



Durabilidad de pilotes metálicos enterrados en el suelo

EL ACERO HOY



Oficinas Ciudad de México
Presidente Masaryk 111 - 302
Chapultepec Morales | Miguel Hidalgo
Distrito Federal | México 11570
Tel. +52 (55) 5262 7300
asistenciatecnica-mexico@gerdau.com
www.gerdaucorsa.com.mx

La línea de perfiles
más completa de México



GERDAU CORSA



Elaboración:
Fabio Domingos Pannoni, Ph.D.
Gerdau Açominas,
São Paulo, Brasil.

Coordinación técnica:
Octavio Alvarez Valadez,
Gerdau Corsa, México.

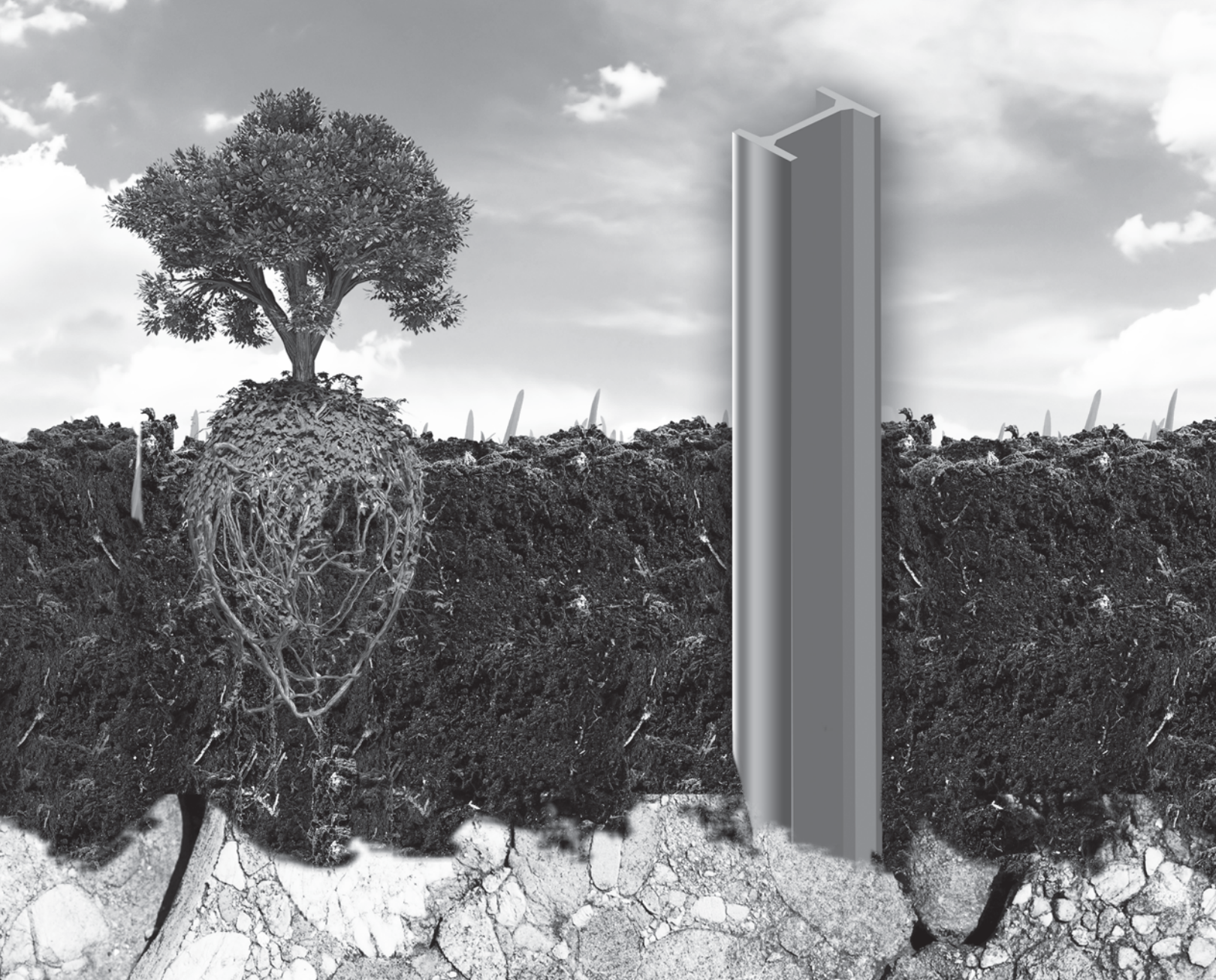
Diseño Gráfico:
Valeria Giselle Uribe Pérez.

