



"Corrosión y Sistemas de Protección de Estructuras de Acero, en zonas extremas de Chile"

¿El mayor consumidor de acero en el mundo?

La corrosión

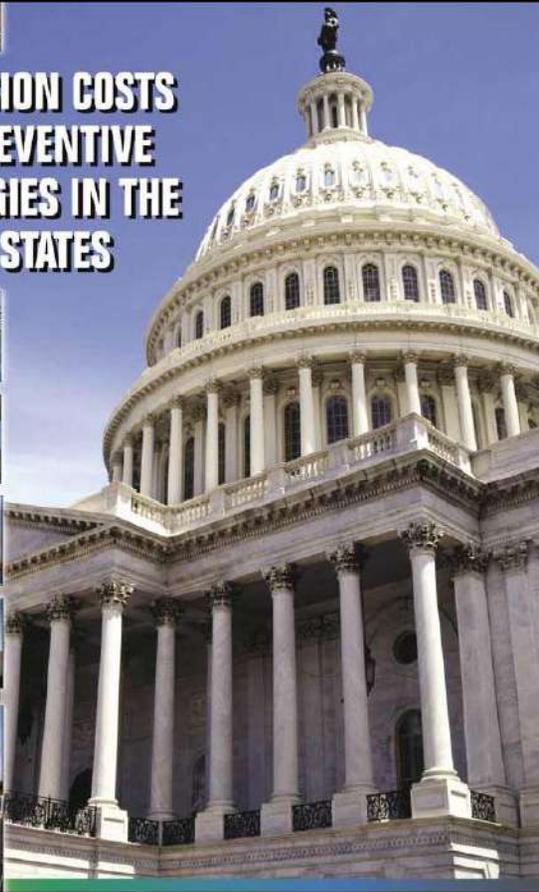
bbosch



El Acero volverá a su estado original de oxidación.



**CORROSION COSTS
AND PREVENTIVE
STRATEGIES IN THE
UNITED STATES**



bbosch

Costo directo de la corrosión
US\$ 276 Billones en EEUU
3,1 % PIB

Costos directos = Costos indirectos

US\$ 552 billones o 6,2%PIB

1998

2016

1,1 trillón de dólares

Dr. Joshua E. Jackson, G2MT Labs.

G2MT Laboratories *Not just a lab: the next generation of metallurgy*

<http://www.g2mtlabs.com/corrosion/cost-of-corrosion/>

Efectos de la Corrosión

Daño prematuro estructural en las instalaciones

Riesgo de accidentes en reparaciones

Altos costos de mantención preventiva y correctiva

Costos por detención de faena

➤ Los principales resultados del plan son:

- ✓ Desde el año 2004 a 2015, se han protegido de la corrosión 125,175 m² de estructuras
- ✓ Los costos asociados a esta mantención en el periodo son US\$ 18,400,000
- ✓ Se han utilizado 480,000 HP, sin accidente ni incidentes ambientales.

Puerto Punta Chungo



Usted...

¿Se afirmaría de esta baranda?

bbosch



Protección contra la Corrosión
ISO 14713-1/ISO 12944-2/NCh 3348-1

Categoría de corrosividad C Tasa de corrosión para zinc (basado en exposiciones de un año), r_{corr} ($\mu\text{m} \times \text{a}^{-1}$) y nivel de corrosión	Ambientes típicos (ejemplos)	
	Interiores	Exteriores
C1 $r_{corr} \leq 0,1$ Muy bajo	Los espacios calentados con una humedad relativa baja y una contaminación insignificante, por ejemplo, oficinas, escuelas y museos	Zona seca o fría, ambiente atmosférico con una contaminación y tiempo de humedad muy bajos, por ejemplo, ciertos desiertos, la zona central del Artico/Antártica
C2 $0,1 < r_{corr} \leq 0,7$ Bajo	Los espacios sin calefacción con temperatura variante y humedad relativa. Frecuencia baja de condensación y contaminación baja, por ejemplo, almacenamiento o instalaciones deportivas	Zona temperada, ambiente atmosférico con contaminación baja ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por ejemplo, áreas rurales y pueblos pequeños. Zona seca o fría, ambiente atmosférico con breve tiempo de humedad, por ejemplo, desiertos o áreas sub árticas
C3 $0,7 < r_{corr} \leq 2$ Medio	Espacios con una frecuencia moderada de condensación y contaminación moderada de un proceso productivo, por ejemplo, plantas procesadoras de alimentos, lavanderías, fábricas de cerveza y lecherías	Zona temperada, ambiente atmosférico con una contaminación media ($\text{SO}_2: 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o algún efecto de cloruros, por ejemplo, áreas urbanas, áreas litorales con depósito bajo de cloruros, zonas subtropicales y tropicales con atmósferas con contaminación baja

