

Recomendaciones de Esquemas de Protección del Acero. Recommendations for Steel Schemes

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido

14-11-2023

Aceptado

03-08-2024

Publicado

23-12-2024

Palabras Clave:

Acero

Durabilidad

Esquemas de

Protección

Article history:

Received

14-11-2023

Accepted

03-08-2024

Available

23-12-2024

Keywords:

Steel

Durability

Protection

schemes

Paulina Gómez ^{1,*}, Horacio Pinochet ¹, Claudio Poblete ¹.

¹Tecnovial, Santiago, Chile.

Resumen

Este trabajo de lleva a cabo con el fin de entregar esquemas de protección más eficientes del acero que se usa en distintas estructuras. Esta investigación se divide en 2 partes. Primero, se realiza un repaso de los factores que afectan directamente la durabilidad del acero, los cuales se clasifican en atmosféricos, contacto con agua y contacto con el suelo, y como las propiedades de estos elementos afectan de forma diferente. La segunda parte se enfoca en estudiar 4 distintos tipos de protección del acero: galvanizado, Magnelis®, corten y sistema galvanizado + pintura. Finalmente, se propone un cuadro de recomendación de sistema de protección en base a las solicitaciones climáticas y de contacto a las cuales se encuentra el acero a instalar. Esta información se encuentra respaldada con el estudio bibliográfico realizado y resultados de ensayos de niebla salina a aceros galvanizados y con sistema galvanizado + pintura también presentados en esta investigación.

Abstract

This work is carried out to provide more efficient protection schemes for steel used in various structures. The research is divided into two parts. First, it reviews the factors that directly affect the durability of steel, which are classified into atmospheric, water contact, and soil contact factors, and how the properties of these elements affect the steel differently. The second part focuses on studying four different types of steel protection: galvanizing, Magnelis®, corten, and galvanized + paint systems. Finally, a recommendation table for protection systems is proposed based on the climatic and contact conditions to which the steel will be exposed. This information is supported by a literature review and results from salt fog tests on galvanized steel and the galvanized + paint system, also presented in this research.

* Corresponding author at: Paulina Gómez Conti, Tecnovial, Santa Marta 1717, Maipu, Chile. E-mail address: pgomez@tecnovial.cl

RIOCI

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 12, no. 03, pp. 1–8, Diciembre 2024

1. Introducción.

El acero es una aleación compuesta principalmente de hierro, el cual en la naturaleza se encuentra en estado oxidado. Frente a la presencia de agentes que contengan oxígeno, busca volver a su estado natural, lo cual lo transforma en un producto 100% reciclable, pero para prolongar su vida útil, se tiene que retardar el proceso mediante esquemas de protección. Estos esquemas de protección consideran dos grandes temas: los factores externos que afectan el acero y las propiedades del sistema de protección usado. Dentro de los factores externos, se encuentra el clima, el cual en Chile puede ser muy variado dependiendo de la ubicación. Y dentro de las propiedades del sistema de protección usado, se realiza un repaso a las propiedades de los siguientes esquemas: galvanizado, Magnelis®, Corten y sistema de galvanizado más pintura. En base a esta información, se propone una tabla de recomendación del sistema de protección en base a diversos factores.

2. Metodología.

2.1. Factores que afectan la corrosión.

Es importante llevar a cabo el análisis de los distintos factores que afectan directamente la durabilidad del acero: atmosféricos, contacto con agua y contacto con el suelo (Cspi, 2002).

2.1.1. Factores atmosféricos.

En la

Tabla 1. Escenarios de riesgo de corrosión atmosféricos. (Fuente: (ISO 9223, 2012)).

