

*Laboratorio de Corrosión  
Instituto de Química  
Facultad de Ciencias*



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

## *CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE ACERO*

[pucv.cl](http://pucv.cl)

**1<sup>a</sup> Mesa de Trabajo, Círculo de Galvanizadores de ASIMET**

**M. Sc. Rosa Vera Aravena**  
email: [rosa.vera@pucv.cl](mailto:rosa.vera@pucv.cl)

**18 de junio 2019,  
Santiago**



**Destrucción o deterioro de un material metálico (puro o aleación) a causa de su reacción con el medio ambiente**



# PROCESO ESPONTÁNEO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO

Proceso inverso de la metalurgia extractiva, en virtud de la cual los materiales metálicos tienden a volver al estado combinado, en el que se encuentran en la naturaleza

## CICLO DE LOS MATERIALES METÁLICOS



Espontaneidad del proceso de corrosión.



## Cargador colapsa en Puerto Patillos

16 Mayo, 2019

Por Redacción PortalPortuario.cl

@PortalPortuario

¿Encontraste un error? Avisanos



Un cargador colapsó en Puerto Patillos, a sur de Iquique sin dejar personas fallecidas, pero sí una con algunas lesiones de carácter leve.

Si bien, en principio se reportaron personas atrapadas y lesionadas, no se produjeron daños a terceros.

Según los primeros reportes, la situación se produjo durante una faenas de carga de sal de un buque granelero, cuando una infraestructura donde se traslada el material se desplomó este 16 de mayo.

Ante esta situación, unidades de Bomberos de Iquique se dirigieron al lugar del accidente, para sumarse a las labores de las entidades entidades en esta emergencia.

Al respecto, el capitán de Puerto de Patache, Horacio Hurtado, señaló a PortalPortuario.cl que "acudimos de forma inmediata y comprobamos efectivamente que la infraestructura había colapsado y gran parte de ella estaba sobre el buque que estaba cargando".

"Inmediatamente constatamos que no había gente ni herida, ni atrapada o en el agua, ni mucho menos fallecidas, que era lo más importante", confirmó Hurtado.

En tanto, el capitán de Puerto Patache reportó que el incidente dejó una persona afectada con lesiones leves.

"Estuve con la persona, la vi y la verdad es que la inspección a simple vista no presentaba mayores daños. Estaba bastante shockeado, asustado, por supuesto, pero él se desembarcó por sus propios medios de la estructura y tenía un golpe en una pierna, pero nada más afortunadamente. Entiendo que por procedimiento igual fue derivado al hospital a la persona, para

Newsletter



Trabajando juntos por  
un mejor puerto y una  
mejor ciudad

PortalPortuario  
www.portalportuario.cl

PUERTO ANTO



WWW.SAAM.COM

CONECTANDO  
AMÉRICA CON  
EL MUNDO



www.iti.cl

www.cimalogistic.com



TCVAL



16:18  
29-05-2019

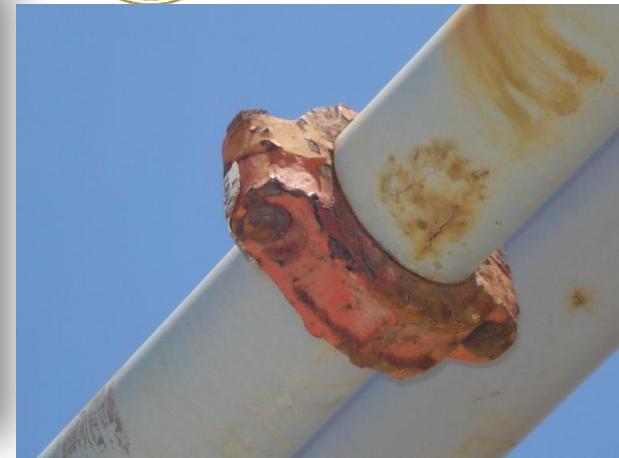
# CORROSIÓN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
**CATOLICA**  
DE VALPARAISO



# CORROSIÓN



PONTIFICA UNIVERSIDAD  
**CATOLICA**  
DE VALPARAISO



Costos de la corrosión en:

- EEUU: 3,1% del PNB <sup>(1)</sup>.
- Japón: 1,2% del PNB <sup>(2)</sup>.
- Colombia: 1,3% del PIB <sup>(3)</sup>.

Costos a nivel mundial entre 2 – 4%<sup>(4)</sup>.

1. NACE International, Federal Highway Administration (FHWA) and CC Technologies Laboratories.

2. Japan Society of Corrosion Engineering (JSCE) and the Japan Association of Corrosion Control (JACC).

3. Cuervo T., Joaquín; Delgado L., Juan; Herrera B., Francisco J. y Arroyave P. Carlos E. (1998). Indicadores de los costos de la corrosión en Colombia. Revista número 33 de Contaduría de la Universidad de Antioquia.

4. Morcillo L., Manuel (1991). Entrevista personal. Investigador del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas en Madrid. Colombia.