Categoría de corrosividad C Tasa de corrosión para zinc (basado en exposiciones de un año), r_{corr} ($\mu\text{m} \times \text{a}^{-1}$) y nivel de corrosión	Ambientes típicos (ejemplos)	
	Interiores	Exteriores
C4 $2 < r_{corr} \leq 4$ Alto	Espacios con una alta frecuencia de condensación y alta contaminación de un proceso productivo, por ejemplo, plantas de procesamientos industriales, piscinas.	Zona temperada, ambiente atmosférico con una contaminación alta (SO_2 : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o efecto sustancial de cloruros, por ejemplo, áreas urbanas contaminadas, áreas industriales, áreas litorales sin rocío salino, exposición a efecto fuerte de sales descongelantes, zonas subtropicales y tropicales con la atmósfera con contaminación media
C5 $4 < r_{corr} \leq 8$ Muy alto	Los espacios con frecuencia muy alta de condensación y/o con contaminación alta de un proceso productivo, por ejemplo, minas, tuneles para fines industriales, cobertizos sin ventilación en zonas subtropicales y tropicales	Zonas temperadas y subtropicales, ambiente atmosférico con una contaminación muy alta (SO_2 : $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y/o efecto importante de cloruros, por ejemplo, áreas industriales, áreas litorales y emplazamientos protegidos en línea costera
CX $8 < r_{corr} \leq 25$ Extremo	Espacios con una condensación casi permanente o períodos extensivos de exposición a efectos de humedad extrema y/o con contaminación alta de un proceso productivo, por ejemplo, cobertizos sin ventilación en zonas tropicales húmedas con penetración de contaminación exterior, incluidos cloruros y material particulado que estimulan la corrosión	Zonas tropicales y subtropicales (tiempo de humectación), ambiente atmosférico con una contaminación muy alta (SO_2 mayor que $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$), incluidas la contaminación respectiva y productiva y/o el efecto fuerte de cloruros, por ejemplo, áreas industriales extremas, áreas costeras y marinas con contacto ocasional con niebla marina

CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD



Ambiente	Pérdida promedio de acero (g/m ² /año)	Pérdida promedio de acero (um/año)	Pérdida promedio de Zn g/m ² /año	Pérdida promedio de Zn (um/año)
C1 muy baja	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1
C2 baja	10 a 200	1,3 a 25	0,7 a 5	0,1 a 0,7
C3 media	200 a 400	25 a 50	5 a 15	0,7 a 2,1
C4 alta	400 a 650	50 a 80	15 a 30	2,1 a 4,2
C5-I muy alta industrial	650 a 1500	80 a 200	30 a 60	4,2 a 8,4
C5-M muy alta marina	650 a 1500	80 a 200	30 a 60	4,2 a 8,4
CX Extrema	>1500	>200	60 a 180	8,4 a 25

ISO 12944-2

Durabilidad



Tabla 2 – Vida hasta el primer mantenimiento para una selección de sistemas de recubrimiento en un rango de categorías de corrosividad

Sistema	Norma de referencia	Espesor mínimo μm	Categoría elegida de corrosividad (ISO 9223) vida mín./máx. (años) y clase de durabilidad (MB, B, M, A, MA)							
			C3		C4		C5		CX	
Galvanización en caliente	NCh3346	85	40/>100	MA	20/40	MA	10/20	A	3/10	M
		140	67/>100	MA	33/67	MA	17/33	MA	6/17	A
		200	95/>100	MA	48/95	MA	24/48	MA	8/24	A
Chapa galvanizada en caliente	EN 10346	20	10/29	A	5/10	M	2/5	B	1/2	MB
		42	20/60	MA	10/20	A	5/10	M	2/5	B
Chapa electrodepositada	ISO 2081	5	2/7	B	1/2	MB	1/1	MB	0/1	MB
		25	12/36	A	6/12	M	3/6	M	1/3	MB

