Continuous Strength Method

- Modelo material considerado por el CSM:



Continuous Strength Method

- Comparación entre las predicciones de EC3 y CSM y resultados experimentales:

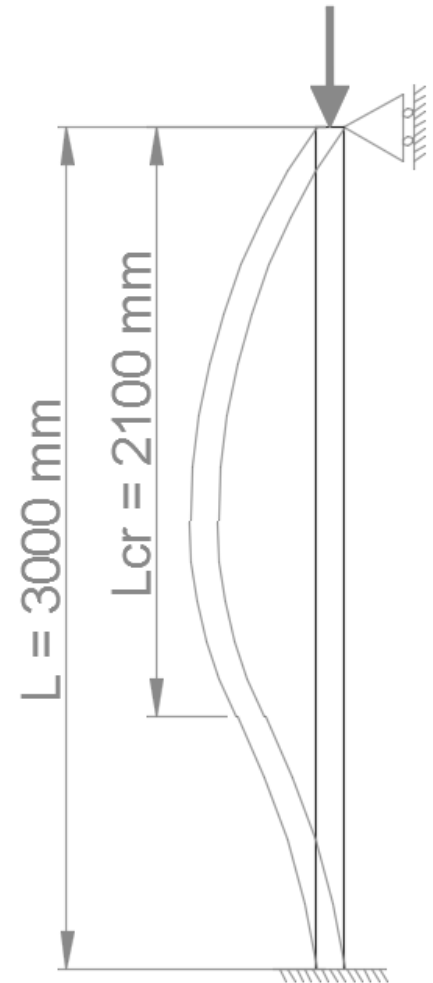
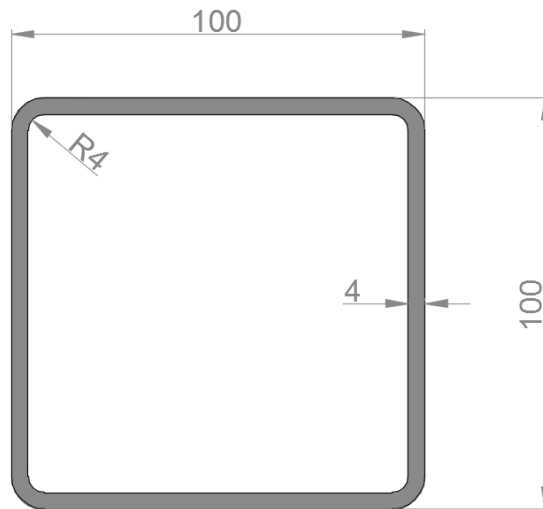


El CSM estima el comportamiento seccional de manera precisa

CSM: Ejemplo de pandeo por flexión

- Sección tubular rectangular conformada en frío sometida a una compresión concéntrica (ejemplo de la diapositiva 51)

	Acero inoxidable austenítico
Material	EN 1.4301
f_y [N/mm ²]	230
E [N/mm ²]	200000



CSM: Ejemplo de pandeo por flexión

$$f_y = 230 \text{ N/mm}^2$$

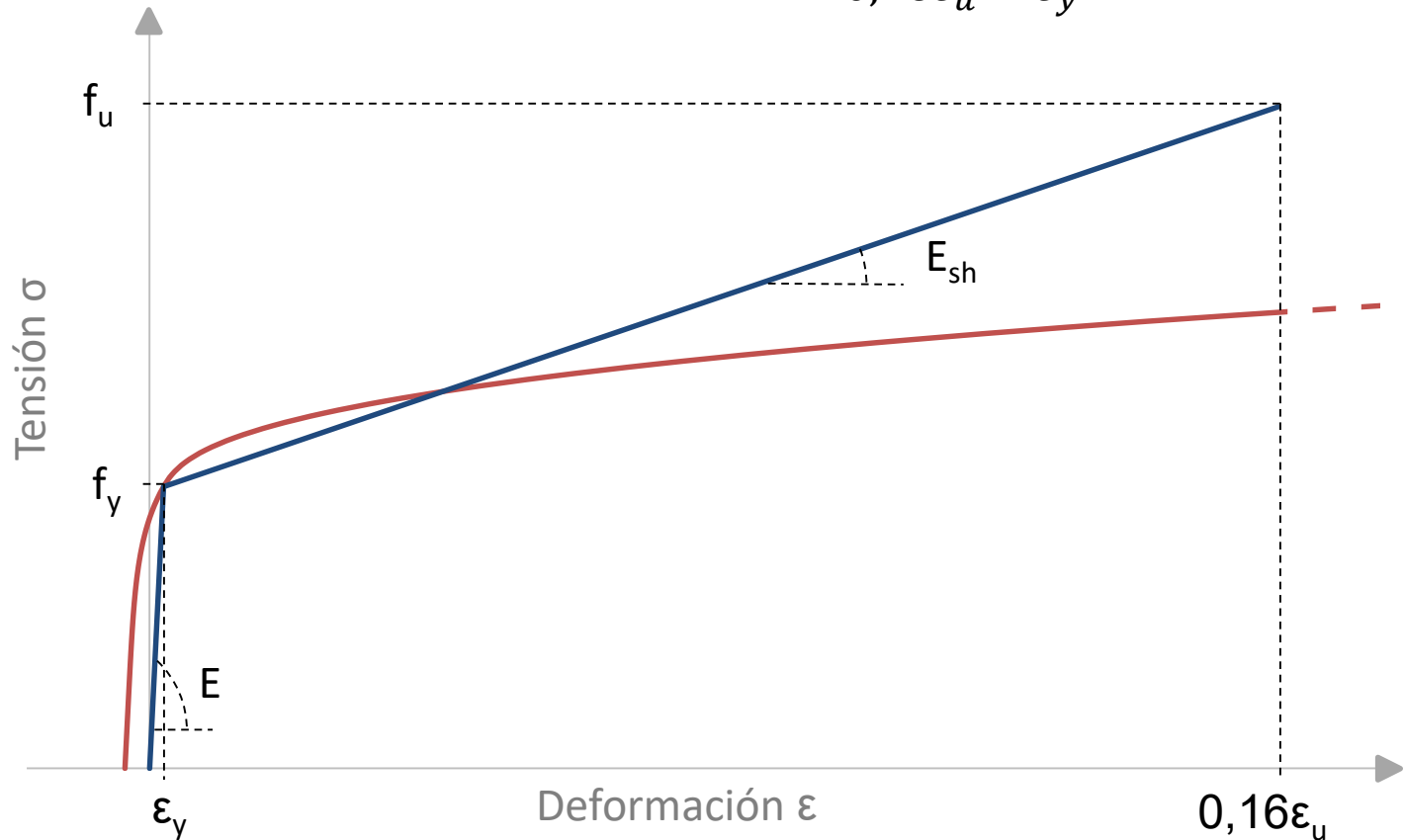
$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_y = f_y / E = 0,0012$$

$$f_u = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$0,16\varepsilon_u = 0,16(1 - f_y / f_u) = 0,0919$$

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{0,16\varepsilon_u - \varepsilon_y} = 3418 \text{ N/mm}^2$$



CSM: Ejemplo de pandeo por flexión

$$f_y = 230 \text{ N/mm}^2$$

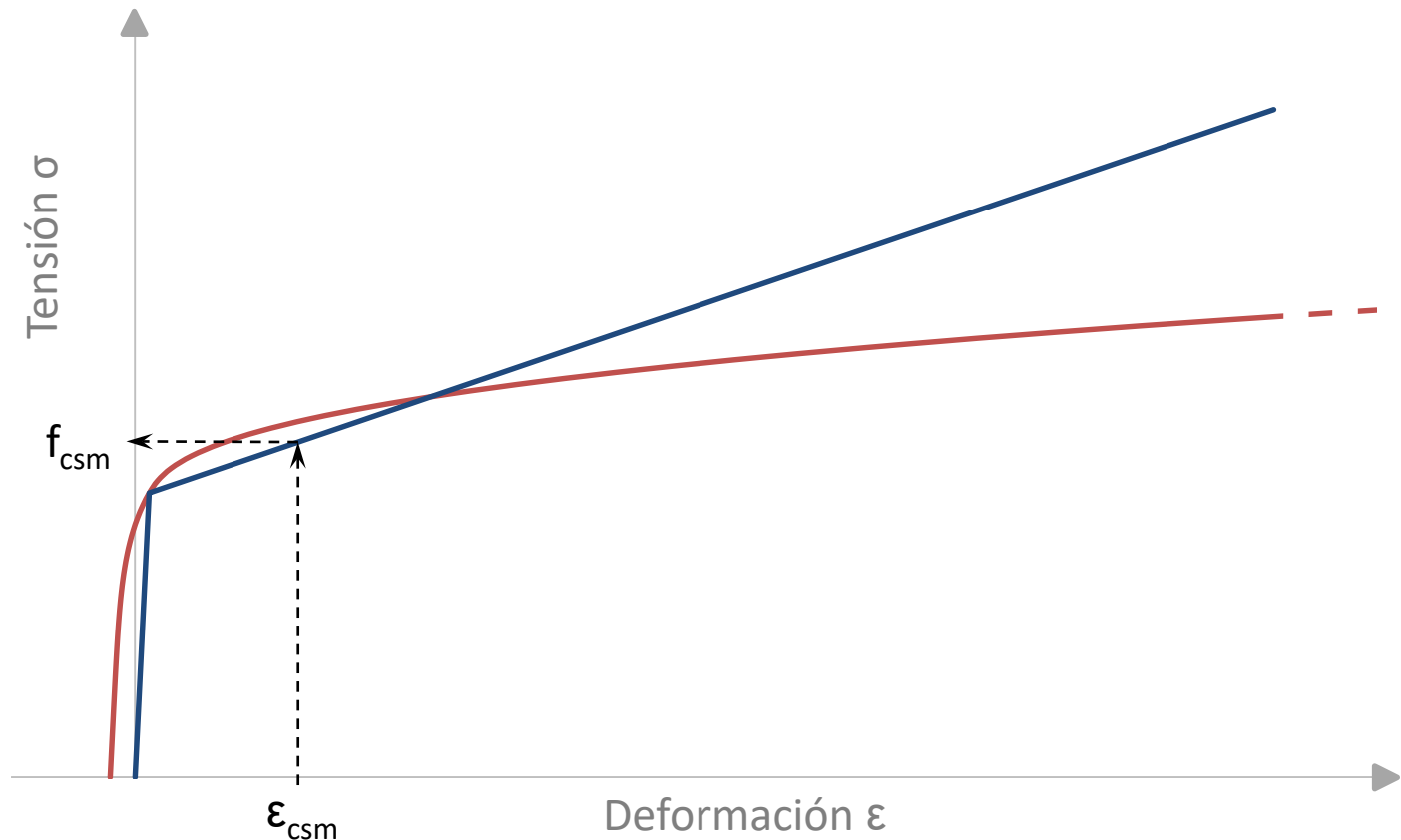
$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_y = f_y / E = 0,0012$$

$$f_u = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$0,16\varepsilon_u = 0,16(1 - f_y / f_u) = 0,0919$$

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{0,16\varepsilon_u - \varepsilon_y} = 3418 \text{ N/mm}^2$$



CSM: Ejemplo de pandeo por flexión

- $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,cs}}} = 0,60$
 - $\sigma_{cr,cs}$ = tensión crítica de abolladura de la sección transversal bruta considerando la interacción entre elementos
- $\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \frac{0,25}{\bar{\lambda}_p^{3,6}} = 5,27$
- $f_{csm} = f_y + E_{sh} \varepsilon_y \left(\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} - 1 \right) = 247 \text{ N/mm}^2$
- $N_{c,Rd} = \frac{A f_{csm}}{\gamma_{M0}} = 335 \text{ kN}$

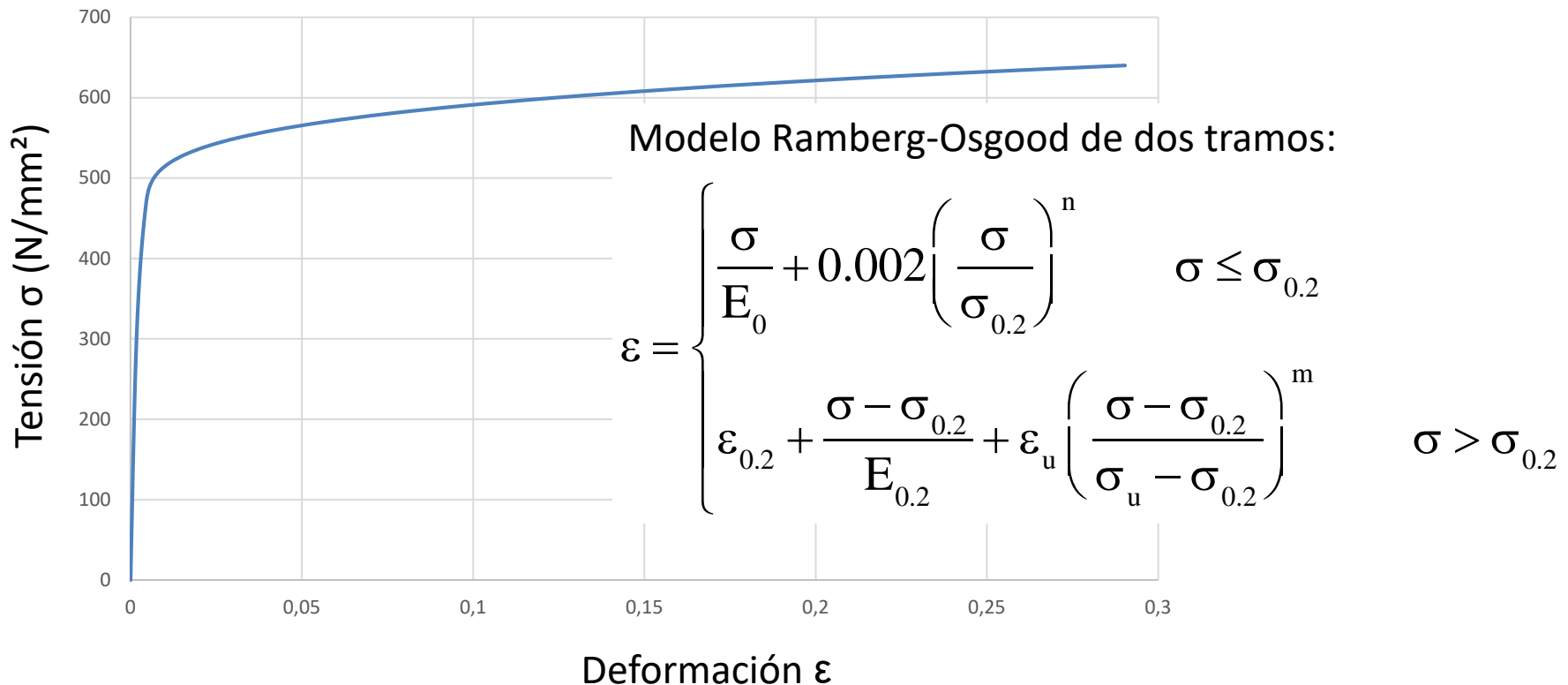
CSM: Ejemplo de pandeo por flexión

- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_{csm}}{N_{cr}}} = 0,60$
- $N_{b,Rd} = \chi \frac{Af_{csm}}{\gamma_{M1}} = 294 \text{ kN}$

	EC3-1-1: S235	CSM: Austenítico	EC3-1-4: Austenítico
f_y [N/mm ²]	235	230	230
γ_{M0} [-]	1,0	1,1	1,1
γ_{M1} [-]	1,0	1,1	1,1
Sección transversal $N_{c,Rd}$ [kN]	351	335	313
Pandeo $N_{b,Rd}$ [kN]	281	294	277

Modelo de elementos finitos

- La curva tensión-deformación del material puede modelarse de manera precisa (por ejemplo, utilizando el modelo de Ramberg-Osgood o a partir de la curva experimental “real” obtenida de ensayos)



Modelo de elementos finitos

- Los parámetros de no linealidad pueden obtenerse de las siguientes expresiones (de acuerdo con las ecuaciones revisadas por Rasmussen):

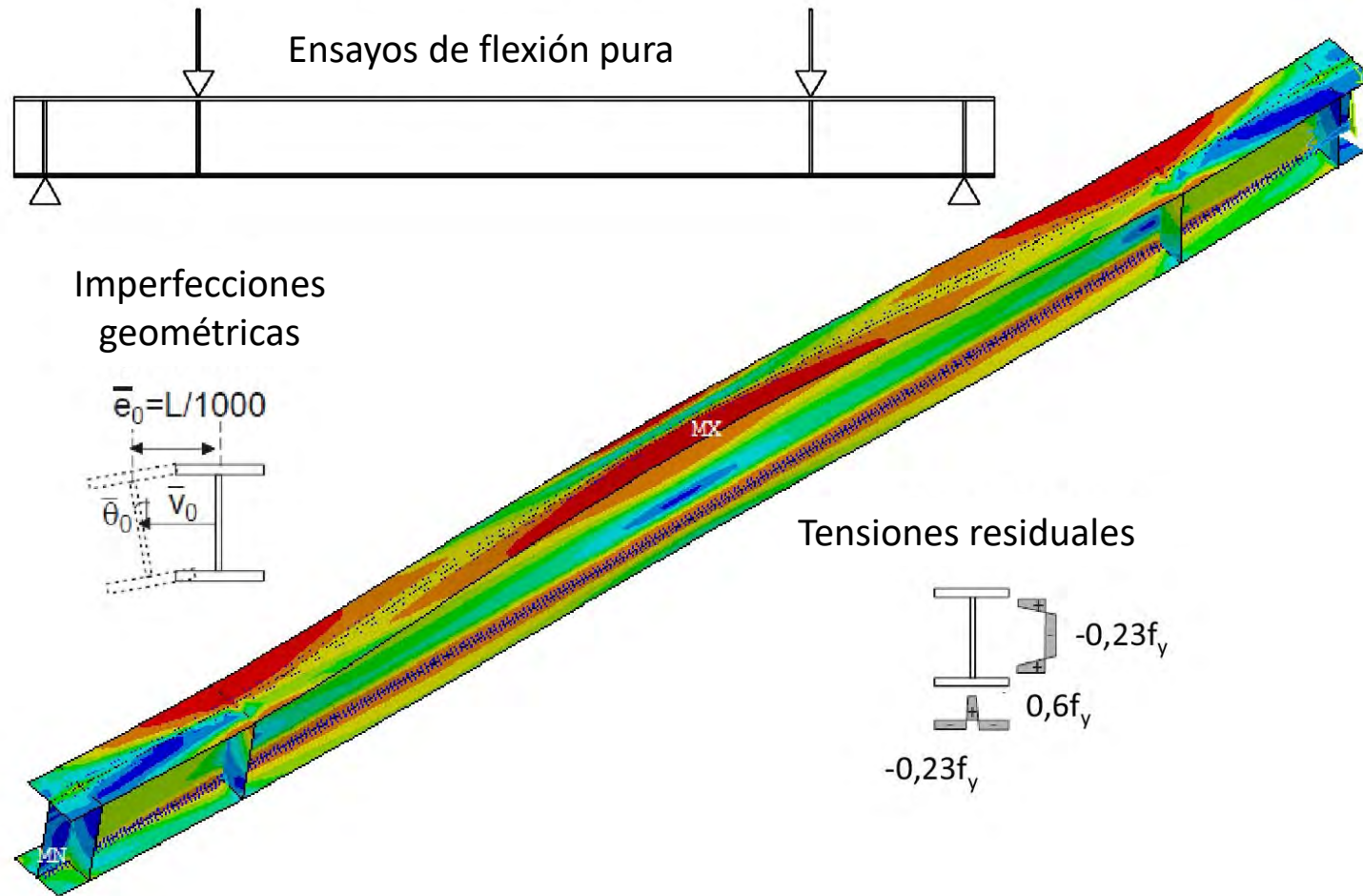
$$n = \frac{\ln(20)}{\ln\left(\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.01}}\right)} \quad m = 1 + 3.5 \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \quad E_{0.2} = \frac{E_0}{1 + 0.002n \frac{E_0}{\sigma_{0.2}}}$$

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u}$$

$$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} = \begin{cases} 0.2 + 185 \frac{\sigma_{0.2}}{E_0} & \text{para aceros inoxidables austeníticos y dúplex} \\ \frac{0.2 + 185 \frac{\sigma_{0.2}}{E_0}}{1 - 0.0375(n - 5)} & \text{para todos los grados de acero inoxidable} \end{cases}$$