ÍNDICE

1.- Introducción	Pág. 2
2. El mecanismo electroquímico	Pág. 3
3. Corrosión en pilotes de acero	Pág. 5
4. Prescripciones normativas	Pág. 8
5. Conclusiones	Pág. 11
6.- Referencias bibliográficas	Pág. 12

Resumen.

Este artículo presenta, de forma breve, los mecanismos electroquímicos que hacen parte del proceso de corrosión de pilotes de acero y describe, con algún detalle, cómo el proceso es controlado por la difusión del oxígeno en el suelo. Incluye aún varias de las consideraciones de durabilidad existentes en algunos de los más importantes códigos internacionales, y las compara con la Norma Brasileña, actualmente en proceso de revisión.



1. INTRODUCCIÓN

Los pilotes de acero han sido utilizados en todo el mundo por más de 120 años y su durabilidad ha excedido todas las estimativas teóricas de durabilidad, especialmente en suelos muy agresivos o contaminados por productos químicos. No hay en la literatura internacional ningún caso de falla estructural causada por la corrosión de pilotes o estacas de acero.

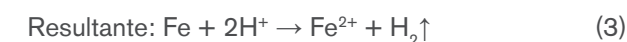
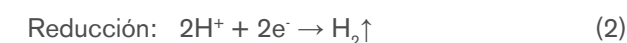
La amplia literatura disponible ha indicado que los suelos naturales son tan deficientes en oxígeno que el acero no es apreciablemente afectado por la corrosión, independiente del tipo de suelo o de sus propiedades. Características tales como composición del suelo, drenaje, resistividad eléctrica, pH o composición química no son relevantes en la determinación de la corrosividad de un suelo.

Este artículo técnico trata de los mecanismos básicos involucrados en el proceso de corrosión de pilotes de acero enterrados en el suelo y de como la falta de oxígeno acaba por controlar todo el proceso. El artículo relata también las exigencias de sobre-espesor metálico prescritos en algunos códigos internacionales y en la Norma Brasileña.

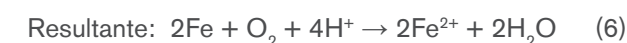
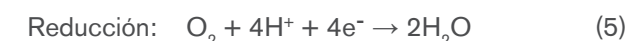
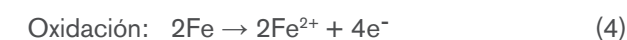
2. EL MECANISMO ELECTROQUÍMICO.

La corrosión metálica en medio acuoso es un proceso fundamentalmente electroquímico. Para que ocurran reacciones de oxidación (por ejemplo, la disolución del metal, formando iones solubles) y reacciones de reducción (como por ejemplo, la reducción del protón o del oxígeno) deben acontecer simultáneamente sobre la superficie metálica. Las reacciones de oxidación liberan electrones que, fluyendo a través del metal, son consumidos por las reacciones de reducción. Las reacciones de oxidación y de reducción, están de ese modo, conectadas por el flujo de electrones en el interior del metal y por un flujo de iones en medio acuoso. Así, todo el proceso se pone condicionado a la existencia de un electrolito, por donde los iones puedan difundirse, y del mantenimiento, junto a la superficie metálica, de especies químicas que puedan mantener las reacciones de reducción activas.

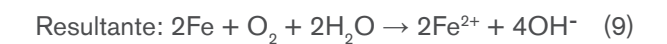
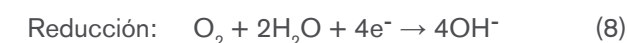
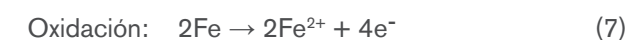
Ejemplo 1: La corrosión del acero en soluciones acuosas ácidas aireadas (pH < 4) puede ser descrita de modo sintético como:



Ejemplo 2: Tenemos la corrosión del acero en soluciones acuosas aireadas cuyo pH esté situado entre 4 y 6:



Ejemplo 3: Trata de la corrosión del acero en soluciones acuosas aireadas en el que el pH esté situado entre 6 y 10:



Así, la reacción de disolución metálica ($\text{M} \rightarrow \text{M}^{n+}$) es acoplada a la reacción catódica ($\text{O} \rightarrow \text{R}$), suministrando la reacción global:



Aquí, M corresponde al metal, O es el oxígeno u otro agente oxidante (como el H^+), n^+ es el múltiplo de carga electrónica y R es la especie reducida. El proceso de corrosión es asimismo, descrito como dos (o más) reacciones separadas, que ocurren en localizaciones distintas, sobre la misma superficie metálica (figura 1).

