



GERDAU
CORSA
El futuro se moldea



RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE PILOTES DE ACERO

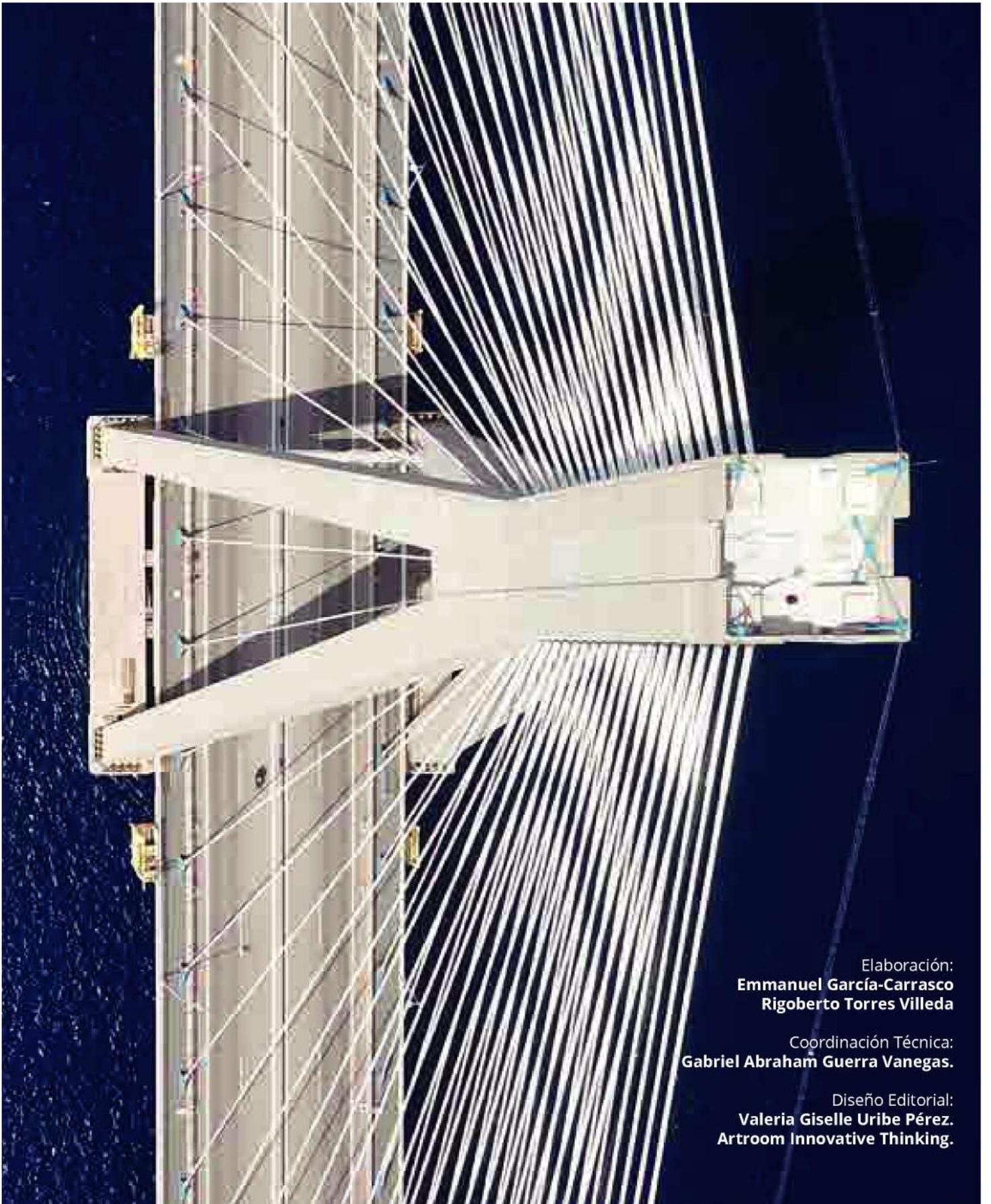
Gerdau Corsa. El futuro se moldea.

gerdaucorsa.com.mx

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN PILOTES DE ACERO

Los pilotes metálicos han sido utilizados en todo el mundo como elementos de cimentación por más de 100 años, excediendo las estimaciones de durabilidad teórica. La corrosión en suelos naturales no alterados es controlada primordialmente por los mecanismos de difusión de oxígeno y disponibilidad de agua del medio. Mediciones experimentales de la corrosión reportadas en la literatura, apuntan a que los pilotes de acero rara vez se ven comprometidos estructuralmente por este fenómeno. En este artículo se hace un resumen sobre los mecanismos que dominan el proceso de corrosión, tasas de pérdida de acero reportadas en la literatura y se sugiere un método simplificado de verificación de la capacidad estructural de perfiles H o I considerando dicha corrosión.