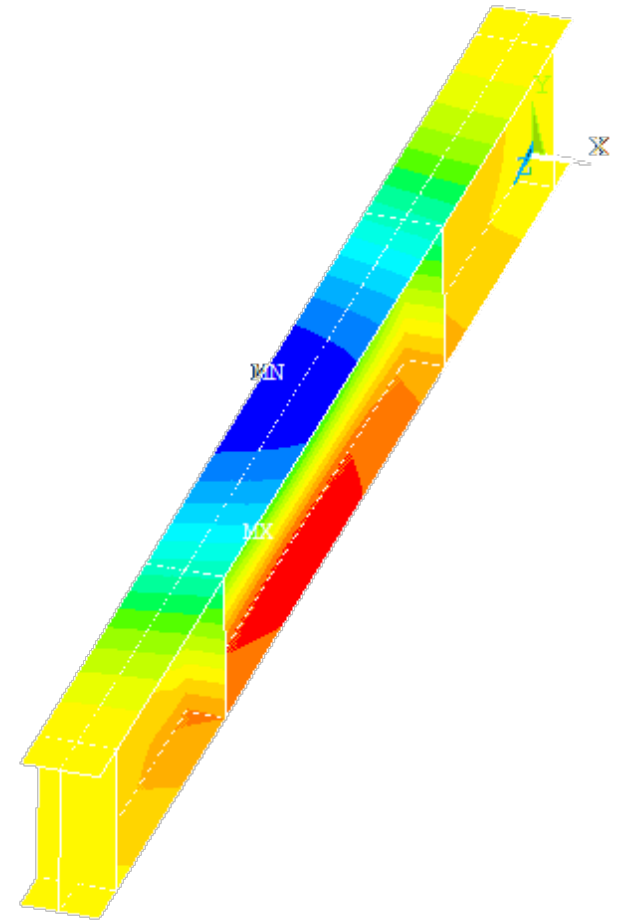
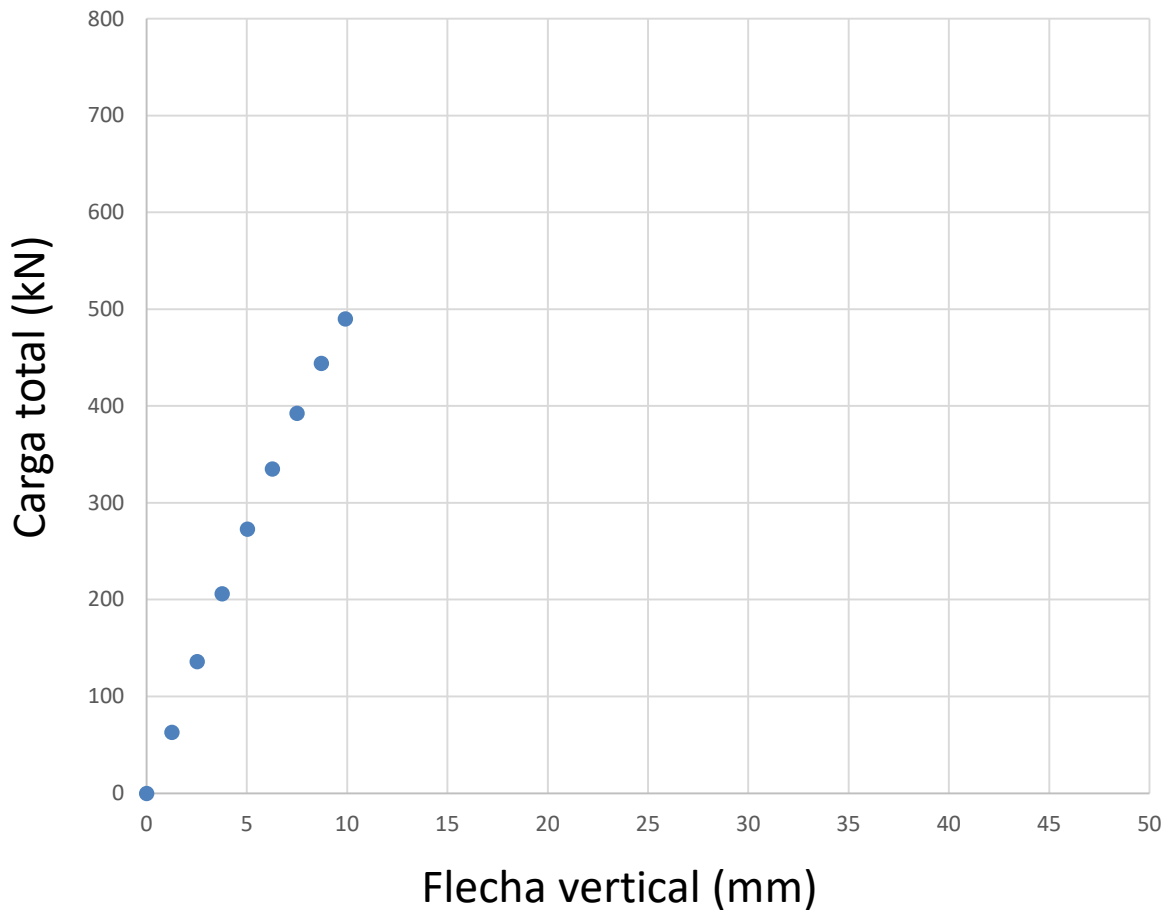
Modelo de elementos finitos

- Viga en I flectada sometida a pandeo lateral: todas las imperfecciones pueden ser modelizadas



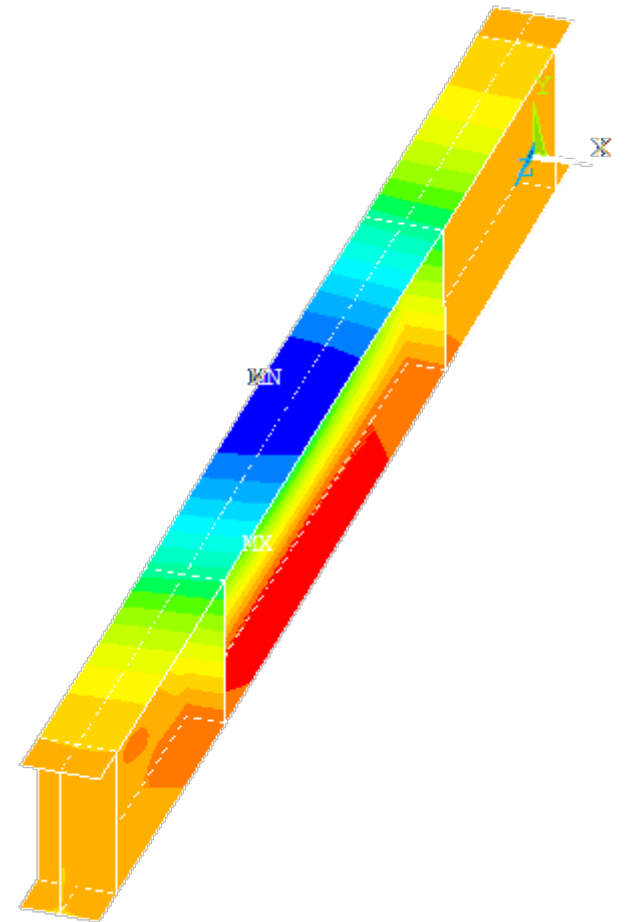
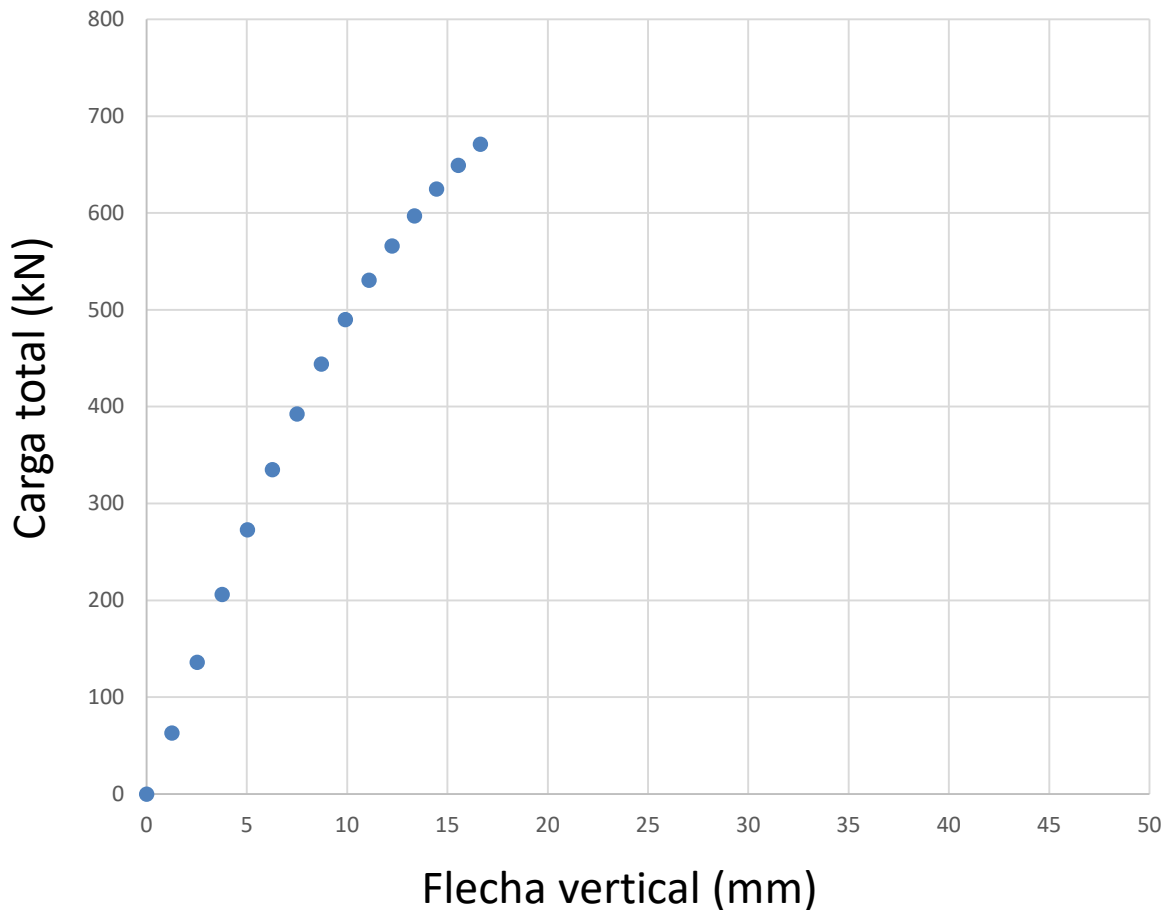
Modelo de elementos finitos

- Permiten obtener las curvas carga-flecha
 - Resultados: comportamiento rama elástica e inicio de plastificación



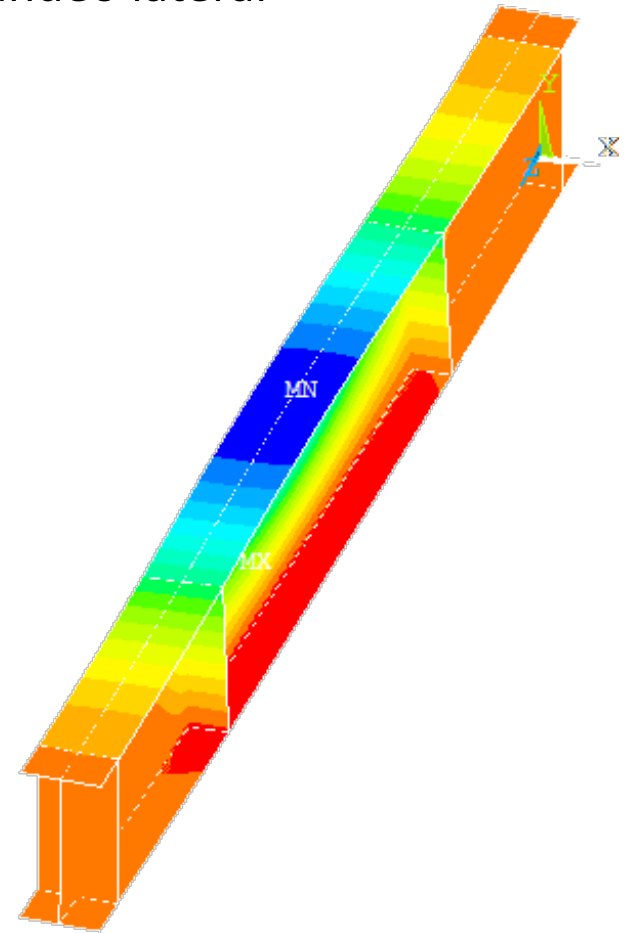
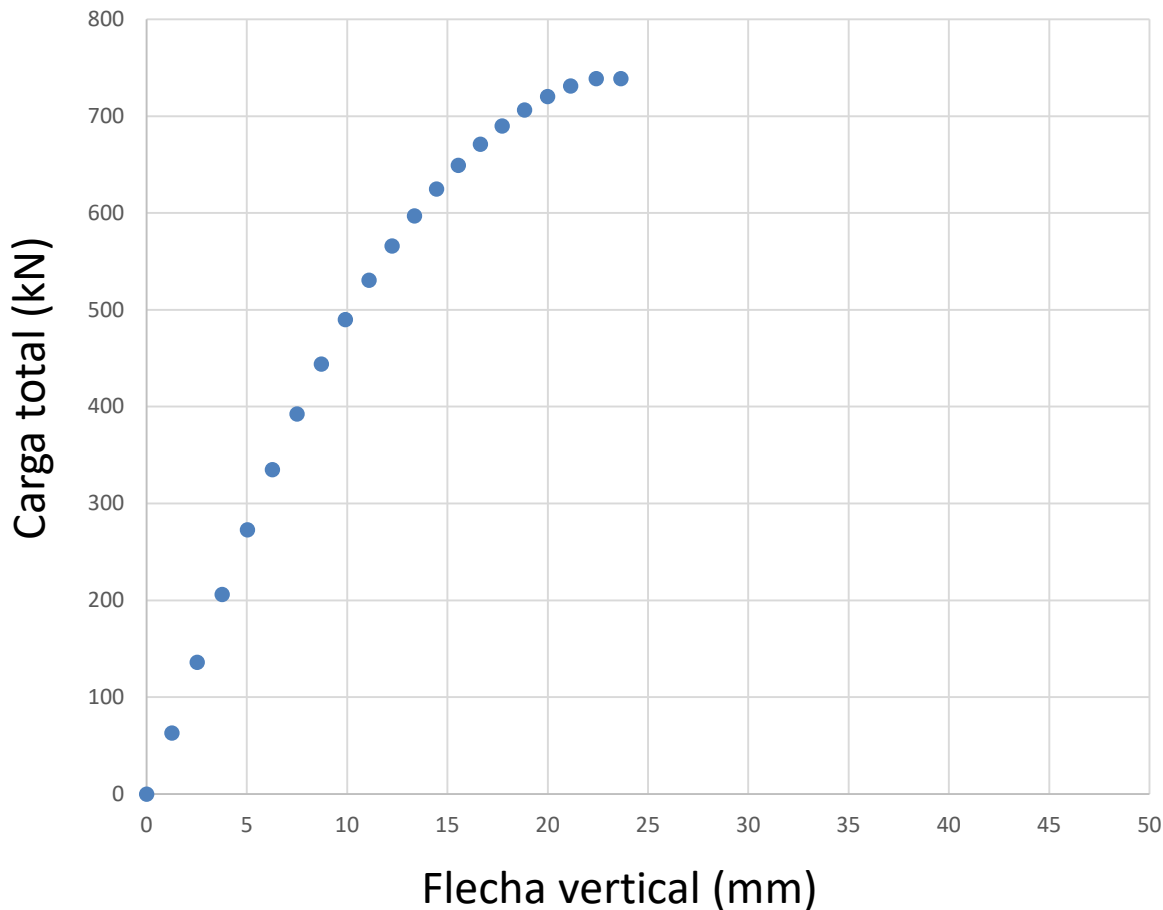
Modelo de elementos finitos

- Permiten obtener las curvas carga-flecha
 - Resultados: fenómeno de inestabilidad => Pandeo lateral



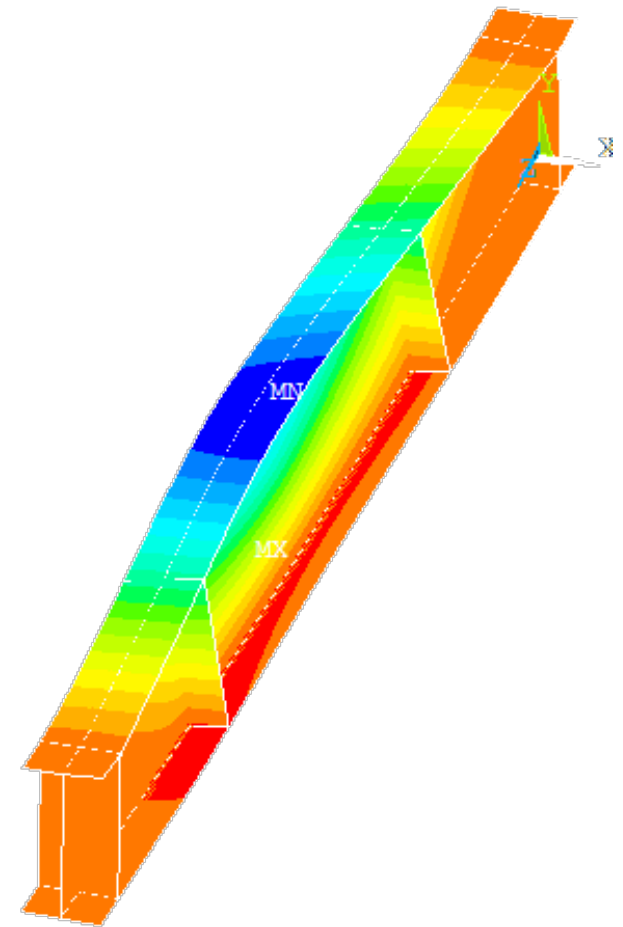
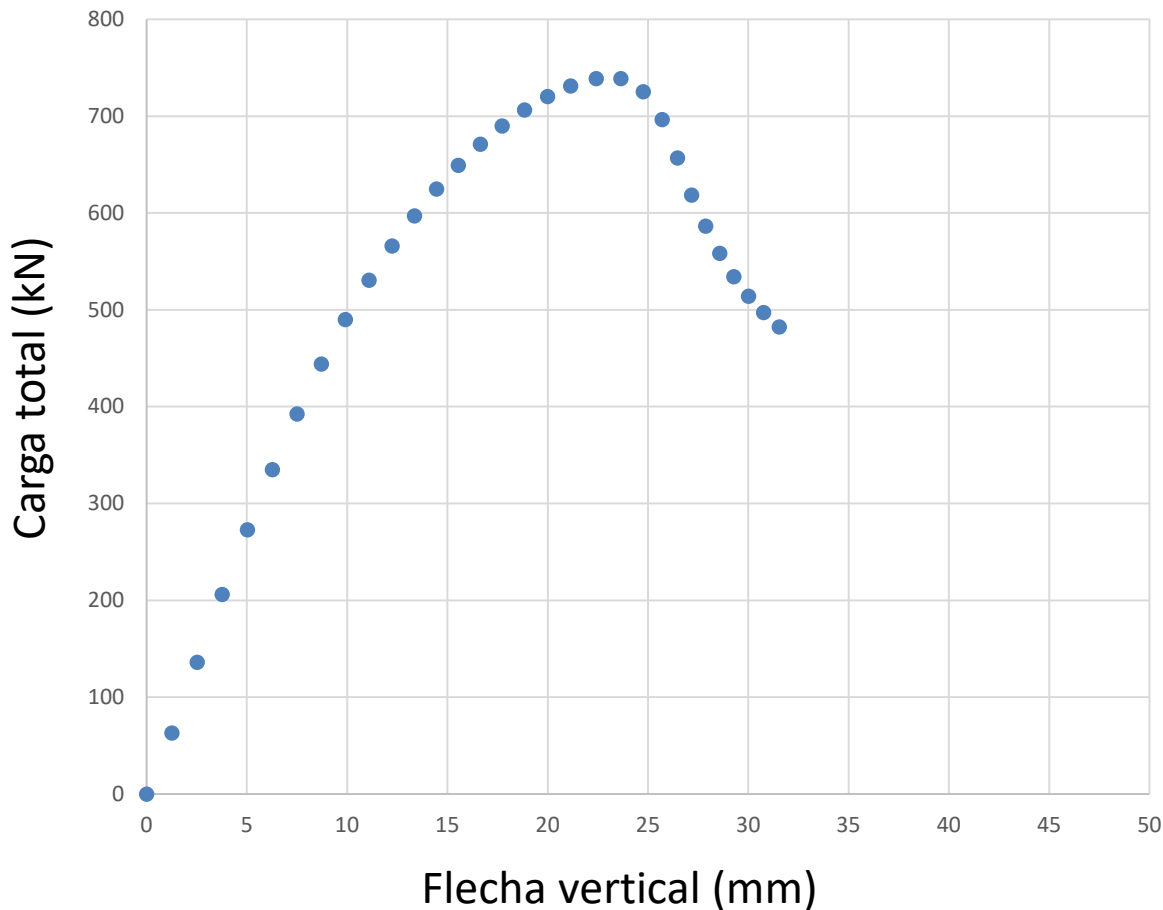
Modelo de elementos finitos

- Permiten obtener las curvas carga-flecha
 - Resultados: fenómeno de inestabilidad => Pandeo lateral



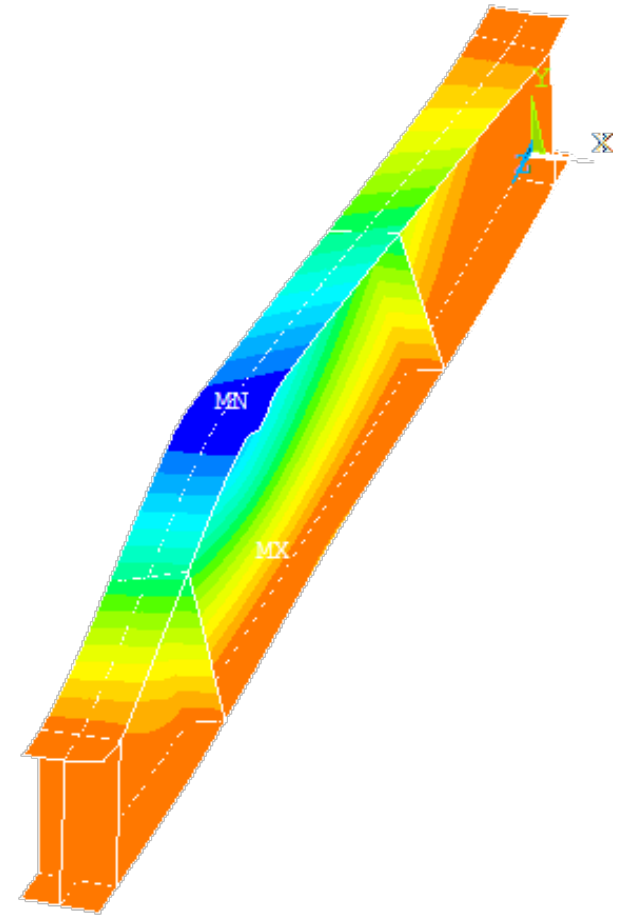
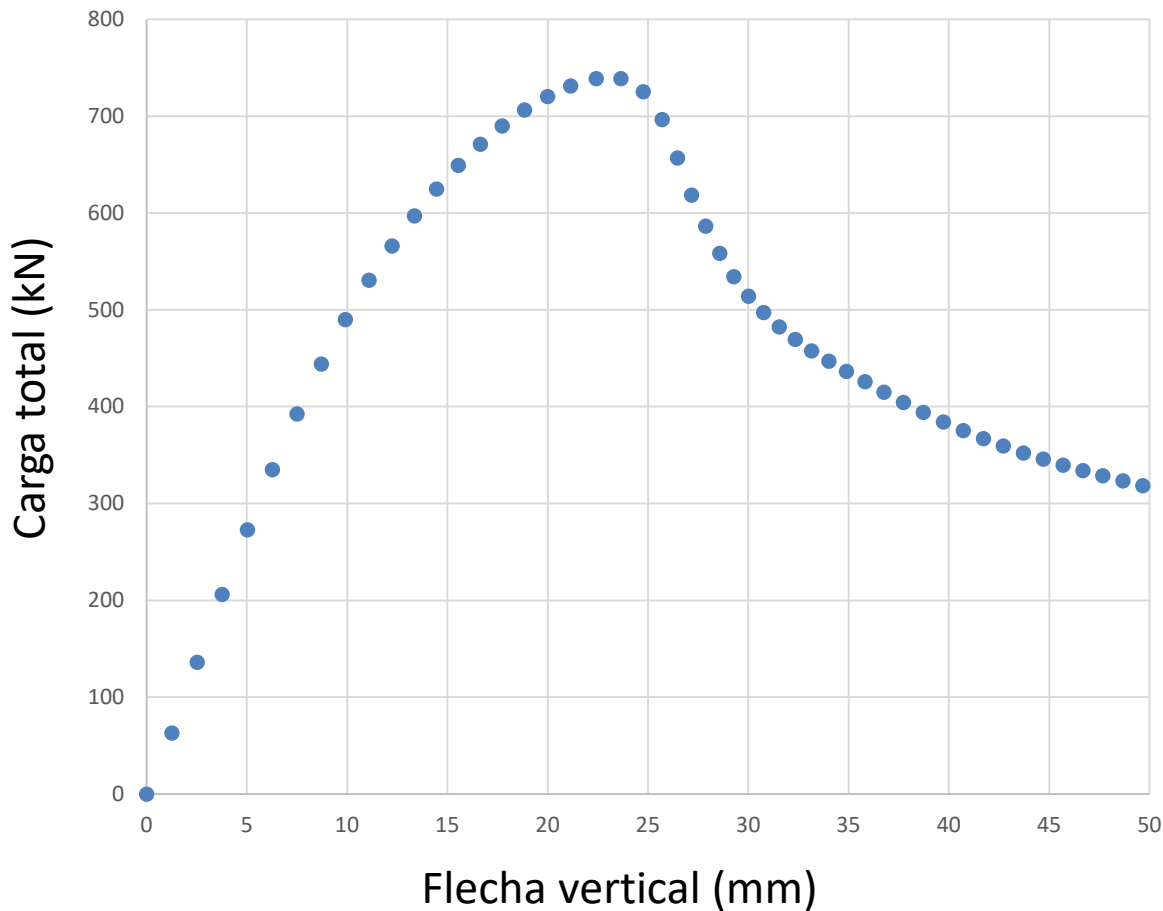
Modelo de elementos finitos