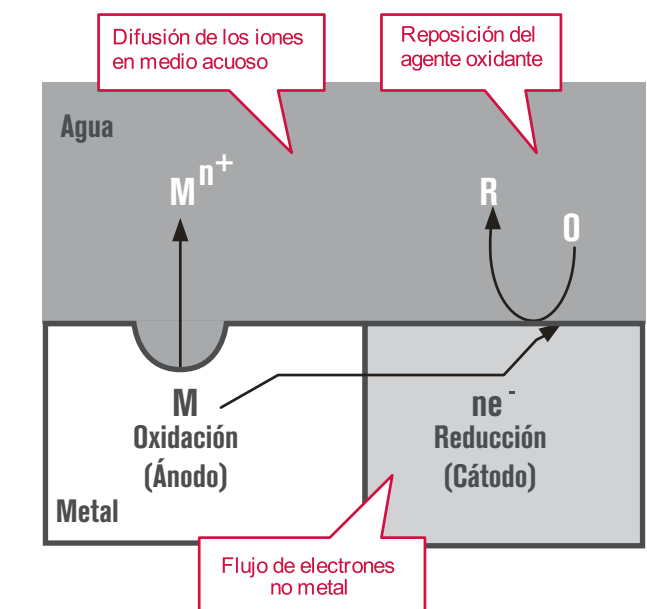


Figura 1. Esquema simplificado del proceso de corrosión de un metal inmerso en agua, mostrando las principales reacciones envueltas, la separación espacial de las regiones anódica y catódica, asimismo como los principales factores controladores de proceso: difusión de iones en medio acuoso, difusión de agentes oxidantes ante la región catódica y flujo de electrones dentro del metal.



3. CORROSIÓN EN PILOTES DE ACERO.

La reacción global que describe la oxidación de un pilote enterrado en un suelo con $\text{pH} \approx 7$ puede ser descrita por las mismas reacciones descritas anteriormente (Eq. 7 – 9).

Desde que exista libre tránsito de los iones en el suelo, tendremos la combinación, en la fase acuosa, de los iones Fe^{2+} y OH^- , formando el $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Habiendo algún oxígeno disponible, esa especie química será rápidamente transformada en FeOOH (herrumbre) sobre la superficie metálica. Así, se asume que la velocidad de corrosión sea controlada tanto por el proceso anódico como el catódico.

Para que la corrosión ocurra, el agente oxidante debe llegar a la superficie del acero. Del mismo modo, los productos de reacción deben ser eliminados de la superficie metálica a través del transporte para el interior del electrolito, esto es, del agua existente entre las partículas constituyentes del suelo. Si el transporte de masa de los reactivos o productos fuese lento, la concentración de especies químicas, próxima a la superficie del pilote será considerablemente diferente de aquéllas verificadas en el propio suelo, distante del pilote.

Bajo esas nuevas condiciones, las reacciones resultantes del proceso de corrosión acaban por consumir especies químicas que, debido a la difusión, no responden rápidamente. Debido al hecho de que la velocidad de la reacción catódica es proporcional a la concentración del reactivo en la superficie metálica, la velocidad de la reacción será limitada por la disminución de la concentración del oxidante. De ese modo, el proceso de corrosión será totalmente

controlado por el transporte de masa. Como la velocidad de corrosión es ahora determinada por la velocidad de transporte de los reactivos hasta el local donde acontece la corrosión, este flujo necesita, de algún modo, ser calculado.

Tres mecanismos contribuyen para el transporte de masa en el interior del electrolito: difusión, convección y emigración. Para especies neutras, tales como el oxígeno disuelto y para especies iónicas presentes en pequeña cantidad en el suelo, las contribuciones de la emigración y de la convección son insignificantes. El transporte ocurre, básicamente, por difusión. La descripción del transporte por difusión es hecha, de una manera general, por el modelo de la camada de difusión de Nerst (una simplificación de la Ecuación de Fick), que postula que el volumen de electrolito puede ser dividido en dos regiones.