Categoría	Nivel	Pérdida de espesor de zinc el primer año (μm)	Ejemplos de ambientes típicos (externos)
C1	Muy bajo	Menor a 0,1	-
C2	Bajo	0,1 – 0,7	Atmósfera ligeramente contaminada, clima seco (ej. Áreas rurales)
C3	Medio	0,7 – 2,1	Atmósfera industrial o urbana con bajos valores de contaminación de SO_2 o áreas en costa con baja salinidad
C4	Alto	2,1 – 4,2	Atmósfera industrial o en costa con baja salinidad
C5	Muy alto	4,2 – 8,4	Atmósfera industrial con humedad considerable y atmósfera agresiva
C5	Muy alto	4,2 – 8,4	Áreas en costa con alta salinidad

2.1.2. Contacto con agua.

En el caso que el acero se encuentre en contacto con aguas fluyendo, su corrosión puede verse acelerada ya que aumenta la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono. Este efecto aumenta

Tabla 1 se presentan los distintos escenarios de riesgo de corrosión atmosféricos y sus clasificaciones.

si las aguas poseen altos niveles de carbonato de calcio. Por el contrario, si el acero se encuentra en contacto con agua estancada, mientras posea un nivel de pH entre 4,5 y 9,5, la durabilidad no debiese verse afectada.

2.1.3. Suelos.

La velocidad de corrosión del acero en contacto con suelo depende de sus propiedades, tales como la resistividad, el pH, el contenido de humedad y oxígeno. El detalle a continuación:

2.1.3.1. Resistividad.

A mayor resistividad, mayor la durabilidad, dado que ésta consiste en la oposición al flujo de la corriente. La Tabla 2 muestra rangos típicos de resistividad para distintos tipos de suelo.

Tabla 2. Resistividades típicas de los suelos (Fuente: CSPI).

Clasificación	Resistividad ohm-cm
Arcilla	750 – 2.000
Limo	2.000 – 10.000
Grava	10.000 – 30.000
Arena	30.000 – 50.000
Roca	> 50.000

2.1.3.2. pH.

Los grados de corrosión en base al nivel de pH del suelo que se encuentra en contacto con el acero se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles de pH del suelo y su nivel de corrosión (Fuente: CSPI).

Nivel de corrosión	Nivel de pH
Muy corrosivo	0,0 – 5,0
Medianamente corrosivo	5,0 – 5,8
Condiciones normales	> 5,8

2.1.3.3. Contenido de humedad.

Si el suelo con el cual el acero está en contacto posee una humedad bajo el 20%, la durabilidad no debiese verse afectada. Como consecuencia, mientras más rápido sea el drenaje, se genera una menor corrosión. La corrosión relativa según el tipo de suelo se detalla a continuación:

- Suelo ligeramente corrosivo: Poseen buena aireación, buen drenaje, color uniforme y un nivel freático bajo. Dentro de esta categoría están las arenas o limos arenosos, margas limosas con textura ligera y margas porosas o margas arcillosas totalmente oxidadas a gran profundidad.
- Suelo medianamente corrosivo: Poseen una aireación regular, drenaje regular, color ligeramente moteado y un

nivel freático bajo. Dentro de esta categoría están los limos arenosos, los limos y las margas arcillosas.

- Suelo muy corrosivo: Poseen aireación y drenaje pobre, una textura pesada, un color moderadamente moteado y un nivel freático de 60 a 90 cm bajo la superficie. Dentro de esta categoría están las margas arcillosas y las arcillas.
- Suelo severamente corrosivo: Poseen aireación y drenaje muy pobre y un color gris azulado moteado. Dentro de esta categoría están los lodos, la turba, suelos pantanosos, arcillas y suelos orgánicos.

2.2. Soluciones de protección del acero.

Existen distintos tipos de protección del acero, los cuales se llevan a cabo mediante variados procesos. Los hay mediante baños exteriores (galvanizado, Magnelis®), aleaciones (corten, acero inoxidable), barreras de protección (pinturas) o un mixto (galvanizado + pintura). A excepción de la pintura, las otras soluciones están basados en el principio de óxido reducción de la escala galvánica, donde en contacto con el zinc se oxida para proteger el acero. A continuación, se presenta una descripción de las soluciones propuestas:

2.2.1. Galvanizado.

El galvanizado se produce al sumergir productos de acero o hierro en un baño de zinc fundido. Está constituido por varias capas de aleaciones zinc-hierro, como muestra la Figura 1. Tiene 100% de penetración y cubre la totalidad de la superficie de la pieza sujeta a galvanizar, así como otras muchas áreas superficiales de las piezas que no son accesibles por otros métodos de protección (CEMESA Galvanizadora, s. f.). Esta capa protege de dos maneras: protección de barrera y protección galvánica (catódica).