H Piles has been used around the world for more than 100 years on Foundations Projects, exceeding the theoretical durability of steel. The corrosion in undisturbed natural soils is controlled, primordially, by the oxygen diffusion in the soil and water availability. Experimental results reported on the literature shows that the structural integrity of the steel piles rarely is compromised by the corrosion. In this paper is summarized the corrosion process, rates of steel loss and a simplified method is suggested to verify the structural capacity of H Piles after the corrosion has taken place.



Elaboración:
Emmanuel García-Carrasco
Rigoberto Torres Villeda

Coordinación Técnica:
Gabriel Abraham Guerra Vanegas.

Diseño Editorial:
Valeria Giselle Uribe Pérez.
Artroom Innovative Thinking.

1.- INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, los metales se encuentran comúnmente en un estado estable en la forma de compuestos como los óxidos, sulfuros y carbonatos. Regresar a este estado primordial es la tendencia química de los productos fabricados con metales cuando se exponen a la intemperie. El acero, primordialmente formado de una mezcla de hierro y carbono, es un material ampliamente usado en las cimentaciones pues sus ventajas en las aplicaciones de la ingeniería superan con creces la propensión a la desintegración química.

1.- INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, los metales se encuentran comúnmente en un estado estable en la forma de compuestos como los óxidos, sulfuros y carbonatos. Regresar a este estado primordial es la tendencia química de los productos fabricados con metales cuando se exponen a la intemperie. El acero, primordialmente formado de una mezcla de hierro y carbono, es un material ampliamente usado en las cimentaciones pues sus ventajas en las aplicaciones de la ingeniería superan con creces la propensión a la desintegración química.

2.- CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

La corrosión es el proceso electroquímico gradual que lleva al metal refinado a formar dichos compuestos estables originales. En el proceso de corrosión interviene siempre un circuito eléctrico, que es formado con un ánodo (*metal*), un cátodo (*agente oxidante*), y un electrolítico (*solución acuosa, en nuestro caso*). El balance de energía puede establecerse mediante las relaciones de reducción-oxidación (*Redox*), que de acuerdo a Pannoni (2009), dependerán en gran medida de la disponibilidad del oxígeno libre en el electrolito (*agente oxidante*).

El proceso inicia, en un primer momento, con el flujo de electrones que desde el hierro (Fe), viajan hacia el cátodo formado por el propio metal en unión iónica con el agua. Este flujo de electrones permite que el oxígeno libre (O₂), disuelto en el medio convierta los iones de hidrógeno (H⁺), en agua (*balance ácido*), o el agua en iones de hidróxido (OH⁻, balance alcalino). En el siguiente paso, el coloide de agua y hierro son combinados con el oxígeno para formar alguno de los óxidos de hierro: óxido hidratado de hierro (Fe₂O₃ (H₂O)_n), hidróxido de hierro (Fe(OH)₃), u óxido-hidróxido de hierro (FeO(OH)).

Estos óxidos (*cuya colectividad llamamos herrumbre*), es depositada en la superficie del metal madre (*Figura 1*); formando una barrera débil que puede ralentizar el proceso (*si no es removida por abrasión*).

Este proceso es también determinado por las características electroquímicas del medio, que aceleran o ralentizan el proceso, como consecuencia del balance catiónico.