## Importancia



### Costos



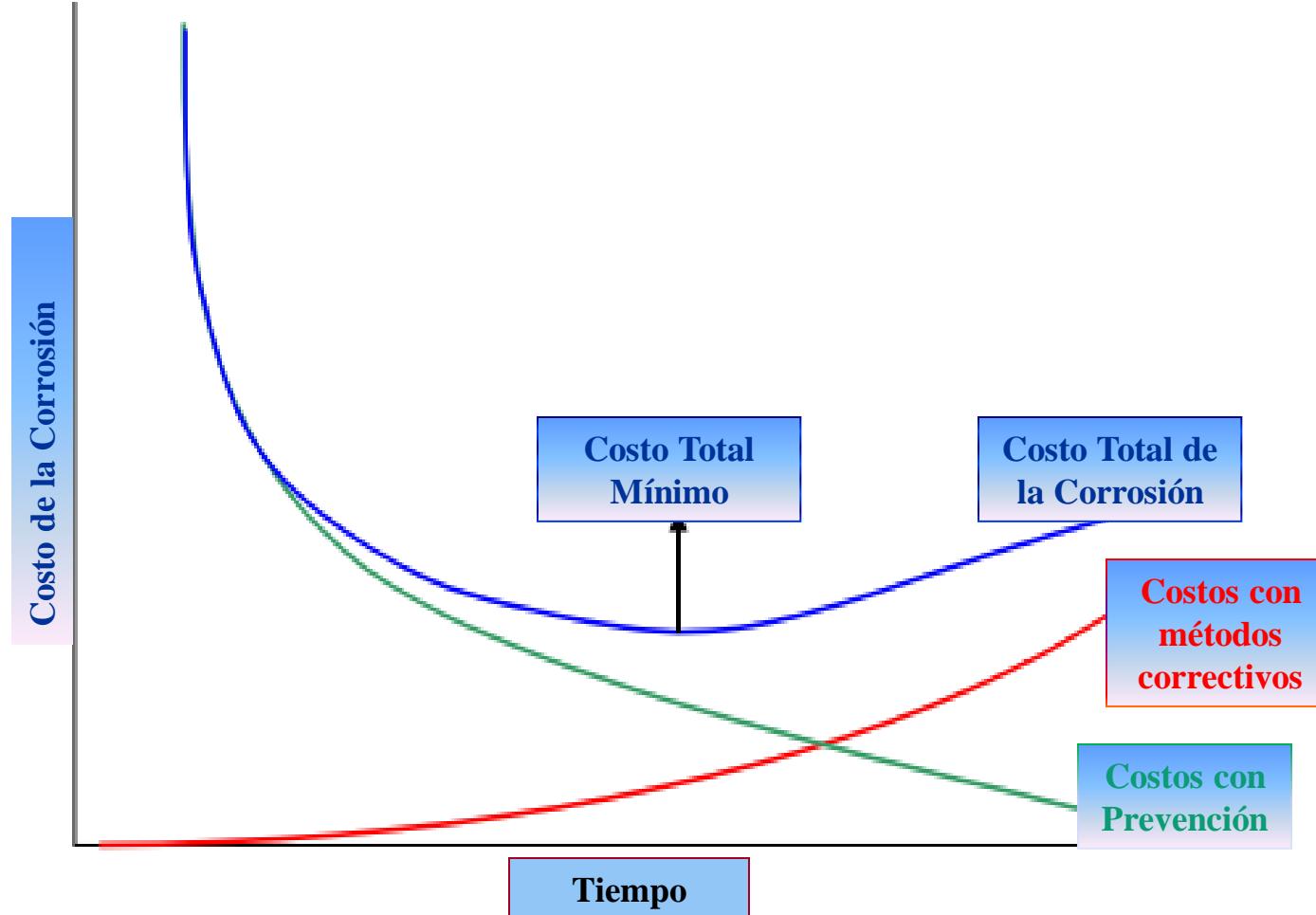
#### Económicos

- Mantenimiento
- Reemplazo de equipos
- Interrupción de Procesos
- Contaminación de productos
- Pérdida de Tiempo



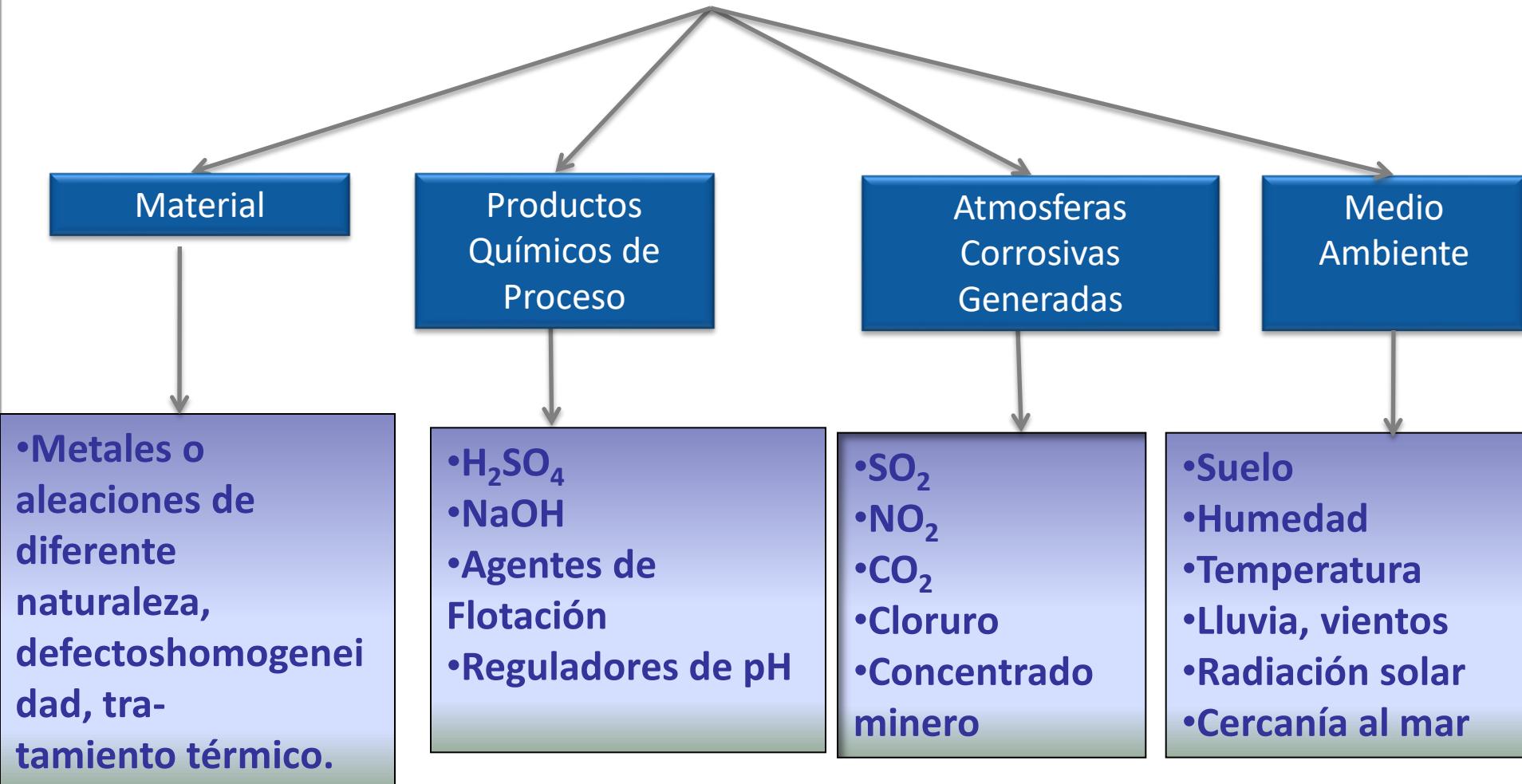
#### Sociales

- Seguridad
- Pérdida de vidas humanas
- Contaminación ambiental
- Pérdida de recursos naturales
- Patrimonio cultural
- Apariencia





## Factores responsables de la Corrosión





## Serie Galvánica en Agua de Mar

Noble o  
Catódico



Platino  
Oro  
Grafito  
Titanio  
Plata  
Hastelloy C (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)  
Acero Inoxidable 18-8 Mo (pasivo)  
Acero Inoxidable al Cr (11-30% Cr) (Pasivo)  
Inconel (pasivo) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)  
Niquel (pasivo)  
Monel (70 Ni, 30 Cu)  
Cu-Ni (69-90 Cu, 40-10 Ni)  
Bronces (Cu-Sn)  
Cobre  
Latones (Cu-Zn)  
Hastelloy B (60Ni, 30Mo, 6 Fe 1 Mn)  
Estaño  
Plomo  
Acero Inoxidable 18-8 Mo (activo)  
Acero Inoxidable 18-8 (activo)  
Acero Inoxidable al Cr (13% Cr) (activo)  
Hierro fundido  
Acero dulce  
Aluminio 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 6 Mn)  
Cadmio  
Aluminio puro comercial  
Zinc  
Magnesio y aleaciones

Activo o  
Anódico





## Acciones usadas para el Control de la Corrosión



## Construcción de Materiales



- ✓ Considerar que aleación sea resistente al medio al cual será sometido, durante la construcción
- ✓ Control riguroso de espesor de recubrimiento, pruebas de calidad.
- ✓ Control del proceso por el cual se lleva a cabo el recubrimiento. ( $H^\circ, T^\circ$ )
- ✓ Geometría que permita evitar la acumulación de humedad y partículas volátiles.