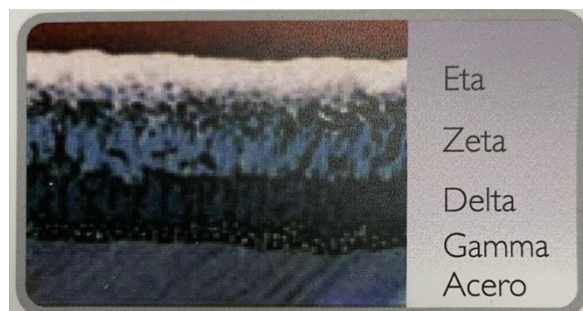


Figura 1. Capas de aleaciones zinc-hierro. (Fuente: GYMSEA).

El galvanizado provee resistencia a la abrasión, ya que las capas zinc-hierro son más duras incluso que el acero y en conjunto con la capa externa de zinc, que es más blanda, forman un sistema muy resistente a los golpes y a la abrasión (Gymsa, s. f.). Por otro lado, provee **resistencia a la corrosión atmosférica** en agua dulce y en agua de mar. Esta resistencia se conoce como protección triple:

- Protección por efecto barrera: Aísla el acero del medio ambiente agresivo.
- Protección catódica o de sacrificio: El zinc se sacrifica para darle protección al acero, dado que tiene un potencial electroquímico mayor que el hierro. Por lo que mientras exista una capa de zinc, el acero no se deteriorará.
- Restauración de zonas desnudas: Los productos de corrosión del zinc taponan las pequeñas zonas sin galvanizar protegiéndolas de la oxidación, al generar carbonatos de zinc que se acumulan en la zona desnuda del acero cubriéndola y aislándola de la humedad y del ambiente, como muestra la Figura 2.

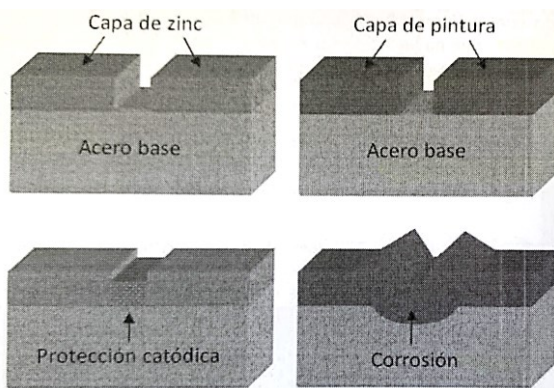


Figura 2. Simulación de protección de zonas desnudas. (Fuente: CEMESA).

La **resistencia a la corrosión atmosférica** también depende de las condiciones climatológicas del lugar, como muestra la Figura 3 y del espesor del recubrimiento en la superficie del metal. La velocidad de corrosión del zinc se produce generalmente de forma lineal en un entorno determinado, lo que permite estimar su vida útil mediante evaluaciones de su espesor, de acuerdo a la norma ISO 9223, como muestra la Figura 4.

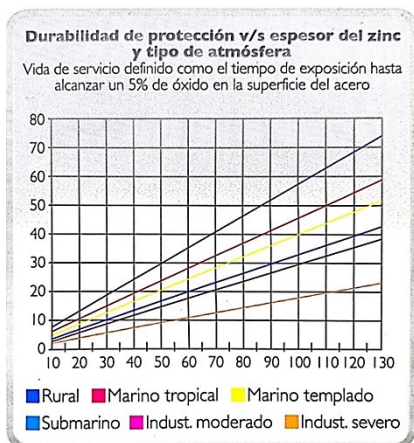


Figura 3. Durabilidad de protección vs espesor del zinc y tipo de atmósfera. (Fuente: GYMSA).