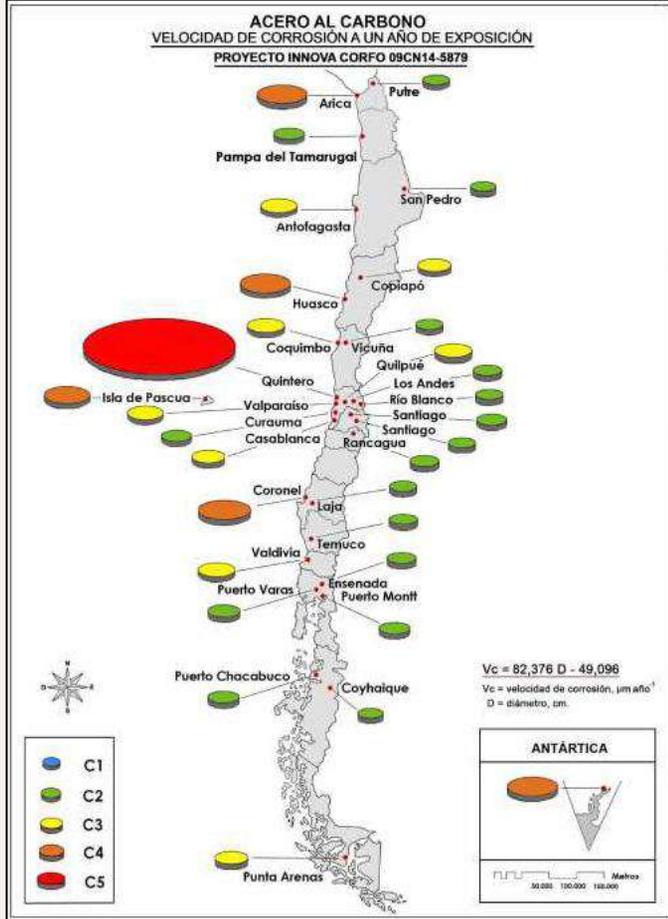
ISO 14713-1/NCh 3348-1

FACTORES QUE DETERMINAN LA CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA (ISO 9223)



1. Humedad ambiental
(tiempo de humectación)
2. Concentración de cloruros
3. Concentración de dióxido
de azufre

MAPA DE LA CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA DE CHILE PUCV 2010-2013



Galvanizado por Inmersión en Caliente

Recubrimiento de zinc sobre el acero unido metalúrgicamente.