El oxidante (O) será transportado a una velocidad que es proporcional al gradiente del perfil concentración-distancia. Ese es el postulado de la primera ley de Fick, que se aplica bajo condiciones de equilibrio, esto es, la concentración del oxidante y el gradiente de concentración son constantes con el tiempo:

$$J = -D \left(\frac{\partial C_o}{\partial x} \right) \quad (13)$$

donde J es el flujo, D es la constante de proporcionalidad conocida como coeficiente de difusión y C_o es la concentración en el punto X.

Esas regiones distintas, son conocidas como ánodo (el punto donde ocurre la disolución metálica) y cátodo (el punto donde ocurre la reacción de reducción).

Como puede ser observado en la figura 1, el metal bajo corrosión y equivalente a una batería productora de energía eléctrica que está en corto circuito, en el cual la energía es disipada durante el consumo del reactivo catódico y la formación de productos de corrosión.

Para el mantenimiento del balance de masa, la cantidad de reactivo catódico consumido debe ser igual, en términos químicos y electroquímicos, a la cantidad de producto de corrosión formado. Como los electrones son liberados por la reacción anódica y consumidos por la reacción catódica, la corrosión puede ser considerada en términos de una corriente electroquímica que fluye del área anódica para el área catódica.

Si se registra convenientemente, esta corriente puede ser vista como una medida de la velocidad del proceso de corrosión, y por lo tanto, la velocidad con que el acero es corroído. La corriente, conocida como corriente de corrosión i_{corr} , y la cantidad de material corroído están relacionadas por la ley de Faraday:

$$i_{corr} t = \frac{nFm}{M} \quad (11)$$

Donde i_{corr} es la corriente de corrosión, (ámperes), t es el tiempo (segundos) durante el cual la corriente fluye, nF y el número de Coulombs requerido para convertir 1 mol de metal a producto de corrosión (donde n es el número de electrones envueltos en una disolución metálica de F y la constante de Faraday), M es el peso molecular del metal (gramos) y m es la masa del metal corroído (gramos).

Una consideración adicional debe ser con respecto a la figura 1: varias reacciones catódicas pueden soportar, simultáneamente, la corrosión metálica. Por ejemplo, en soluciones ácidas oxigenadas, la corrosión del acero puede suceder teniendo como reacciones catódicas la reducción del protón y la reducción del oxígeno (Eq. 5). En adición, cuando una liga compleja corróe, el proceso es la suma de más de un proceso de disolución anódica.

La corriente de corrosión es, asimismo, igual a la suma de las corrientes parciales:

$$i_{corr} = \sum i_a = -\sum i_c \quad (12)$$

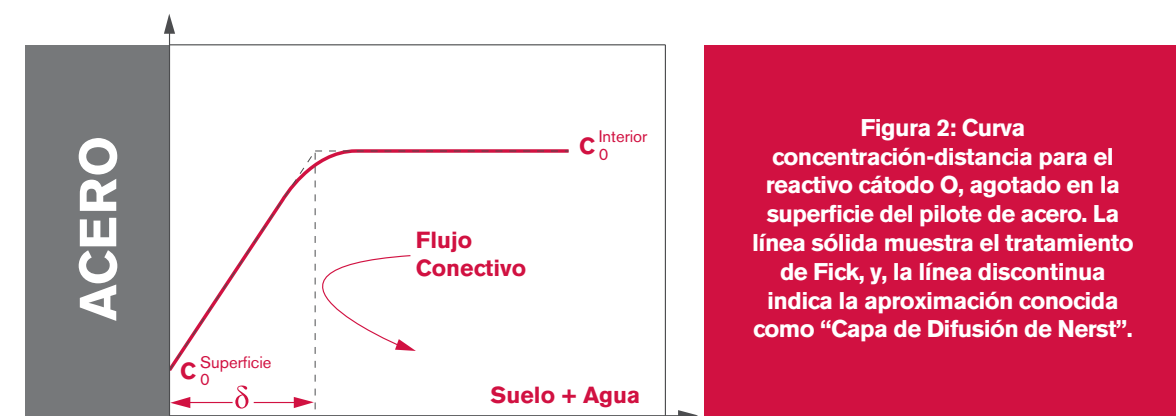


Figura 2: Curva concentración-distancia para el reactivo cátodo O, agotado en la superficie del pilote de acero. La línea sólida muestra el tratamiento de Fick, y, la línea discontinua indica la aproximación conocida como "Capa de Difusión de Nerst".