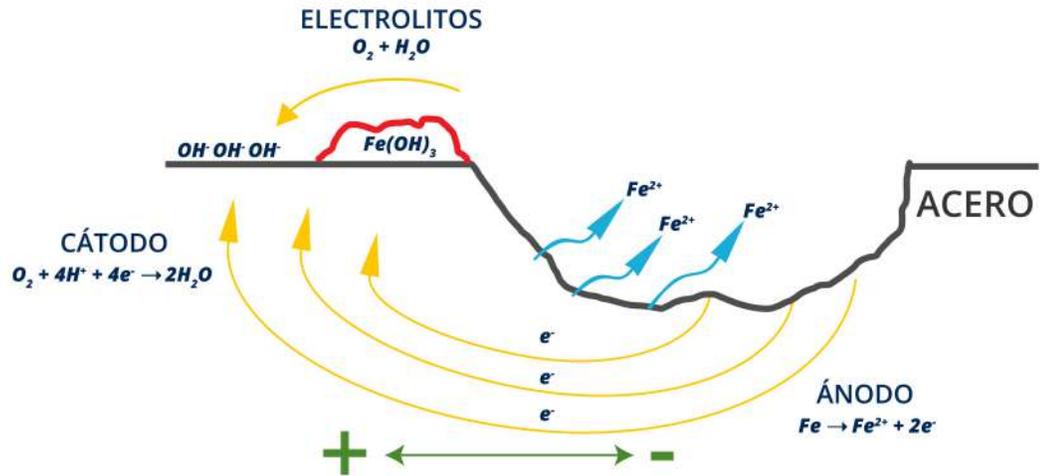


Figura 1. Proceso de oxidación del acero.

Acidez del medio	Proceso Redox	Agente oxidante
pH < 4 (ácido)	Ox: 2Fe → 2Fe ²⁺ + 4e ⁻ Re: 2H ⁺ + 2e ⁻ → H ₂ ↑ Res: Fe + 2H ⁺ → Fe ²⁺ + H ₂ ↑	H⁺
4 < pH < 6	Ox: Fe → Fe ²⁺ + 2e ⁻ Re: O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ → 2H ₂ O Res: 2Fe + O ₂ + 4H ⁺ → 2Fe ²⁺ + 2H ₂ O	O₂
pH > 6 (alcalina)	Ox: 2Fe → 2Fe ²⁺ + 4e ⁻ Re: O ₂ + 2H ₂ O + 4e ⁻ → 4OH ⁻ Res: 2Fe + O ₂ + 2H ₂ O → 2Fe ²⁺ + 4OH ⁻	O₂

Ox, oxidación; Re, Reducción; Res, Resultante.

Tabla 1. Proceso de oxidación del acero en función de la acidez del medio

1.1 PARÁMETROS DE CORROSIVIDAD

Para un sitio determinado, la variación espacial del contenido de agua, el porcentaje de oxígeno disponible, pH, el potencial Redox, la resistividad, las sales disueltas y actividad microbiológica, determinan en su conjunto, la tasa de corrosión que afectará a los elementos de acero:

1.1.1 Agua

El agua es el electrolito esencial requerido para el proceso de corrosión electroquímica. La cantidad de agua y sus parámetros de flujo dependen de la textura, tamaño de los poros y estructura de la masa de suelo (flujo saturado o nivel de aguas freáticas); y está asociada a la acción capilar, succión osmótica, mátrica o gravedad (flujo en un medio no saturado).

1.1.2 Concentración de oxígeno

En condiciones naturales, la cantidad de oxígeno disponible para las reacciones electroquímicas se reduce con la profundidad en el suelo. En suelos neutros o alcalinos suele ser el parámetro más importante que determina la reacción catódica. La difusión del oxígeno es más rápida en suelos no saturados de estructura gruesa.

1.1.3 pH

La concentración de iones libres de hidrógeno es medida con la escala pH. El rango común de pH en los suelos naturales va de 4 a 6. En este rango, el pH no es una variable determinante en la tasa de corrosión. En suelos ácidos ($\text{pH} < 5$), por otro lado, el ataque químico es potencialmente importante para las estructuras de acero.

1.1.4 Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es un indicador global de la corrosividad de un suelo, especialmente si se asocia con algún otro parámetro. Su valor disminuye con el incremento del contenido de agua y concentración de sales en el suelo. Como parámetro cualitativo, es útil para establecer la corrosividad relativa del suelo (Roberge, 1999).

Resistividad [$10^3 \cdot \Omega \cdot \text{cm}$]	Corrosividad
> 20	No corrosivo
10 - 20	Ligera
5 - 10	Moderada
1 - 3	Alta
< 1	Extrema

Tabla 2. Resistividad vs. corrosividad.





2.1.5 Potencial Redox

El potencial de Reducción-Oxidación es la energía química disponible para el ciclo de oxidación-reducción y representa, básicamente, la capacidad del suelo de aceptar iones positivos (Fe^{+}), para que la reacción se lleve a cabo. Valores bajos o negativos de este potencial indican alta corrosividad.

2.1.6 Cloruros y sulfatos

Los iones de cloruros participan directamente en las reacciones de disolución anódica de los metales y disminuyen significativamente la resistividad de los suelos. Los sulfatos, si bien menos agresivos que los cloruros, pueden ser fuente de sulfuros altamente corrosivos en un proceso de reducción bacteriana.