- Permiten obtener las curvas carga-flecha
 - Resultados: comportamiento postcrítico

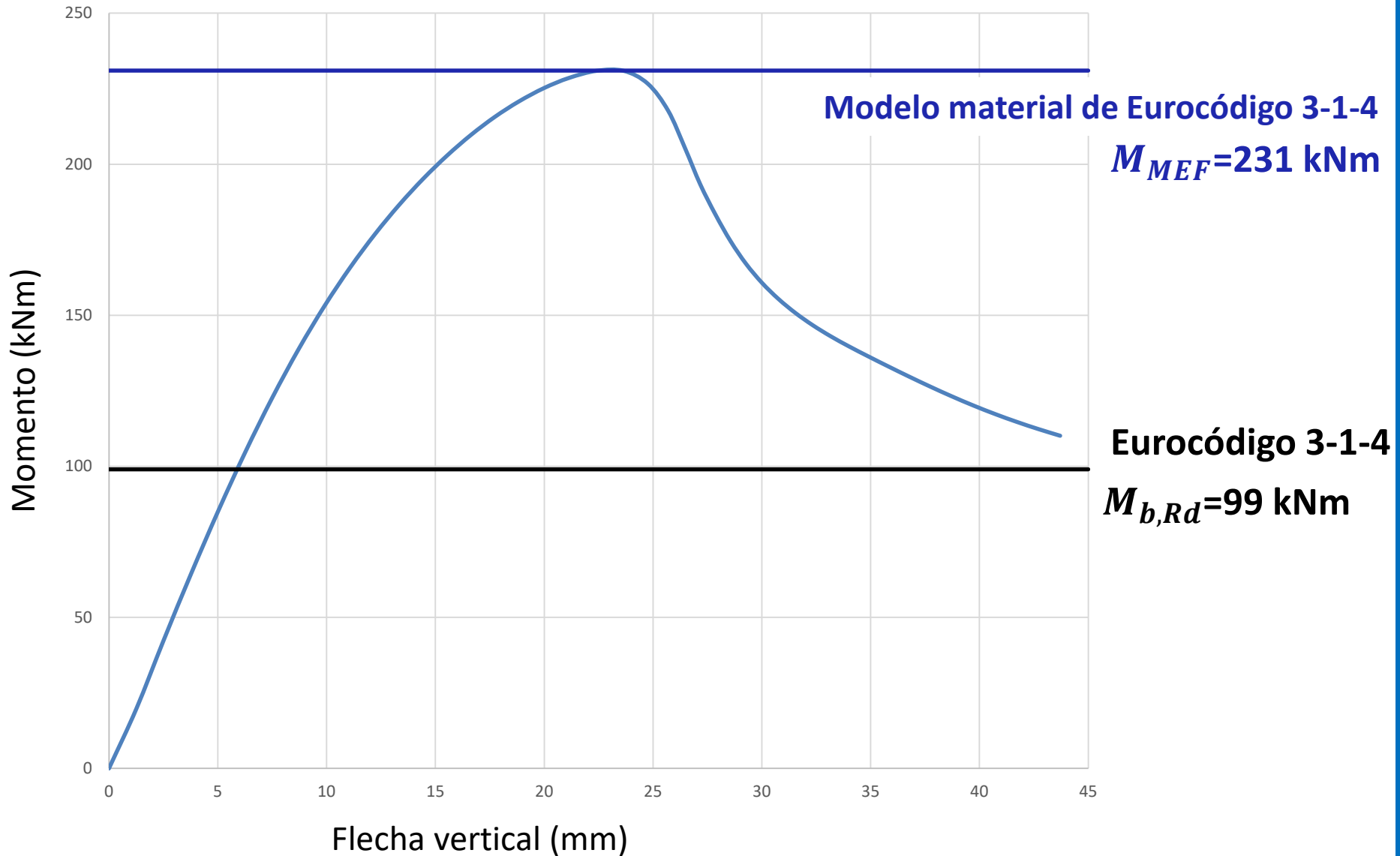


Modelo de elementos finitos

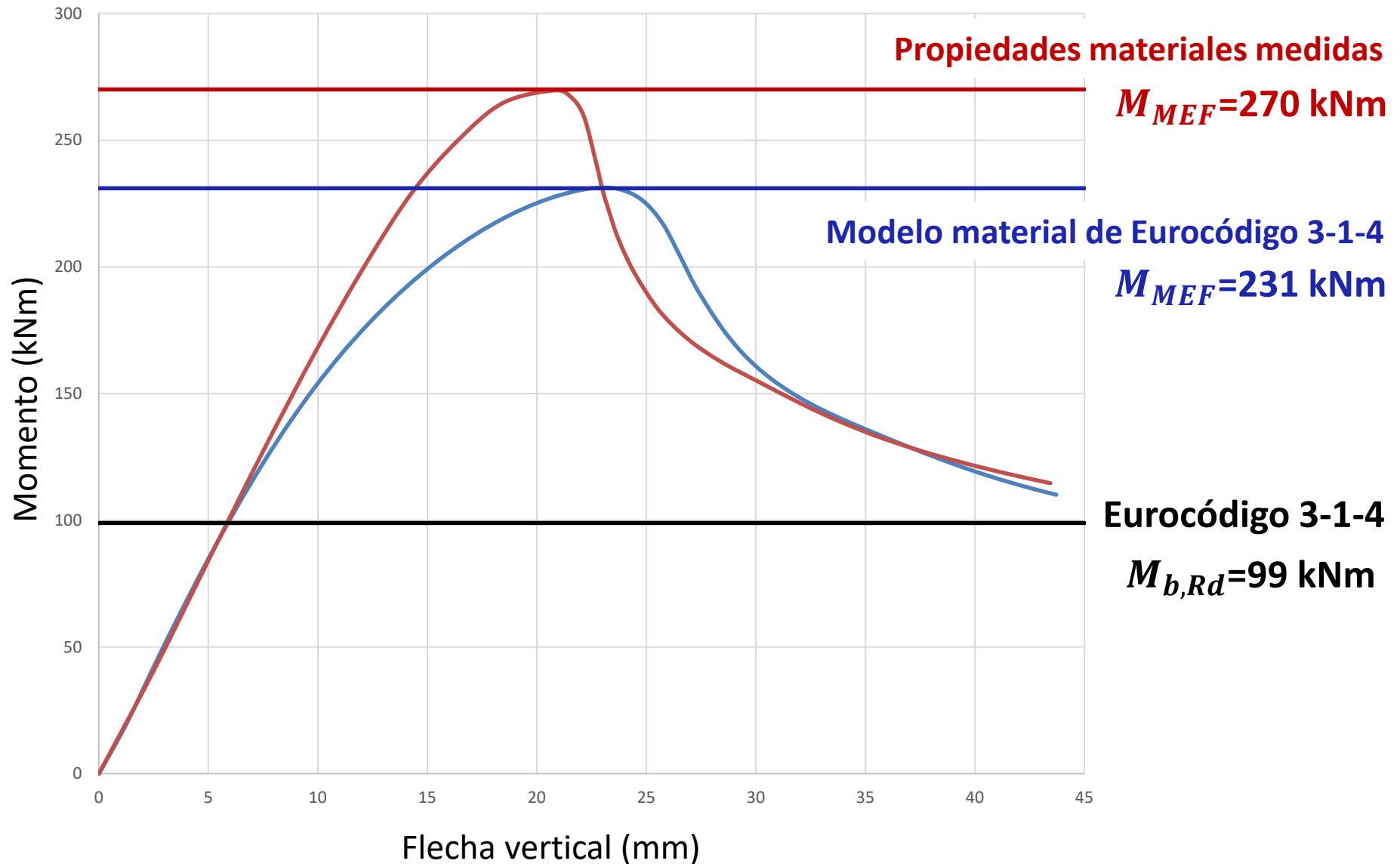
- Permiten obtener las curvas carga-flecha
 - Resultados: comportamiento postcrítico



Modelo de elementos finitos



Modelo de elementos finitos



Parte 5

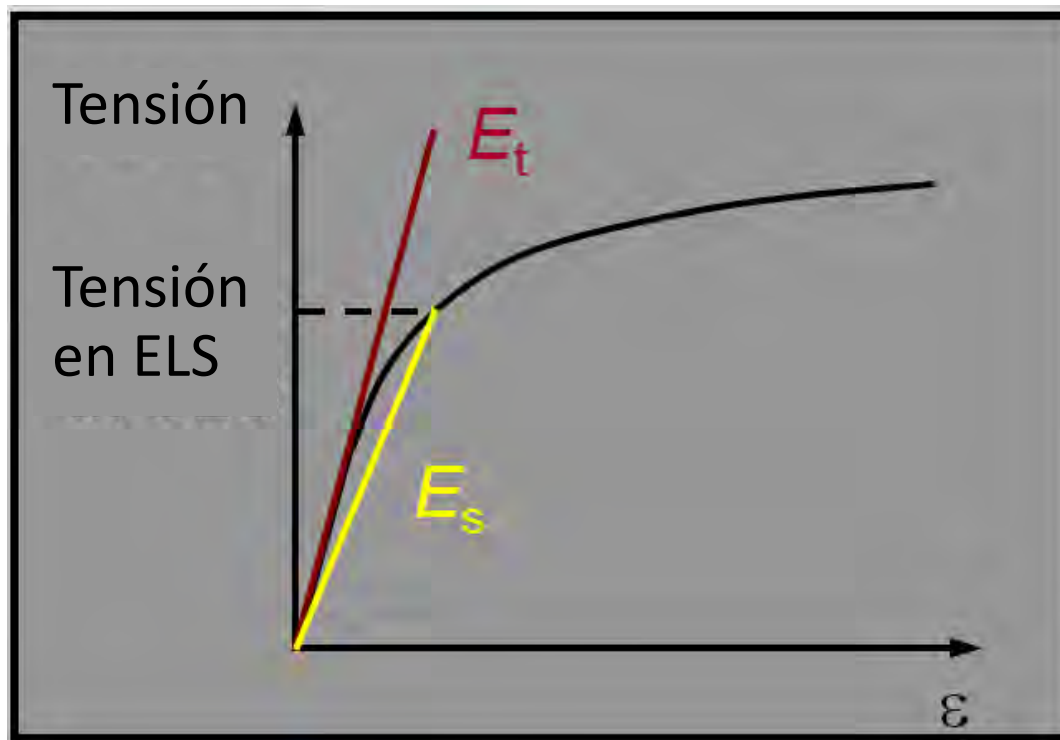
Flechas

Flechas

- La curva tenso-deformacional no lineal implica que la rigidez del acero inoxidable ↓ conforme la tensión ↑
- Las flechas son ligeramente superiores para el acero inoxidable que para el acero al carbono
- Debe emplearse el módulo secante correspondiente a la tensión en el elemento en Estado Límite de Servicio (ELS)

Flechas

Módulo secante E_s para la tensión en el elemento en ELS



Flechas

Módulo secante E_s obtenido del modelo de Ramberg-Osgood:

$$E_s = \frac{E}{1 + 0.002 \frac{E}{f} \left(\frac{f}{f_y} \right)^n}$$

f es la tensión en estado límite de servicio

n es una constante material

Fechas en una viga de acero inoxidable austenítico

Relación de tensión f/f_y	Módulo secante, E_s N/mm ²	% incremento en flechas
0.25	200,000	0
0.5	192,000	4
0.7	158,000	27

f = tensión en Estado Límite de Servicio

Parte 6

Información adicional

Respuesta frente a acciones sísmicas

- Mayor ductilidad (acero inoxidable austenítico) + soporta mayor número de ciclos de carga
→ mayor disipación de energía histerética para cargas cíclicas
- Mayor endurecimiento por trabajado del material
→ favorece el desarrollo de zonas plásticas mayores y deformables
- Mayor dependencia a la velocidad de deformación
→ mayor resistencia para velocidades de deformación rápidas

Diseño de uniones atornilladas

- La resistencia mecánica y a la corrosión de los tornillos y del material de las piezas a unir debe ser similar
- Los tornillos de acero inoxidable deben utilizarse para conectar elementos de acero inoxidable para evitar corrosiones bimetalicas
- Los tornillos de acero inoxidable pueden también emplearse para conectar elementos de acero galvanizado y aluminio

Cálculo de uniones atornilladas

- Las directrices para tornillos de acero al carbono pueden aplicarse al acero inoxidable de manera general (tracción, cortante)
- Debido a la alta ductilidad del acero inoxidable, deben limitarse las deformaciones mediante expresiones especiales para la resistencia última.

$$f_{u,\text{red}} = 0.5f_y + 0.6f_u < f_u$$

Tornillos pretensados

Útiles en estructuras como puentes, torres, mástiles, etc. cuando:

- La unión se ve sometida a cargas de vibración,
 - Es necesario evitar el deslizamiento entre las partes a unir,
 - La carga aplicada cambia frecuentemente de signo positivo a negativo
-
- No hay reglas de diseño para tornillos pretensados de acero inoxidable
 - Siempre deben llevarse a cabo ensayos

Cálculo de uniones soldadas

- Las directrices para acero al carbono pueden aplicarse de manera general para el acero inoxidable
- Debe emplearse el material de aportación adecuado para el grado de acero inoxidable contemplado
- El acero inoxidable puede soldarse al acero al carbono, pero se requiere una preparación especial

Resistencia frente a fatiga

- El comportamiento a fatiga de las uniones soldadas está gobernado por la geometría de la soldadura
- La respuesta del acero inoxidable austenítico y dúplex es al menos tan bueno como el de acero al carbono
- Aplicar las directrices para acero al carbono

Parte 7

Herramientas para ingenieros

Herramientas para ingenieros

- Centro de Información Online
- Casos de estudio
- Guías de diseño
- Ejemplos de diseño
- Software

100
YEARS
OF
STAINLESS
STEEL

A CENTURY OF INNOVATION

From small beginnings a hundred years ago, stainless steel has grown to be an integral part of our lives. Utilised primarily for its corrosion resistance, stainless steel is also found in applications where strength, innovation and aesthetics are important.

[VIEW WEBSITE](#)

ONLINE INFORMATION
CENTRE FOR STAINLESS
STEEL IN CONSTRUCTION

[VIEW WEBSITE](#)

DESIGN MANUAL FOR
STRUCTURAL STAINLESS
STEEL

[VIEW PUBLICATION](#)

STRUCTURAL STAINLESS
STEEL CASE STUDIES

[VIEW CASE STUDIES](#)

Centro de Información para el uso del acero inoxidable en la construcción

www.stainlessconstruction.com

The screenshot shows the homepage of the website. At the top, the title 'ONLINE INFORMATION CENTRE FOR STAINLESS STEEL IN CONSTRUCTION' is displayed in a light blue box. Below this is a dark grey navigation bar with six menu items: 'SPECIFICATION', 'CODES & STANDARDS', 'DESIGN', 'FABRICATION & INSTALLATION', 'CASE STUDIES', and 'RESEARCH'. The main content area is split into two columns. The left column contains the text 'Stainless steel at your fingertips...' followed by a paragraph: 'This website will lead you to essential technical information about the use of stainless steel in construction.' Below this is a 'Featured Resource' section titled 'Thames Gateway Water Treatment'. At the bottom of the left column is a search bar with the placeholder text 'Enter search query' and a blue 'GO' button. The right column features a large, high-quality photograph of a curved, stainless steel architectural structure, possibly a water treatment component, set against a clear blue sky.

12 casos de estudio de aplicaciones estructurales

www.steel-stainless.org/CaseStudies



Structural Stainless Steel Case Study 01

Stonecutters Bridge Towers

Stonecutters Bridge, Hong Kong, is a cable stayed structure with a total length of 1596 m and a main span of 1018 m. The bridge crosses the Rambler Channel and is the main entrance to the busy Kwai Chung Container Port. It is visible from many parts of Hong Kong Island and Kowloon. The most striking features of the bridge are the twin tapered mono towers at each end supporting the 50 m wide deck. These tapered towers rise to 295 m above sea level; the lower sections are reinforced concrete while the upper 115 m are composite sections with an outer stainless steel skin and a reinforced concrete core.

Material Selection



Figure 1: General view of Stonecutters Bridge

The design life of the bridge is 120 years. A highly durable material was required for the upper sections of the bridge towers because of the harsh marine and polluted environment. Additionally, post-construction maintenance on the towers will be extremely difficult, due to the five traffic lanes beneath. Stainless steel was chosen for the skin of the composite section of the upper tower because of its durability and also its attractive appearance. Carbon steel would have required protective coatings that would have needed replacing after an estimated 25-30 years.



Figure 2: Mono tower and stay cables

Standard molybdenum-alloyed austenitic steel grades were initially considered but discounted because of their relatively low design strength (220 N/mm²) and uncertainty regarding corrosion performance, given the roughness of the desired surface finish. Higher alloyed austenitics with better corrosion resistance, e.g. 1.4539 (N08904) and 1.4439 (S31726), were not considered in detail as they would not have met the requirements for cost, availability and strength. Duplex steel 1.4462 (S32205) was chosen as it has high strength (460 N/mm²) with good corrosion resistance and tolerance on surface finish.

A polished 1K finish (as defined in EN 10089 Part 2 [1]) was specified for all exposed surfaces, with an average surface roughness R_a of 0.5 µm. A slightly textured, non-directional, low reflective appearance was then created by shot peening the surface with a mixture of aluminium oxide and glass beads.

Structural Stainless Steel Case Study 01 Page 1



Manual de diseño para Eurocódigo



www.steel-stainless.org/designmanual

- Guía
- Comentarios
- Ejemplos de diseño

Software de diseño online:

www.steel-stainless.org/software

Resumen

- Comportamiento estructural: similar al del acero al carbono, aunque requiere algunas modificaciones debidas a la curva tenso-deformacional no lineal
- Se han desarrollado normativas de diseño
- Recursos gratuitos (manuales de diseño, estudio de casos, ejemplos, software) disponibles!

Referencias

- EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-1: General rules and rules for buildings. 2005
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. 2006
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. Modifications 2015
- M. Fortan. Lateral-torsional buckling of duplex stainless steel beams - Experiments and design model. PhD thesis. 2014-...
- AISI Standard. North American specification Appendix 1: Design of Cold-Formed Steel Structural Members Using the Direct Strength Method. 2007
- B.W. Schafer. Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008) 766-778
- S.Afshan, L. Gardner. The continuous strength method for structural stainless steel design. Thin-Walled Structures 68 (2013) 42-49

¡Muchas gracias!

Barbara Rossi – barbara.rossi@kuleuven.be
Maarten Fortan – maarten.fortan@kuleuven.be

Material didáctico para docentes en Arquitectura o Ingeniería Civil

Capítulo 8

Acabados superficiales

Contenidos

1. Acabados en acero inoxidable
2. Acabados tridimensionales
3. Tejidos de malla
4. Referencias bibliográficas

1 – Acabados en acero inoxidable^{1,2}

- Acabados de fábrica
- Acabados pulidos mecánicos y cepillados
- Acabados grabados
- Acabados granallados
- Acabados electro-pulios
- Acabados coloreados
- Acabados coloreado electrolítico
- Acabados coloreados electrolítico y grabados
- Acabados con recubrimiento orgánico
- Acabados específicos para decoración

Multitud de
acabados
disponibles

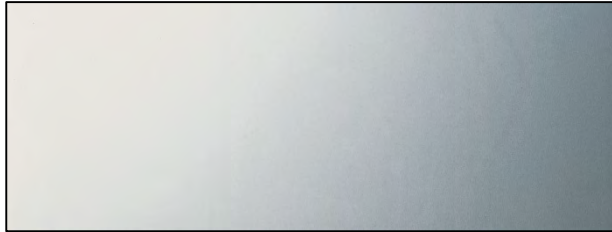
Acabados en frío Ex-mill ^{1,3}

EN 10088-2 acabados en frío tabla 6 , con referencia orientativa a los valores de Ra típicos

Simbol o	Routing de proceso	Notas	Tipica(Ra) μm
2B	Laminado en frío, tratamiento térmico, decapado, skinpasado	Es el acabado más común de los laminados en frío. No refleja, acabado liso con buena rigidez. El espesor está limitado por la capacidad de skinpasado de cada fabricante.	0.1-0.5
2C	Laminado en frío, tratamiento térmico sin descascarillar	Rugoso con cascarilla del tratamiento térmico, válido para partes que van a ser mecanizadas, descascarilladas en procesos posteriores o aquellas empleadas en aplicaciones que conlleven resistencia al calor	-
2D	Laminado en frío, tratamiento térmico, decapado	Característico de chapa gruesa. La rugosidad no es tan buena como en un 2B, pero adecuada para muchas aplicaciones.	0.4-1.0
2E	Laminado en frío, tratamiento térmico, decapado mecánico	Rugoso y mate . Generalmente aplicado en aceros cuya cascarilla es muy resistente a los líquidos decapantes.	-
2H	Laminado en frío, endurecido por deformación.	El empleo de rodillos de alta reducción "Temper" en austeníticos, mejora las propiedades mecánicas. La superficie es semejante al 2B en cuanto a rugosidad.	-
2R	Laminado en frío, recocido brillante.	Acabado espejo de alta reflectividad, muy liso. Se suministra generalmente con plástico protector . Las piezas fabricadas se ponen en servicio sin procesos de acabado posterior.	.05-0.1
2Q	Laminación en frío, endurecido y templado, sin cascarilla	Solo disponible en los tipos martensíticos (ej. AISI 420) el descascarillado puede ser mediante atmósfera protectora en el recocido o descascarillado posterior al tratamiento térmico.	-

Estos son los
más comunes

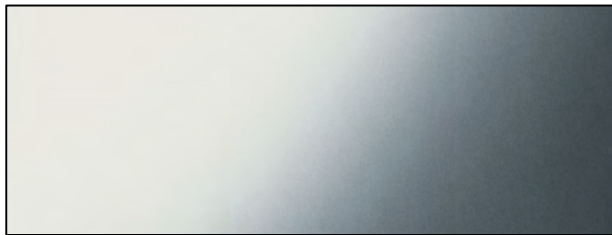
Acabados más comunes



2B Se produce como el acabado 2D pero en la parte final del proceso se aplica una suave laminación usando cilindros de pulido que dotan a la superficie lisa de una reflectividad de aspecto grisacea. Es la superficie mayormente utilizada hoy en día y es el material base para muchos de los acabados pulidos y cepillados.