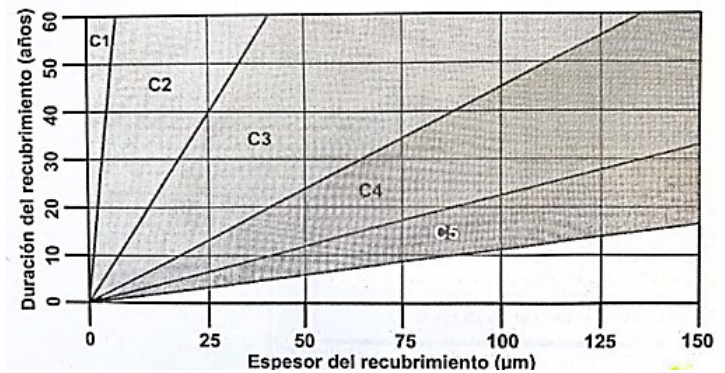


Figura 4. Duración de la capa de zinc de acuerdo al espesor y tipo de ambiente corrosivo. (Fuente: CEMESA).

La **resistencia a la corrosión en agua dulce** se da porque el anhídrido carbónico y las sales cálcicas y magnésicas que normalmente llevan en disolución estas aguas ayudan a la formación de las capas de pasivación del zinc, que son inertes e insolubles y aíslan al recubrimiento de zinc del subsiguiente contacto con el agua.

En cuanto a la **resistencia a la corrosión en agua de mar**, se da porque los iones Mg y Ca presentes en el agua inhiben la acción corrosiva de los iones cloruro y favorecen la formación de capas protectoras.

2.2.2. Acero Magnelis®.

Se conoce como Magnelis® al recubrimiento metálico que actúa como una barrera frente a la corrosión e impide que el acero subyacente entre en contacto con el entorno ambiental (ArcelorMittal, s. f.). Esta capa provee una protección muy densa, estable y duradera por lo que, a diferencia del acero galvanizado que presenta una superficie porosa, provee mayor efectividad contra la corrosión. Tiene un aspecto gris oscuro natural, liso y sin floreado. Magnelis® es el primer revestimiento metálico con certificación C5, que corresponde al ambiente más agresivo. Su desempeño en distintos ambientes se presenta en la Figura 5.

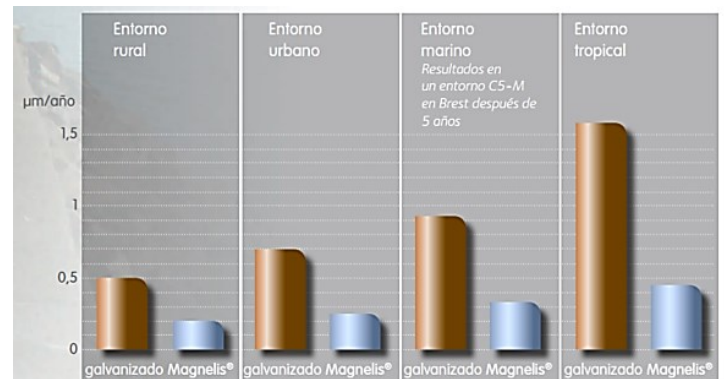


Figura 5. Espesor* medio consumido anualmente en diferentes entornos en micras/año (después de 2 años). (Fuente: ArcelorMittal R&D).

*La pérdida de peso medida no depende del espesor inicial del recubrimiento de las muestras.

Para conocer la efectividad de esta solución de protección del acero, se ha sometido a ensayos de niebla salina (ArcelorMittal, s. f.). Los resultados son:

- Luego de 1440 horas sobre una copa Magnelis®, no se observa aparición de óxido rojo, mientras que la capa galvanizada aparece completamente corroída.
- Luego de 34 semanas, no se observó la aparición de óxido rojo en el acero con un recubrimiento de 20 μm de Magnelis®.

Una de las ventajas de este tipo de recubrimiento es que posee propiedades de auto-curado, por lo que se forma también en los bordes, soldaduras y perforaciones. Otro factor importante a considerar es que garantiza la conservación de los recursos naturales, ya que contiene una cantidad de zinc significativamente menor que los recubrimientos de zinc puro, por lo que reduce el arrastre de zinc por aguas de escorrentía, como muestra la Figura 6. Y, por otro lado, es 100% reciclable y según el reglamento REACH no contiene ningún elemento nocivo.