Un análisis simplificado puede ser logrado a través de la alineación de la curva concentración-distancia, de acuerdo con el tratamiento conocido como capa de difusión de Nerst (Figura 2). La resistencia al transporte de masa ocurre dentro de la capa de difusión y la alineación suministra una clara demarcación en la distancia d desde la superficie metálica, de modo que, para $x > \delta$, la concentración del oxidante en el suelo se mantiene por procesos de convección (que no ocurren de modo apreciable). En contraste, para $x \leq \delta$, el reactivo O es transportado hasta la superficie solamente por difusión.

Utilizando el tratamiento simplificado, la Eq. 13 puede ser escrita como:

$$J = \frac{-D(C_o^{superficie} - C_o^{interior})}{\delta} \quad (14)$$

donde $C_o^{superficie}$ es la concentración del reactivo (catódico) en la superficie $x = 0$ y $C_o^{interior}$ es la concentración para $x \geq \delta$. Para que el estado de equilibrio sea mantenido, todo lo reactivo transportado debe reaccionar de forma electroquímica, generando una corriente:

$$\frac{i_{catódico}}{nF} = \frac{-D(C_o^{superficie} - C_o^{interior})}{\delta} \quad (15)$$

Bajo la condición límite $C_o^{superficie} \rightarrow 0$, una corriente máxima es lograda:

$$(i_{catódico})_{límite} = \frac{nFD_oC_o^{superficie}}{\delta} \quad (16)$$

Como ésta es la máxima corriente catódica que puede fluir, ella también representa la máxima velocidad de corrosión que puede ser alcanzada:

$$(i_{corrosión})_{max} = (i_{catódico})_{límite} = \frac{nFD_oC_o^{superficie}}{\delta} \quad (17)$$

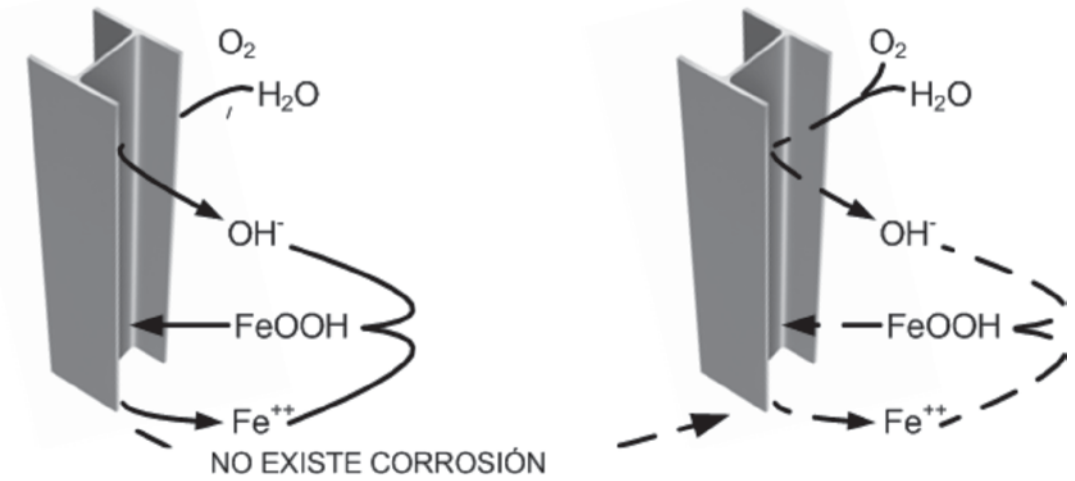
La ecuación anterior indica que, para una reacción catódica controlada por el transporte de masa, la velocidad es directamente proporcional a la concentración del reactivo catódico y es inversamente proporcional al espesor de la capa de difusión, que es determinada por la velocidad del fluido.

Un punto fundamental, ya visto anteriormente, debe ser resaltado: para que la corrosión del pilote ocurra, en suelos cuyo pH esté situado entre 4 y 10 (esto es, casi la totalidad de los suelos naturales encontrados), se vuelve necesaria la presencia simultánea de agua y oxígeno. En la ausencia de uno de ellos, la corrosión no ocurrirá.