2D Se trata de un acabado más refinado que el 1D y se consigue por laminación en frío, tratamiento térmico y decapado. La baja reflectividad de su superficie mate es muy adecuada para aplicaciones industriales o de ingeniería pero, en arquitectura, solo es recomendable para aplicaciones no estéticas.



2R Mediante recocido en una atmósfera libre de oxígeno seguido de una laminación en frío empleando rodillos pulidores, se consigue este acabado de alta reflectividad. Esta superficie tan lisa retiene mucho menos suciedad en ambientes contaminados y es fácilmente limpiable.

Acabados especiales ^{1,3}

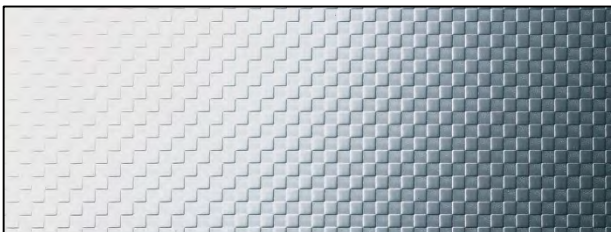
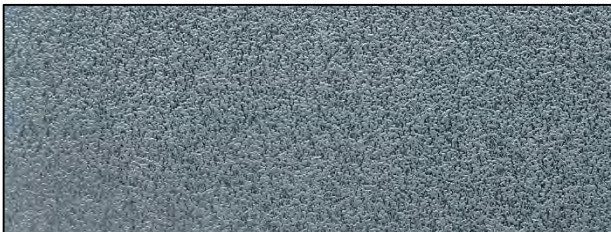
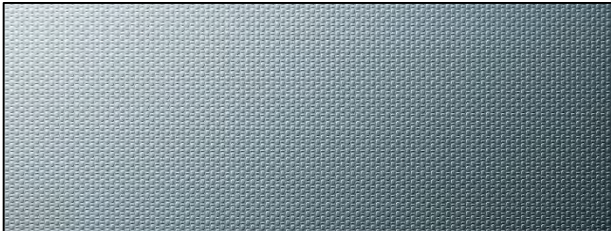
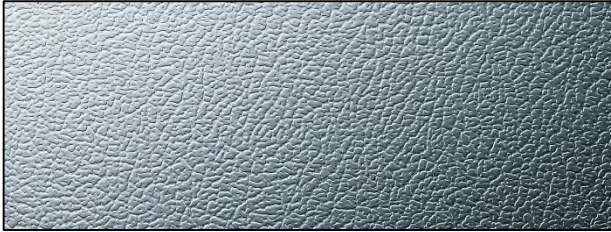
EN 10088-2 acabados especiales tabla 6 , con referencia orientativa a los valores de Ra

Simbolo	Routing de proceso	Notas	Tipica (Ra) μm
1G or 2G	Esmerilado	Presenta textura unidireccional, sin mucha reflectividad	-
1J or 2J	Cepillado o pulido mate	Menos rugoso que el acabado "G" con textura unidireccional, sin mucha reflectividad.	0.2-1.0
1K or 2K	Plido satinado	El más liso de los acabados especiales no reflectantes, con una resistencia a corrosión adecuada para la mayor parte de las aplicaciones exteriores.	< 0.5
1P or 2P	Pulido espejo	Material pulido mecánicamente para tener reflectividad. Puede ser acabado espejo.	< 0.1
2F	Laminado en frío, tratado térmicamente, procesado en skin pass con cilindros de laminación rugosos.	Superficie uniforme mate no reflectante.	-
1M or 2M	Lagrimado. Grabado por laminación en frío, emboss.	Una única cara del material marcada/grabada/texturada. Engloba tanto plates (acabado "1" ex-mill) como texturados finos (acabado "2" ex-mill)	-
2W	Corrugado	Perfiles laminados (trapezoidal o sinusoidal por ejemplo)	-
2L	Coloreado	Aplicado sobre producto plano (acabados 2R, 2P o 2K) o lagrimado/emboss en chapa (2M) en una amplia gama de colores	-
1S or 2S	Con recubrimiento superficial	Con recubrimiento superficial (de aluminio, titanio o estaño) generalmente solo por una de las caras	-

Existe una gran variedad de acabados especiales

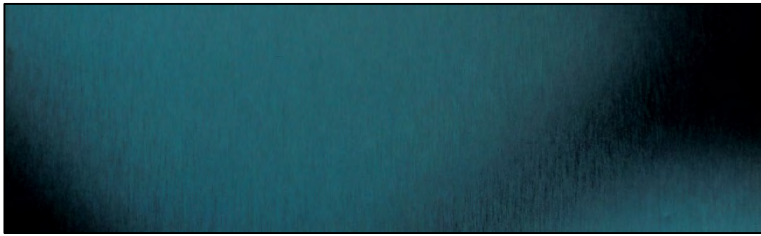
Acabados Emboss ^{4,5,7}

Estos son algunos ejemplos ilustrativos de los acabados grabados emboss en una cara solo, clasificados como 2M en las normas. Existe una gran variedad de tipos de grabado disponible.



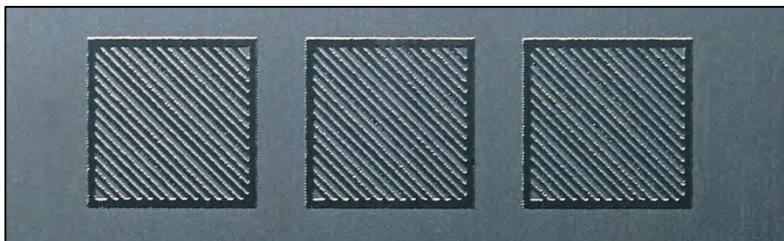
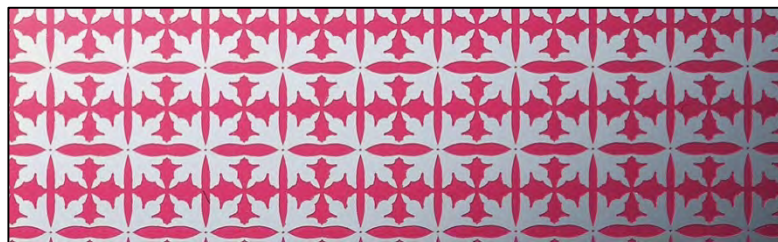
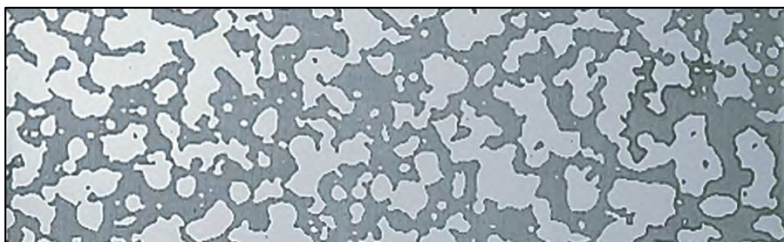
Acabados coloreados^{4, 5,7}

Esta es sólo una selección de los diferentes colores y efectos que pueden provocarse electrolíticamente sobre la superficie del acero inoxidable.



Estampados Grabados^{4,5,7}

La serigrafía, así como otros procesos fotoresistentes, han logrado transferir cualquier estampado a la superficie del acero inoxidable, cuya superficie es posteriormente tratada con ácido para revelar el grabado. Este ácido consigue retirar las pequeñas cantidades de acero que ha dejado el marcado en la superficie. Las superficies grabadas tienen una superficie mate que contrasta de manera notable con acabados pulidos o satinados. El proceso de electropulido puede darse antes o después del grabado.



Acabados patentados^{4,5}

Existen muchos acabados específicos y adaptados al cliente disponibles gracias a empresas especializadas

Algunos ejemplos se exponen a continuación:



Electropulido⁶



Produce una superficie reflectante con brillo muy apreciada

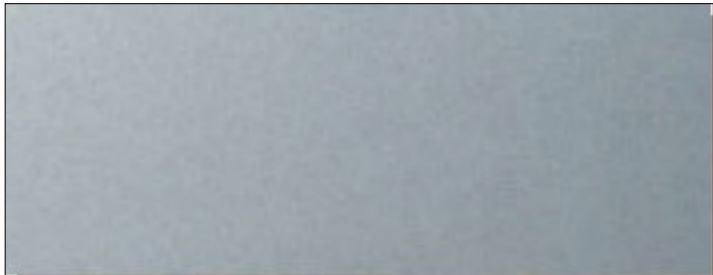
- Proporciona optima resistencia a corrosion para cualquier tipo de inoxidable
- Facilita la desinfección y la limpieza
- Facilita la limpieza de los graffiti

Sin embargo

- Las superficies irregulares son más visibles
- Así como el daño producido por arañazos y objetos mecánicos

Granallado ⁸

La apariencia puede verse alterada dependiendo de los diferentes tipos de granalla empleados
bolas de vidrio (arriba) or vidrio con aristas (abajo)



Los arquitectos usan cada día la paleta de diferentes acabados disponibles en acero inoxidable⁷

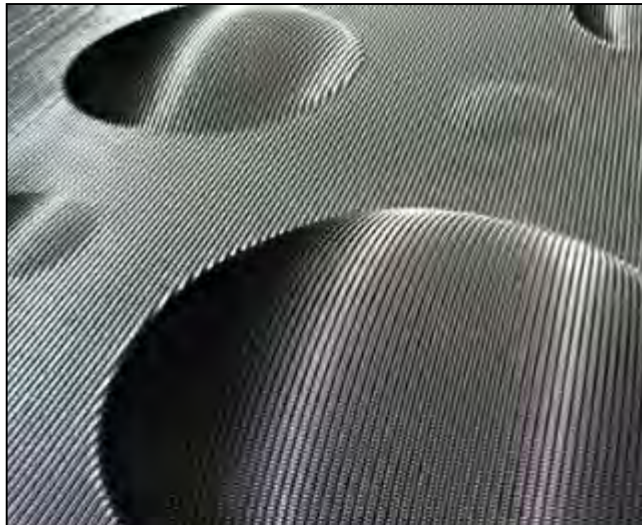
2 – Acabados Tridimensionales ⁹

Nota: Puede conseguirse mayor profundidad de grabado que los que se puedan obtener por los metodos aqui descritos.
Generalmente son llevados a cabo en maquinas de control numérico

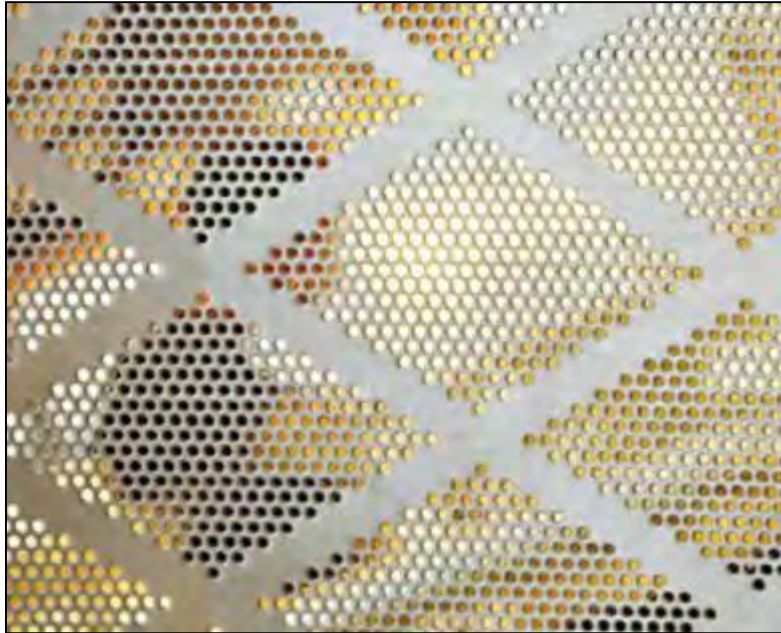
Grabados Emboss ⁹



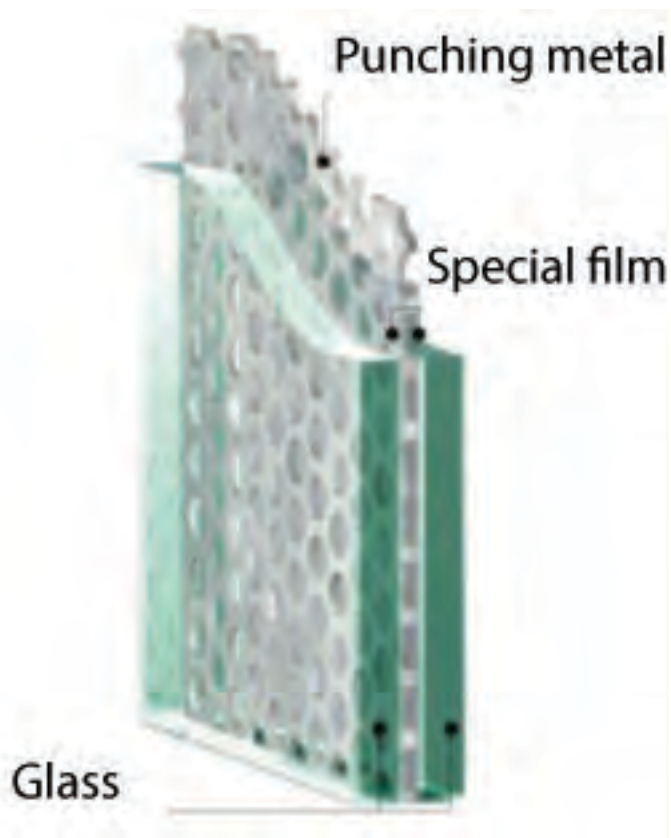
Formas irregulares⁹ (fluid forming)



Chapa perforada⁹



Paneles de vidrio semitransparentes con chapa perforada ¹⁰



Chapa Expandida



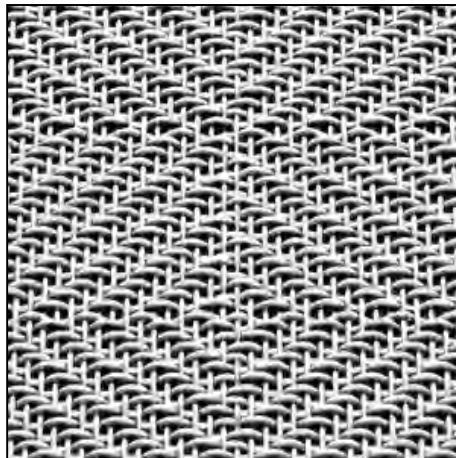
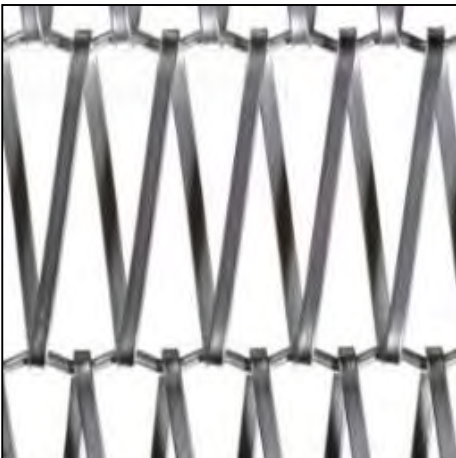
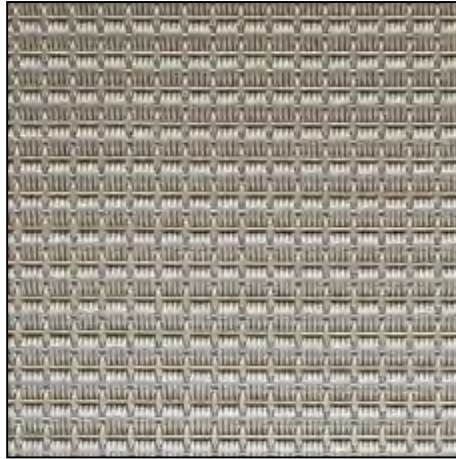
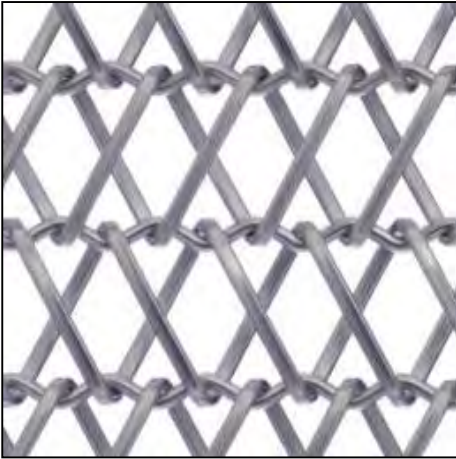
Combinación de técnicas ¹¹

Edificio costero en Stockholm :Techo de acero inoxidable coloreado y perforado que reproduce la imagen de hielo derretido de la esquina inferior derecha



3 – Tejidos de Malla

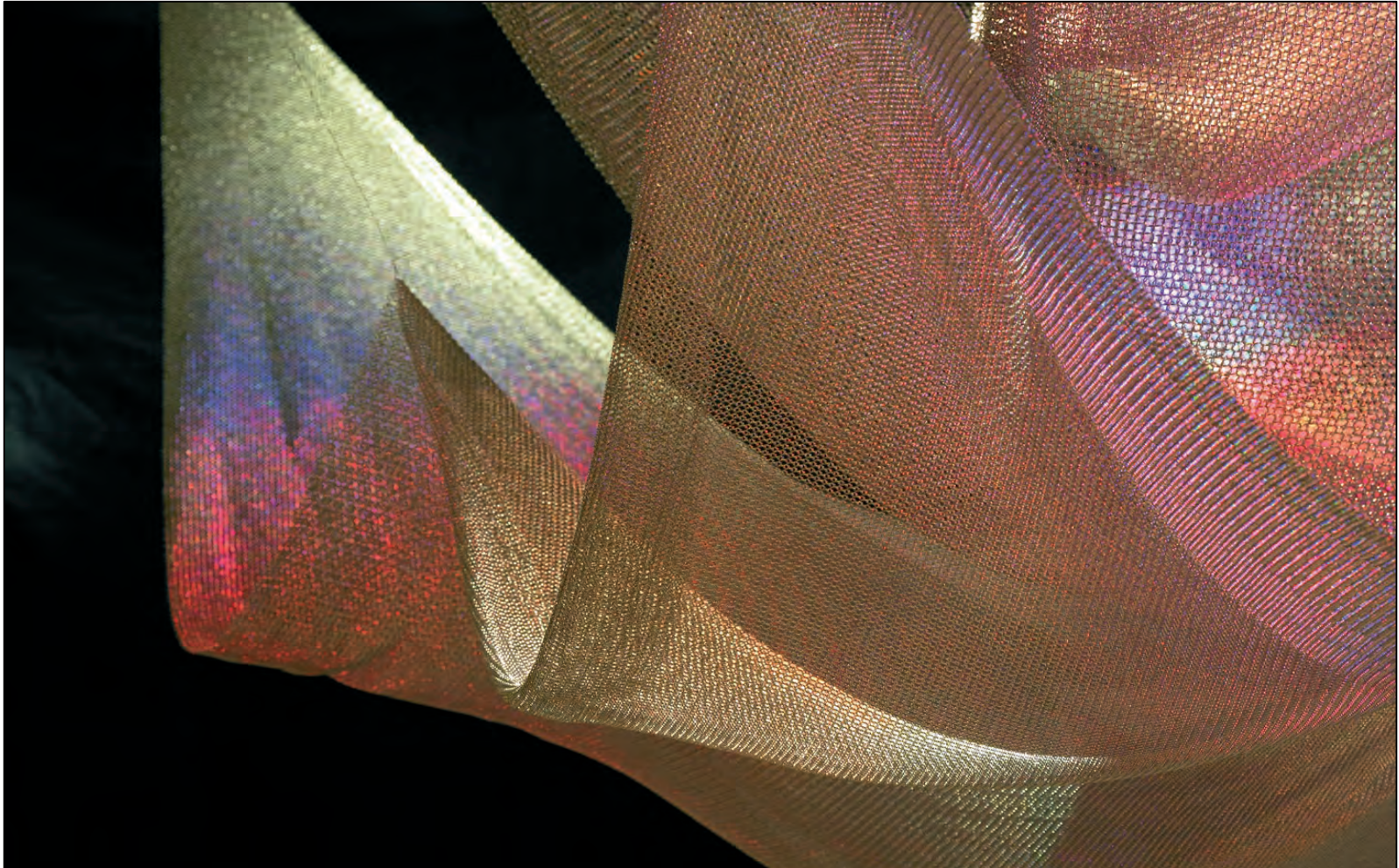
Malla Estandar ¹²⁻¹⁴



Existe una amplia oferta de tejidos metálicos con formas y patrones diferentes y en donde se puede ajustar:

- Rigidez
- Luz de malla
- Difusion de la luz
- Transparencia acustica
- Color...

