

*Laboratorio de Corrosión
Instituto de Química
Facultad de Ciencias*



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE ACERO

pucv.cl

1ª Mesa de Trabajo, Círculo de Galvanizadores de ASIMET

M. Sc. Rosa Vera Aravena
email: rosa.vera@pucv.cl

18 de junio 2019,
Santiago

CORROSIÓN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

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





Cargador colapsa en Puerto Patillos

16 Mayo, 2019

Por Redacción PortalPortuario.cl

@PortalPortuario

¿Encontraste un error? Avísanos



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 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



Conectando...

CORROSIÓN



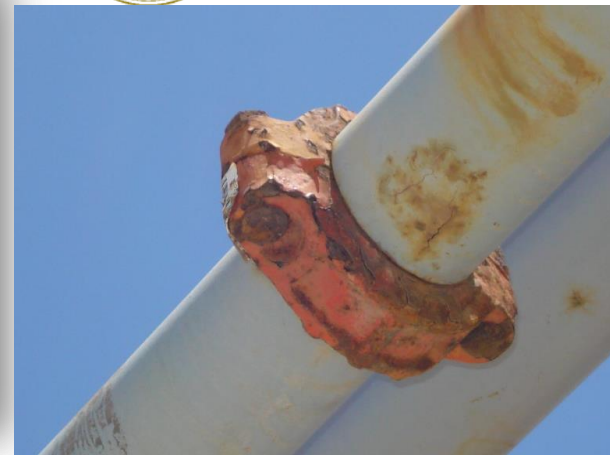
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



CORROSIÓN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Costos de la corrosión en:

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

Costos a nivel mundial entre 2 – 4%⁽⁴⁾.

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.

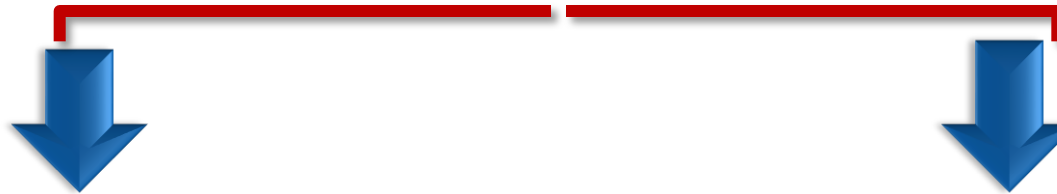
4. Morcillo L., Manuel (1991). Entrevista personal. Investigador del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas en Madrid. Colombia.