## Transporte de Materiales



- ✓ Considerar Embalaje con tecnología de inhibidores de corrosión.
- ✓ Cuidadosa disposición de piezas en bodegas:  
Protección rayos UV → degradación de polímeros protectores.  
Atmósferas marinas → Corrosión  
Control de la humedad → Corrosión

# Instalación y Ejecución de Proyectos



## Instalación:

- ✓ Riguroso cuidado en el daño de revestimientos,
- ✓ Uso de accesorios de sujeción compatibles con la pieza principal.



[www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl](http://www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl)

**PROYECTO INNOVA:  
CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA DE CHILE**

Inicio    Estaciones    Mapas    Mantenedores    Quiénes somos    Acerca del proyecto    ACHCORR    Cerrar Sesión



**ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

Código: 09CN14-5879  
Nombre: Construcción De Mapas De Corrosividad Atmosférica De Chile Para Los Metales Y Aleaciones De Mayor Interés Tecnológico, Que Permitan Seleccionar De Manera Óptima Los Materiales A Utilizar En Las Diferentes Zonas Ambientales Del País  
Desarrollador: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

**OBJETIVOS DEL PROYECTO**

**OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO.**

Construir mapas de índice de agresividad atmosférica y de corrosividad atmosférica, basado en la agresividad ambiental, para los metales o aleaciones que, en su conjunto, constituyen los de mayor interés tecnológico: acero, cobre, aluminio y acero galvanizado, con el fin de seleccionar de manera óptima los materiales a utilizar en estructuras metálicas en diferentes zonas ambientales del país.

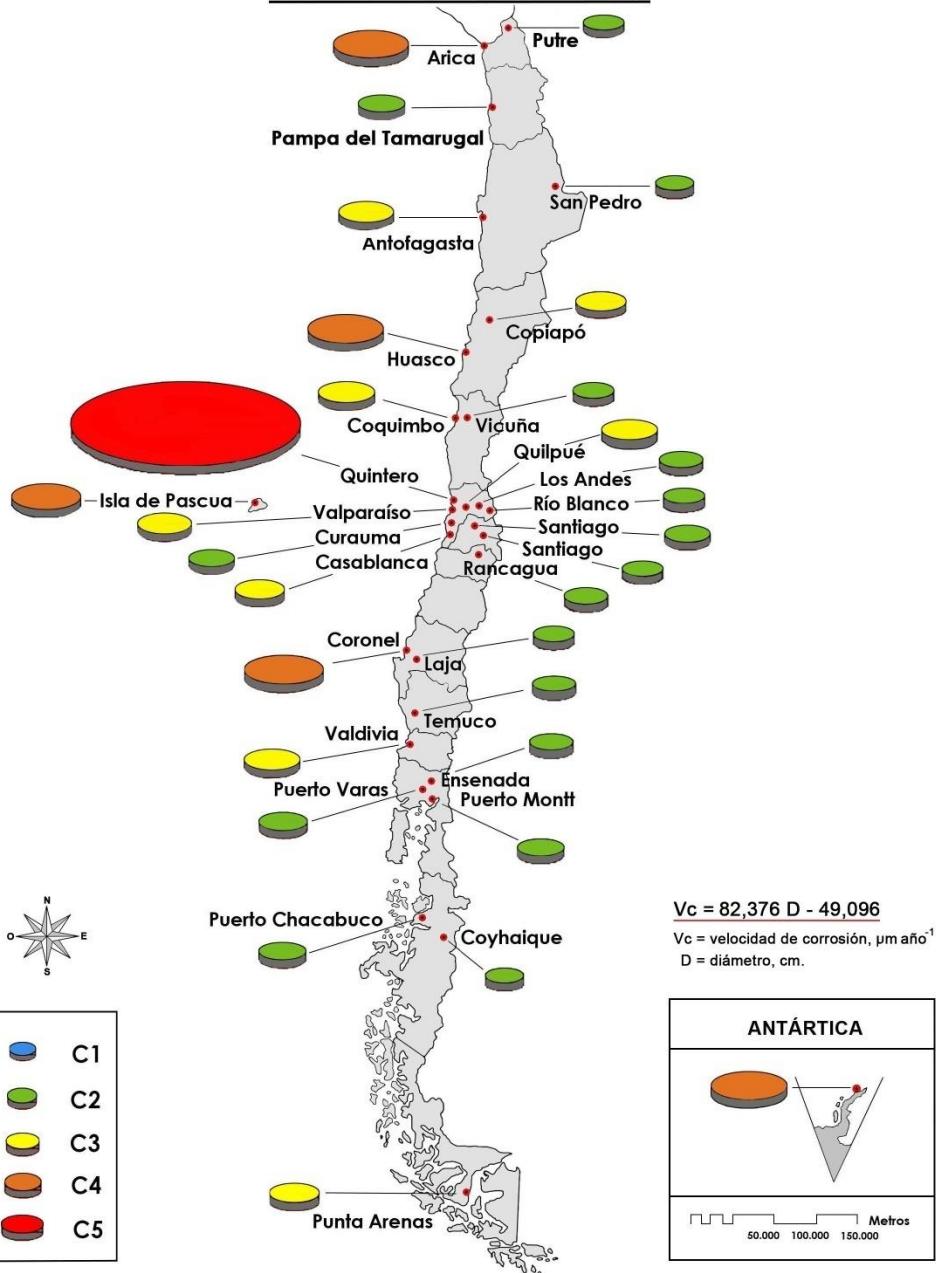
**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Clasificar el territorio nacional en distintas zonas geográficas en base a la agresividad atmosférica (norma ISO 9223), considerando la información meteorológica existente (temperatura, humedad relativa, tiempo de humidificación) y la medición de contaminantes atmosféricos (cloruro y dióxido de azufre), como también, de la cantidad de lluvia caída, velocidad del viento y radiación solar.