bbosch

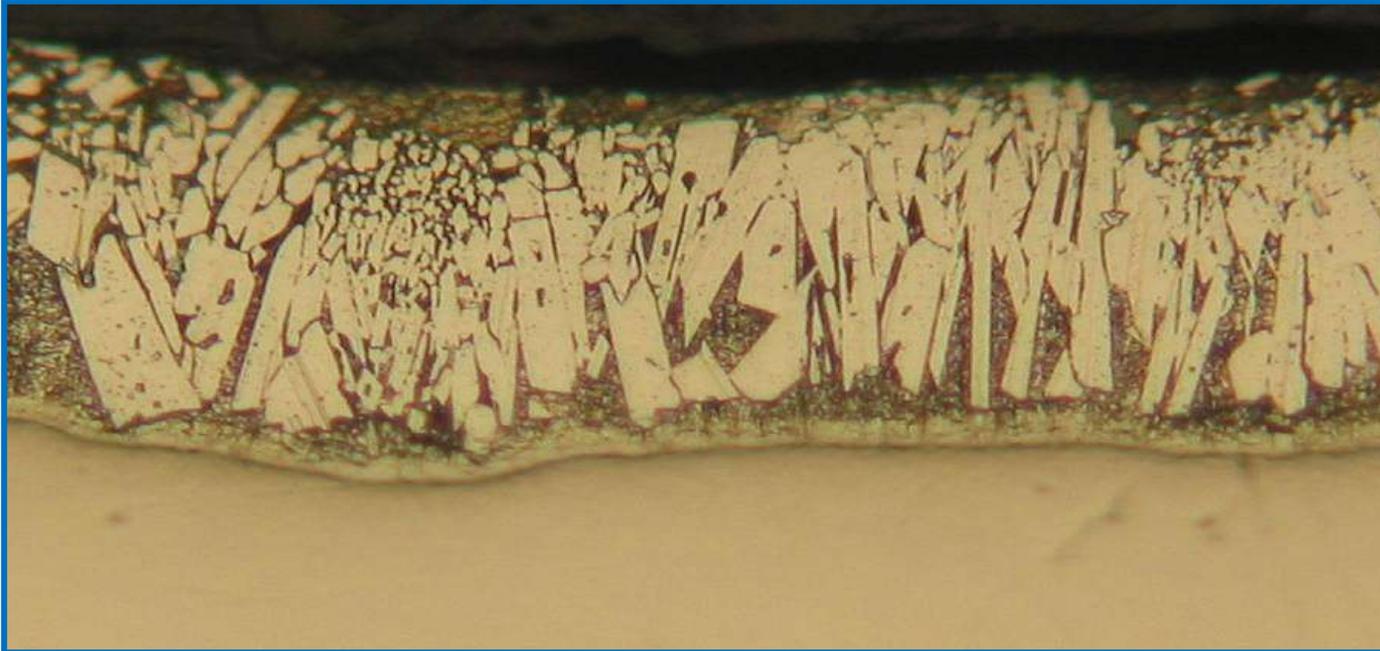


- **Protección de Barrera.**
- **Protección catódica por Sacrificio.**

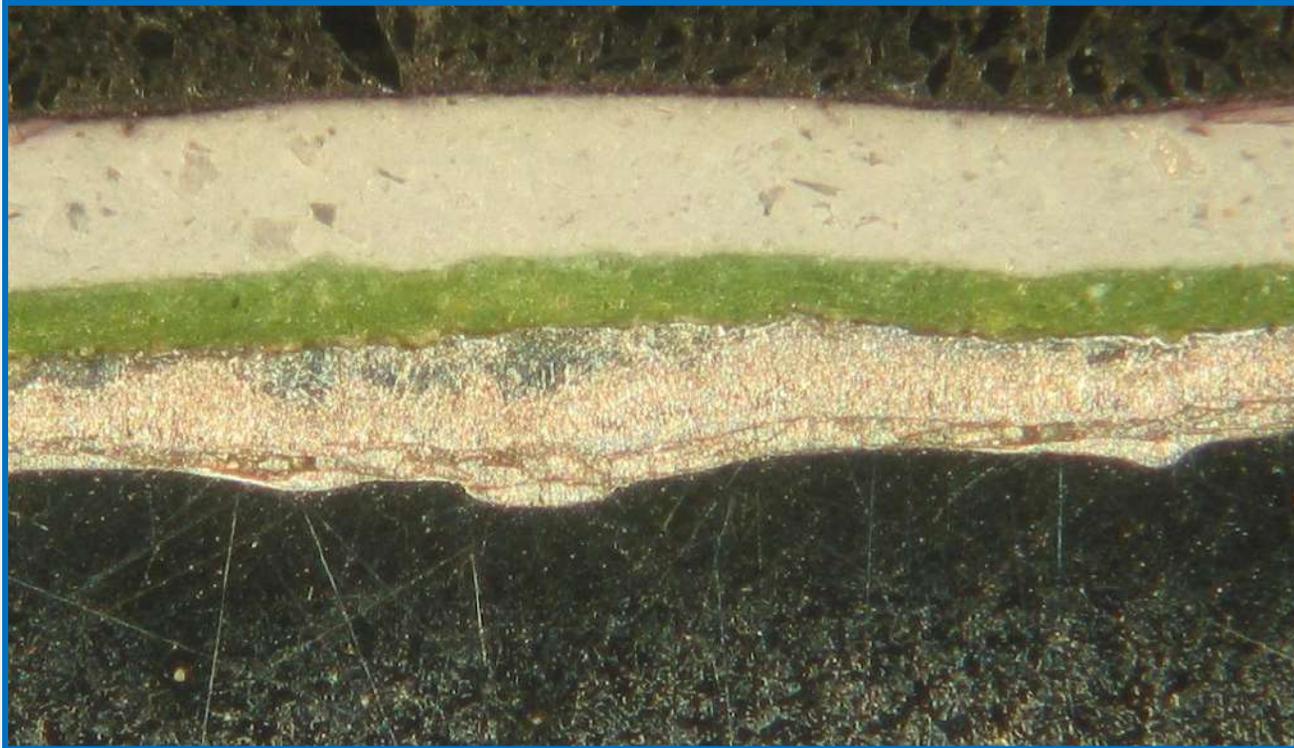
<https://www.youtube.com/watch?v=l62JaJ4MG6c>