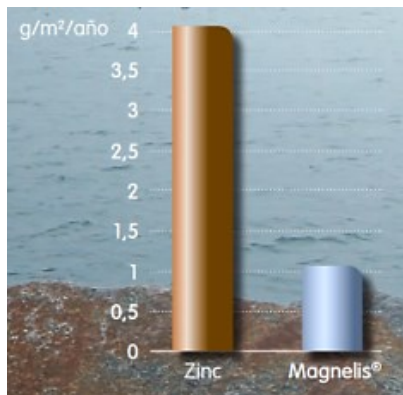


Figura 6. Índice de arrastre de zinc por escorrentía. (Fuente: Instituto Francés de la Corrosión y ArcelorMittal).

En cuanto a la interacción con la tierra, al entrar en contacto con el terreno, genera una película protectora de gran densidad que cubre la superficie del acero, disminuyendo el contacto entre éste y el suelo, ralentizando así drásticamente el avance de la corrosión, como muestra la Figura 7.

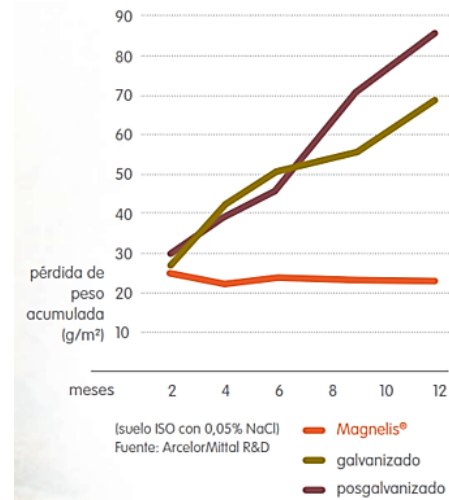


Figura 7. Comparación de niveles de corrosión para aceros galvanizados, posgalvanizados y con recubrimiento Magnelis® durante un año en contacto con el suelo. Suelo ISO con 0,05% NaCl. (Fuente: ArcelorMittal R&D)

En cuanto a la atmósfera, Magnelis® presenta una excelente resistencia a la corrosión en atmósferas alcalinas (pH entre 10 y 13) y ricas en amoníaco. Por esta razón, es muy recomendable su uso en postes para viñedos, los cuales representan más del 60% del coste de las vallas. Los postes Magnelis® son como mínimo un 20% más rentables que los de madera y los galvanizados, pudiendo desempeñar su función durante todo el ciclo vital de las cepas.

Por otro lado, cabe destacar que, de acuerdo con el reglamento europeo CE 1935/2004, Magnelis® es apto para contacto alimentario.

2.2.3. Acero Corten.

Es un tipo de acero que, al estar expuesto al ambiente natural, desarrolla una capa dura y estable llamada pátina, que sirve para proteger el acero, otorgándole un color rojizo que sirve para disminuir la velocidad de corrosión, como muestra la Figura 8. Se clasifica como acero de alta resistencia y baja aleación de carbono (menos de 0,2%). Su principal ventaja es que reduce el mantenimiento y crea estructuras más livianas, lo que lo hace un material económico y aprobado estéticamente porque muestra el acero en su aspecto de estado natural.

Este material es ampliamente utilizado en rieles ferroviarios, esculturas, fachadas arquitectónicas, entre otras. En Tecnovial se tienen barreras certificadas con uso de corten + madera.

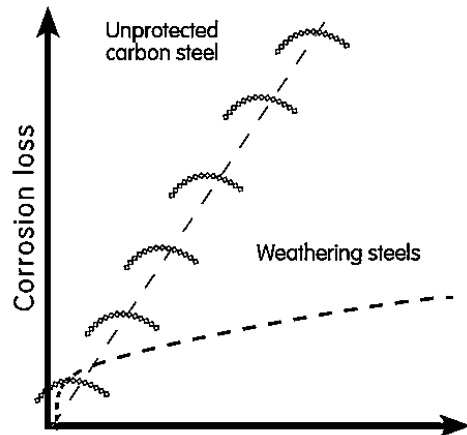


Figura 8. Comparación de pérdida de corrosión de aceros corten (weathring) con acero estructural sin protección. (Fuente: ArcelorMittal).