Importancia



Costos



Económicos

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

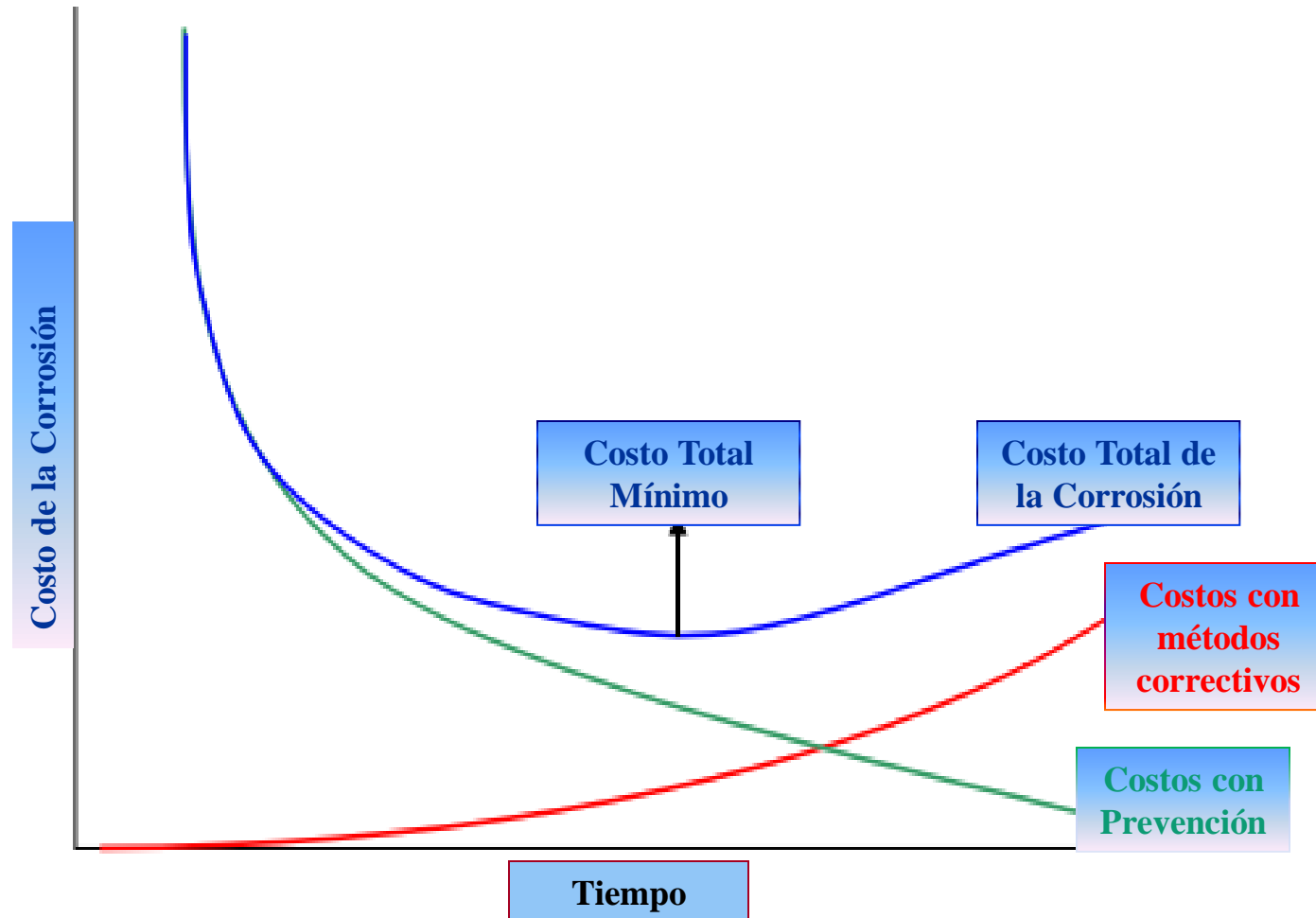
Sociales

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

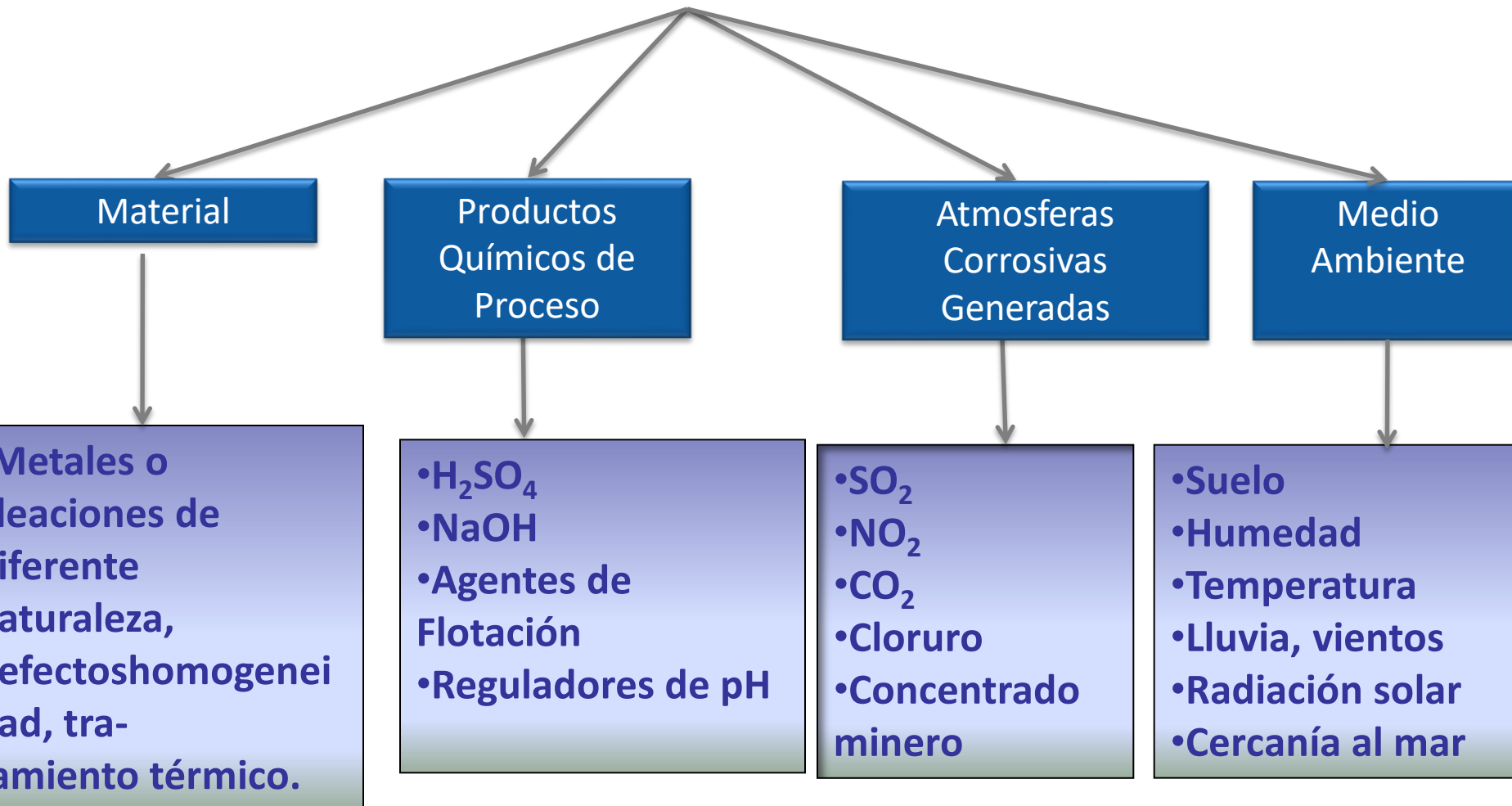
IMPACTO EN LA VIDA ÚTIL DE LOS MATERIALES



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Factores responsables de la Corrosión