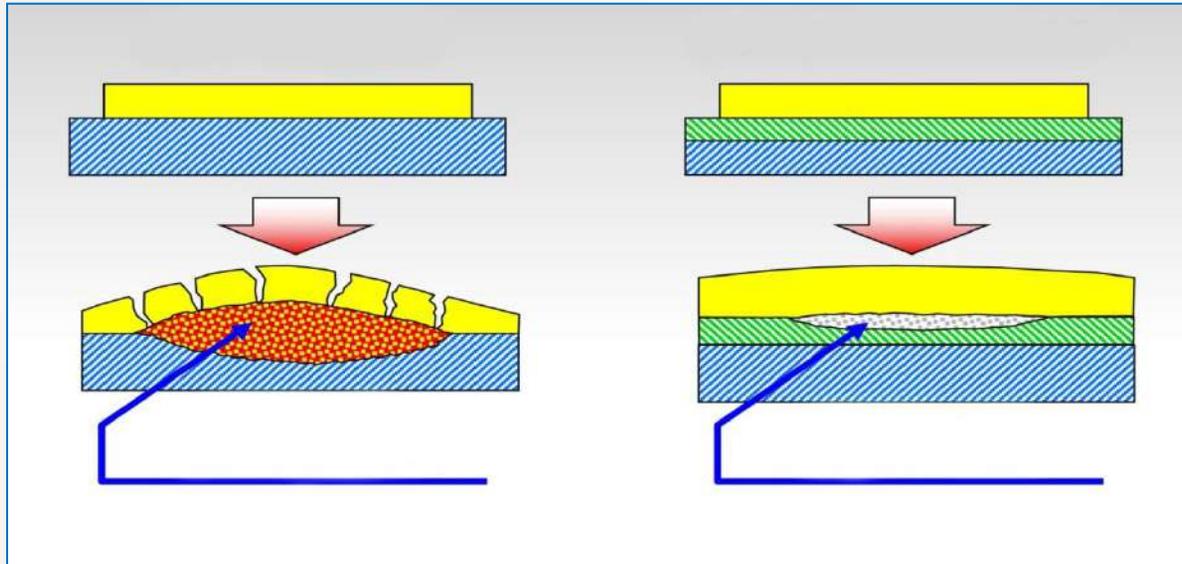
Galvanizado por Inmersión en Caliente



Sistemas Dúplex



Sinergia de los Sistemas Dúplex



1500 g/m²/año
200 μm/año

60 g/m²/año
8 μm/año

Sinergia de los Sistemas Dúplex

$$D_{\text{duplex}} = 1.5-2.7(D_{\text{zinc}} + D_{\text{pintura}})$$

D_{duplex} = Vida de servicio del sistema duplex

D_{zinc} = Vida de servicio del galvanizado

D_{pintura} = Vida de servicio de la pintura

Factor Sinérgico	Rango	
Minería - Energía/ Marino	1,5	2
Agua de mar (inmersión)	1,5	1,6
Clima no agresivo	2	2,7

(Ref. J.F.H. van Eijnsbergen, Duplex Systems, pag. 11, 1994).