Es justamente ésta la situación verificada en la casi totalidad de los suelos naturales encontrados: la concentración de oxígeno es tan pequeña abajo del primer metro de suelo que la velocidad de corrosión se vuelve ínfima. Ese es el motivo por el cual los resultados experimentales disponibles han revelado que el acero no es apreciablemente afectado por la corrosión, independientemente del tipo de suelo o de sus propiedades. En la condición específica e infrecuente de suelos con $pH < 4$, la baja concentración de oxígeno en el suelo no es ningún obstáculo al ataque, puesto que está ahora sin la existencia del oxígeno. Pilotes inmersos en suelos con esta condición, independientemente de su constitución, acero o concreto, necesitarán protección contra el ataque corrosivo. La figura 3 ilustra el comportamiento de los pilotes de acero inmersos en suelos con diferentes pH.

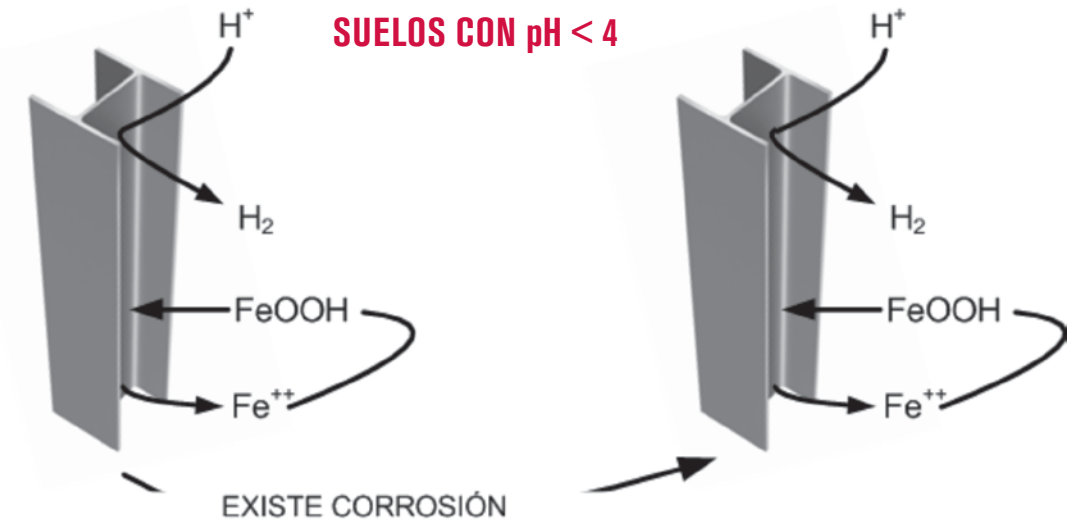
Es importante resaltar que la adición de cobre a los aceros estructurales no parece tener cualquier efecto apreciable en la reducción de la velocidad con que son corroídos cuando inmersos en el suelo o en el agua (Morley y Bruce 1983). De ese modo, no se justifica el uso de aceros estructurales resistentes a la corrosión atmosférica, como los aceros tipo corten o patinable, en estructuras enterradas.

SUELOS CON $4 < pH < 10$



PROCESO CONTROLADO POR LA DIFUSIÓN DEL OXÍGENO EN EL SUELO

SUELOS CON $pH < 4$



PROCESO INDEPENDIENTE DE LA DIFUSIÓN DEL OXÍGENO EN EL SUELO

Figura 3: Ilustración del comportamiento de los pilotes de acero inmersos en suelos con diferentes pH. Pilotes inmersos en suelos con $pH > 4$ no presentan corrosión, pues dependen de la difusión de oxígeno en el suelo, que es muy pequeña. Por otro lado, pilotes (de acero o concreto) inmersos en suelos con $pH < 4$ presentan corrosión, pues la reacción catódica es independiente de la difusión del oxígeno.