Serie Galvánica en Agua de Mar

Noble o
Catódico

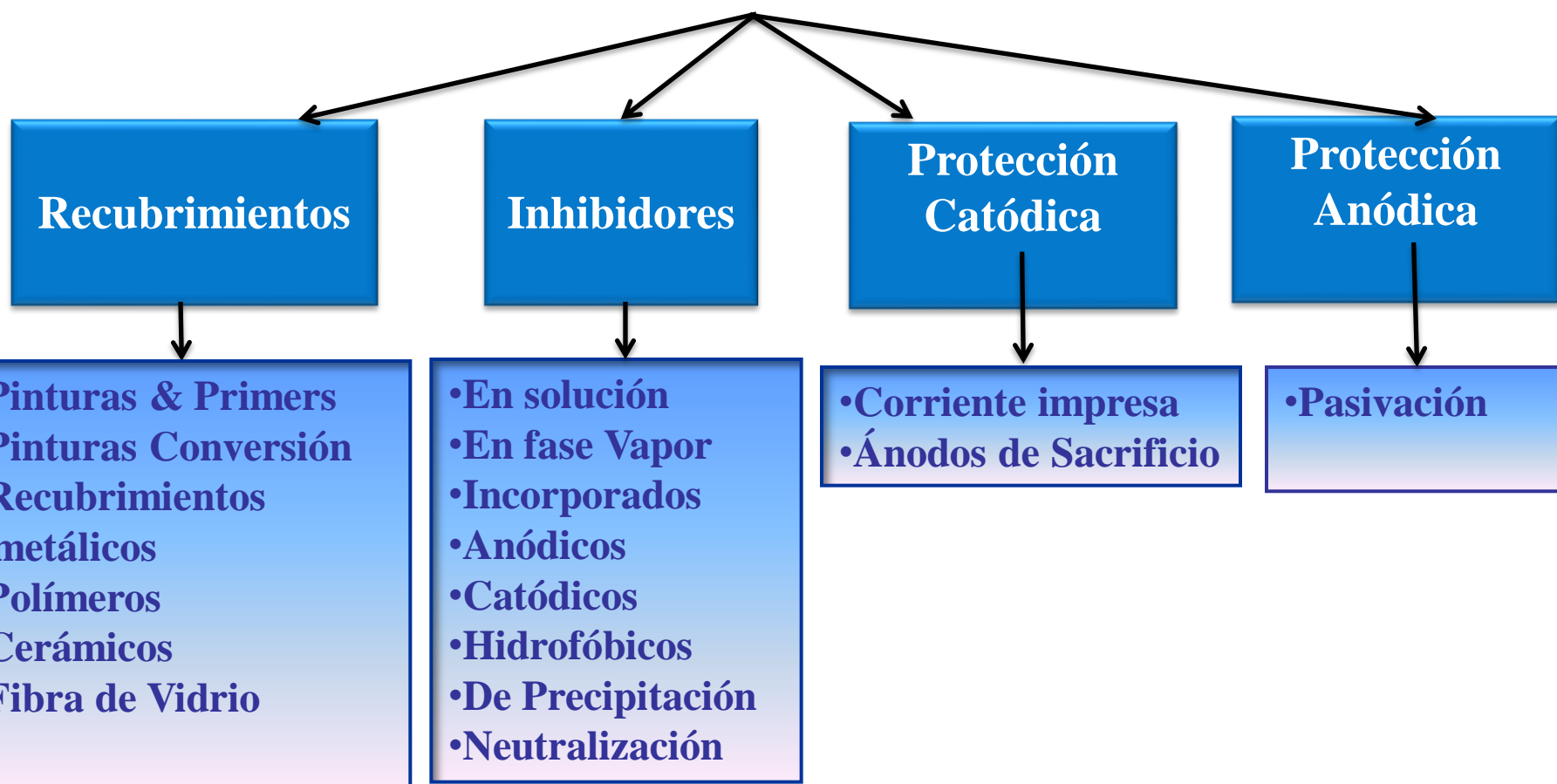


Activo o
Anódico

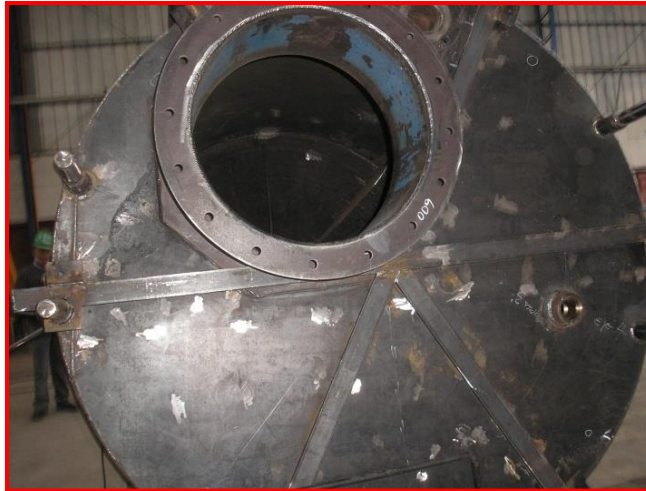


Platino
Oro
Grafito
Titanio
Plata
Hastelloy C (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
Acero Inoxidable 18-8 Mo (pasivo)
Acero Inoxidable al Cr (11-30% Cr) (Pasivo)
Inconel (pasivo) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
Niquel (pasivo)
Monel (70 Ni, 30 Cu)
Cu-Ni (69-90 Cu, 40-10 Ni)
Bronces (Cu-Sn)
Cobre
Latones (Cu-Zn)
Hastelloy B (60Ni, 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

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° , T°)
- ✓ 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



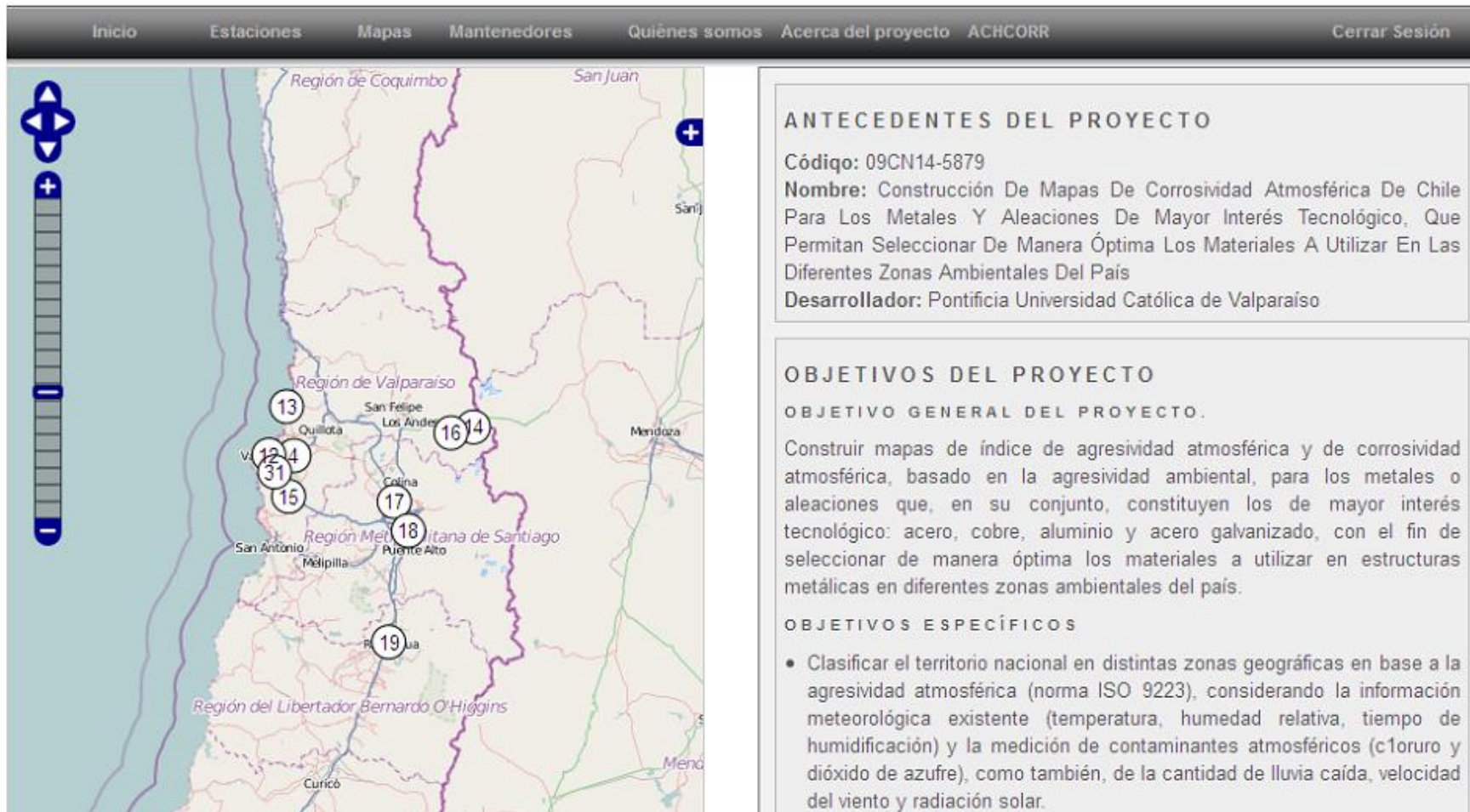
Instalación:

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



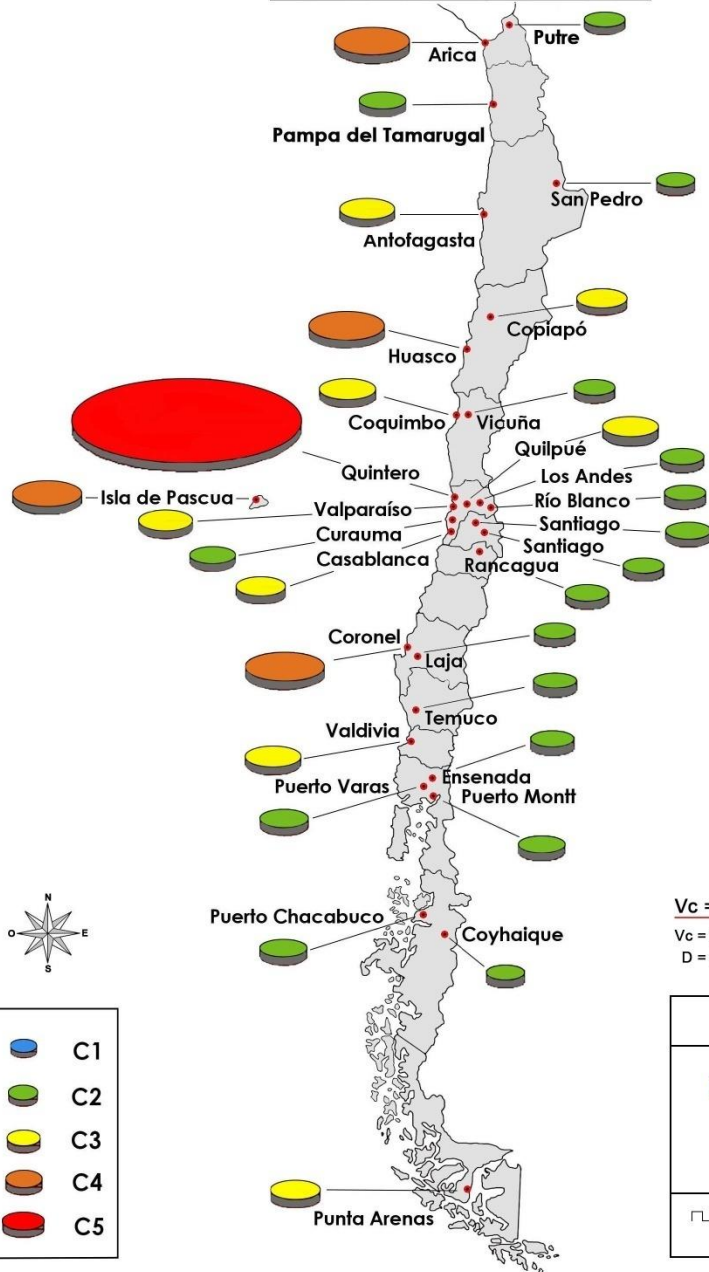
www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl

PROYECTO INNOVA: CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA DE CHILE



Proyecto 09CN14-5879

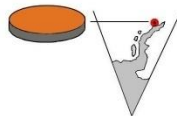
ACERO AL CARBONO
VELOCIDAD DE CORROSIÓN A UN AÑO DE EXPOSICIÓN
PROYECTO INNOVA CORFO 09CN14-5879



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

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

ANTÁRTICA



50.000 100.000 150.000 Metros



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
 DE VALPARAISO

ACERO AL CARBONO

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

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

D = diámetro, cm

ACERO GALVANIZADO
VELOCIDAD DE CORROSIÓN A UN AÑO DE EXPOSICIÓN
PROYECTO INNOVA CORFO 09CN14-5879



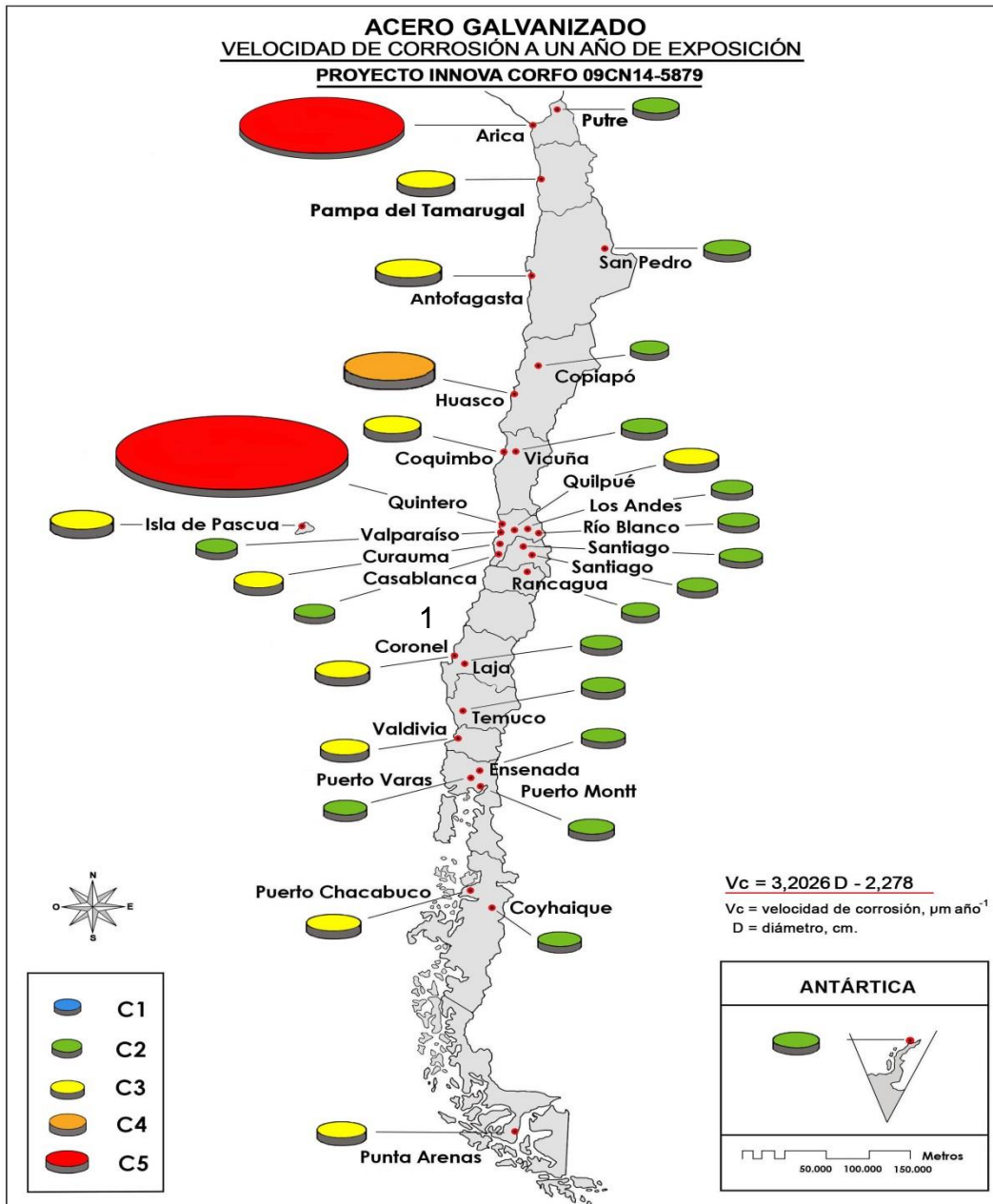
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
 DE VALPARAISO