Normas Chilenas

NORMA
CHILENA

NCh
3348/1

Primera edición
2014.03.31

Recubrimientos de zinc — Orientaciones y recomendaciones para la protección en contra de la corrosión de hierro y acero en estructuras — Parte 1: Principios generales de diseño y resistencia a la corrosión

Zinc coatings - Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures - Part 1: General principles of design and corrosion resistance

NORMA
CHILENA

NCh
3348/2

Primera edición
2014.03.31

Recubrimientos de zinc — Orientaciones y recomendaciones para la protección en contra de la corrosión de hierro y acero en estructuras — Parte 2: Galvanización en caliente

Zinc coatings - Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures - Part 2: Hot dip galvanizing

**NORMA
CHILENA**

**NCh
3346**

Primera edición
2013.10.25

**Recubrimientos de galvanización en caliente
sobre piezas de hierro y acero - Requisitos y
métodos de ensayo**

*Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles -
Requirements and test methods*

**NORMA
CHILENA**

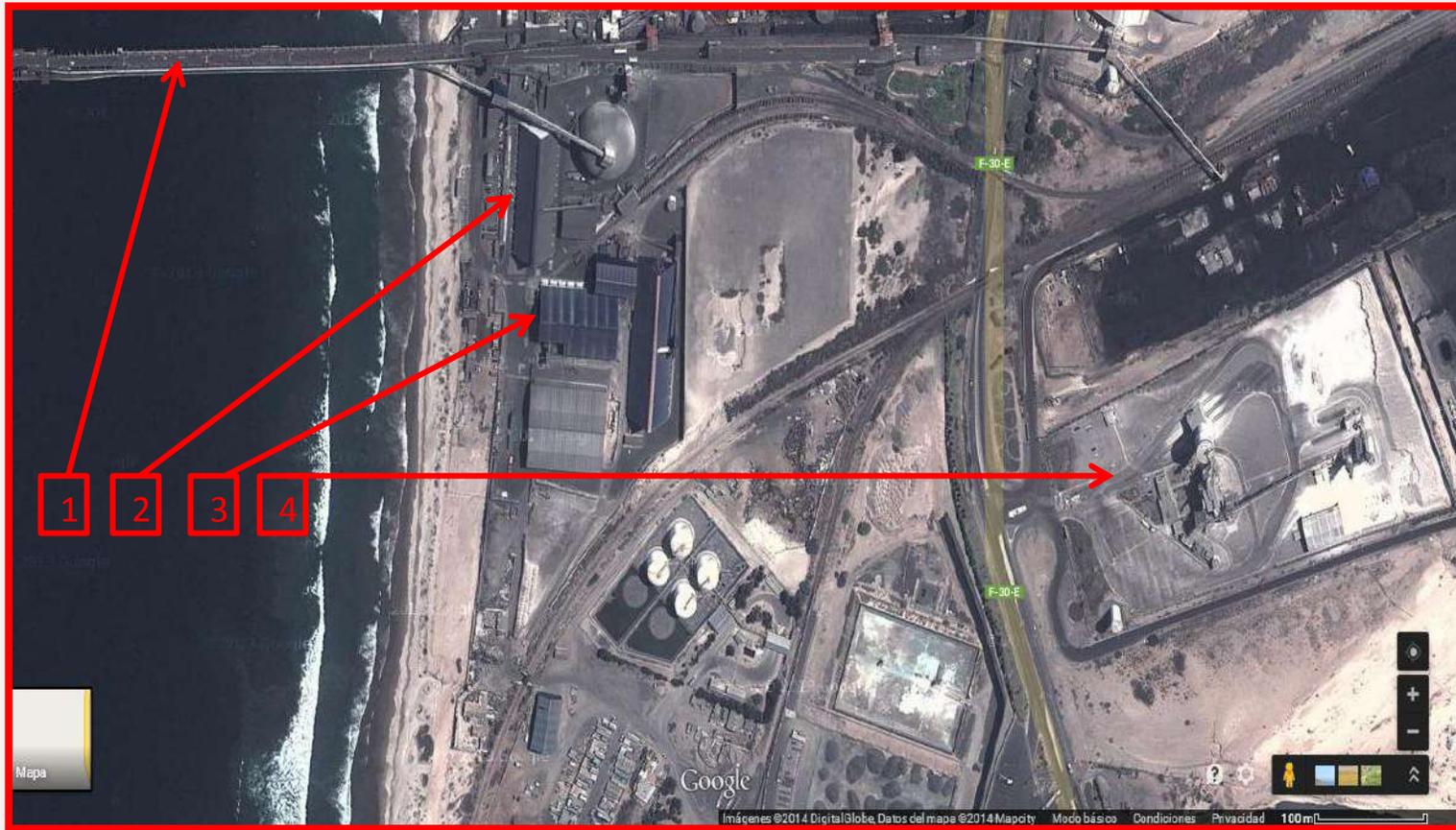
NCh3347

Primera edición
2013.10.25

**Reparación de áreas dañadas y sin
revestir de revestimientos galvanizados
en caliente**

*Repair of damaged and uncoated areas of hot-dip galvanized