2.1.7 Influencia microbiológica

Las actividades de hongos y bacterias pueden jugar un papel importante en la corrosión. Las colonias bacterianas, por ejemplo, pueden aumentar localmente el nivel de acidez del medio (ácidos grasos y orgánicos), causar una depolarización catódica del metal, producción de sulfuros o formar irregularidades superficiales durante el crecimiento de las colonias.

2.2 POTENCIAL CORROSIVO DE LOS SUELOS

La AWWA ha desarrollado una escala multifactorial (Tabla 3), para establecer el potencial corrosivo del suelo con base en los parámetros antes descritos. El sistema de clasificación es ampliamente utilizado para determinar los sistemas de protección requeridos en los sistemas de conducción de agua potable. Si la suma de los puntos asignados a cada parámetro de corrosividad supera a 10, el suelo se considera como agresivo para el acero.

Parámetro	Valor	Puntos ¹
Resistividad [$10^3 \cdot \Omega \cdot \text{cm}$]	<0.7	10
	0.7-1.0	8
	1.0-1.2	5
	1.2-1.5	2
	1.5-2.0	1
	>2.0	0
pH	0-2	5
	2-4	3
	4-6.5	0
	6.5-7.5	0 ²
	7.5-8.5	0
	>8.5	3
Potencial Redox [mV]	>100	0
	50-100	3.5
	0-50	4
	<0	5
Sulfuros	Positivo	3.5
	Rastros	2
	Negativo	0
Drenaje/ Humedad	Pobre / continua	2
	Medio / esporádica	1
	Bueno / seco	0

¹ 10 puntos = suelo corrosivo o agresivo.

² Si hay presencia de sulfuros y Redox <100 mV, asignar el valor de 3.

Tabla 3. Clasificación de corrosividad, AWWA (2018).

2.3 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Dependiendo la severidad de exposición al ambiente corrosivo, existe una gran cantidad de métodos de protección de los perfiles metálicos. De entre estos, se destacan los siguientes:

a. Recubrimientos anticorrosivos. Típicamente aplicados en aquellas zonas de exposición atmosférica o de alto ataque marino (zona de salpicaduras o marea baja).

b. Galvanización. Corresponde al recubrimiento de zinc, con espesor y calidades variables, para aplicaciones de exposición atmosférica, en ubicaciones cercanas al mar, o de baja concurrencia de mantenimiento.

c. Protección catódica. Consiste en formar un circuito eléctrico por medio de un metal de valencia menor (más negativo; en relación al acero, el zinc, aluminio, magnesio), que formará el nuevo ánodo del proceso, divergiendo la corrosión hacia este metal de sacrificio. Su uso más común es en estructuras sumergidas o de exposición atmosférica.

d. Espesor de sacrificio. Es el método más común de protección en cimentaciones. La estructura deberá ser estable asumiendo una pérdida de espesor por efecto de la corrosión al cabo de su vida útil.

2.4 TASA DE CORROSIÓN EN SUELOS

2.4.1 IMCA y NTC - RSEE

Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (NTC-RSSE, 2017) en apartado 11.8 (Durabilidad) reza al calce:

“Los elementos de acero estructural expuestos a la intemperie se protegerán contra la corrosión (excepto los de acero especial intemperizable); cuando sea imposible protegerlos después de la fabricación y montaje de la estructura, en su diseño se tendrán en cuenta los efectos perjudiciales de la corrosión, por ejemplo, aumentando el grueso de las paredes de los perfiles respecto al necesario por resistencia” El Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, IMCA, en la quinta edición de su manual de diseño (2015), especifica: En concordancia con las NTC, que “los componentes estructurales deben diseñarse para tolerar la corrosión o deben protegerse contra ella”.

2.4.2 Norma BS 8004:1986

La norma británica BS 8004 (1986), se apoya en los resultados experimentales reportados en la literatura, como Romanoff (1986), Shreir (1976), Morley (1978b), Beckwith (1979), Eadie (1979), Eadie y Kinson (1980), y Morley y Bruce (1983). En todos los casos de estudio, se encontró que la tasa de corrosión real en suelos naturales (resistividades mayores a 2000 $\Omega \cdot \text{cm}$), se encontraba muy por debajo de la estimada por métodos analíticos. La tasa de corrosión media en estos casos fue de entre 1 y 2 mm en 100 años de servicio de la estructura (10-20 $\mu\text{m}/\text{año}$).