Ejemplo de decoración con malla de acero inoxidable

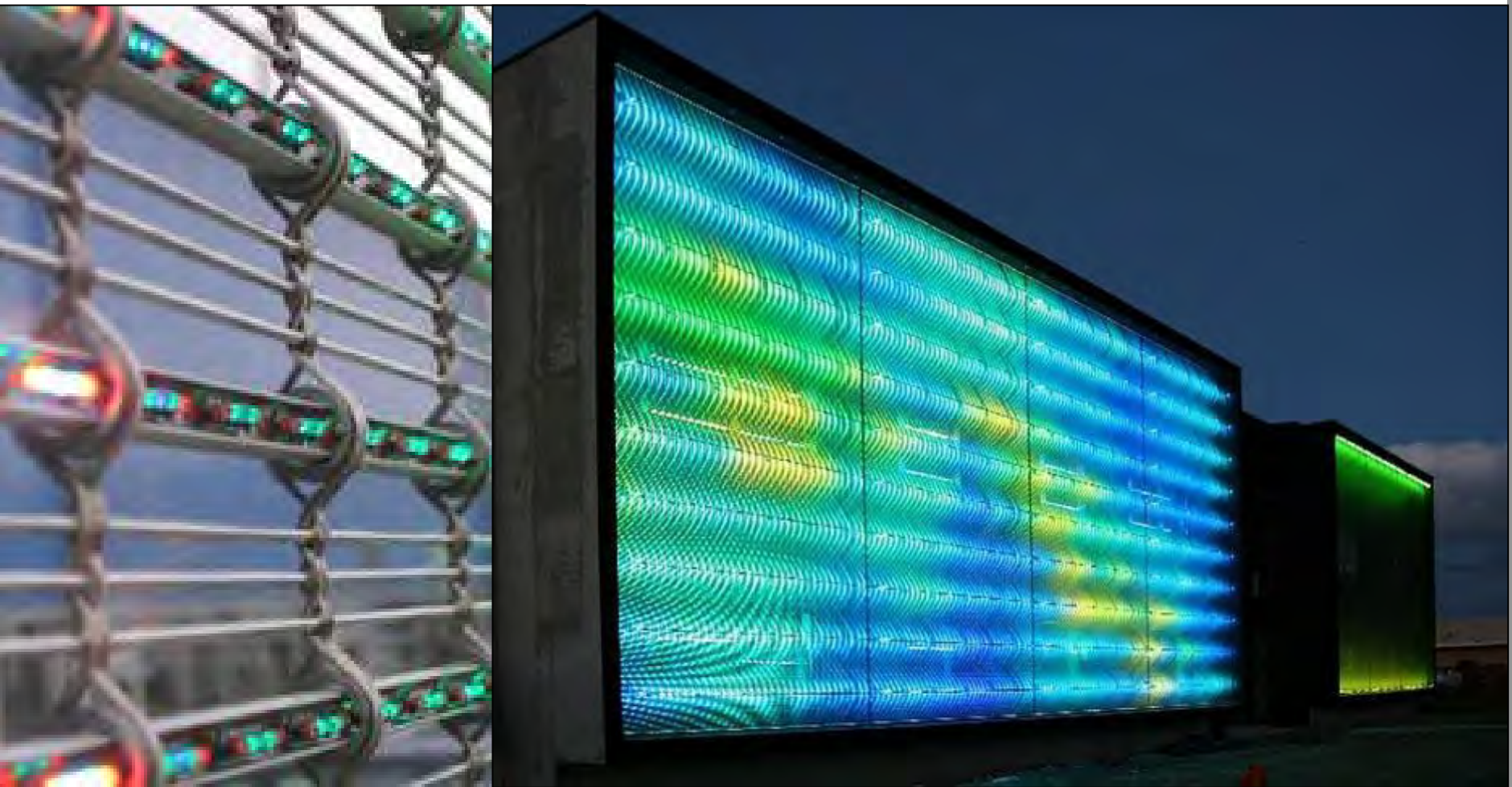


Decoración exterior con malla de acero inoxidable

La malla de acero inoxidable es ampliamente utilizada para decoración. Permite efectos muy especiales combinándolo con luz (LEDs) como se muestra en las oficinas centrales de la marca Swarovski



Tejido de malla con LEDs ¹³



4 – Referencias bibliográficas y fuentes

1. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Finishes02_SP.pdf
2. http://www.ssina.com/download_a_file/special_finishes.pdf
3. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=47>
4. www.uginox.com/sites/default/files/public/Triptyque%20Lusignan_web.pdf
5. <http://www.poligrat.de/home/>
6. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_SP.pdf
7. <http://www.legrand-sgm.fr/>
8. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/3D_Finishes_SP.pdf
9. <https://cambridgearchitectural.com/projects/ft-lauderdale-hollywood-international-airport-rental-car-center>
10. <https://www.exyd.com/waterfront-building.html>
11. <http://cambridgearchitectural.com>
12. <https://gkd.de/architekturgewebe/>
13. <http://www.diedrahtweber-architektur.com/de/anwendungen-architekturgewebe/medienfassade/>
14. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf

Gracias

Material didáctico para docentes en Arquitectura o Ingeniería Civil

Capítulo 09 Unión y Fabricación de Aceros Inoxidables

Contenido

1. Unión
2. Fabricación

1 - Unión

Procesos de unión aplicables: Todos

Proceso (Refs)	Videos	Proceso recomendado para:
Soldadura (1-5) (ampliamente utilizado)	MIG Welding TIG Welding Welding robot	Alta resistencia de las juntas No se puede desmantelar
Conectores (ampliamente utilizados)	Example	Facil montaje in-situ Une diferentes materiales (madera, vidrio...) Pueden desmantelarse con el tiempo
Brazing/Soldering	Soldering	Estanqueidad frente al agua (empleado en tejados)
Mecanica Press-fitting Folding Otros....	Press-fit example	Union permanente de tubos Estanqueidad frente al agua (empleado en tejados)
Adhesivos (no muy comunes, pero creciendo)		Integridad superficial del material

Soldadura con arco (arc welding)

Ventajas

- Propiedades de la soldadura iguales a las del estado del material recocido
- Proporciona la unión más fuerte
- Puede hacerse en taller o in-situ
- Une materiales de diferente espesor y forma
- Une metales similares o distintos (generalmente acero al carbono con el material de relleno adecuado)
- Resistente a la fatiga y cargas cíclicas
- Misma resistencia a corrosión y a la temperatura que el material base recocido

Limitaciones

- No es posible en todos los tipos
- Requiere trabajadores cualificados y equipos específicos
- Puede producir deformaciones por temperatura
- Se requiere normalmente tratamiento superficial de la soldadura para obtener un acabado estético (como un granallado)
- Pérdida de propiedades mecánicas en los materiales endurecidos en frío
- Precipitación de carburos de cromo

Soldadura con arco (Arc Welding)

[Video: polishing a weld](#)



Anclajes Mecánicos

Ventajas

- Puede ser desmantelado
- Ideal para montaje in-situ
- Rápido
- No se necesitan trabajadores cualificados

Limitaciones

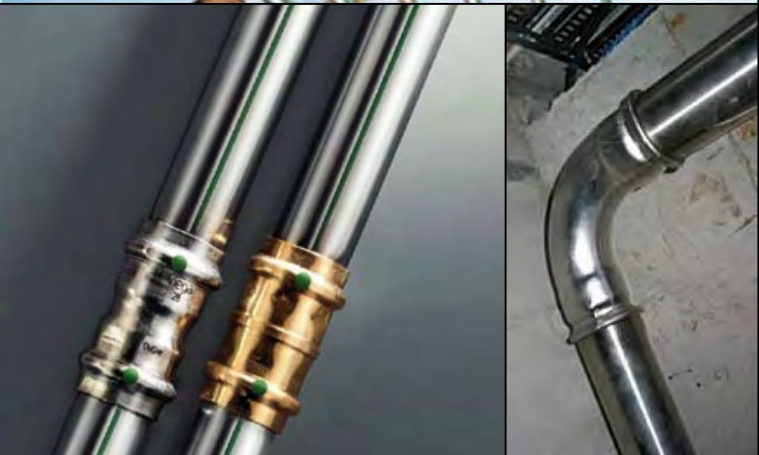
- No tan fuerte como la soldadura
- Puede darse corrosión intergranular (ver capítulo de corrosión)

Selección de la fijación adecuada:

El Instituto Alemán para la Tecnología de la Construcción* ha elaborado recomendaciones para la selección de fijaciones conforme al tipo de ambiente. Puede leer la Referencia 4, Tabla 1a (categorías de exposición) y Tabla 8 (tipos de acero inoxidable por categoría)



* Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)



Press fitting (Proceso solo para tubos)

Ventajas

- Unión perfecta para líquidos y gases
- Rápido
- Sin llama
- Superficies perfectamente limpias
- No necesita cualificación

Limitaciones

- No puede ser desmantelado
- Requiere conectores para cada sección de tubo

Adhesivos

Ventajas

- Hace las uniones invisibles, mejorando la apariencia del material
- Proporciona una uniforme distribución de los esfuerzos y una gran capacidad de soporte de presión
- Une materiales de cualquier espesor y forma
- Une materiales similares y distintos
- Minimiza o previene la corrosión galvánica
- Resiste cargas cíclicas y a la fatiga
- Proporciona uniones con contornos lisos
- Protege las uniones frente a numerosos ambientes
- Aisla térmica y eléctricamente
- No presenta distorsiones en el material por temperatura
- Absorbe choques y vibraciones
- Proporciona un atractivo ratio resistencia/peso
- Es normalmente más rápido y barato que el anclaje mecánico

Limitaciones

- No permite visualizar el pegado
- Requiere preparación cuidadosa de la superficie a menudo con agentes corrosivos
- Puede conllevar largos tiempos de curado
- Puede requerir medios no requeridos para otras formas de unión
- No debe ser expuesto a temperaturas de servicio por encima de 180°C
- Requiere un riguroso proceso de control, especialmente en la limpieza para muchos adhesivos
- Depende del ambiente al que esté expuesto

Aplicaciones de los adhesivos



Unión de elementos de barandilla (DeLo-Duopox AD895)

- Rellena huecos, tanto grandes como pequeños
- Buena resistencia química y frente al paso del tiempo
- Para uso en interior y exterior
- Eficiente: sistema de construcción modular flexible para barandillas. Se evitan procesos adicionales como la soldadura, el granallado o el pulido

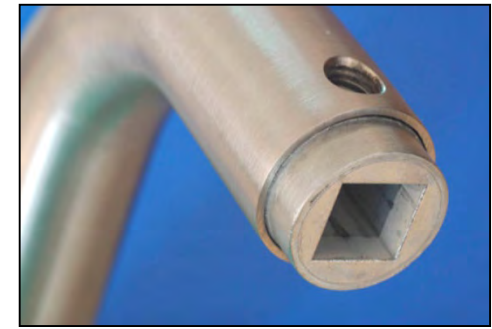


Paneles de acero inoxidable (Tipo 1.4404) unidos al las paredes exteriores de este edificio de oficinas de 6 plantas en Hannover (Alemania) empleando un adhesivo y sin necesidad de empleo de anclajes mecánicos adicionales

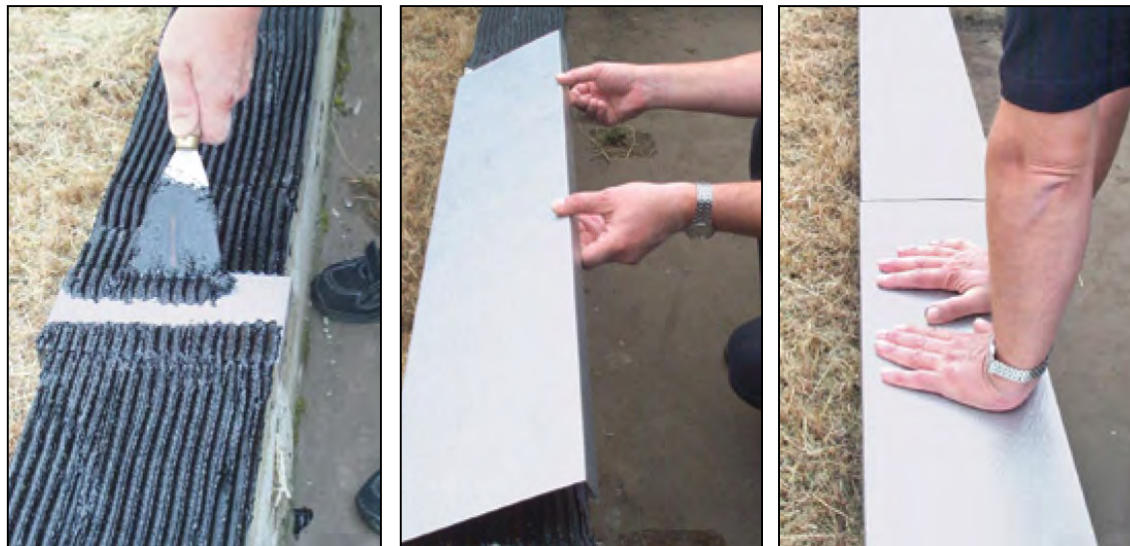
Table 1. Selection of adhesives for structural bonding [11]

	With stainless steel	Type of adhesive for semi-structural bonding				
		Silicone	Polymer modified with silane	Polyurethane	Acrylic	Epoxy
Stainless steel	yes	●	●	●	○	●
Carbon steel	yes	●	●	○	○	●
Carbon steel/painted	yes	●	●	X	○	○
Carbon steel/galvanised	yes	●	●	X	○	○
Aluminium	yes	●	●	○	○	●
Wood	yes	●	●	○	○	●
Glass/ceramic	yes	●	●	X	○	●
Plastic PVC	yes	●	●	X	X	X
Plastic PA	yes	○	●	X	○	
Plastic PP/PE	no	X	X	X	X	X

● highly recommendable - ○ recommendable - X not recommendable



Los adhesivos se emplean para el ensamblaje de manillas de puertas



Los adhesivos son una solución práctica en aplicaciones de construcción cuando deben aplicados a piedra o ladrillo

Referencias bibliográficas sobre unión

1. http://www.worldstainless.org/Files/issf/animations/WeldedFabrication/start_1.html
2. <http://www.wikihow.com/Weld-Stainless-Steel>
3. http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/WeldingofStainlessSteelandotherJoiningMethods_9002_.pdf
4. <http://www.edelstahl-rostfrei.de/page.asp?pageID=1590>
5. http://www.improve.it/metro/file.php?file=/1/Papers/Metallurgy_of_Welding_Processes/Joinoint_properties.pdf
6. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Adhesive_bonding_EN.pdf
7. <http://shura.shu.ac.uk/3115/>
8. https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_for_Designers.pdf
9. http://www.delo.de/fileadmin/upload/dokumente/en/broschueren/Structural_Bonding.pdf
10. <https://www.ellsworth.com/globalassets/literature-library/manufacturer/ellsworth-adhesives/ellsworth-adhesives-white-paper-structural-bonding.pdf>
11. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781845694357>

2 - Fabricación

Hay muchos documentos muy completos disponibles, ver la lista de referencias bibliográficas

Ref 1 es un curso dedicado a la fabricación de aceros inoxidables

El capítulo 10 lista un número de aplicaciones en arquitectura y construcción: La fabricación de todo tipo de espesores y formas se consigue hoy en día de forma rutinaria

Videos de procesos

- Aceria y laminación de aceros inoxidables <https://www.youtube.com/watch?v=5zwwgl-pQ6kE>
- Corte y doblado https://www.youtube.com/watch?v=VMu7_W0QE3Y
- Corte por chorro de agua <http://www.sastainless.com/videos/index.html>
- Conformado profundo https://www.youtube.com/watch?v=n-ht_5Ysurc
- Maquina de doblado de alambre <https://www.youtube.com/watch?v=kDoSDiiZx6U>
- Maquina de conformado de muelles <https://www.youtube.com/watch?v=SwY-RT4DBxY>
- Roll Forming https://www.youtube.com/watch?v=44XD5mZoM_0
- Mecanizado <https://www.youtube.com/watch?v=LDxNDWObTyg>

Existen más videos disponibles en la red

Referencias bibliográficas sobre fabricación

1. <http://www.issftraining.org/>
2. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf
3. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex Stainless Steel 3rd Edition.pdf
4. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF The Ferritic Solution Spanish.pdf>

Gracias

Material didáctico para docentes en Arquitectura o Ingeniería Civil

Capítulo 10

Productos y disponibilidad

¿Porqué « Productos y Disponibilidad » ?

- Plazo de entrega y coste son las principales cuestiones para arquitectos e ingenieros civiles
- Pese a que todos los productos de acero inoxidable comienzan en la acería
 - Existen muchas rutas de proceso y fabricación para los productos de acero inoxidable
 - Así como almacenes, y agentes que proveen material
- Por lo tanto, los costes y los plazos de entrega pueden variar ostensiblemente

Alguna información sobre la fabricación de los aceros inoxidables

- [Video](#): Acería y laminación en caliente de bobinas
- [Video](#): Laminación en caliente de bobinas
- [Video](#): Laminación en frío de bobinas
- [Video](#): Acería y laminación en caliente de barras
- [Video](#): Laminación de alambre
- [Video](#): Laminación de alambre

Cadena de suministro del acero inoxidable

SIMPLIFICADA



Productos

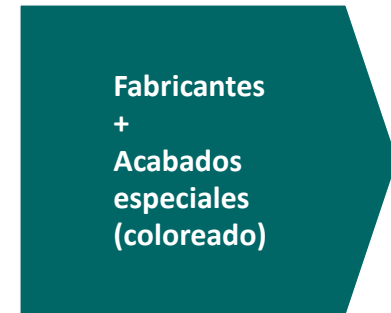
Bobina, Chapas, Plates
Barras, Alambres, Alambre
Corrugado

Personalizado:
Corte longitudinal a medida
Cortes de ancho a medida
Polido...

Servicios

Peso mínimo 1 slab
Producción bajo pedido
Plazo fabricación 2/3
semanas
Menor precio /Kg

Pequeños pedidos
Disponible desde el stock
Corto plazo entrega (1-3 días)
Precio superior por servicio



Productos

Tornillería
Tubo
Valvulas
Anclajes

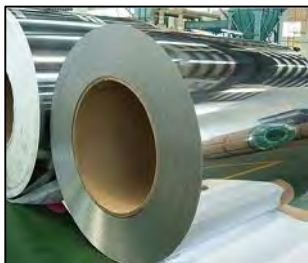
Servicio

Disponibilidad de stock
Corto plazo de entrega (1-3
días)
Precio superior por servicio

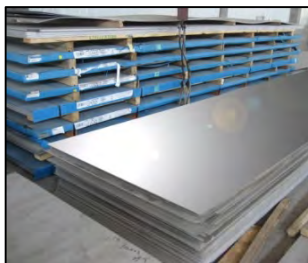
Producto Plano

Ex-mill

Bobina en frio



Plates



Tubos standar



Fleje en frio



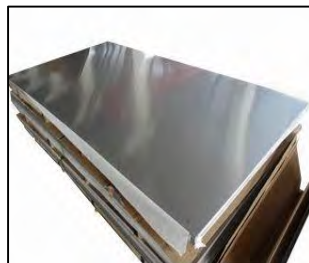
Vigas a partir de plates



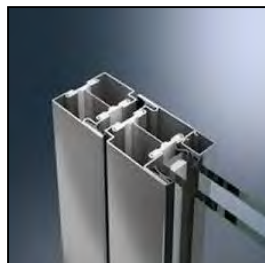
Perfil en tubo



Chapa en frio pulida



Perfiles puertas y ventanas



Conectores de tubo



Personalizado

Corte por laser



Abrazaderas



Barandillas



Producto largo

Ex-mill

Barras



Corrugado



Alambron



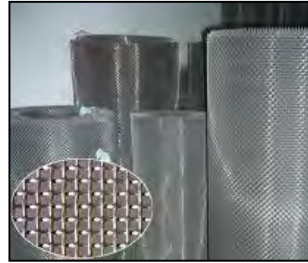
Anclajes



Alambre



Malla



Barra roscada



Anclajes para hormigón



Tornilleria

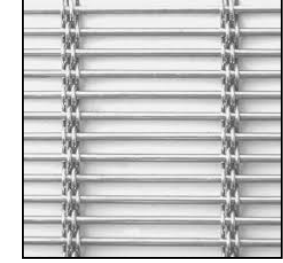


Custom

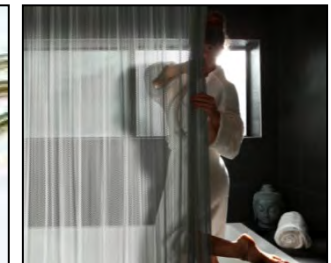
Manijas



Parasol



Malla para duchas



Tendencias futuras

La urgente necesidad de mitigar el cambio climático y de una economía sostenible derivará en grandes cambios en los próximos años.

Una nueva oferta de producto está por aparecer:

- Products refabricados. El acero inoxidable instalado en edificios derruidos puede ser nuevamente reprocesado y puesto en servicio sin merma alguna en sus propiedades.
- Productos de alta resistencia y menor espesor, capaces de ofrecer las mismas condiciones de servicio con menor material. El desarrollo de los tipos lean duplex y de los austeníticos producidos en frío es ya toda una realidad.

Referencias bibliográficas

Principales productores de acero inoxidable:

<https://www.worldstainless.org/about-issf/issf-members/>

Gracias

Material didáctico de apoyo para docentes en
Arquitectura o Ingeniería Civil

Capítulo 11

Sostenibilidad del Acero Inoxidable

Definiciones

- **Greenhouse Gas (GHG):** Toneladas emitidas de CO₂-eq /Tonelada de acero ⁽¹⁾
- **Global Warming Potential (GWP):** Sin unidades. Ratio de las habilidades de diferentes gases de efecto invernadero (GHG) de atrapar calor en la atmosfera en relación a la del dióxido de carbono (CO₂) ⁽⁷⁾. Por ejemplo, el GWP (*Global warming potential*/Potencial de calentamiento global) del metano es 28 durante un periodo de 100 años.
- **El potencial de calentamiento global (GWP) del consumo de energía primaria (GJ/T)** también se denomina Intensidad energética Es la energía consumida para producir 1 tonelada de un material primario (por ejemplo el acero) ⁽¹⁾.
- **Gross Energy Requirement (GER):** Es la cantidad total de energía requerida para un producto. ⁽⁸⁾
- **Eficiencia del un material:** Mide la cantidad de material no destinado a vertedero o incineración, en relación a la cantidad de acero producido. ⁽¹⁾

Definiciones

- **Life Cycle Inventory (LCI):** Se trata de un método estructurado, comprensible e internacionalmente regulado. Cuantifica todas las emisiones relevantes y recursos consumidos así como los impactos relacionados con el medio ambiente, la salud y el agotamiento de recursos asociados con el ciclo de vida global de un producto. ⁽³⁾
- **Life Cycle Cost (LCC):** Es una herramienta para evaluar el coste total del desempeño de un bien a lo largo del tiempo, incluyendo la adquisición, operación, mantenimiento y costes de vertedero. ⁽⁴⁾
- **Life Cycle Assessment (LCA):** Es una herramienta de ayuda para cuantificar y evaluar las cargas e impactos medioambientales asociados al producto o a sus actividades, desde la extracción de las materias primas hasta su deposición en vertedero. Se está incrementando su uso entre por parte de empresas, gobiernos y grupos ecologistas para la toma de decisiones y estrategias medioambientales sobre una correcta selección de materiales.