coatings*

APLICACIONES



Puerto Ventanas 1969-1970

Estructuras de Bodega Andina y correas transportadoras
Protegidas con sistemas dúplex



Bodega de Codelco Andina
45000 ton; Concentrado de
Cobre



Puerto Ventanas 1969-1970
Correa Transportadora bajo Bodega Andina

CERO
Mantenimiento en esta zona
desde su puesta en marcha
1970



Bodega de AngloAmerican 2001
30.000 tm; Concentrado de Cobre ,
Protegida con Galvanizado por Inmersión en Caliente



Bodega de AngloAmerican 2001



La integridad del recubrimiento, permite proyectar esta estructura libre de mantenimiento.

Cemento Melón Ventanas, 2010

Estructuras de edificios y correas transportadoras

Protegidas con sistemas dúplex



Interacid 2007

Estructuras superiores de muelle con sistemas dúplex



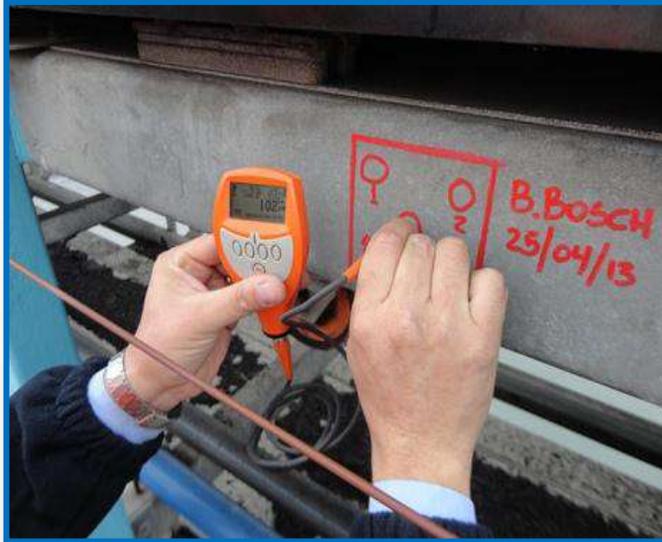
Estructura galvanizada inferior en puente de acceso.

Medición	2011	2012
Espesor promedio medido del recubrimiento	208 μm	201 μm

Estructuras inferiores con Galvanizado en caliente

Portuaria Cabo Froward , 2009

Estructuras de muelle con Galvanizado en Caliente



Punto: Diagonal aledaña a baranda BR 108 Estructura galvanizada Muelle Chollin, Cabo Froward

Nov 2010	147	150	142	148	148	Promedio	147 μm
Abr 2013	145	141	142	141	141	Promedio	142 μm