**Tabla 4. Tasas de corrosión, norma BS8004:1986.**

Tipo de exposición	Ubicación	Tasa de corrosión $\mu\text{m}/\text{año}$
Suelos naturales	Bajo o sobre el NAF	10-20
	Fondo marino	10-20
Agua de mar	Zona de inmersión	80
	Zona entre mareas	80
	Zona de salpicadura	150
	Zona de marea baja	150
Agua dulce	Zona de inmersión y presencia de calizas	50
		10
	Zona de salpicaduras	50-100
Atmosférica	Cercana al mar o industrias	100
	Otras	50

2.4.3 Eurocódigo EN 1993-5

La Norma Europea para el Diseño de Estructuras de Acero EN 1993-5 (2007), es quizá la guía más específica para estimar la corrosión en función de las condiciones de exposición. Esta norma permite anexos locales para tomar en cuenta las condiciones de exposición de cada región de la Unión Europea. En el caso de exposición atmosférica, la corrosión a considerar es de $10\mu\text{m}/\text{año}$, y de $20\mu\text{m}/\text{año}$ para ubicaciones cercanas al mar.

Tabla 5. Pérdida de espesor por corrosión para pilotes metálicos en suelos (mm), con o sin nivel freático, EN 1993-5.

Vida útil	5 ¹ años	25 ¹ años	50 años	75 años	100 años
Suelos naturales no alterados	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20
Suelos contaminados y sitios industriales	0.15	0.75	1.50	2.25	3.00
Suelos agresivos (pantanos, turbas, marismas)	0.20	1.00	1.75	2.50	3.25
Rellenos no compactados ² , no agresivos	0.18	0.70	1.20	1.70	2.20
Rellenos no compactados ² agresivos (escorias, cenizas)	0.50	2.00	3.25	4.50	5.75

¹Los valores de 5 y 25 años están basados en mediciones, el resto son valores extrapolados.
²La corrosión en rellenos compactados es de la mitad de la presentada en la tabla.

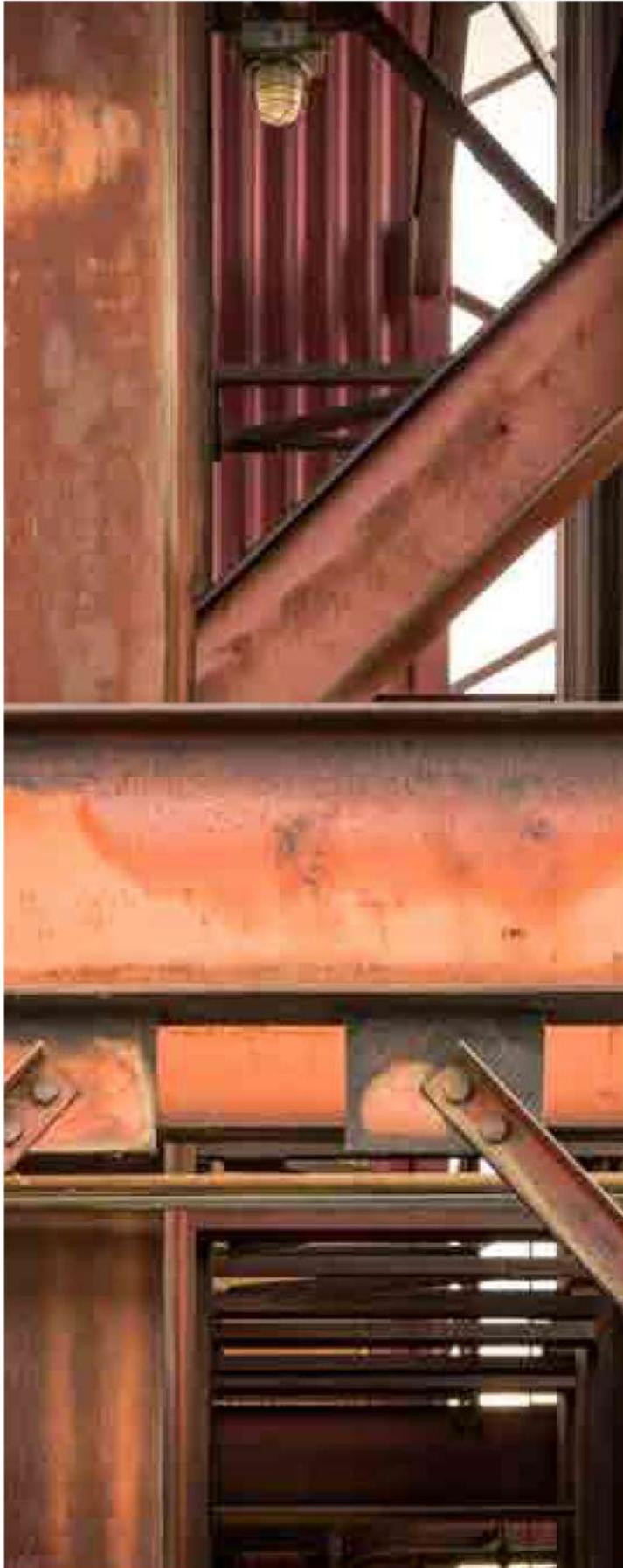
Tabla 6. Pérdida de espesor por corrosión para pilotes metálicos en agua dulce o salada, EN 1993-5.