**Proyecto 09CN14-5879**

**ACERO AL CARBONO**  
VELOCIDAD DE CORROSIÓN A UN AÑO DE EXPOSICIÓN

PROYECTO INNOVA CORFO 09CN14-5879



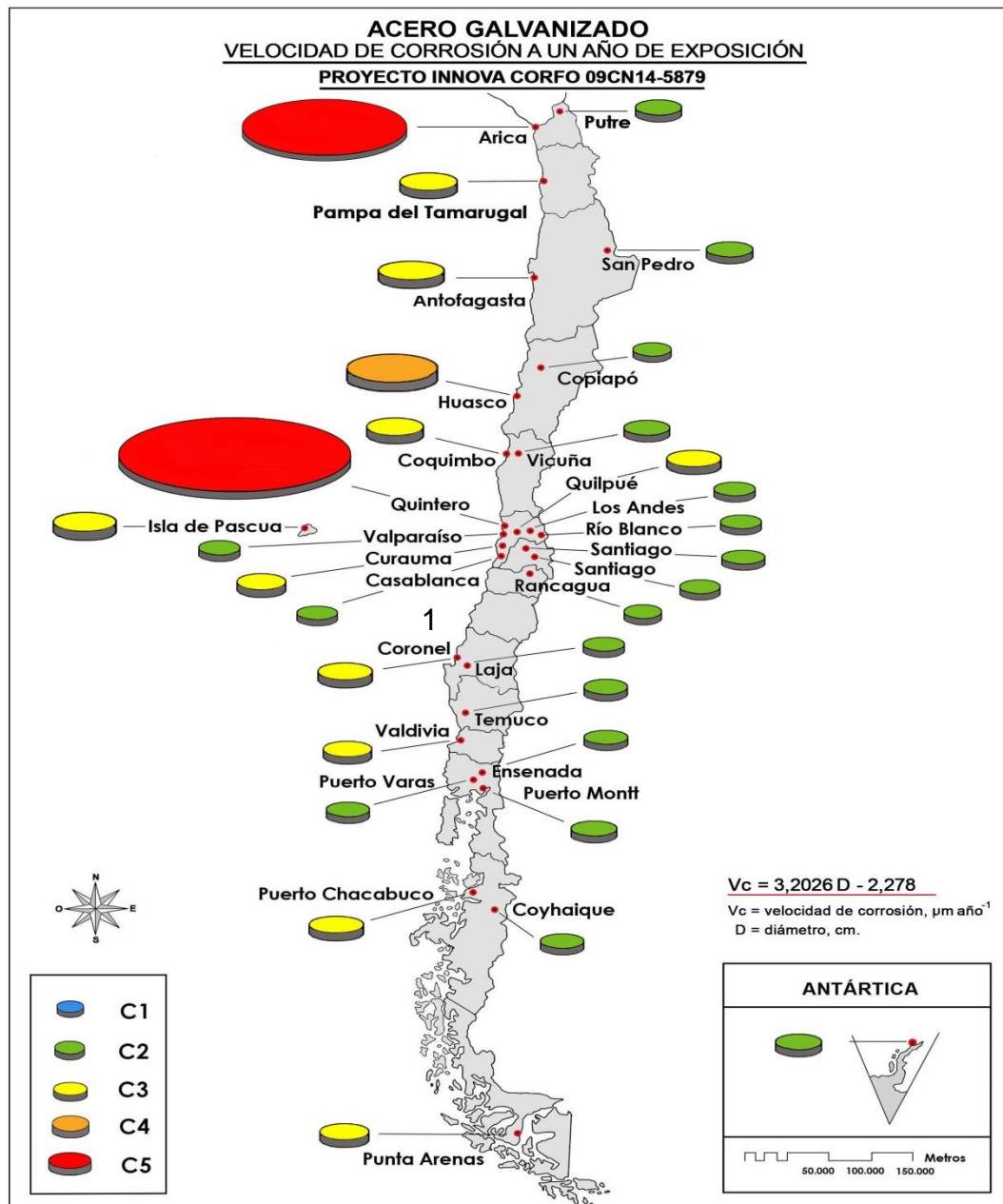
PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE VALPARAISO

## ACERO AL CARBONO

$$V_c = 82,376 D - 49,096$$

$V_c$  = velocidad de corrosión,  $\mu\text{m} \cdot \text{año}^{-1}$

$D$  = diámetro, cm



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
**CATOLICA**  
**DE VALPARAISO**

## ACERO GALVANIZADO

Vc= 3,2026D-2,278

$V_c$ =Velocidad de corrosión,  $\mu\text{m año}^{-1}$

D= Dímetro, cm

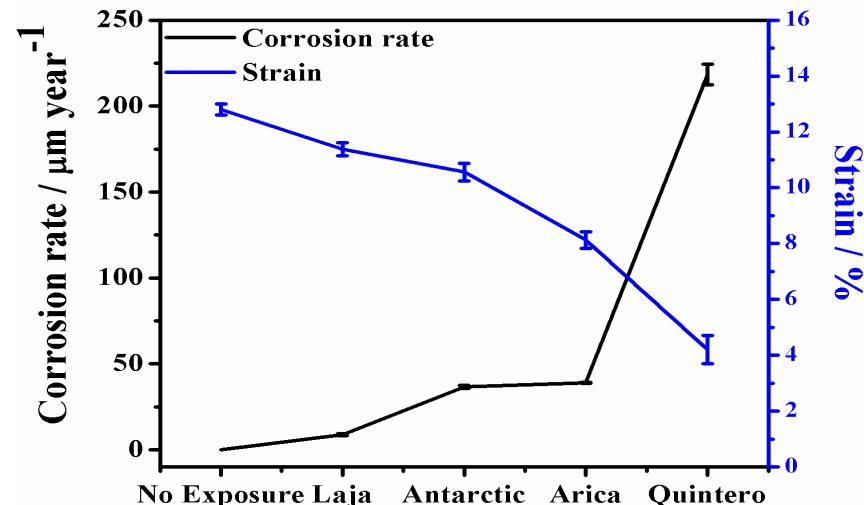
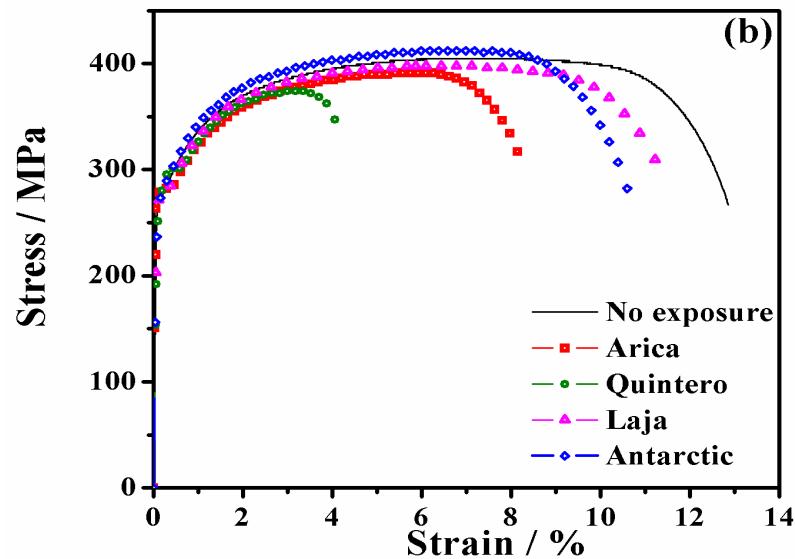
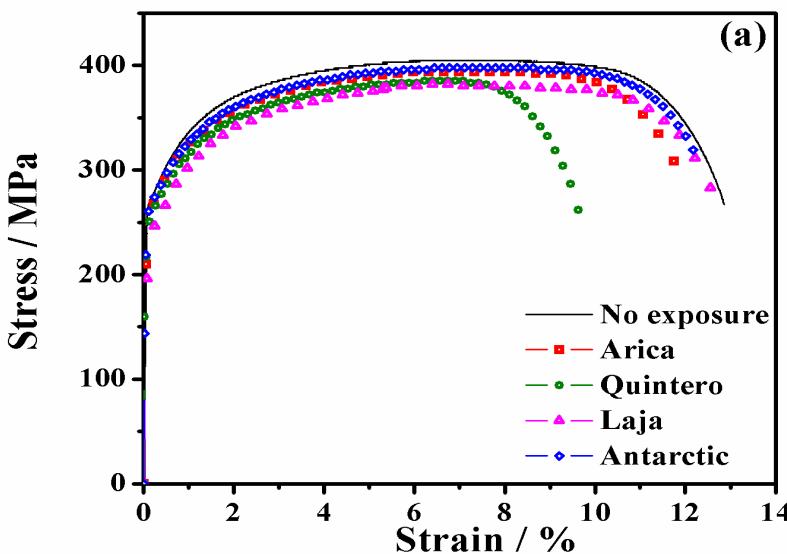
# CORROSIÓN / PROPIEDADES MECÁNICAS