Rio Mayer 1996

Puente Augusto Grosse
Cuerpo Militar del Trabajo



Coyhaique 2008

Puente Piedra del Indio

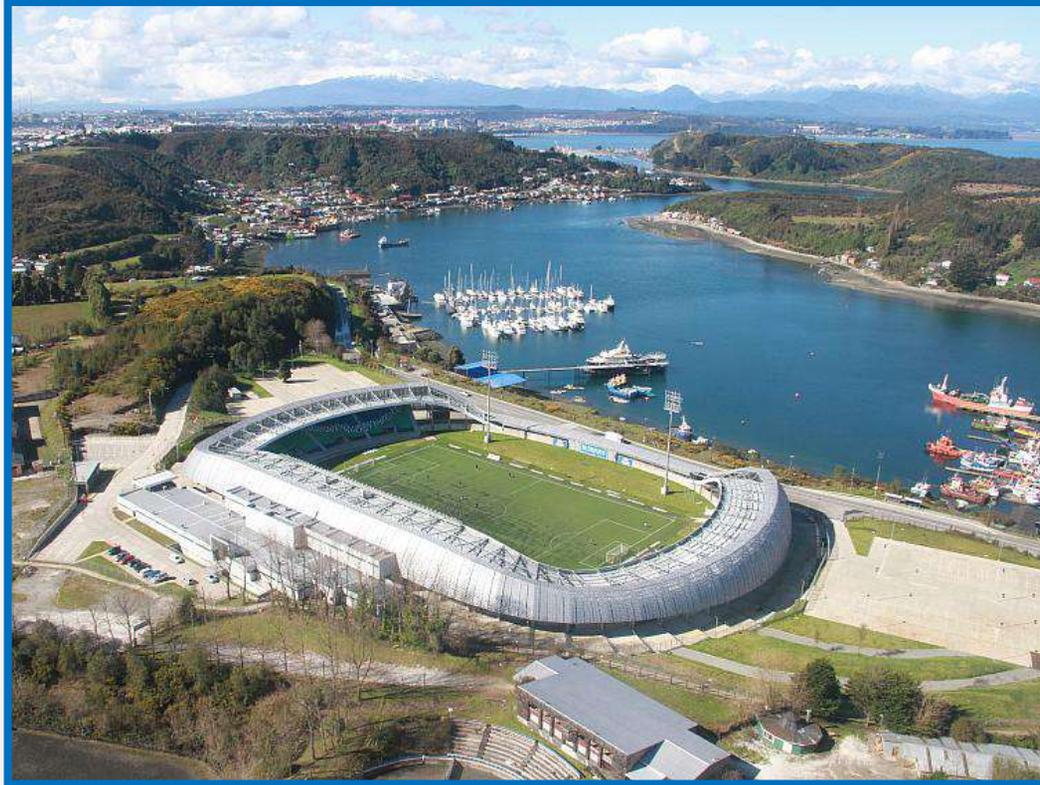




Calbuco 2008 Pasarela San Antonio

bbosch





Aeropuerto El Tepual de Puerto Montt, 2009

bbosch



Instituto Alemán P. Montt.

bbosch





Iglesia en Llanquihue



Maestranza Wavemaster

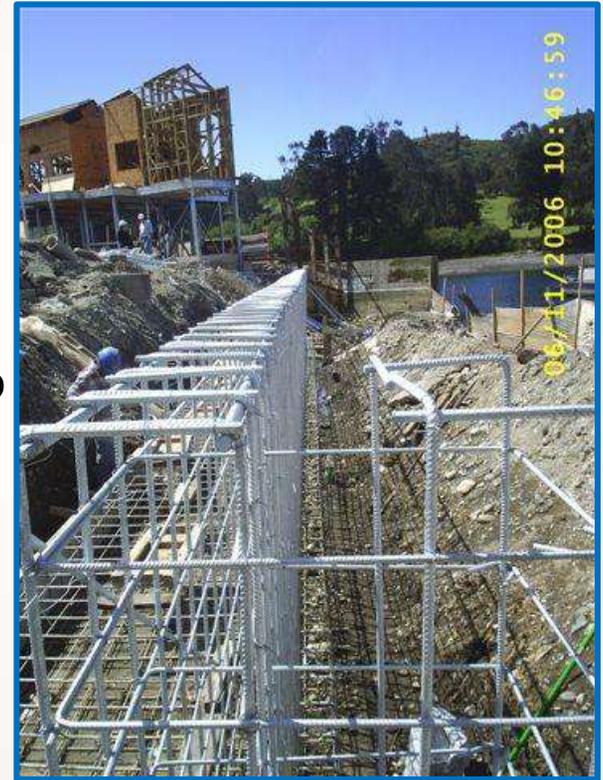




San Antonio



Providencia



Angelmó



MINVU Puerto Montt



Sale Corrosión



Entra Protección



bbosch

www.bbosch.cl