Definiciones

Indicadores de Seguridad:

- **Tiempo perdido por accidentes:** Este ratio representa el número de horas de trabajo perdidas como consecuencia de accidentes por cada 1,000,000 de horas trabajadas. ⁽¹⁾

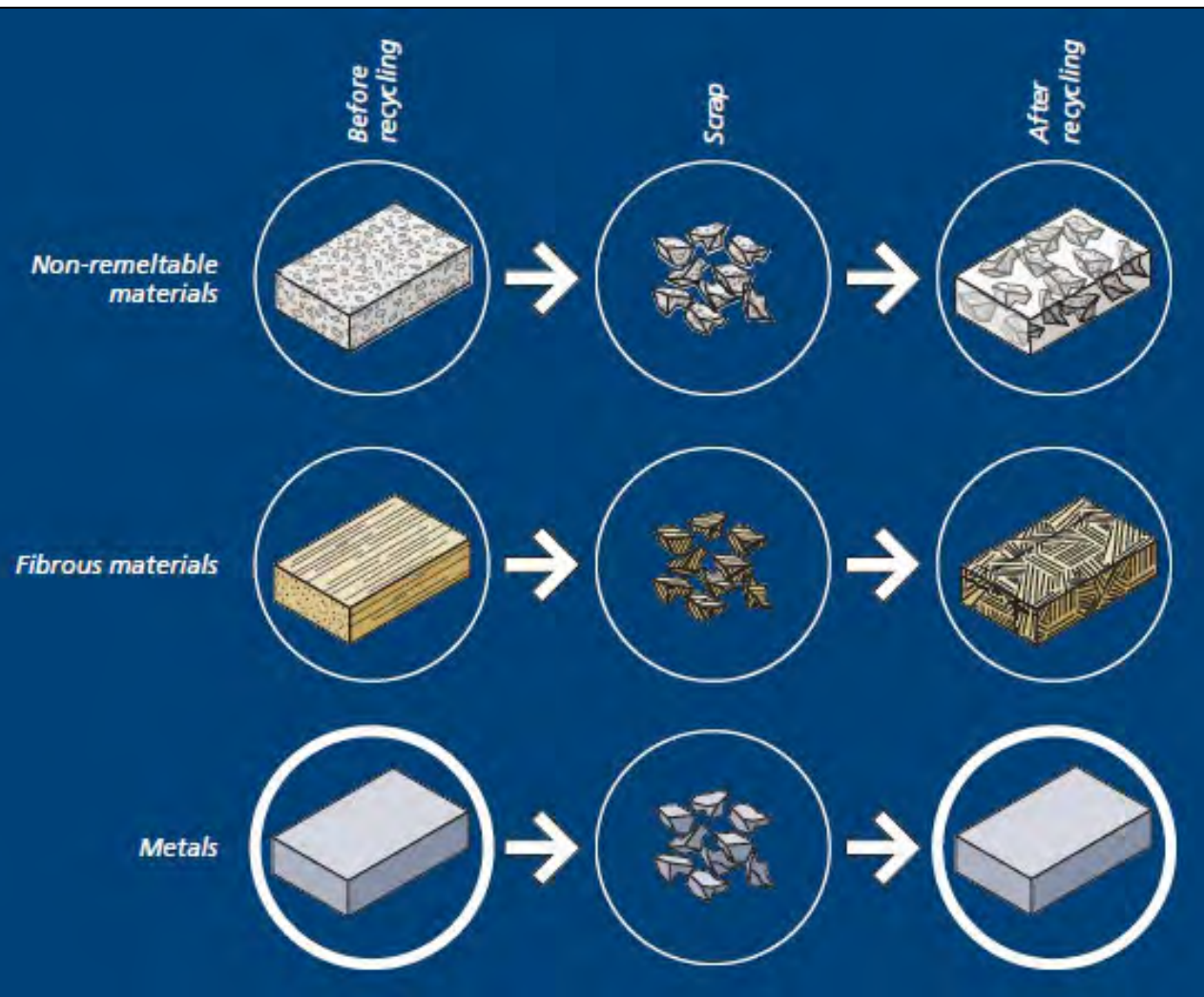
Indicadores de reciclaje:

- **Ratio de reciclaje** Indica cuanta cantidad de material entra en la cadena de reciclaje al final de la vida del mismo.(como contrapartida a la cantidad de material enviada a vertedero). ⁽⁵⁾
- **Contenido de reciclaje** se define como la proporción en peso de material reciclado contenido en un producto. ⁽⁶⁾
- **Solid Waste Burden (SWB):** incluye residuos mineros, balsas, escorias y cenizas de centrales termicas

Comentarios sobre los indicadores:

NUEVO!

Los indicadores de reciclabilidad no tienen en cuenta el «downcycling».

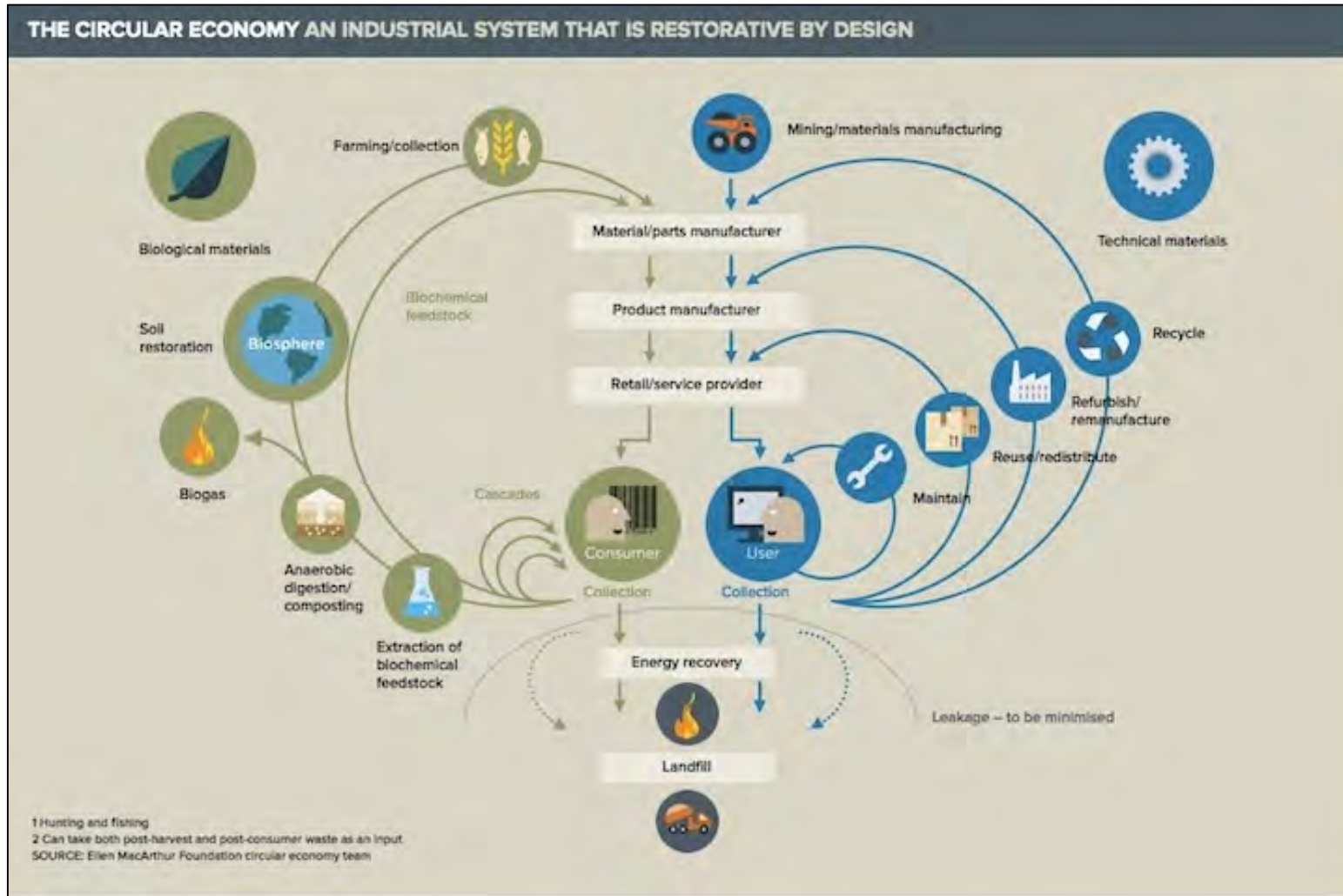


Los metales pueden ser reciclados sin merma alguna en su calidad..

La razón se debe a que los granos metálicos son totalmente restablecidos durante la resolidificación, recuperando sus propiedades originales aunque sean sometidos al proceso de reciclaje muchas veces. Esto les permite ser usados una y otra vez para la misma aplicación. Por el contrario, las características de los metales no metálicos empeoran tras el reciclaje. ⁽⁴⁵⁾

El Downcycling es preferible al vertedero pero aun está muy lejos de la Economía Circular (46,47)

NUEVO !



Recolectar Chatarra metálica para producir nuevos metales es la via más corta.

La economía circular trata de cerrar los circuitos de recursos, imitando los ecosistemas naturales en la forma en que organizamos nuestra sociedad y las empresas.



Sostenibilidad

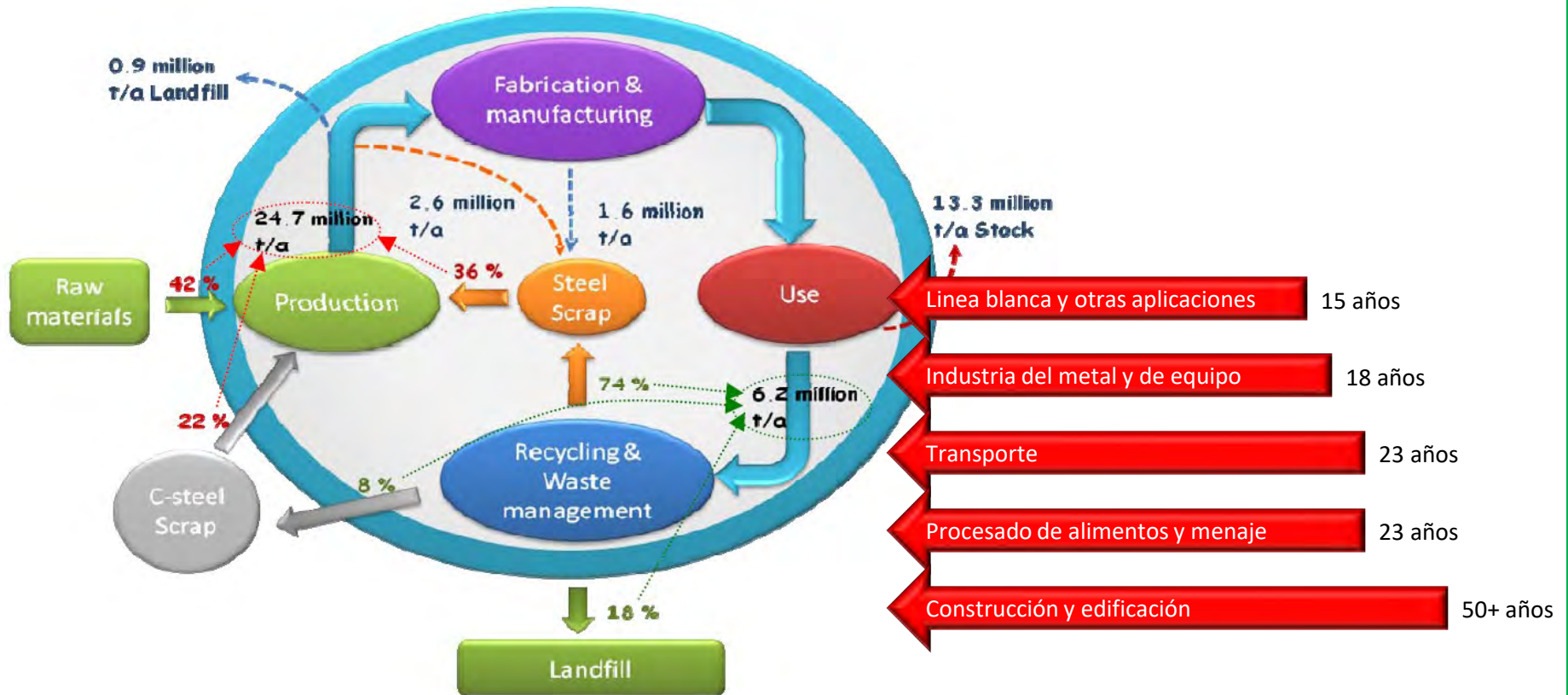
“La sostenibilidad engloba todo el ciclo de fabricación de un producto, desde la adquisición de las materias primas, hasta la fase de demolición y recogida de residuos, pasando por la planificación, diseño, construcción y operación.” (Rossi, B. 2012) ⁹

Sostenibilidad del acero inoxidable:

1. Medio ambiente
2. Social
3. Económico

1. Medio ambiente

Producción ⇌ Uso ⇌ Reciclaje

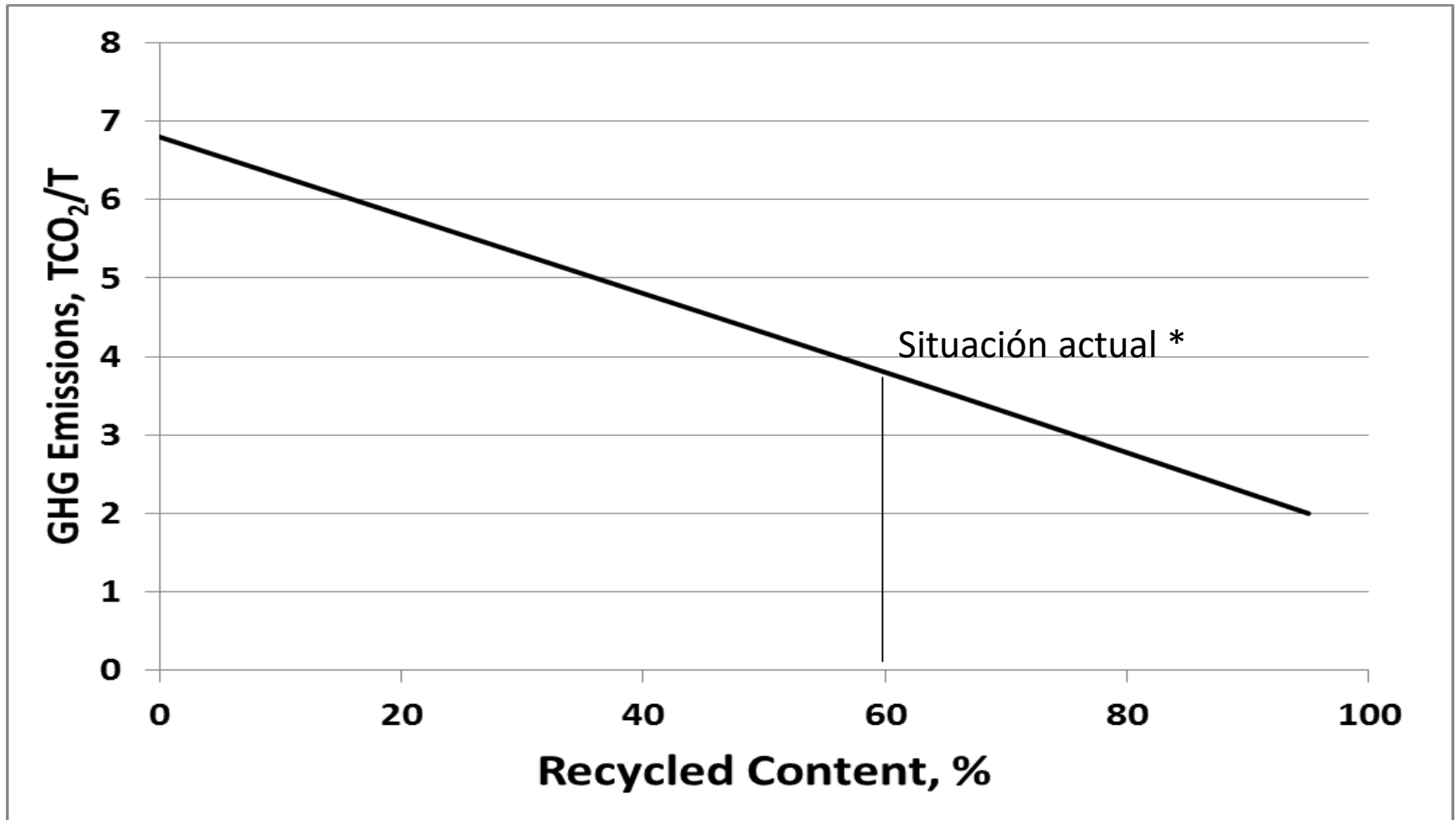


Más sobre el Uso y Reciclado¹⁵

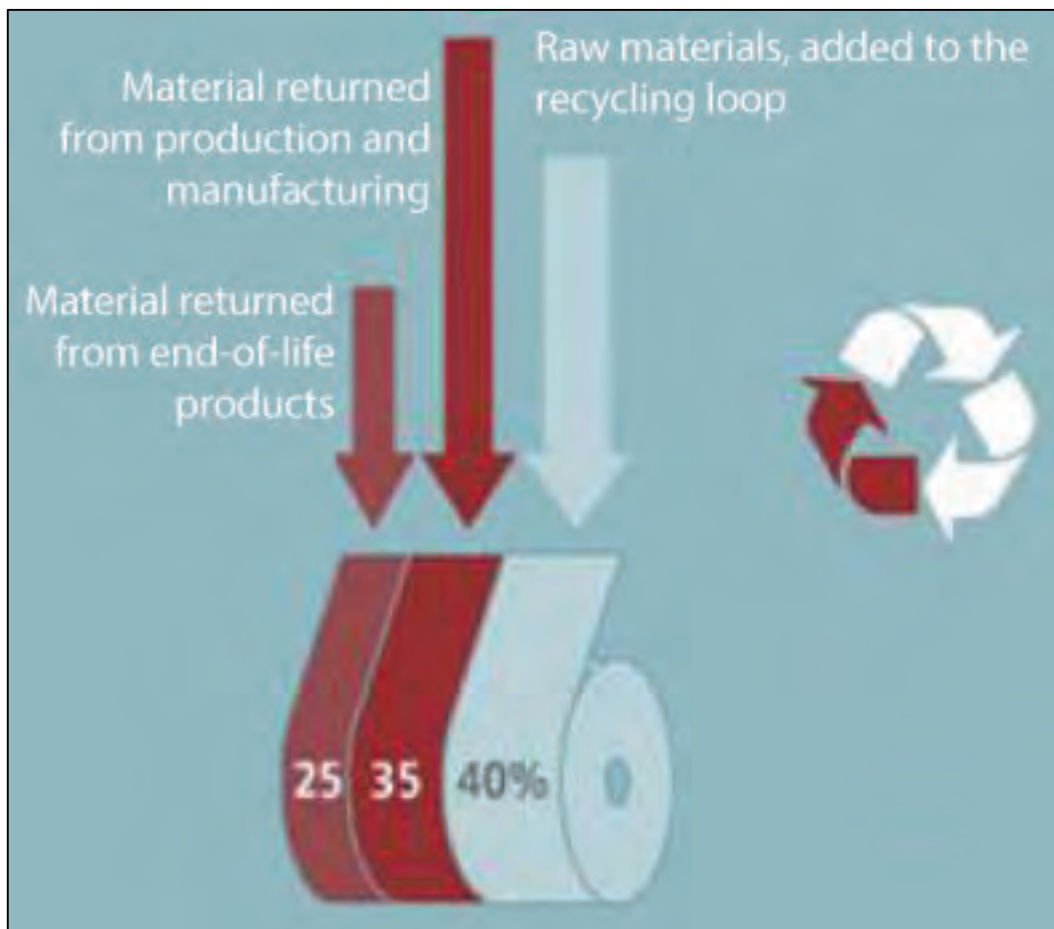
iActualizado en 2015!

Sector de uso final	Vida útil media (años)	A vertedero	Recogido para su reciclado		
			Total	Como acero inoxidable	Como acero al carbono
Edificación e infraestructuras	50	8%	92%	95%	5%
Transporte (turismos)	14	13%	87%	85%	15%
Transporte (otros)	30				
Maquinaria industrial	25	8%	92%	95%	5%
Aparatos domésticos y electrónicos	15	30%	70%	95%	5%
Artículos metálicos	15	40%	60%	80%	20%

Emisiones de GHG vs. Cantidad Reciclada ^{11, 12, 13, 14}



* La cantidad reciclada está limitada por la disponibilidad de chatarra

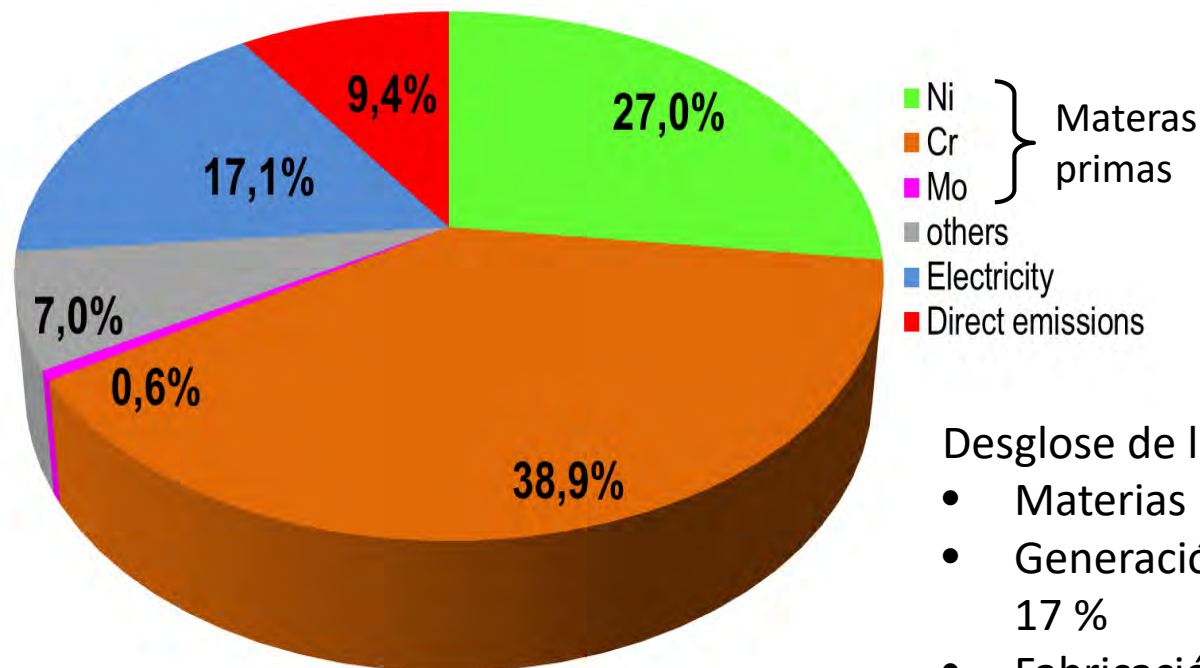


**Cantidad de material reciclado en el
acero inoxidable**

Emisiones de gases de efecto invernadero en los aceros inoxidables ⁽¹⁵⁾

Actualizado!