## ❖ Efecto de la corrosión atmosférica en las propiedades mecánicas

Acero 1020



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO



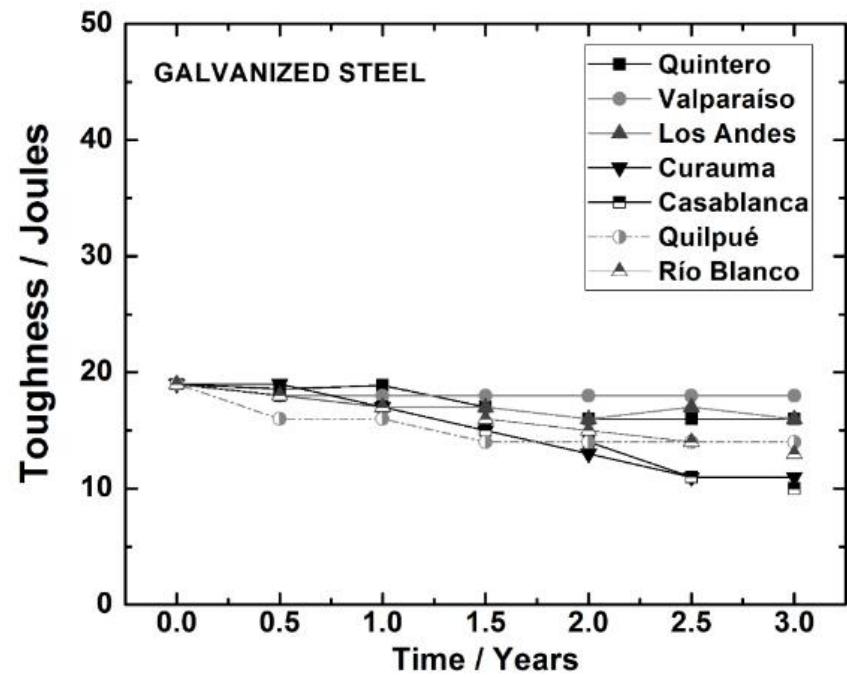
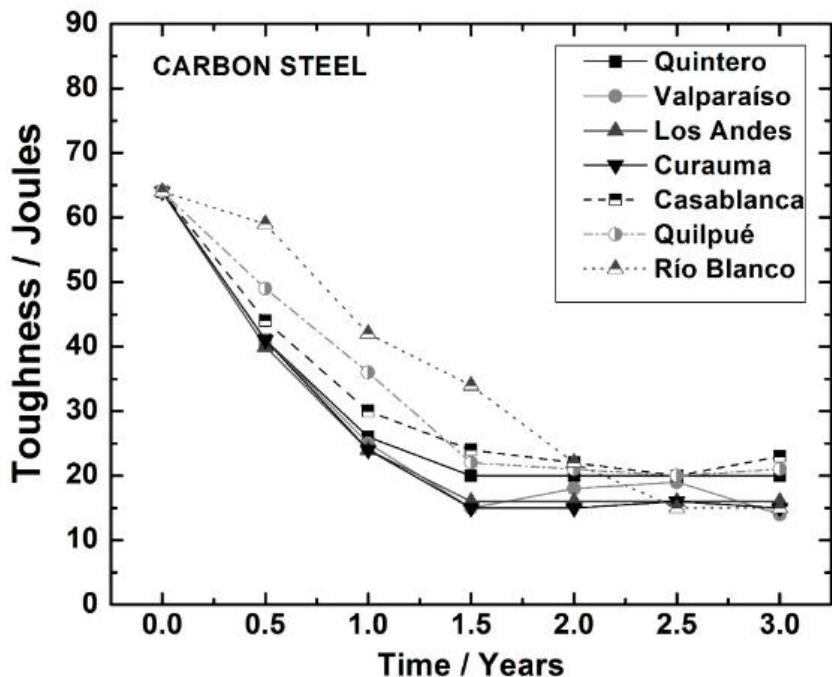
Materials, 2018, 11,591

# CORROSIÓN / PROPIEDADES MECÁNICAS

- ❖ Efecto de la corrosión atmosférica en las propiedades mecánicas  
Acero A36 y Acero galvanizado