Vida útil	5 ¹ años	25 ¹ años	50 años	75 años	100 años
Agua dulce en zona de alto ataque	0.15	0.55	0.90	1.15	1.40
Agua dulce contaminada (industrial, aguas negras), en la zona de alto ataque	0.30	1.30	2.30	3.30	4.30
Agua salada en la zona de alto ataque (marea baja y salpicadura)	0.55	1.90	3.75	5.60	7.50
Agua salada en zona de inmersión y entre mareas	0.25	0.90	1.75	2.60	3.50

¹Los valores de 5 y 25 años son basados en mediciones, el resto son valores extrapolados.
²Los máximos valores se presentan en las zonas de marea baja y de salpicaduras, sin embargo, los esfuerzos de flexión más altos ocurren normalmente en la zona de inmersión permanente.

$$C(t) = K \cdot t^n \quad (1)$$

donde $K = 150$ a $180 \mu\text{m}$; $n = 0.5$ a 0.6



3. PÉRDIDA DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Oshaki (1982), apunta que no existen diferencias sustanciales en la tasa de corrosión entre las caras exteriores a interiores del perfil en contacto con el suelo natural. De esta forma, el espesor remanente de una placa de acero sujeta a un proceso de corrosión por dos de sus lados al cabo de "t" años es:

$$e' = e - 2ct = e - C \quad (2)$$

donde e, espesor inicial de la sección; c, tasa de corrosión por año; t, tiempo de exposición al ambiente corrosivo del pilote.

Si el pilote se encuentra totalmente confinado por la masa de suelo, es posible despreciar los efectos de pandeo local para secciones con espesores mayores a 6 mm. En esta condición, dos son los parámetros geométricos fundamentales que gobiernan la capacidad estructural del pilote: el área de la sección (A_s , relacionada a la resistencia a carga axial), y el módulo de sección (S_x , en relación a la resistencia a la flexión del perfil). Al cabo de un tiempo t, el área remanente, A_s' , y el módulo de sección remanente, S_x' pueden ser calculados para las secciones H o I como:

$$A_s' = (d - 2t_f + C)(t_w - C) + 2(b - C)(t_f - C) \quad (3)$$

$$S_x' = \frac{6}{d - c} [(b - C)(d - C)^3 - (b - t_w)(d - 2t_f + C)^3] \quad (4)$$

donde d, peralte de la sección; b, ancho del patín; t_w , espesor del alma; t_f , espesor de los patines; C, pérdida total de espesor por corrosión.

3.1 Ejemplo de aplicación: corrosión en pilote H12x53

3.1.1 Resistencia estructural

Con el fin de dimensionar los efectos de la pérdida de espesor de acero por corrosión en relación a la capacidad estructural del pilote, tomemos como ejemplo la sección H12"x53 (H310x79 kg/m), la cual tiene las siguientes dimensiones:

Dimensión	Valor
Denominación	H12x53 (lb/ft) H310x79 (kg/m)
Peso	79 kg/m
d	300 mm
b	305 mm
t_w	11 mm
t_f	11 mm

Tabla 7. Dimensiones de la sección H12x53.

Si la vida útil de la estructura es de 50 años (típica en edificios comerciales y habitacionales), la pérdida total de espesor por efecto de la corrosión del alma y patines del perfil metálico, C, variará entre 1.0 y 1.2 mm (Tabla 8).

Tabla 8. Corrosión y pérdida de capacidad estructural en el pilote H12x53, 50 años, suelos naturales no alterados.

Criterio	Tasa ¹ (μm/año)	C (mm)	PA ² (%)	PF ³ (%)
BS 8004	10	1.0	9.2	8.9
EN 1993-5	-	1.2	11.0	10.7
Osaki (1982)	10	1.0	9.2	8.9
Romanoff (1957)	-	1.06	9.8	9.5

¹Tasa de corrosión por año.²Pérdida de capacidad axial, calculada como $1-As/As^0$.³Pérdida de capacidad a flexión, calculada como $1-Sx/Sx^0$.