3.81 ton CO₂/ ton Acero inoxidable ⁽¹⁶⁾

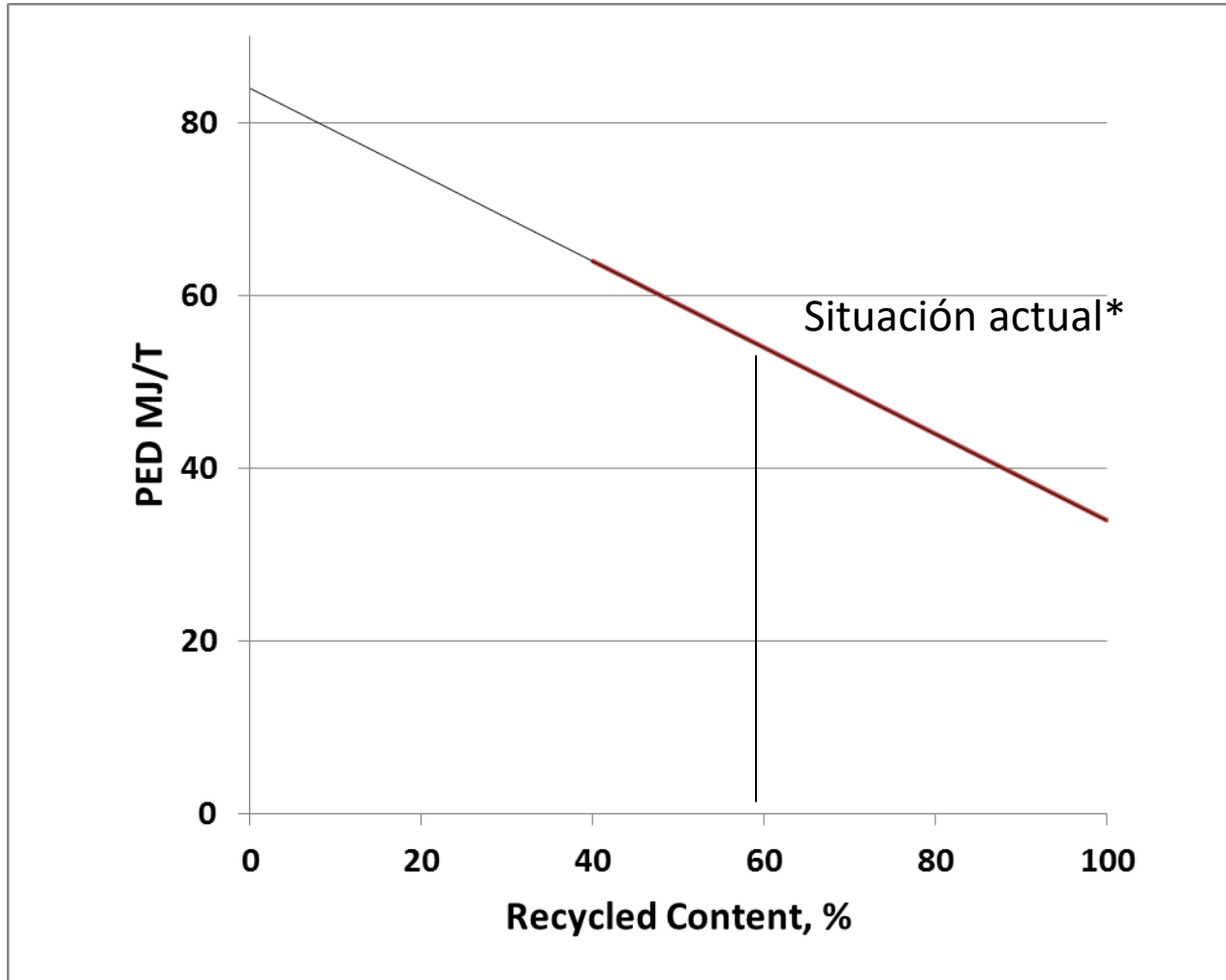


Desglose de las emisiones:

- Materias primas: 70 %
- Generación de electricidad: 17 %
- Fabricación del acero: 9% ⁽¹⁷⁾

Nota: No se ha tenido en cuenta el Niquel producido via Nickel pig iron, para la cual se estima un valor tres veces superior al indicado para el Niquel en el gráfico. China es actualmente el único país que emplea el Nickel Pig iron

Energía primaria requerida ¹⁸



* La cantidad de material reciclado está limitada por la disponibilidad de chatarra.

Impactos medioambientales para la producción de metales “cradle-to-gate”¹⁹

Metal	Proceso	GER (MJ/kg)	GWP (kg CO _{2e} /kg)	AP (kg SO _{2e} /kg)	SWB (kg/kg)
Acero Inoxidable	Horno Arco eléctrico+ AOD	75	6.8	0.051	6.4
Acero	Ruta integrada (BF y BOF)	23	2.3	0.020	2.4
Aluminio	Proceso Bayer y Proceso Hall-Heroult	361	35.7	0.230	16.9
Cobre	Fundición/convertidor y electrorefino	33	3.3	0.040	64
	Pila de lixiviados y SX/EW	64	6.2	-	125

GER: Gross Energy Requirement
 Potential AP: Acidification Potential

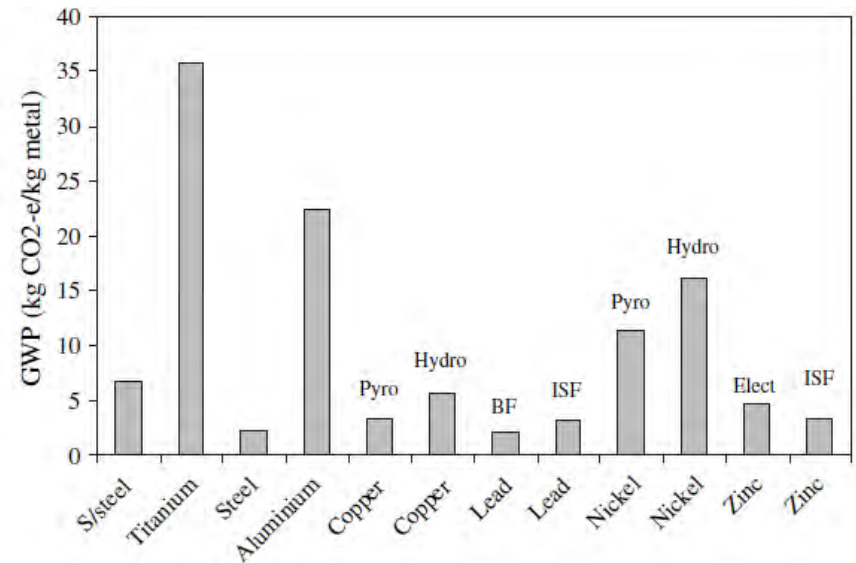
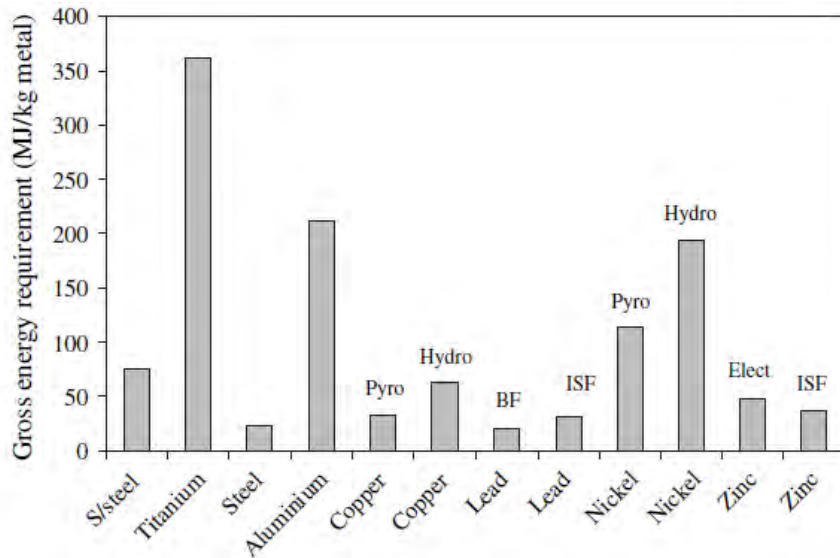
GWP: Global Warming
 SWB: Solid Waste Burden

Impactos medioambientales para la producción de metales “cradle-to-gate”²⁰

Gross Energy Requirement para la producción “cradle-to-gate” de varios metales

Global Warming Potential para la producción “cradle-to-gate” de varios metales

(sin considerar reciclaje)



Los materiales no se emplean en la misma cantidad para un mismo servicio o función ²¹

Ejemplo:

Potencial impacto ambiental para 3 diferentes tipos de fachadas.

Material	PED (MJ/m ²)	GWP (Kg CO ₂ -eq./m ²)	Fin de vida (EOL)
Laminados a alta presión Trespa®	759.3	23.9	50% reciclado + 50% vertedero
Generic stucco	144.2	12.7	No se recicla
Acero inoxidable 0.5mm	140.5	7.2	RR = 95%
Acero inoxidable 0.8 mm	191.7	11.3	RR = 95%

Eficiencia de los materiales



Reducir:

La cantidad de materias primas necesarias para producir acero inoxidable (40%), tiene como consecuencia un descenso en las emisiones de CO₂ .

Reutilizar:

La durabilidad del acero inoxidable hace que la reutilización sea muy importante.

Ejemplos: Botellas, tazas, copas, straws...





Ejemplo: Reutilización ²²

Los paneles de acero inoxidable estaban sucios y con rayas después de 50 años de servicio. Durante la renovación del espacio los paneles fueron retirados, limpiados, acondicionados y reinstalados.

Eficiencia de los materiales



Reciclado:

El acero inoxidable es reciclable 100%, toda la chatarra recolectada (82%) se reutiliza.

Mínimos residuos en la producción ⇒ La escoria y los polvos son los principales residuos resultantes del proceso de acería. Ejemplo: En algunos países, la escoria puede emplearse en el asfalto para la construcción de carreteras.

El acero inoxidable se recicla en gran parte al final de la vida útil de los productos²³⁻²⁵

Principales sectores de aplicación	Empleo de acero inoxidable acabado en fabricación	Vida media (en años)	A vertedero	Recogido para su reciclado	
				Total	Como acero inoxidable
Edificación	16%	50	8%	92%	95%
Transporte	21%	14	13%	87%	85%
Maquinaria industrial	31%	25	8%	92%	95%
Aparatos domésticos	6%	15	18%	82%	95%
Electrónica	6%	-	40%	60%	95%
Artículos metálicos	20%	15	40%	60%	80%
Total	100%	22	18%	82%	90%

La recogida de chatarra y clasificación de residuos progresa continuamente gracias a la mejora de procesos y la fluorescencia por rayos X

El diseño arquitectónico puede tener un impacto en la tasa de recolección

Datos LEED* y LCI para el Acero Inoxidable

- El Consejo Regulador del *U.S. Green Building Council* publicó la 4ª versión del “*Leadership in Energy and Environmental Design” (LEED v4) en 2013
 - La nueva versión incluye cambios que son favorables para el acero inoxidable:
 - Mayor énfasis en la vida útil
 - Requisitos más estrictos en emisiones VOC* (problema para algunos materiales como los plásticos)
- La Administración *U.S. General Services* (que gestiona edificios y propiedades gubernamentales) recientemente ha avalado el uso de LEED
 - Gobiernos estatales y locales exigen cada vez más certificados LEED o similares para edificios nuevos o modificaciones

** VOC: Volatile Organic Compounds (Componentes Orgánicos Volátiles): para el Acero Inoxidable, ocurren muy pocas emisiones durante los procesos de fabricación (no hay datos aún) y ninguna durante su uso



Edificios sostenibles con Acero Inoxidable – Centro de Convenciones David L. Lawrence, Pittsburgh (2003) ²⁶

Cubierta de acero inoxidable:

- Acero inoxidable S30400
- Medidas: 280 × 96m
- Cubierta de 23,000m² de 0.6mm (24-gauge), peso aproximado de 136 toneladas.

Edificio sostenible con Acero Inoxidable: la calificación Gold LEED

La calificación Gold **LEED/LDEM** (Leadership in Energy and Environment Design/Liderazgo en Diseño Energético y Medioambiental) reconoce:

- rediseño de zonas baldías cercanas al edificio
- adaptación a modos alternativos de transporte
- uso reducido de agua
- rendimiento energético eficiente
- uso de materiales que emiten ningún o muy bajo nivel de toxinas
- diseño innovador



Trabajos sostenibles de obra civil empleando inoxidable **El embarcadero de Progreso ²⁷**

En Progreso, México, se construyó un embarcadero en 1970. El ambiente marino hizo que la barra de acero al carbono se corroyera, con el consecuente fallo de la estructura.



Trabajos sostenibles de obra civil empleando inoxidable **El embarcadero de Progresso**

El embarcadero adyacente fue construido entre 1937 y 1941 empleando refuerzo de acero inoxidable para el hormigón.



Trabajos sostenibles de obra civil empleando inoxidable **El embarcadero de Progresso**

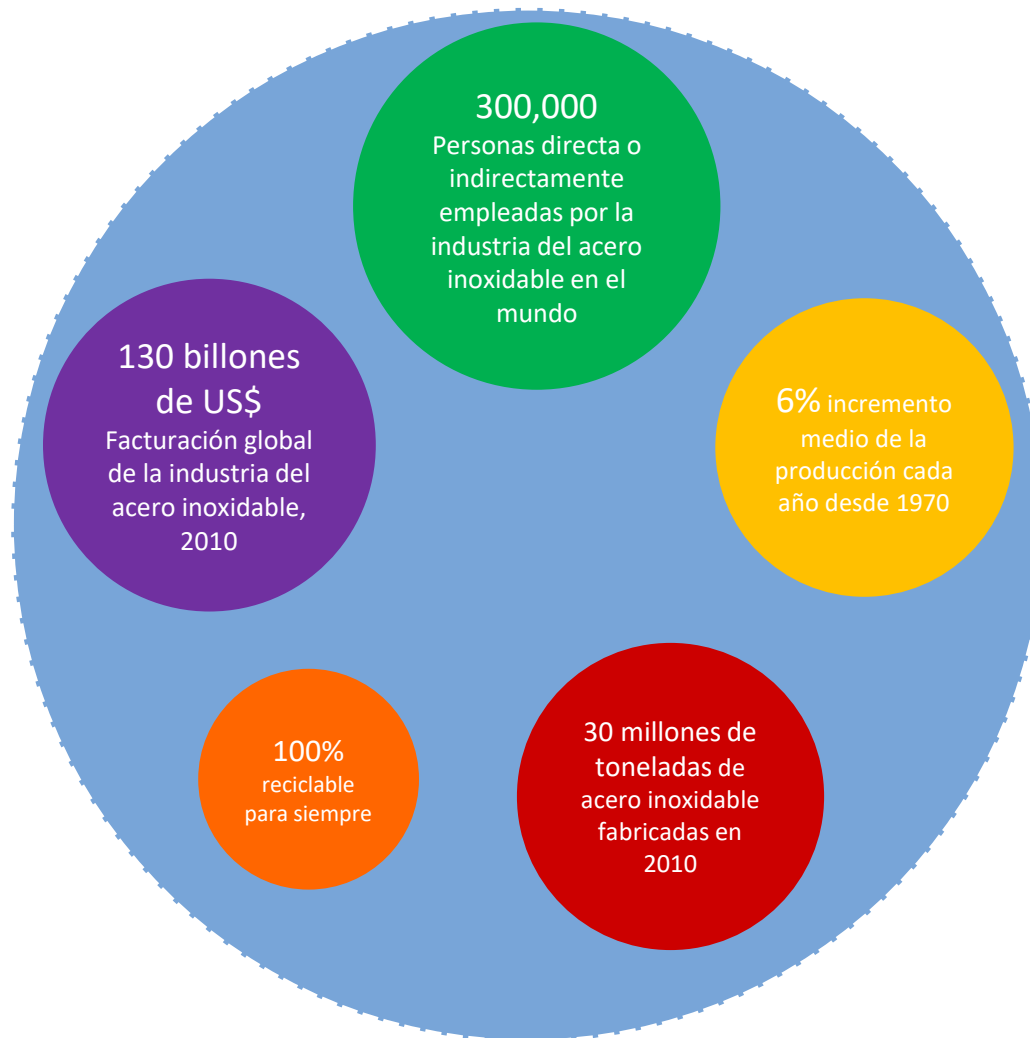
Desde entonces, no ha recibido mantenimiento y se ha conservado en condiciones excelentes.

2. Social

Un material sostenible no provoca daños en las personas que trabajan en su producción, ni al manipularlo durante su uso, reciclaje y disposición final.

- El acero inoxidable no resulta dañino para la gente durante su producción ni durante su uso. Por esta razón, el acero inoxidable es el principal material empleado en aplicaciones médicas, alimenticias, de elaboración, domésticas y de hostelería.
- Proporcionar un lugar de trabajo saludable y libre de accidentes es la máxima prioridad para la industria del acero inoxidable.
- El acero inoxidable mejora también la calidad de vida haciendo posibles ciertos avances técnicos. Por ejemplo, las instalaciones que nos proporcionan agua potable limpia, comida y medicamentos no resultarían tan higiénicas ni eficientes de no ser por el acero inoxidable.

3. Económico



Coste de Ciclo de Vida (CCV) ³⁰

- El CCV es el coste de un bien a lo largo de todo su ciclo de vida, mientras cumpla los requisitos de funcionamiento (ISO 15686-5).
- El CCV es la suma de todos los costes relacionados a un producto durante su ciclo de vida:

concepción ⇒ **fabricación** ⇒ **operación** ⇒ **final de vida**



Fuente: Metodología para determinar el coste de ciclo de vida. Comisión Europea

Coste de Ciclo de Vida (CCV)

El CCV es un procedimiento matemático que facilita la toma de decisiones de inversión y/o la comparación de diferentes opciones de inversión.

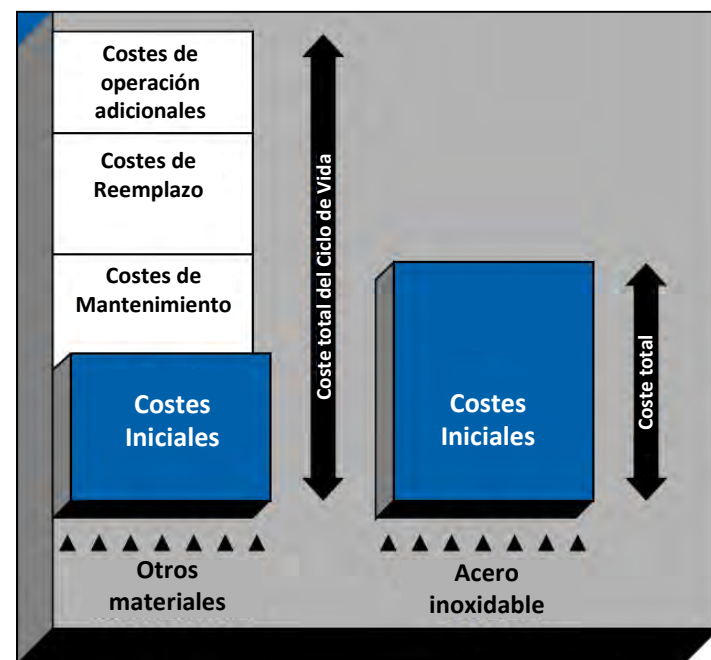
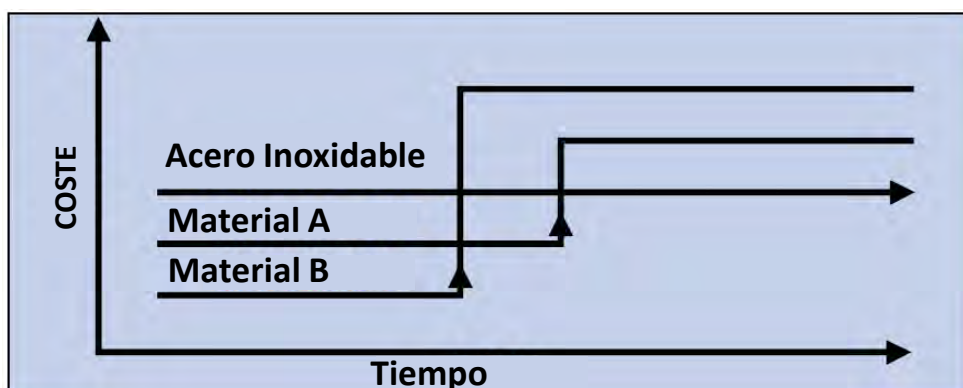
Todos los Costes a Valor Actualizado Antes de su Acumulación:

Coste Ciclo de Vida total (CCV)	Coste inicial de adquisición de material (AC)	Costes de instalación de materiales y fabricación (IC)	Costes de operación y mantenimiento (IC)	Costes de pérdida de producción durante tiempo de parada (LP)	Coste de materiales de sustitución (RC)					
LCC	=	AC	+	IC	+	$\sum_{n=1}^N \frac{OC}{(1+i)^n}$	+	$\sum_{n=1}^N \frac{LP}{(1+i)^n}$	+	$\sum_{n=1}^N \frac{RC}{(1+i)^n}$

Donde: **N** = Vida de servicio deseada **i** = Tipo de interés real **n** = Año considerado del evento