Durante su fabricación, se le adiciona cobre y otros elementos de aleación, los cuales típicamente comprenden menos del 5% de acero. A continuación, el detalle de cada uno:

- Cobre: Incrementa la adherencia, compactación y elasticidad de la capa superficial.
- Fósforo: Actúa como catalizador del cobre e incrementa la reactividad inicial. Ayuda a esparcir de forma homogénea la capa superficial. También acelera el proceso de curado si la capa de óxido es accidentalmente dañada.
- Silicio: Aumenta la resistencia a la corrosión y ayuda a mejorar las características mecánicas del sustrato de acero.
- Cromo y níquel: Ayudan a formar sulfatos básicos insolubles que reducen la porosidad de la capa superficial, garantizando la protección de la superficie metálica subyacente contra el agua y el oxígeno.

La dinámica de este tipo de acero es que, al ser expuesto al ambiente atmosférico, desarrolla una capa inicial de óxido de hierro, de la misma forma que el acero de carbono. El grado de oxidación depende de cuánto oxígeno, humedad y contaminantes atmosféricos cubren la superficie para crear una capa de óxido. A medida que el proceso avanza, la capa de óxido forma una barrera contra los agentes. Esta capa funciona como una barrera que impide el acceso de oxígeno, humedad y polución a la superficie del metal, lo que ayuda a disminuir la velocidad de corrosión.

Para formar la pátina, se requieren ciclos de mojado y seco. La humedad ayuda a crear la capa de óxido y mientras se seca, comienza a deshidratarse, resultando en una capa adherente compacta con baja permeabilidad.

Durante la formación de la pátina, algunos óxidos se lavan por la lluvia, proceso importante especialmente durante los primeros 2 a 6 años, que es cuando la pátina se estabiliza. La cantidad de

óxido que se lixivia por la lluvia disminuye en el tiempo, pero nunca se detiene por completo, lo que puede causar que materiales cercanos se tiñan. Es por esto que se requiere un diseño estructural pensado para asegurar que el agua de lluvia teñido sea colectado y dirigido lejos de otros materiales para evitar que se manchen.

Para que la protección a la corrosión sea efectiva, es esencial que la pátina se desarrolle a un ritmo constante. Por ejemplo, en zonas expuestas al ambiente marino, la pátina se desarrolla más rápido que en un ambiente rural. Sin embargo, no se adhiere tan bien al acero y puede que no lo proteja de la corrosión. Los mejores resultados son obtenidos en zonas donde el acero está expuesto a ciclos sucesivos de mojado/secado, y no tiene contacto permanente con agua estancada.

Las condiciones ideales para el acero corten son:

- Humedad variable: Se requieren fases sucesivas de mojado/secado para formar una capa de óxido estable en la superficie. Este acero no debe ser usado en lugares protegidos de la humedad, zonas en permanente contacto con agua o cubiertas por vegetación. De caso contrario, se debe proteger con pintura.
- Atmósfera no agresiva: Altas concentraciones de iones de cloruro afectan negativamente la adherencia de la pátina. De acuerdo a EN ISO 9223, los aceros corten no se deben usar a menos de 2 km de la costa, a menos que los niveles de cloruro en el aire no superen la clasificación de salinidad de S2 ($Cl < 300 \text{ mg/m}^2/\text{día}$).
- Evitar contacto entre el acero corten y sales antihielos usado en las calles.
- Polución no atmosférica: Contaminantes atmosféricos y humos industriales pueden afectar el desarrollo de la pátina. La corrosión es mucho más alta si la superficie metálica está cubierta por partículas sólidas como polvo o suciedad. Estas partículas pueden retener humedad y sales. En un ambiente industrial, altas cantidades de dióxido de sulfuro (SO_2) son perjudiciales para la compactación de la pátina. ISO 9223 recomienda que aceros corten no sean usados sin protección en un ambiente P3 ($SO_2 > 200 \text{ mg/m}^2/\text{día}$).

2.2.4. Sistema galvanizado + pintura.

Se conoce como sistema galvanizado + pintura, como lo dice su nombre, a la combinación de dos sistemas de protección frente a la corrosión que se complementan entre sí.

Se usa en los casos que es necesaria una protección frente a la corrosión muy eficaz, por ejemplo, edificación, amueblamiento urbano, carreteras e industrias químicas y eléctricas.