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO



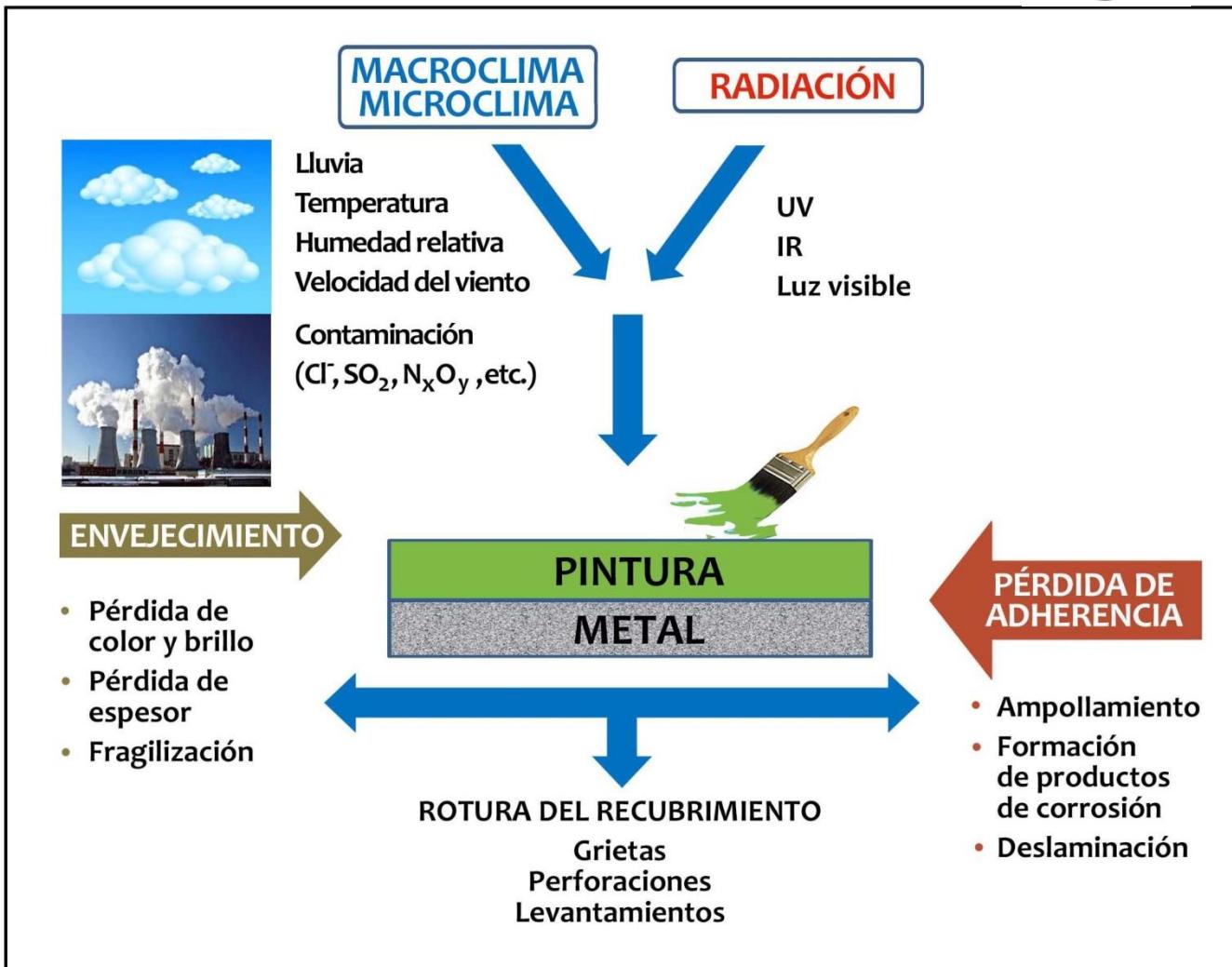


PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE VALPARAÍSO

# *Esquemas de pinturas empleados en la protección contra la corrosión atmosférica del acero, en zonas de alta corrosividad de Chile*

**PROYECTO INNOVA-CORFO, 13BPC3-19083**

Período 2013-2016  
Instituto de Química, Facultad de Ciencias





### Estaciones del Proyecto INNOVA-CORFO 13BPC3-19083



## Estaciones de ensayo del proyecto

# ✓ PARTE EXPERIMENTAL



## ESQUEMAS DE PINTURA APLICADOS (Norma ISO 12944-5)

	Tratamiento Superficial	Primer	Intermedia	Terminación	Espesor total promedio (μm)
<b>C3</b> <b>S3.18</b>	SP10	Epóxico autoimprimante, (espesor aproximado 75 μm)		Esmalte epóxico, (espesor aproximado 125 μm)	<b>252</b> (± 32)
<b>C4A</b> <b>S4.14</b>	SP 10	Epóxico autoimprimante, (espesor aproximado 75 μm)	Esmalte epóxico, (espesor aproximado 150 μm)	Esmalte poliuretano, (espesor aproximado 60 μm)	<b>259</b> (± 30)
<b>C4B</b> <b>S4.20</b>	SP 10	Epóxico rico en Zn, (espesor aproximado 50 μm)	Epóxico, (espesor aproximado 130 μm)	Esmalte poliuretano, (espesor aproximado 60 μm)	<b>228</b> (± 27)
<b>C5MA</b> <b>S7.14</b>	SP 10	Inorgánico de Zn, Sello epóxico, (espesor aproximado 100 μm)	Esmalte epóxico, (espesor aproximado 150 μm)	Esmalte poliuretano, (espesor aproximado 60 μm)	<b>309</b> (± 31)
<b>C5MB</b> <b>S7.09</b>	SP 10	Epóxico rico en Zn, (espesor aproximado 50 μm)	Esmalte epóxico, (espesor aproximado 200 μm)	Esmalte poliuretano, (espesor aproximado 60 μm)	<b>306</b> (± 37)
<b>C5IA</b> <b>S6.10</b>	SP 10	Inorgánico de Zn, Sello epóxico, (espesor aproximado 100 μm)	Epóxico, (espesor aproximado 125 μm)	Esmalte poliuretano, (espesor aproximado 60 μm)	<b>300</b> (± 31)
<b>C5IB</b> <b>S6.04</b>	SP 10	Epóxico autoimprimante, (espesor aproximado 75 μm)	Esmalte epóxico, (espesor aproximado 120 μm)	Esmalte epóxico, (espesor aproximado 125 μm)	<b>322</b> (± 36)

# SISTEMAS DE PINTURA APLICADOS



**Estado Inicial**



# Estación de ensayo



**Bastidores**



Dispositivo para determinar **SO<sub>2</sub>**



Dispositivo para determinar **cloruros**



**Estación Meteorológica**

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Lluvia
- Velocidad y dirección del Viento
- Radiación Solar

# Pinturas ADHERENCIA



Inicial				36 meses IQUIQUE			
Muestra/ esquema	Fuerza de Tracción (MPa)	Tipo de Falla/ capa	% falla	Muestra/ esquema	Fuerza de Tracción (MPa)	Tipo de falla/capa	% falla
C315	13,0	Cohesión /top	>65	2C351	2,9	Cohesión /top	5- 15
C4A18	9,0	pegamento		2C4A51	3,0	pegamento	
C4B19	5,0	Cohesión / intermedia	>65	2C4B52	4,4	Cohesión / top	5- 15
C5MA19	8,0	Cohesión /entre top e intermedia	>65	2C5MA56	4,8	Cohesión /entre top e intermedia	35-65
C5MB18	13,3	Cohesión /terminal	15-35	2C5MB56	4,2	pegamento	
C5IA17	6,0	Cohesión /entre top e intermedia	>65	2C5IA56	3,3	Cohesión /entre top e intermedia	>65
C5IB19	9,3	Cohesión/ entre top e intermedia	35-65	2C5IB56	2,7	Cohesión/ top	<5