La capacidad axial nominal del perfil metálico al final de su vida útil puede ser calculada, de manera simplificada, con la siguiente ecuación (IMCA, 2015):

$$P_s = 0.6 \cdot Q \cdot f_y \cdot A_s \quad (5)$$

El factor de reducción por pandeo local Q tiene como mínimo el valor de 0.85 en arcillas blandas de la Ciudad de México (longitud de pandeo local equivalente < 2.0 m), mientras que el valor de la fluencia del acero grado 50, f_y , es de 345 MPa. Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que la capacidad axial del perfil en términos del área remanente será

$$P_s = (176 \text{ MPa}) A_s \quad (6)$$

Para una corrosión de 1.2 mm en 50 años (criterio EN 1993-5), el área de la sección H12x53 pasará de ser 97.7 cm² a 86.9 cm². En esta condición, la resistencia estructural P_s remanente será de 1,520 kN.

3.1.2 Resistencia geotécnica

Para un pilote de fricción, la resistencia geotécnica es proporcional a la adhesión o fricción lateral desarrollada en las caras del pilote. En un suelo cohesivo, la resistencia del suelo puede calcularse con la ecuación de Thomlinson (Das, 2008):

$$r = \alpha \cdot s_u \cdot P_p \cdot L / FS \quad (7)$$

donde α , factor de adhesión; s_u , resistencia al corte en condiciones no drenadas; P_p , perímetro de contacto del pilote; L, longitud del elemento; FS, factor de seguridad.

El perímetro de contacto del pilote puede ser asumido como la superficie mínima de falla (García Carrasco, Matos Morales, & Torres Villeda, 2018), igual a $2(b+d)$. Para un pilote alojado en la Serie Arcillosa Superior (SAS), de la Zona de Lago de la CDMX, los valores de resistencia pueden ser asumidos en este ejemplo como:

Tabla 9. Resistencia geotécnica del pilote H12x53 en arcilla.

Parámetro	Símbolo	Valor
Longitud	L	18 m
Factor de adhesión	α	0.9
Resistencia al corte del suelo	s_u	30 kPa
Perímetro ¹	P_p	1.2 m
Factor de seguridad	FS	1.5
Resistencia geotécnica	r	389 kN

¹ Calculado como $2(b+d)$

3.1.3 Capacidad geotécnica vs. resistencia estructural

La condición de trabajo ideal resulta cuando la resistencia estructural del pilote (considerando el efecto de la corrosión), igual o cercana a la resistencia geotécnica (capacidad de carga). En la práctica, salvo en los casos de cimentaciones en roca, los pilotes de acero suelen tener resistencias estructurales que van de entre 2 a 10 veces la resistencia brindada por el terreno de cimentación. La relación de la resistencia estructural a la geotécnica, en nuestro ejemplo, es de 1,520 kN / 389 kN = 3.9. Esta proporción indica que la resistencia del acero, a pesar de las pérdidas de resistencia por efecto de la corrosión, es muy superior a la resistencia geotécnica. Por lo tanto, la oxidación del elemento no compromete la seguridad de la estructura.







4. CONCLUSIONES

La corrosión del acero en la masa de suelo es un problema complejo, multifactorial e irregular desde el punto de vista teórico, por lo que es difícil de correlacionarlo exclusivamente con los parámetros de agresividad de los suelos (pH, resistividad, drenaje, tipo de suelo o su composición química). Las investigaciones experimentales reportadas en la literatura, por otro lado, indican que en la gran mayoría de los suelos naturales ($4 < \text{pH} < 6$), el proceso de corrosión está controlado por la cantidad de oxígeno disponible y la humedad del suelo. La carencia de alguno de estas dos componentes puede inhibir de manera significativa las tasas de corrosión del suelo. Así mismo, los resultados experimentales concurren en las siguientes conclusiones generales:

- **La tasa de corrosión en los suelos naturales es normalmente independiente de la profundidad, tipo de suelo, disposición estratigráfica, niveles freáticos, tipo de suelo o composición química.**
- **Los suelos naturales son tan deficientes de oxígeno que las tasas de corrosión son muy bajas ($< 20 \mu\text{m/año}$).**
- **El fenómeno global de corrosión está controlado por la difusividad del oxígeno en el suelo (Pannoni, 2009), por lo que la tasa de pérdida de acero disminuye con el paso del tiempo.**

De acuerdo a la experiencia de los autores, la pérdida de capacidad estructural de los pilotes de acero por efecto de la corrosión, al cabo de 50 años en suelos naturales no alterados, no representa más del 15% de la resistencia estructural del material inalterado. Este valor es aproximadamente del doble de la variación de resistencia debida a las tolerancias de laminación (ASTM, 2016). En los sistemas de cimentación común, por otro lado, la capacidad de carga del terreno suele ser entre 2 y 10 veces menor que la resistencia de los elementos de acero.