ACERO GALVANIZADO

$$V_c = 3,2026D - 2,278$$

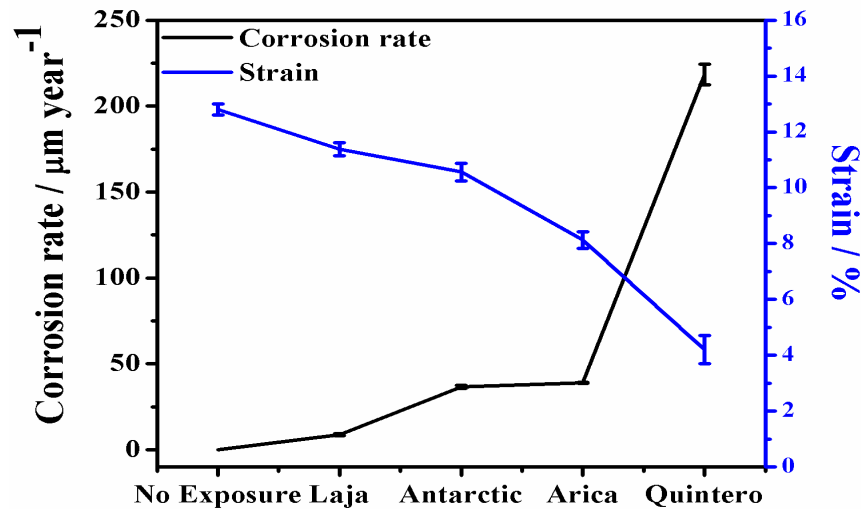
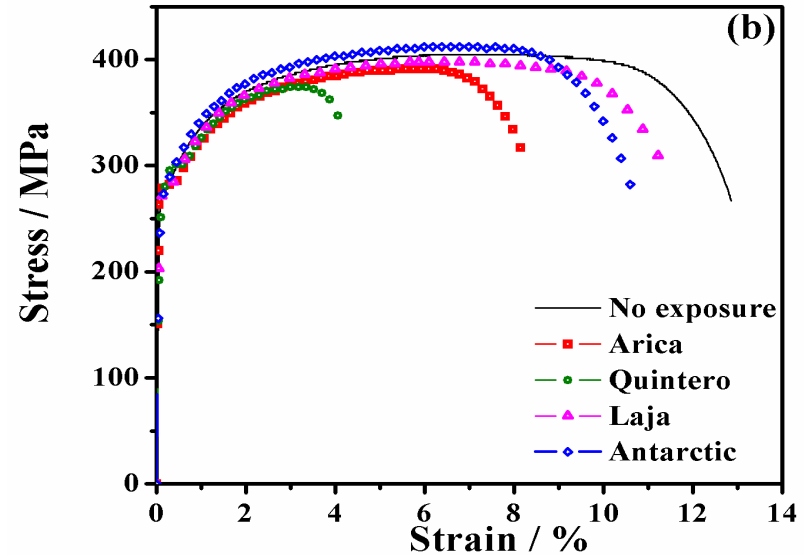
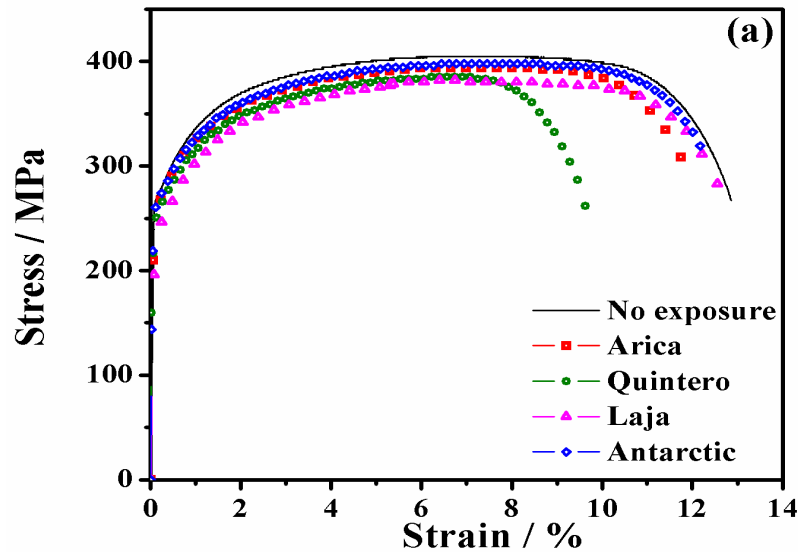
V_c = Velocidad de corrosión, $\mu\text{m a}^{-1}$

D = Diámetro, cm



CORROSIÓN / PROPIEDADES MECÁNICAS

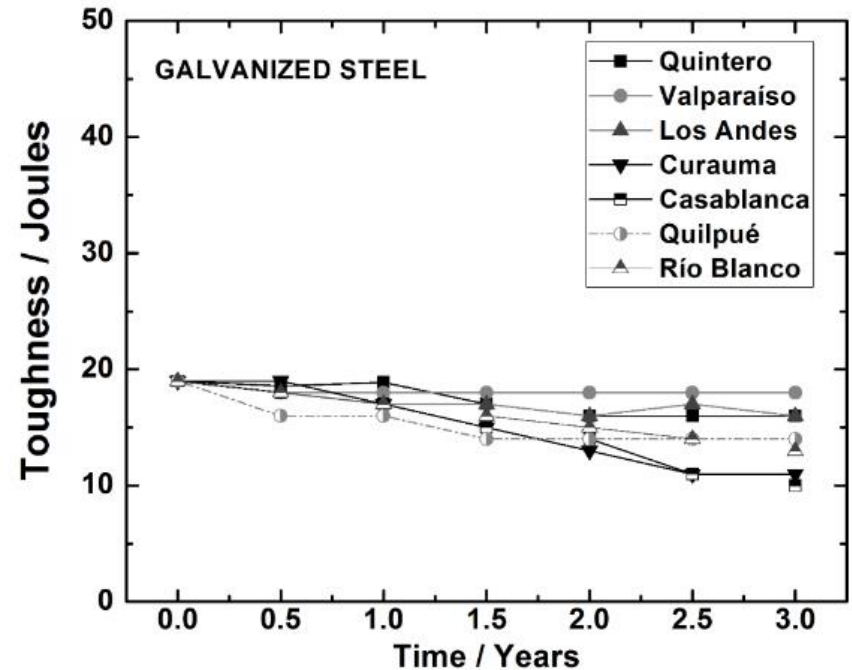
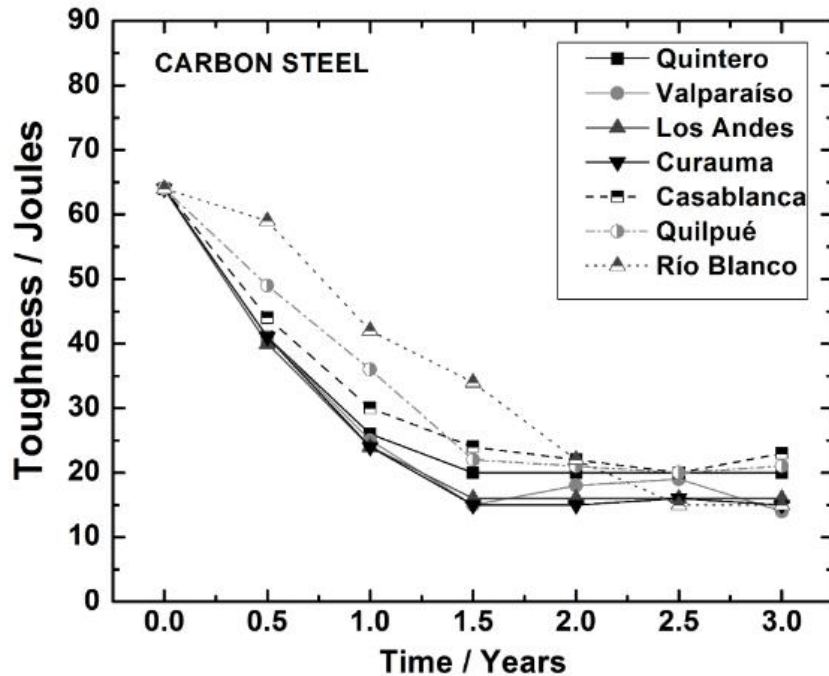
❖ Efecto de la corrosión atmosférica en las propiedades mecánicas Acero 1020