La duración proporcionada por estos sistemas suele ser más prolongada que la provista por cada sistema (pintura y galvanizado) por separado, por lo que se dice que produce un efecto sinérgico. La forma matemática se presenta en la Ecuación (1).

$$D_T = K (D_{Z_N} + D_P) \quad (1)$$

Donde D_T representa la duración total de este tipo de sistema, K una constante, la cual se usa entre 1,2 y 2,5 dependiendo del sistema de pintura y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el sistema; D_{Z_N} es la duración del recubrimiento galvanizado y D_P la duración de la pintura.

Esto se debe principalmente a que los recubrimientos de pintura tienen normalmente poros y microgrietas, que permiten el paso de la humedad. Si la pintura se aplica directamente sobre la superficie del acero, el óxido de hierro formado inicialmente bajo la capa de pintura tiende a agrandar las grietas por ser muy voluminoso, por lo tanto, facilita la penetración de más humedad del exterior a la superficie del acero, formando así nuevas cantidades de óxido. Esto implica tensiones expansivas debajo de la película de pintura que llegan a levantarla y generación de grietas visibles a la vista. Ocurre lo contrario cuando se aplica pintura sobre recubrimientos galvanizados, ya que aunque la humedad penetre a través de los poros y microgrietas de la película de pintura, se encontrará con el sustrato de zinc. Es por esto que se dice que existe una protección recíproca que

beneficia a ambos sistemas de protección.

Otra ventaja de la aplicación de pinturas es que se pueden obtener toda clase de coloración. En algunos casos particulares, se usa la pintura con fines de balizaje o identificación, y en otros casos, se puede requerir como efecto de camuflaje.

2.3. Ensayo de envejecimiento de niebla salina.

Se realiza un ensayo de envejecimiento en cámara de niebla salina -según norma ASTM B117-09 en CESMEC, el cual consiste en exponer la muestra a una solución de cloruro sódico al 5%, con agua desmineralizada, tipo IV de características definidas para verificar la resistencia a la corrosión de materiales.

Las muestras ensayadas son:

- Muestra 1: Acero galvanizado con espesor de recubrimiento de 71,48 μm
- Muestra 2: Acero galvanizado más pintura con espesor de recubrimiento de 228,3 μm

3. Análisis de resultados.

En la Tabla 4, se presentan los resultados de la evaluación de oxidación y ampollamiento luego de 1000 horas de ensayo. Los resultados son consistentes con lo esperado, que es que la solución de protección del acero que consiste en sistema mixto de galvanizado más pintura, sea más eficiente que solo el galvanizado.

Tabla 4. Resultados de ensayo de envejecimiento en cámara de niebla salina luego de 1000 horas de ensayo. La distribución puede ser puntual (S), generalizada (G) o expandida (P).

Muestra	Porcentaje (%)	Oxidación		Ampollamiento		Sales Blancas
		Frecuencia (10-0)	Distribución (S-G-P)	Frecuencia	Tamaño (N°)	%
1	0,3	7	G	No se observa	No se observa	75
2	0,03	9	S	No se observa	No se observa	0,1

Como se puede notar, el porcentaje de oxidación en la muestra 1 (acero galvanizado) es 10 veces el porcentaje de la muestra 2 (acero galvanizado más pintura). Sin embargo, la frecuencia es levemente mayor en la muestra 2. En cuanto a la distribución de la oxidación, en la muestra 1 se presentó de forma generalizada y en la muestra 2 de forma puntual.

Por otro lado, considerando la variabilidad climática en nuestro país, se recomienda usar el mapa de corrosión atmosférica de Chile (Pontificia Universidad Católica de Chile, s. f.), el cual fue desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, y presenta las distintas estaciones meteorológicas instaladas a lo largo del país y las velocidades de corrosión de distintos

materiales presentes en esa estación, y otras propiedades de la zona. En la Figura 9 se pueden ver las distintas categorías de corrosividad en Chile.



En base a lo expuesto anteriormente, se propone la Tabla 5, la que presenta recomendaciones de soluciones de protección del acero, en base al escenario al que se encontrará expuesto.