El efecto de la pérdida de acero por corrosión en la resistencia estructural del pilote puede ser evaluado usando el área de acero remanente, A_s' , y el módulo de sección remanente, S_x' , cuyas ecuaciones han sido dadas en este documento. Para una relación de resistencia estructural a geotécnica (P_s/r), menor a 1.5, o cuando el perfil metálico se vea sometido a condiciones de exposición diferentes al del suelo natural, se recomienda realizar una revisión detallada del efecto de la pérdida de espesor en la capacidad estructural del elemento considerando los pandeos locales de la sección de acero.

5. REFERENCIAS

ASTM. (2016). A6/A6M Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling. West Conshohocken, PA: ASTM International.

AWWA. (2018). ANSI/AWWA C105/A21.5 Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems. Denver, Co.: American Water Works Association.

BS 8004. (1986). Code Practice for Foundations. British Standard.

Das, B. M. (2008). Advance Soil Mechanics (3a ed.). Oxon, UK: Taylor & Francis.

Decker, J. B., Rollins, K. M., & Ellsworth, J. C. (2008). Corrosion Rate Evaluation and Prediction for Piles Based on Long-Term Field Performance. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol. 134, Issue 3 (March 2008).

Eurocode 3. (2007). EN 1993-5: Design of Steel Structures- Part 5: Piling Section 4, Durability. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.

FHWA. (1998). Design and Construction of Driven Piles Foundations. FHWA HI 97-013. USA: National Highway Institute.

García Carrasco, E., Matos Morales, C., & Torres Villeda, R. (2018). Empleo de Pilotes Metálicos en la Zona Lacustre del Valle de México, una Opción Viable. León, Guanajuato: SMIG - XXIX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica.

IMCA. (2015). Manual de Construcción en Acero (5a ed.). (A. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, Ed.) México, DF: Limusa.

NTC-RSSE. (2017). Normas Técnicas Complementarias para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones: Diseño por Sismo, Viento, Cimentaciones y Acero. CdMx, México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.

Ohsaki, Y. (1982). Corrosion of Steel Piles deve in Soil Deposits. En Soils and Foundations Vol. 22. Tokio: Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Pannoni, F. D. (2009). A Difusão do Oxigênio Como Fator Limitante da Corrosão de Estacas Metálicas. São Paulo: Gerdau Brasil.

Roberge, P. R. (1999). Handbook of Corrosion Engineering. Nueva York: McGraw-Hill.

Romanoff, M. (1957). Underground Corrosion. Circular 579. Houston. Tx.: US. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

Romanoff, M. (1962). Corrosion of Steel Piling in Soils. Houston, Tx.: American Society of Civil Engineers.





DIRECTORIO

OFICINAS COMERCIALES

T. +52 55 5262 7300 / Av. Ejército Nacional 216 P.2, Anzures, Miguel Hidalgo, CDMX, 11590

PLANTAS

CD. SAHAGÚN

T. +52 791 913 8105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. De México, 54187

DISTRIBUCIÓN

CDMX

T. +52 55 5089 8930 / Año 1857 8, Ticomán, Gustavo A. Madero, CDMX, 07330

MONTERREY

T. +52 81 8748 7610 / Blvd. Carlos Salinas de Gortari 404, Centro Apodaca, Nuevo León, 66600

PATIOS DE CHATARRA Y CENTROS DE RECOLECCIÓN

CD. SAHAGÚN

T. +52 791 9138 105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. de México, 54187

LOS REYES

T. +52 55 5856 1651 / Tepozanes Los Reyes, Acaquilpan, México, 56428

GUADALAJARA

T. +52 33 3668 0285 / 36702769 / Av. 18 de Marzo 531, La Nogalera, Guadalajara, Jalisco, 44470

SAN JUAN

T. +52 55 2603 3275 / 5262 7359 / San Juan 675, Granjas Modernas, CDMX, 07460

TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

VERACRUZ

T. +52 229 923 1359 / Ctra. Fed. Aluminio L. 7 o Camino Puente Roto Km. 1.5, Nuevo Veracruz, Veracruz, 91726



GERDAU CORSA

El futuro se moldea

Somos más allá del acero.

gerdaucorsa.com.mx



Gerdau Corsa. El futuro se moldea.