Materials, 2018, 11,591

CORROSIÓN / PROPIEDADES MECÁNICAS

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



Mater. Corr, 70 (7) 2019



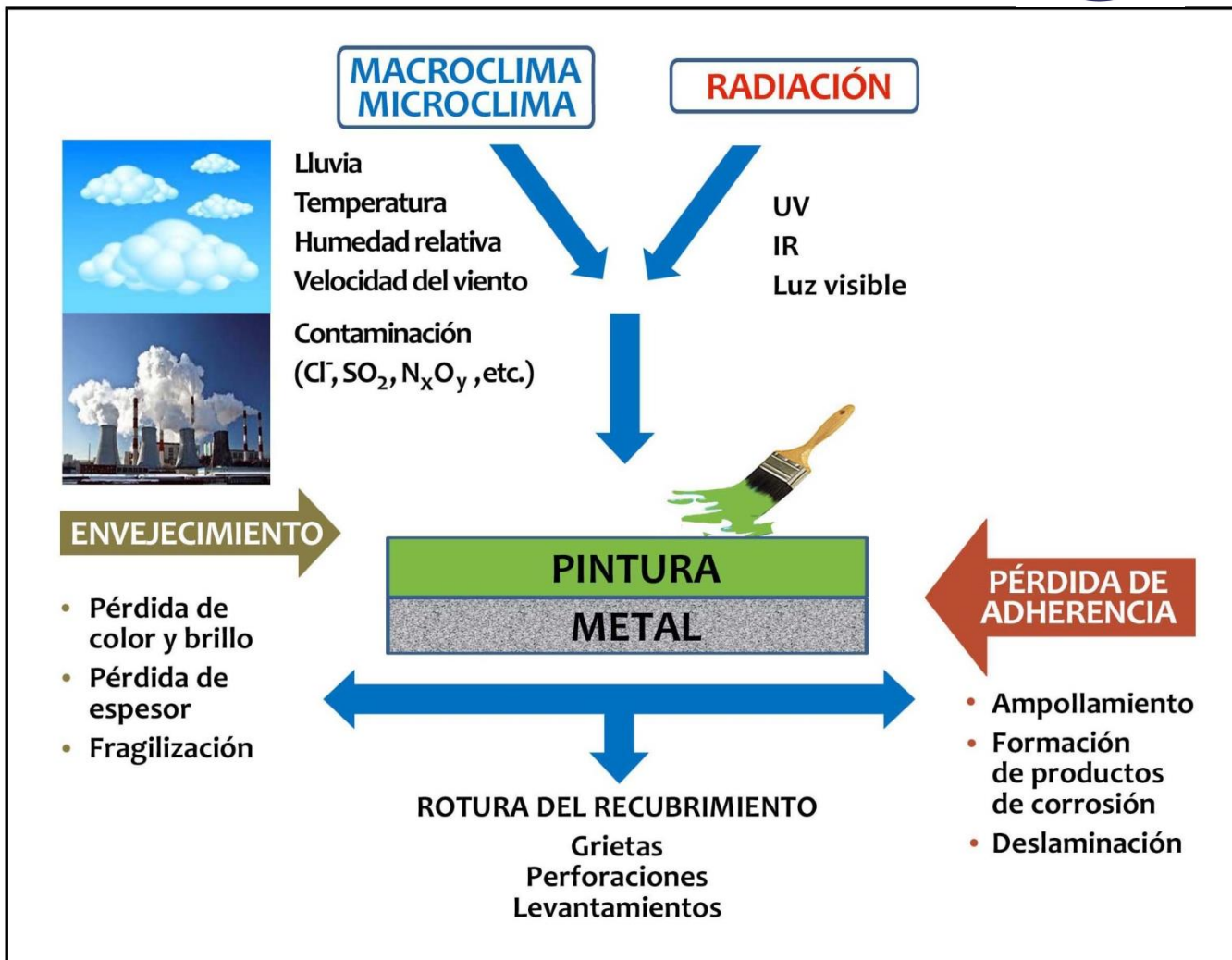
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

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

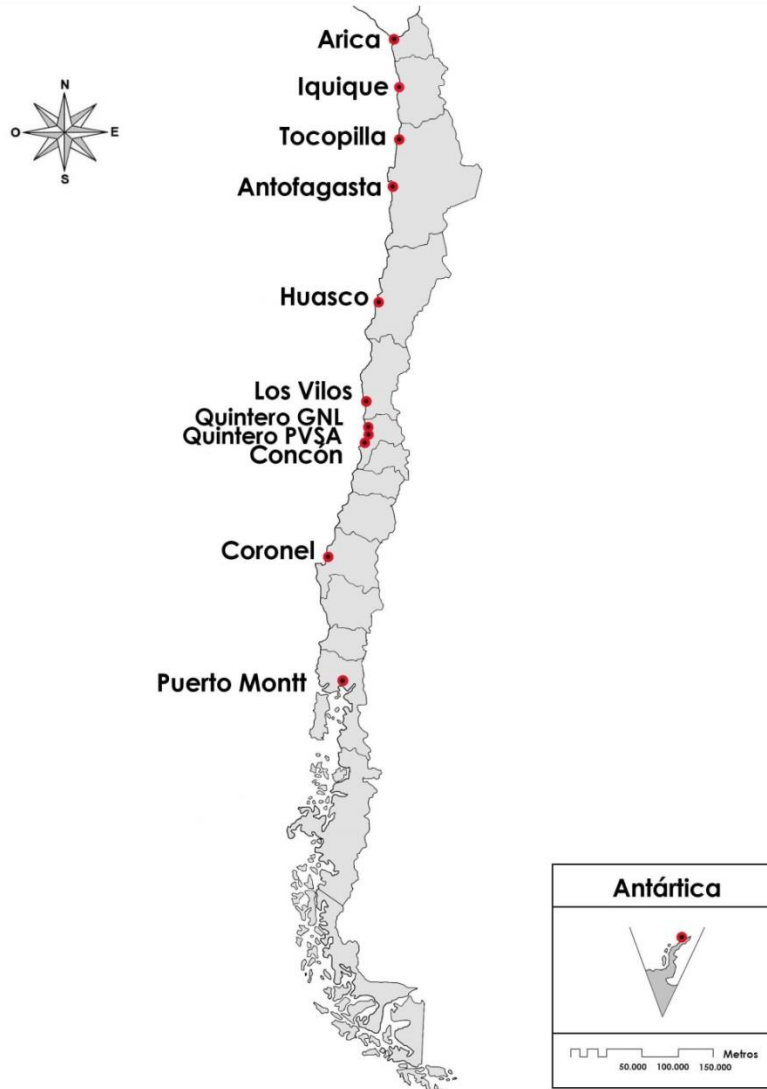
PROYECTO INNOVA-CORFO, 13BPC3-19083

Período 2013-2016

Instituto de Química, Facultad de Ciencias



Estaciones del Proyecto INNOVA-CORFO 13BPC3-19083



Estaciones de ensayo del proyecto

✓ PARTE EXPERIMENTAL



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

ESQUEMAS DE PINTURA APLICADOS (Norma ISO 12944-5)

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

SISTEMAS DE PINTURA APLICADOS

■



Estado Inicial

Estación de ensayo



Bastidores



Dispositivo para determinar SO_2



Dispositivo para determinar cloruros



Estación Meteorológica

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

Pinturas ADHERENCIA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
VALPARAISO

| Inicial | | | | 36 meses IQUIQUE | | | |
|-----------------------------|---|--|----------------|-----------------------------|---|--|----------------|
| <i>Muestra/ esquema</i> | <i>Fuerza de Tracción (MPa)</i> | <i>Tipo de Falla/ capa</i> | <i>% falla</i> | <i>Muestra/ esquema</i> | <i>Fuerza de Tracción (MPa)</i> | <i>Tipo de falla/capa</i> | <i>% falla</i> |
| 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