El Acero Inoxidable no es caro si se consideran los costes de Ciclo de Vida³¹

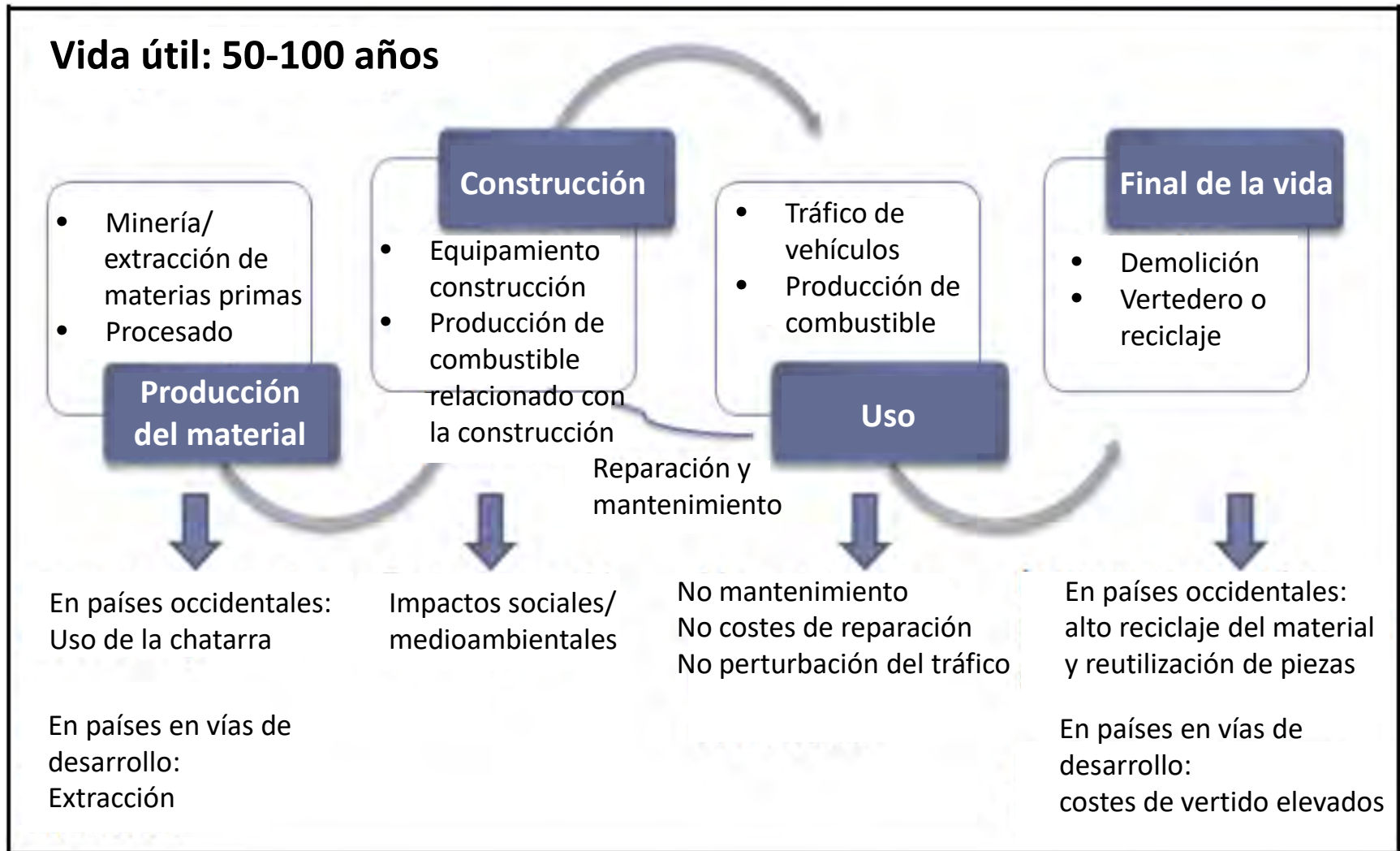
Los costes de otros materiales crecen sustancialmente en el tiempo mientras que el coste del acero inoxidable se mantiene generalmente constante



“La corrosión metálica cuesta a la economía estadounidense más de \$300 billones cada año. Se estima que una tercera parte de este coste (\$100 billones) podría evitarse mediante el empleo de tecnologías disponibles más adecuadas. Esto comienza en el diseño, con la elección de materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable, y cuantificando los costes iniciales y futuros, incluyendo los de mantenimiento, a partir de las técnicas de Coste de Ciclo de Vida/CCV.”

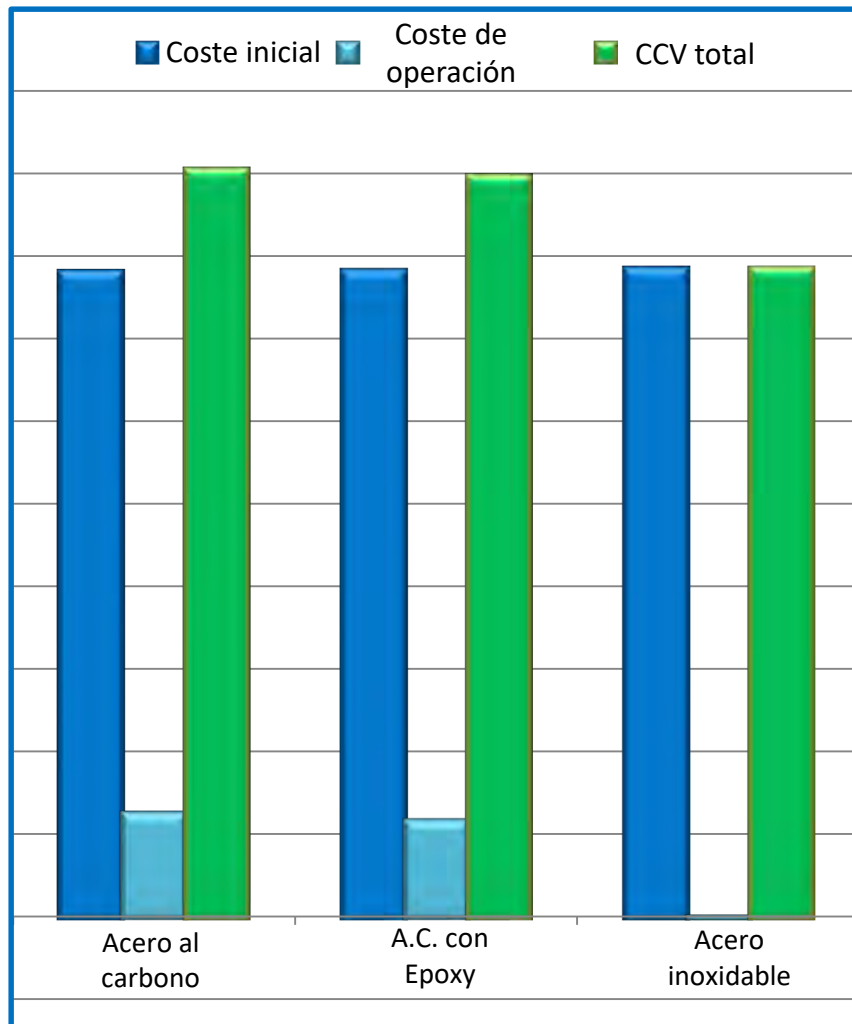
Ejemplo CCV: Puentes

Ejemplo de las fases del ciclo de vida de un puente de acero inoxidable y su impacto en el medio ambiente en diferentes zonas del mundo



Ejemplo CCV: Puentes

Resumen de los costes de ciclo de vida para un puente de autopista sobre un río ³²



Descripción	Acero al carbono	A.C. con Epoxy	Acero inoxidable
Coste material	8,197	31,420	88,646
Coste de fabricación	0	0	0
Otros costes de instalación	15,611,354	15,611,345	15,611,354
Costes iniciales	15,619,551	15,642,774	15,700,000
Mantenimiento	0	0	0
Reemplazo	256,239	76,872	-141
Pérdida de producción	2,218,524	2,218,524	0
Relacionado con material	0	0	0
Costes de operación	2,247,763	2,295,396	-141
CCV TOTAL	18,094,314	17,937,170	15,699,859

Ejemplo de CCV: Cubierta

Coste del Ciclo de Vida de una cubierta^{33, 34, 35}



Sistema de cubierta convencional, ~30 años

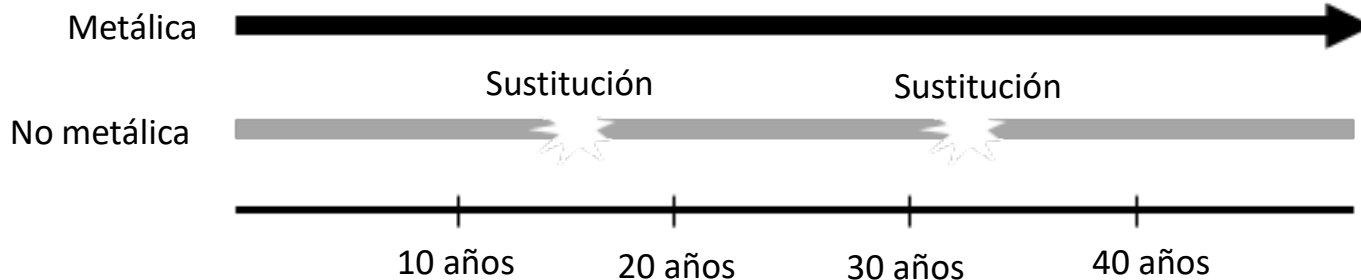


Sistema de cubierta metálica, 40-50 años



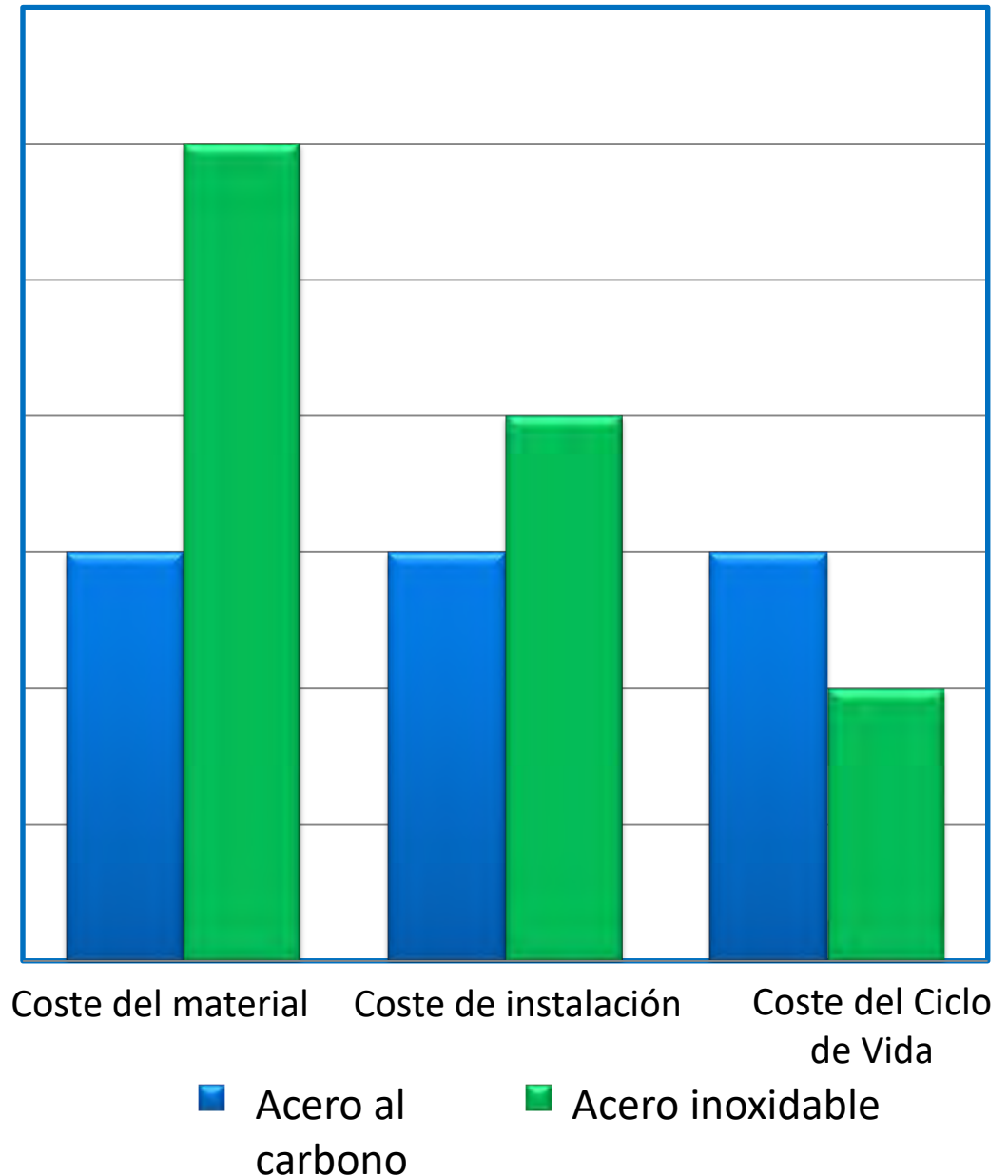
Sistema de cubierta en acero inoxidable, más de 50 años

+ 50 años



Ejemplo de CCV: Cubierta

Comparación de costes para un acero al carbono galvanizado de 0.6 mm y un acero inoxidable grado 1.4401 de 0.4 mm: Debido a las propiedades mecánicas del acero inoxidable, puede reducirse el espesor a 0.5 o 0.4 mm, lo que supone una reducción de peso (3.2 kg/m² para el acero al carbono con recubrimiento de 0.7 mm). Mientras que el acero al carbono recubierto tiene una vida útil de entre 15 a 20 años, la vida de servicio de cubiertas de acero inoxidable es generalmente la misma que la del edificio.



Arquitectura en Acero Inoxidable Eterna⁴³



Hotel Savoy, Londres, 1929



Edificio Empire State, Nueva York, 1931



Edificio Chrysler, Nueva York, 1930



Pasarela Hélice, Singapur, 2011






Torres Petronas, Kuala Lumpur



Cloud Gate "Jelly Bean", Chicago, 2008

Comparación del Coste de Ciclo de Vida ^{36, 37, 38, 39, 40}

Monumento	Finalizado	Material	Altura	Mantenimiento
Torre Eiffel – París 	1889 	Hierro forjado	324m	Cada 7 años. Cada campaña de pintado dura alrededor de un año y medio (15 meses). 50 a 60 toneladas de pintura, 25 pintores, 1500 brochas, 5000 discos de lijado y 1500 conjuntos de ropa de trabajo.
Edificio Chrysler (Cubierta y entrada) – Nueva York 	1930 (cubierta 1929)	Acero inoxidable austenítico (302)	319m	Dos veces en 1951, 1961. Se desconoce la solución para el lavado de 1961. En 1995 se empleó un detergente suave, un desengrasador y un abrasivo.

Qué hace al Acero Inoxidable “Verde”?

Evaluación medioambiental del Acero Inoxidable⁴¹

¿Cuál es el contenido de material reciclado?	60%
¿Es 100% reciclable?	Sí
¿Cuenta con una vida útil larga?	Sí (reduce la frecuencia de mantenimiento y colocación)
¿Existe contenido reciclado?	Sí (tanto post-consumidor como post-industrial)
¿Evita el depósito de los desechos de construcción en vertederos?	Sí (alto valor residual y potencial de reutilización de los productos)
¿Puede ser recuperado y reutilizado durante procesos de renovación?	Sí
¿Es un material de baja emisión?	Sí (no recubrimiento = cero emisión)
¿Puede ayudar a mejorar la calidad del aire en interiores?	Sí (no componentes orgánicos volátiles, eliminación de bacterias, conductos resistentes a la corrosión)
¿Ayuda a evitar el uso de materiales tóxicos?	Sí (barreras de larga duración contra termitas, mínima escorrentía en tejados)
¿Puede ahorrar energía?	Sí (protectores solares, cubiertas)
¿Puede ayudar a generar energía limpia?	Sí (paneles solares, depuradoras en plantas energéticas)
¿Puede preservar agua?	Sí (tanques y conductos de agua resistentes a la corrosión y terremotos)
¿Pueden los paneles reflectantes añadir luz natural?	Sí
¿Puede incrementar la vida útil de otros materiales?	Sí (anclajes en piedra y obra de fábrica, sujeciones para madera y metales de vida útil larga)

CONCLUSIONES

- La sostenibilidad es un gran e importante reto para el futuro de la industria del acero inoxidable. Se han realizado importantes esfuerzos para reducir su huella de carbono mediante el impulso de su reciclabilidad y mejora de procesos.
- El acero inoxidable presenta una combinación de propiedades que deberían tenerse en cuenta en los procesos de toma de decisiones de las fases de proyecto y diseño:
 - Propiedades mecánicas
 - Propiedades de resistencia a la corrosión
 - Resistencia frente a incendio
 - Reciclabilidad
 - Larga vida útil
 - Costes de mantenimiento bajos
 - Neutralidad e Higiene
 - Estética
 - Neutralidad al agua de lluvia

Referencias y fuentes

1. <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:a5cd469c-89cb-4d57-9ad8-13a0d86d65f0/Sustainability+indicator+definitions+and+relevance.pdf>
2. <http://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>
3. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
4. <https://www.gsa.gov/portal/content/101197>
5. Recycled content is defined in accordance with the ISO Standard 14021 -Environmental labels and declarations - Self declared environmental claims (Type II environmental labeling).
6. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/recycled-content/>
7. <http://www.fao.org/docrep/u2246e/u2246e02.htm>
8. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
9. Source: Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
10. B. Rossi. ArcelorMittal International Scientific Network in Steel Construction Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting, Bruxelles, 2010.
11. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
13. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
14. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>

Referencias y fuentes

15. ISSF [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel and CO2.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_and_CO2.pdf). Data from European and Japanese ISSF members
16. Based on 2013 data, including 60% scrap content (and therefore 40% new materials) and energy contribution to GHG
17. Data provided by ISSF, estimates calculated by SCM. Includes 60% recycled content
18. ISSF www.worldstainless.org. Data from European and Japanese ISSF members
19. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
20. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
21. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
22. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural.
23. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>
24. <https://www.drkarenslee.com/comparing-reusable-bottles-stainless-steel-glass-plastic/>
25. Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
26. The Greening of a Convention Centre. Nickel, Volume 23, Number 3, June 2008, 6-9.
27. <https://www.nickelinstitute.org/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgresopier.aspx>
28. International Stainless Steel Forum www.worldstainless.org
29. World Steel Association
30. A. Dusart, H. El-Deeb, N. Jaouhari, D. Ka, L.Ruf . Final Report ISSF Workshop. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2011.

Referencias y fuentes

31. http://www.ssina.com/download_a_file/lifecycle.pdf
32. <https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol-31-no1-2016/>
33. www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoofingTech_EN.pdf
34. <http://www.ametalsystems.com/RoofLifecycleCostComparison.aspx>
35. <http://www.metalroofing.com/v2/content/guide/costs/life-cycle-costs.cfm>
36. <https://www.tou Eiffel.paris/en>
37. https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel_Tower
38. <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
39. http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building#
40. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
41. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural. Construction Canada, September 2008, 58-72.
42. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
43. G. Gedge. Structural uses of stainless steel — buildings and civil engineering. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008), 1194–1198.
44. <http://www.metalsforbuildings.eu/>
45. <http://www.circle-economy.com/circular-economy/>
46. <http://www.irishenvironment.com/iepedia/circular-economy/>

Muchas gracias

Apéndice

Reciclaje de otros materiales

Es un problema complejo

Este apartado sólo pretende proporcionar algunas ideas sobre otros materiales para su comparación

Se detallan las fuentes de información

Más sobre el reciclaje: el cemento y el hormigón

<http://www.wbcdcement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf>

- Puede emplearse un máximo del 20% de hormigón reciclado en un hormigón nuevo
 - sólo como árido, no como cemento
 - por tanto, el hormigón resultante es de menor calidad, no apto para todas las aplicaciones
- Parece que la mayoría del hormigón va a parar a las capas de base de carreteras y vertederos tras su demolición (no hay figuras detalladas disponibles)
- El triturado del hormigón viejo y su transporte son las operaciones principales del reciclaje, las cuales deben compararse con la extracción local de árido.
- En general, el reciclaje siempre conlleva a un producto de menor calidad (downcycling).
- La reutilización de bloques tras la demolición del hormigón es una actividad marginal hoy en día, pero podría representar la ruta más directa para la reutilización sin downcycling. ¡Aunque no resulta fácil de implementar!

Más sobre el reciclaje: los plásticos

<http://www-g.eng.cam.ac.uk/impee/?section=topics&topic=RecyclePlastics&page=materials>

- **Desecho interno** (generado en las plantas de producción) actualmente se recicla cerca del 100%
- **El reciclaje de plásticos usados** es un gran problema:
 - La recolección requiere mucho tiempo, es muy cara.
 - Clasificar residuos de plástico mezclado es difícil – la contaminación es inevitable.
 - La eliminación de etiquetas, impresiones al 100% es prácticamente imposible.
 - La contaminación de cualquier tipo compromete la reutilización en aplicaciones de alta tecnología “hi-tech”
 - => los plásticos reciclados (aparte de desechos internos) se reutilizan en aplicaciones de menor grado (downcycling): PET: alfombras baratas, forros; PE y PP: bloques, bancos de parques
 - => y/o serán quemados o enterrados, o en el peor caso, dejados flotando en los océanos.

Más sobre el reciclaje: la madera (de ABC*)

- La mejor opción de reciclaje es, evidentemente, la reutilización. Parece que se está realizando un gran esfuerzo en la recogida, reacondicionamiento y re-fabricación de madera estructural y otros productos de madera. No obstante, la cantidad que se reutiliza no está clara.
- Se han encontrado un número creciente de nuevos usos para la madera estructural sin tratar: productos para la tierra y horticultura, lechos animales, superficies de pistas ecuestres...
- La madera estructural tratada (los tratamientos químicos previenen podredumbre, hongos, insectos y daños por UV) contiene componentes químicos dañinos, los cuales limitan considerablemente su uso. Se han empleado mayoritariamente en tableros de partículas, aunque su final de vida es aún incierto.
- Nótese que la deforestación globalizada que está sufriendo el planeta no augura una disponibilidad ilimitada de nueva madera, especialmente en los países nórdicos, en los que un árbol necesita un siglo para su completo desarrollo.

https://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/TWW_Final.pdf

<https://woodrecyclers.org/about-waste-wood/wood-recycling-information/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_preservation

<http://www.wasteminz.org.nz/wp-content/uploads/Scott-Rhodes.pdf>

<http://www.brighthub.com/environment/green-living/articles/106146.aspx>

*ABC: Architecture, Building and Construction