# Pinturas VARIACIÓN DE COLOR



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO

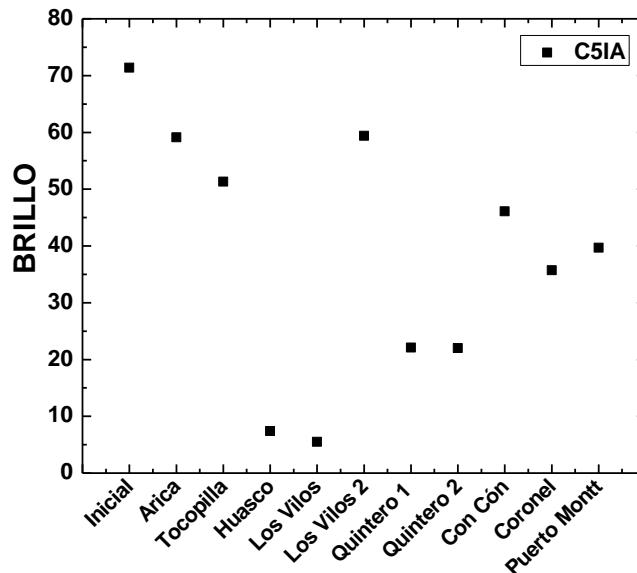
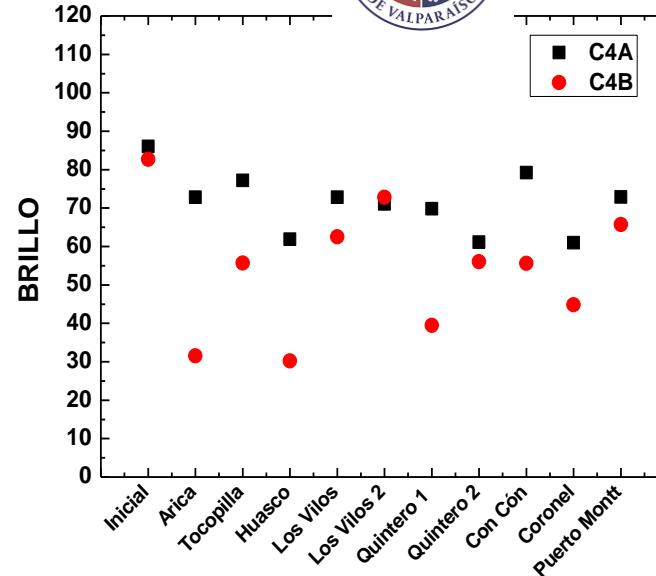
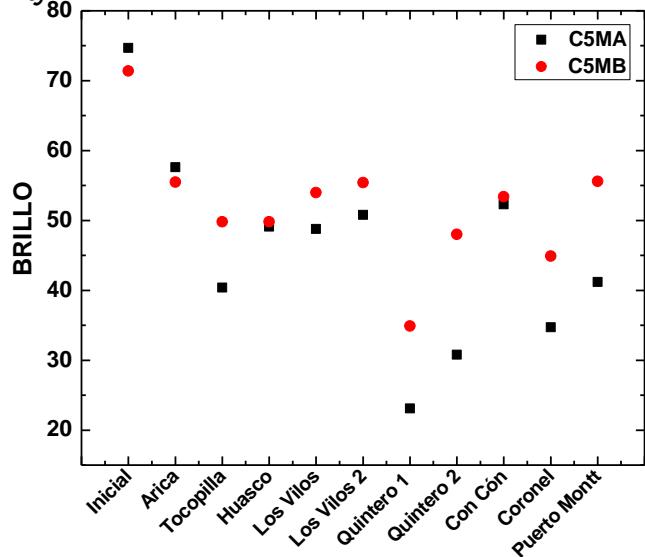
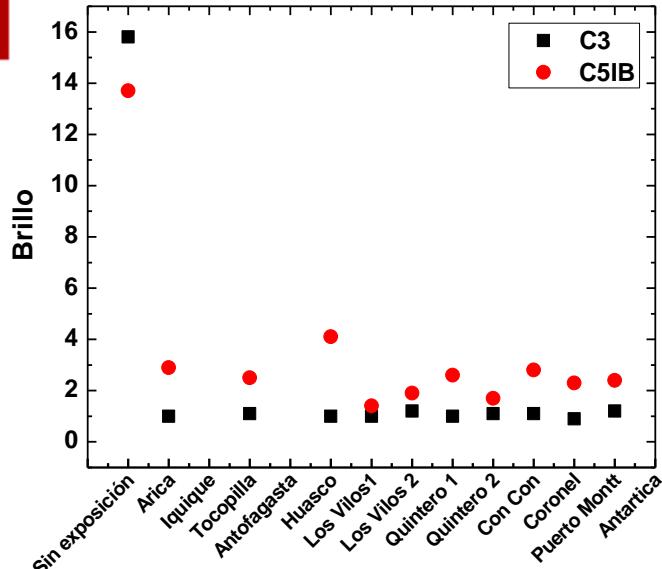
Tiempo de exposición: 30 meses

Estación	C3	C4A	C4B	C5MA	C5MB	C5TA	C5IB
Arica	1,53	0,27	2,79		0,25	0,58	1,99
Tocopilla	2,38	0,37	2,70	1,04	0,48	1,00	1,72
Huasco	3,55	0,62	3,15	0,61	0,21	2,23	3,1
Los Vilos 1	3,55	0,34	2,22	0,60	0,45	2,79	3,29
Los Vilos 2	2,19	3,08	2,73	1,16	0,84	0,83	3,79
Quintero 1	2,83	0,33	2,95	1,21	0,63	1,45	2,16
Quintero 2	2,75	0,78	2,86	1,53	0,65	2,24	2,61
Concón	2,77	0,42	3,27	2,27	1,24	1,24	4,69
Coronel	2,27	2,05	2,66	1,44	0,69	2,24	3,75
Puerto Montt	2,27	0,13	1,93	0,69	0,43	1,20	1,52