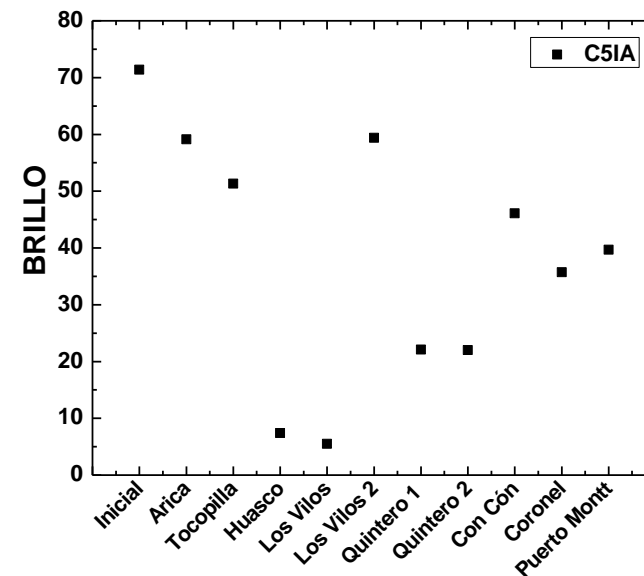
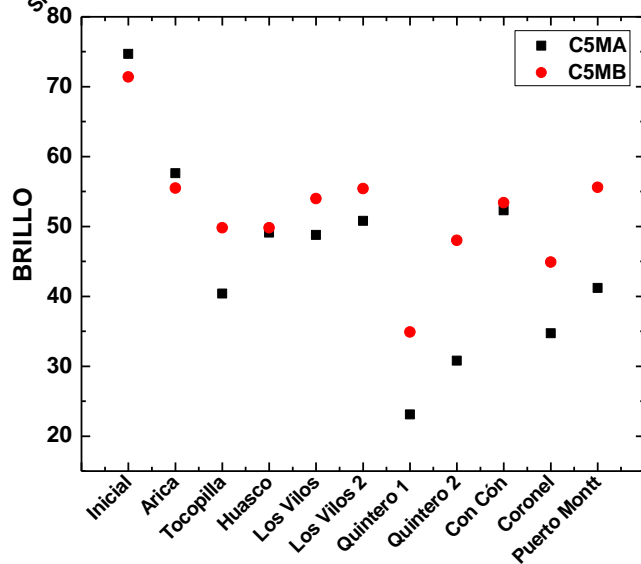
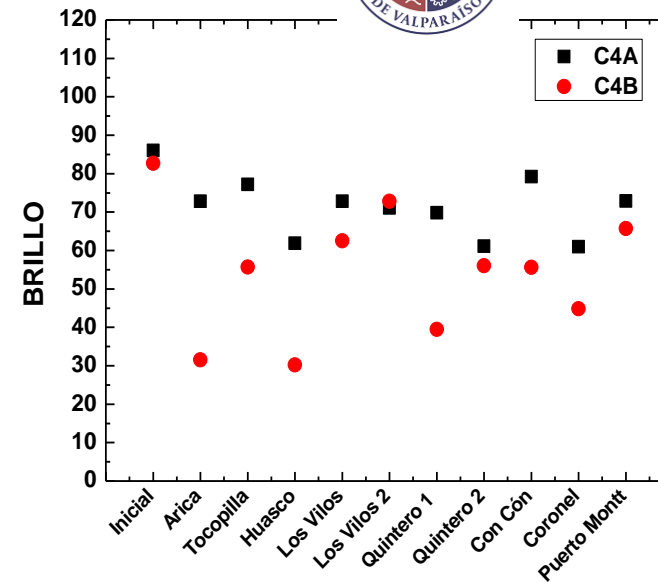
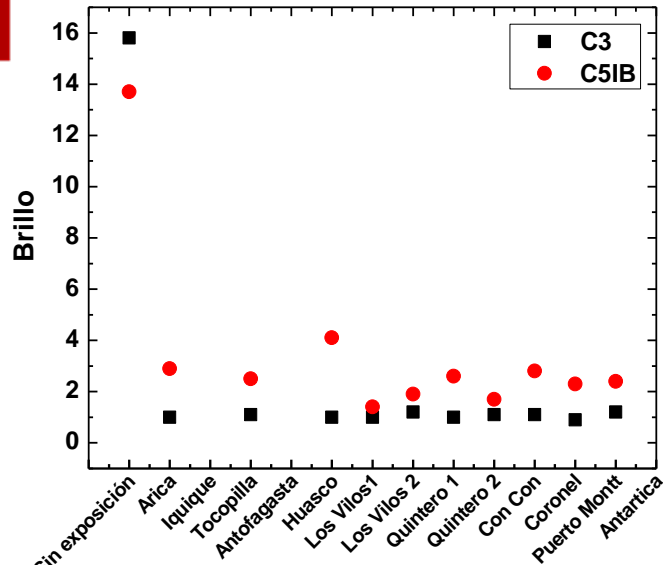
Tiempo de exposición: 30 meses

| Estación | C3 | C4A | C4B | C5MA | C5MB | C5IA | 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)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

ESTACIÓN QUINTERO 1 (C5)

