

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 <sup>1,2</sup>

- 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

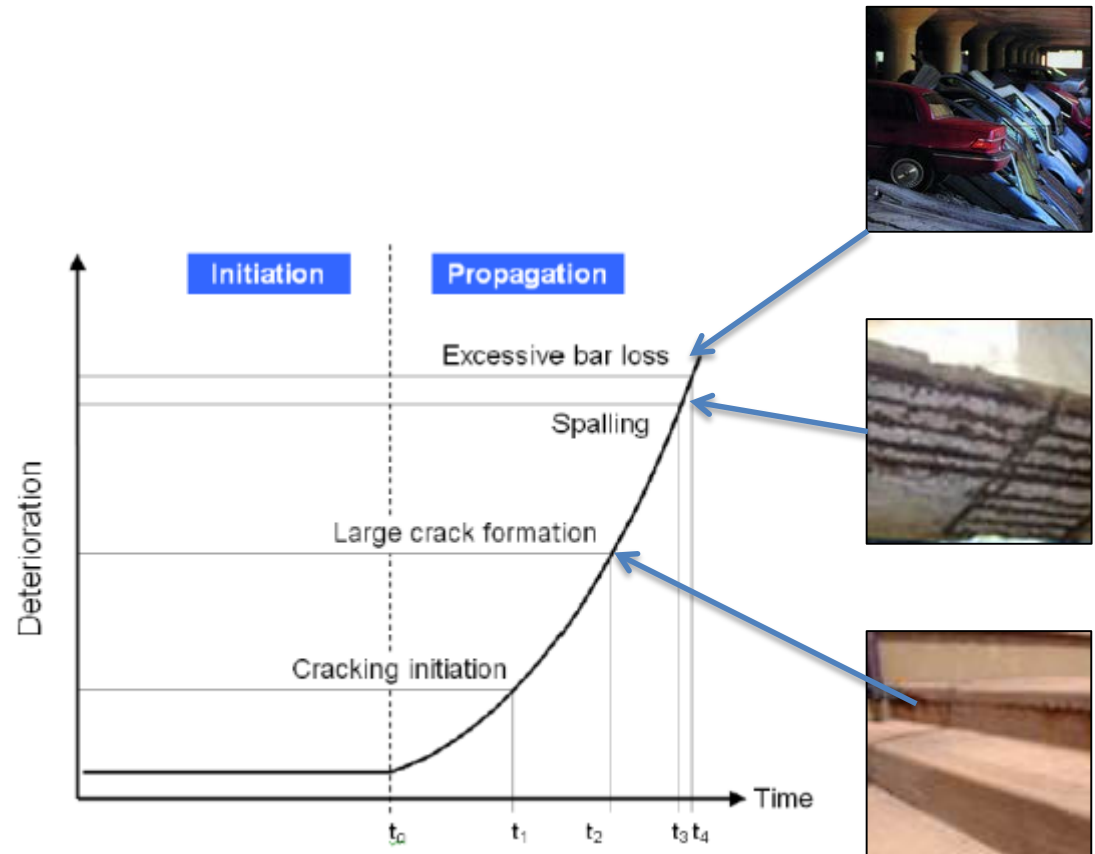


# Cómo el hormigón armado puede ser dañado como consecuencia de la corrosión

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

Pasos<sup>3</sup>:

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)<sup>5,6</sup>



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<sup>7,8</sup>

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- Macau<sup>9</sup>  
(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)<sup>10</sup>**

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

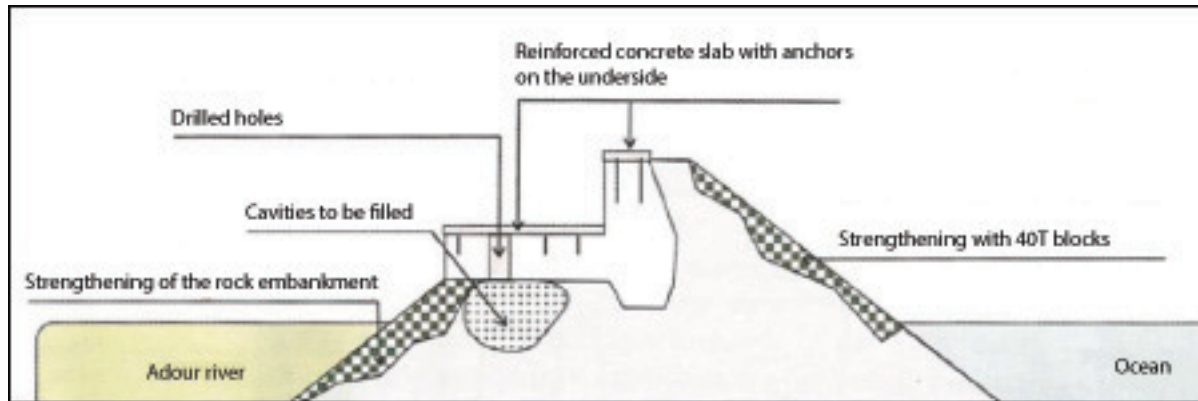
El lado que da al océano es mayor y está protegido por bloques de 40 tons que deben ser reemplazados a medida que las tormentas los van desgastando

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)<sup>11</sup>

## Reparación del rompeolas

## Principios de 2014, temporal sobre el dique





## Puente Stonecutters Hong Kong<sup>12,13</sup>

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)<sup>14</sup>**

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 corrugada<sup>15-20</sup>:

- 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 alternativas<sup>15-20</sup>

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

# Comparativa del corrugado inoxidable vs soluciones alternativas<sup>15-20</sup>

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

# 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](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](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.aeconline.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](http://www.arup.com/Projects/Stonecutters_Bridge.aspx) (stonecutters'bridge)
13. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters\\_Bridge\\_Case\\_Study-2.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters_Bridge_Case_Study-2.pdf) (stonecutters'bridge)
14. [http://www.cif.org/noms/2008/24\\_-\\_Ocean\\_Parkway\\_Belt\\_Bridge.pdf](http://www.cif.org/noms/2008/24_-_Ocean_Parkway_Belt_Bridge.pdf) (belt parkway bridge)
15. Béton Armé d'innox: Le Choix de la durée (French) <http://www.infociments.fr/publications/ciments-betons/collection-technique-cim beton/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](http://www.ukcares.com/downloads/guides/PART7.pdf)
18. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education\\_references/Ref19\\_Case\\_study\\_of\\_progreso\\_pier.pdf](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](http://americanarminox.com/Purdue_University_Report_-_Stainless_Steel_Life_Cycle_Costing.pdf) (advantages of using ss rebar)
21. <http://www.stainlesssteelrebar.org>



Gracias