# VARIACIÓN DEL BRILLO (30 meses)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DE VALPARAISO



# CRUZ DE EVANS (36 meses)

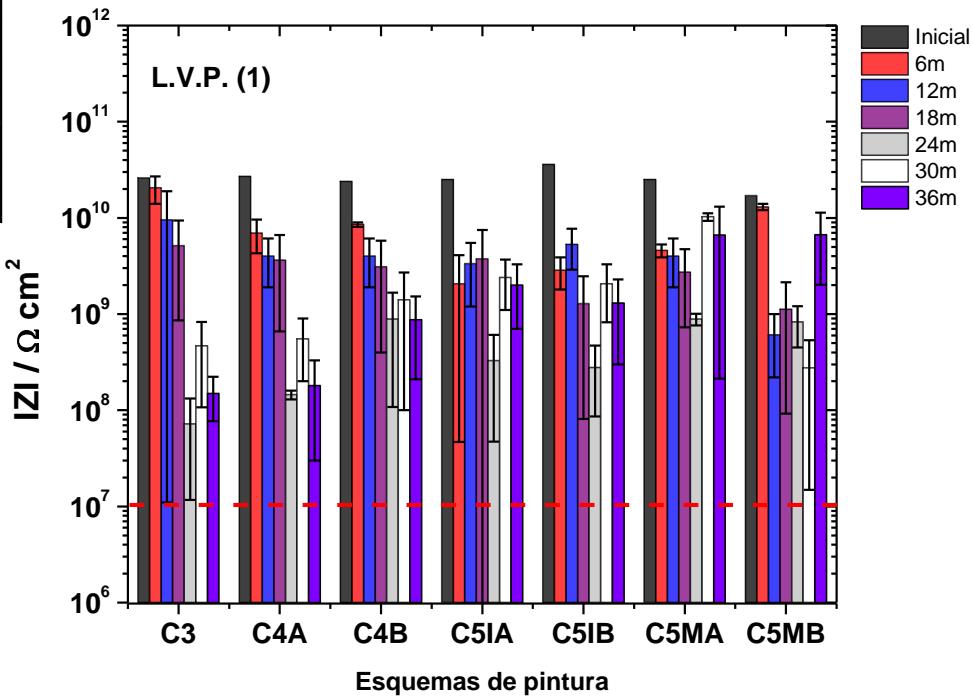
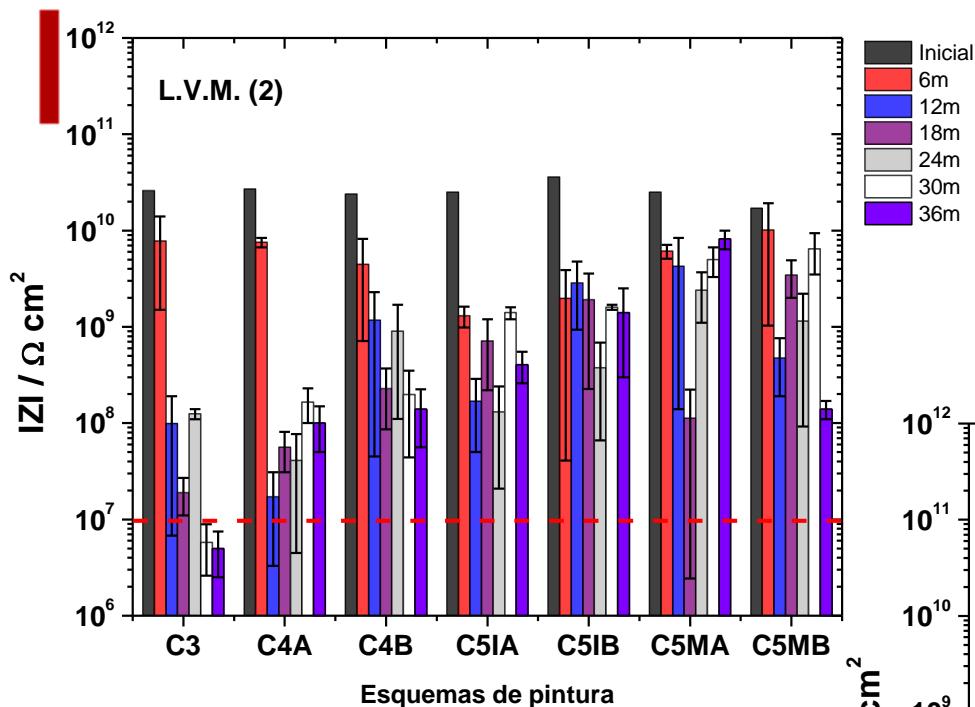
## ESTACIÓN QUINTERO 1 (C5)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE VALPARAÍSO

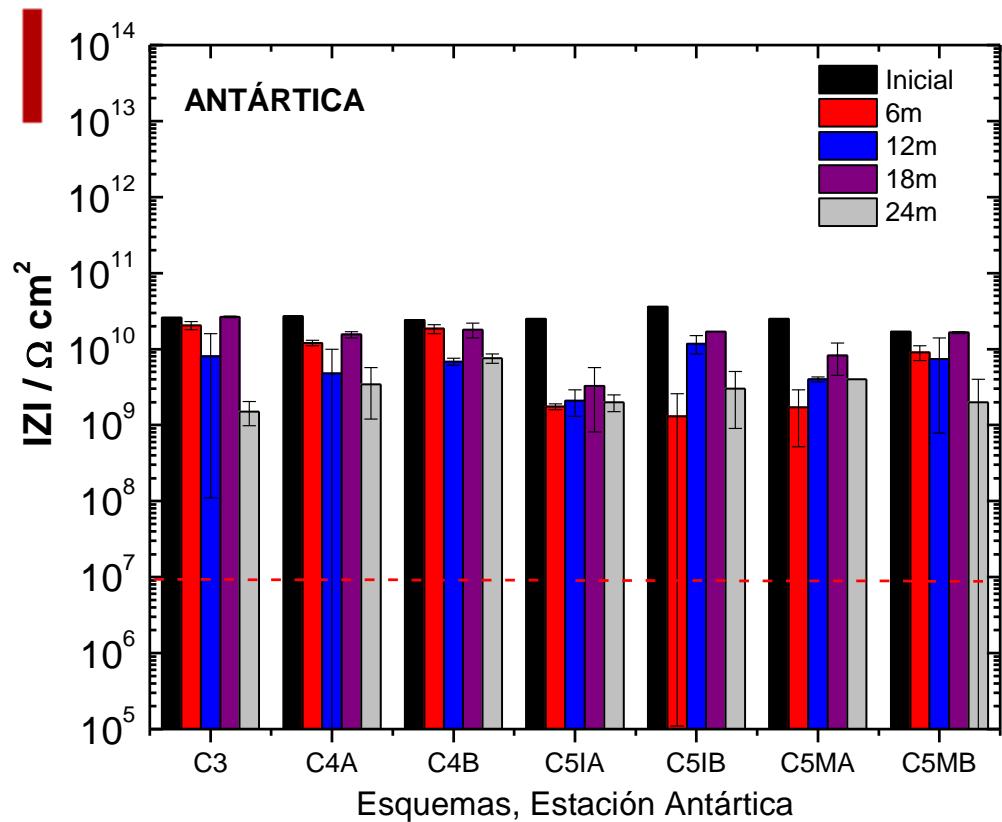


# Resultados 36 meses:

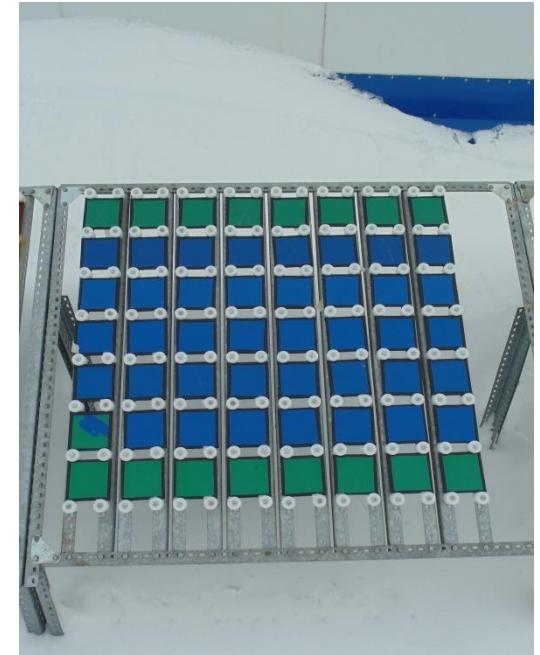


Los Vilos C5

# Resultados 24 meses:



Antártica C4-C5





## Resumen de Estrategias

- ✓ Internalización del Concepto en la Alta Dirección y Gerencias.
- ✓ Incorporar **NORMAS** y Metodologías en el Diseño de Proyectos.
- ✓ Capacitación del **PERSONAL** de Diseño, Adquisición y Montaje.
- ✓ Control y seguimiento de la **FABRICACIÓN** de Materiales ITOs Capacitados.
- ✓ Monitoreo Constante durante la **CONSTRUCCIÓN** y Puesta en Marcha.
- ✓ **ESPECIFICACIÓN** precisa de **MATERIALES** requeridos.
- ✓ Incorporar Tecnología.



# «LA CORROSIÓN ES PERSEVERANTE»