7C355



7C4A31



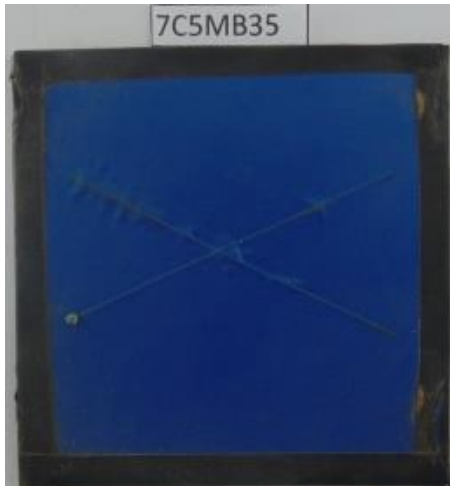
7C4B34



7C5MA34



7C5MB35



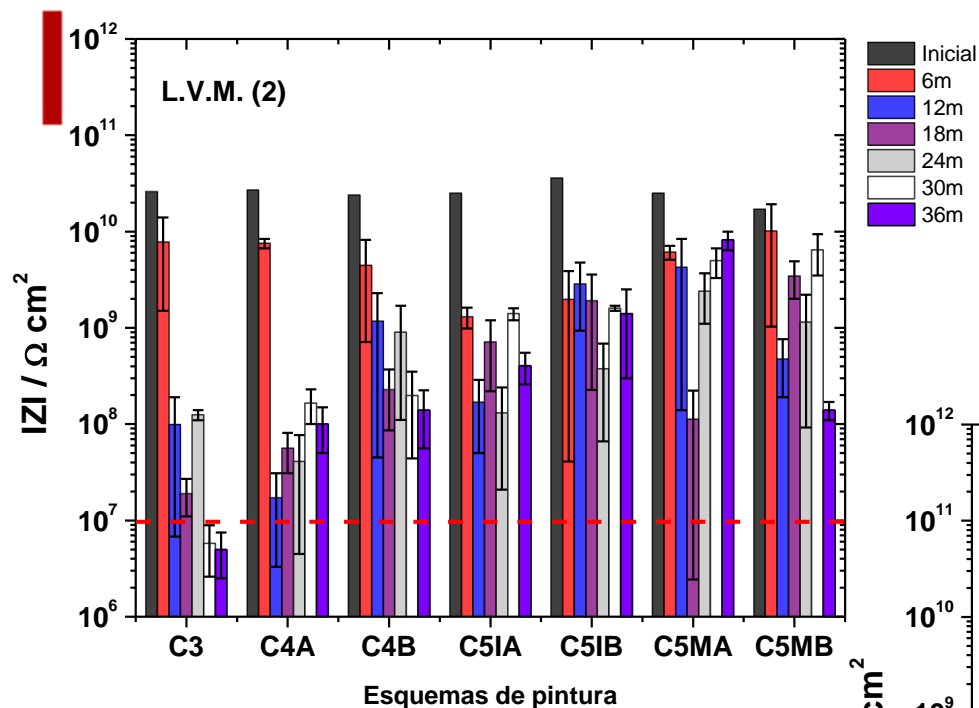
7C5IA36



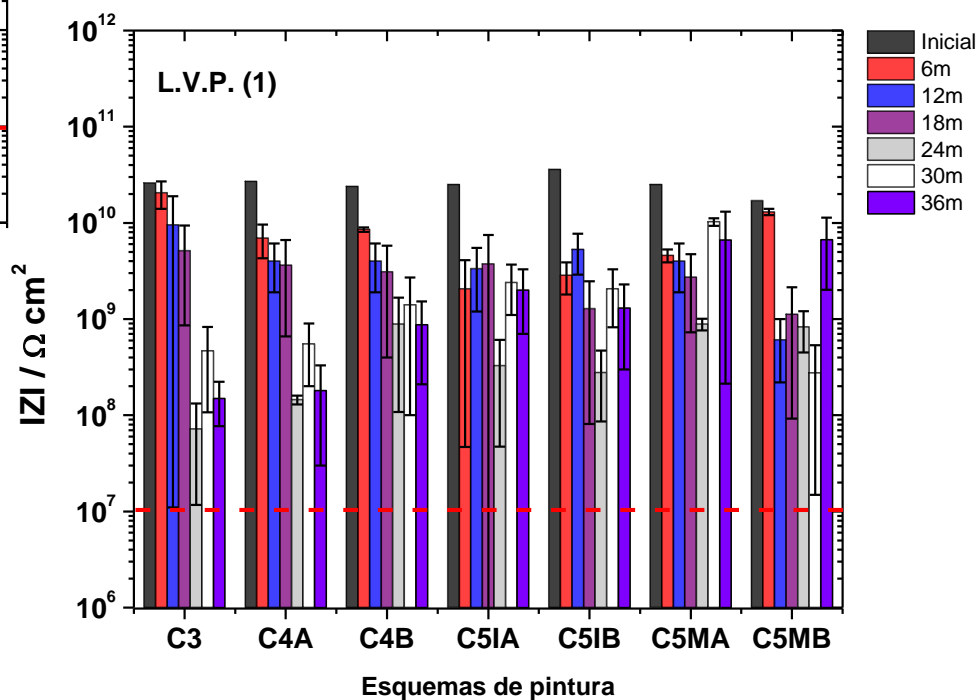
7C5IB32



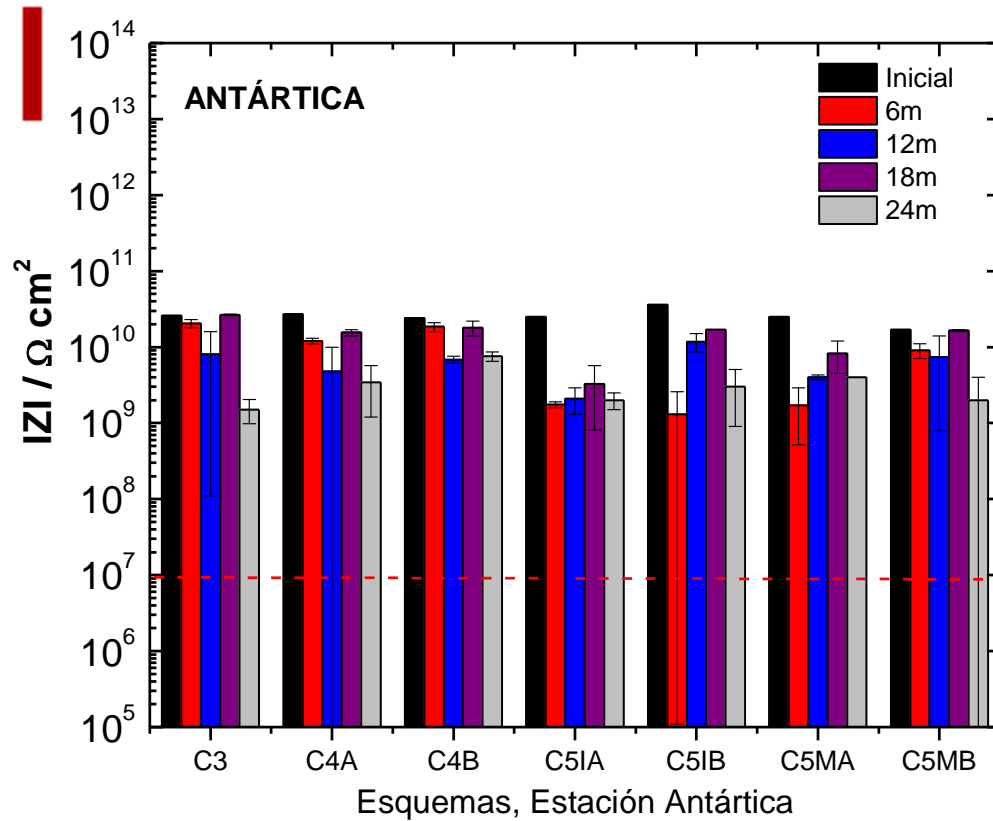
Resultados 36 meses:



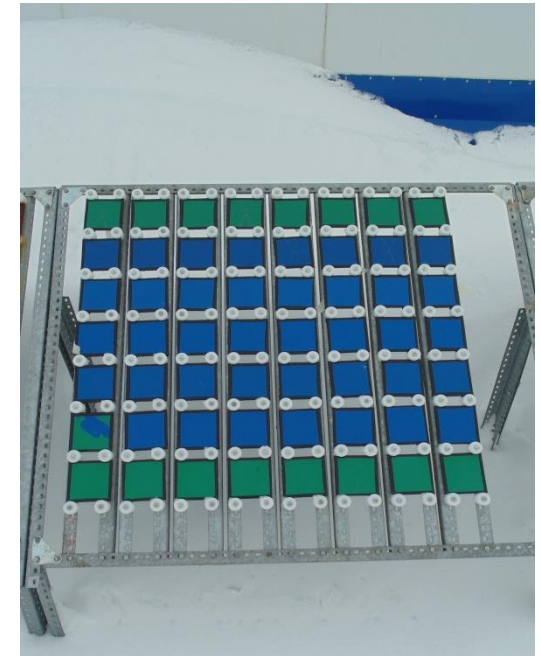
Los Vilos C5



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»