Figura 9. Mapa de corrosividad atmosférica de Chile. (Fuente: <http://www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl/>).

Tabla 5. Cuadro de recomendación de sistemas de protección ante la corrosión. Donde: - significa no recomendado, o indiferente, + recomendado y ++ muy recomendado.

Escenario	Galvanizado	Magnelis®	Corten	Galvanizado + Pintura
Ambiente C5 (muy agresivo)	+	++	0	+
Estructuras con bordes, soldaduras y/o perforaciones	+	++	0	-
Contacto con tierra	+	++	0	+
Contacto con hormigón	+	++	0	0
Ambiente marino	+	+	0	+
Ambiente industrial	+	+	-	++
Aspecto visual	0	0	+	+
Contacto alimentario	-	++	-	-
Humedad variable	0	0	++	0

Y finalmente, con el fin de cuantificar la cantidad de tiempo que tardará el acero en oxidarse, se recomienda el uso del gráfico de la Figura 10 (Cspi, 2002), el cual fue diseñado para una tubería de acero corrugado de 1,6 mm con 610 g/m² de galvanizado, pero es aplicable a otros espesores con un factor apropiado. Si bien fue calibrada para tubería, puede ayudar a entregar una noción de la duración, en años, de cualquier estructura de acero.

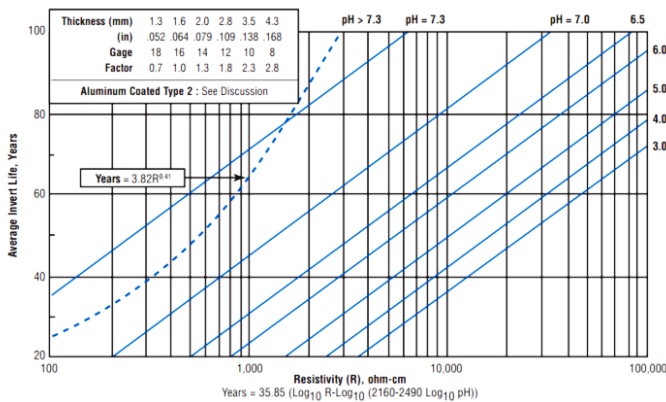


Figura 10. Gráfico de AISI para estimar la vida promedio de un tubo de acero corrugado galvanizado. (Fuente: AISI).

4. Conclusiones.

Como conclusión a este trabajo, se presentan distintas sugerencias para uso de soluciones de protección del acero, en base a la zona geográfica, escenario y ambiente al cual estará expuesto el acero. Las opciones estudiadas son de galvanizado, Magnelis, corten y sistema de galvanizado + pintura, las cuales poseen sus propias ventajas y desventajas. En general, la opción de Magnelis es recomendada en la mayoría de los casos y por otro lado, el acero corten, si bien no se descarta su uso, no presenta mayores ventajas. Estas sugerencias van respaldadas con el ensayo de niebla salina donde se evaluó el comportamiento del acero galvanizado vs acero galvanizado más pintura, donde este último presentó un 10% menos de porcentaje oxidado que el acero galvanizado.

Por otro lado, se recomienda el uso de un gráfico con el fin de cuantificar los años de vida del acero antes de retornar a su estado natural (oxidado), el cual si bien fue elaborado en base a tubería, es bastante útil para cuantificar de forma aproximada el tiempo que otros elementos tardarán en volver a su estado natural.

Finalmente, se recomienda considerar el esquema de protección recomendado para cada caso y complementar esta información con el mapa de corrosión, para así lograr una mayor eficiencia en el uso del material, especialmente en el ámbito económico y natural.

5. Referencias.

- ArcelorMittal. (s. f.). *Magnelis—Decisión Estratégica*.
- CEMESA Galvanizadora. (s. f.). *Galvanizado por Inmersión en Caliente*.
- Cspi. (2002). *Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products*.
- Gymsa. (s. f.). *Manual de galvanizado*.

- ISO 9223. (2012). *Corrosion of metals and alloys—Corrosivity of atmospheres—Classification, determination and estimation*.
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (s. f.). *Proyecto Innova: Mapa de corrosión atmosférica de Chile*. Recuperado 24 de mayo de 2023, de <http://www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl/>