4. PRESCRIPCIONES NORMATIVAS.

La corrosión de pilotes de acero enterrados en el suelo ha sido estudiada extensivamente (Bjerrum 1957, Booth et Al. 1967, Bruce 1979, Morley 1977, Morley y Bruce 1978c, Steel Bearing Piles Guide 1977, Trethewey 1988). Una completa revisión, hecha por Morley (1978a), utilizando datos obtenidos en Inglaterra y en varios otros países, concluye que, a menos que el suelo sea extremadamente ácido ($\text{pH} < 4$), la corrosión de pilotes enterrados en suelos naturales es insignificante, independientemente del tipo de suelo y de sus características. El pequeño ataque es atribuido a los bajos niveles de oxígeno presentes en los suelos naturales.

Las consecuencias prácticas de estas observaciones pueden ser encontradas en las prescripciones de durabilidad de códigos internacionales, tales como la BS 8004 (1986), el código de la AASHTO (1994) y el Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993), que serán detallados a continuación.

4.1. BS 8004:1986 “British Standard Code of Practice for Foundations”

La Norma Inglesa BS 8004 (1986), en su más reciente versión, afirma que la velocidad de corrosión de pilotes de acero enterrados en suelos naturales, incluyendo suelos de playas, ríos, lagos, mar, ensenadas y puertos, es muy pequeña, independientemente del tipo de suelo encontrado. Propiedades del suelo tales como composición química, resistividad, potencial redox y pH no son de ayuda en la previsión de la velocidad de corrosión del acero. Al contrario, su uso parece resultar en un superestimado de las velocidades de corrosión.

La Norma cita un gran número de resultados experimentales, como Romanoff (1957), Shreir (1976), Morley (1978b), Beckwith (1979), Eadie (1979), Eadie y Kinson (1980) y Morley y Bruce (1983). La lectura de estos artículos muestra que, en muchos casos, el espesor residual del pilote de acero enterrado en suelos naturales se encuentra dentro de las tolerancias de los espesores de laminación, mismo después de muchas décadas de servicio.

La BS 8004 (1986) cita que la mejor estimación que puede ser hecha para la velocidad de corrosión, implica en pérdidas de espesor de **1 a 2 mm en 100 años de uso**, y en tales circunstancias, el uso de sistemas de protección no pueden ser justificados.

En suelos que han sufrido alguna manipulación (por ejemplo, terracerías recientes), o uso de potencial de oxireducción, de la resistividad del suelo y de su valor de pH, puede ser de alguna utilidad la previsión de las velocidades de corrosión, siempre que haya alguna experiencia previa de velocidad de corrosión para esa localización para “calibrar” las medidas efectuadas en el suelo. Romanoff (1957) y Booth y otros (1967) muestran las premisas básicas, transcritas en la Tabla 1.

Debe ser enfatizado que el empleo de la tabla 1 está restringido a terracerías recientes y suelos que por alguna razón hayan sido oxigenados.

	SUELOS AGRESIVOS	SUELOS NO AGRESIVOS
Resistividad, $\Omega\cdot\text{cm}$	< 2000	> 2000
Potencial redox. en $\text{pH} = 7$ (vs. EPH)	< 0.400 o < 0.430 (arcilla)	> 0.400 o > 0.430 (arcilla)
Casos próximos a la línea divisoria pueden ser encuadrados por la medida del contenido de agua (% en masa) en el suelo	> 20	< 20

4.2. ENV 1993-5 “Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling”

El Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993) indica que el espesor a ser descontado del pilote es función de las características del suelo y de la vida útil establecida en el proyecto de la cimentación. La Tabla 1 trae la prescripción del Eurocode.

Se considera que las velocidades de corrosión en terraplenes compactados sean menores que las encontradas en terraplenes no compactados, donde el contenido de oxígeno es muy superior. Así, los valores prescritos en la Tabla 1 para terraplenes deben ser divididos por dos, en el caso de que el terraplén sea considerado compactado.

Es importante resaltar que el Eurocode reúne la experiencia práctica de muchos países europeos, con diferentes condiciones de clima y suelos, lo que torna su uso extremadamente amplio y confiable.

	Vida útil requerido en el proyecto (Años)				
	05	25	50	75	100
Suelos naturales (arena, silte, arcilla, etc.)	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20
Suelos naturales contaminados e terraplenes industriales	0.15	0.75	1.50	2.25	3.00
Suelos naturales agresivos (pantanos, turfa, etc.)	0.20	1.00	1.75	2.50	3.25
Terraplenes no compactados y no agresivos (arcilla, arena, silte, etc.)	0.18	0.70	1.20	1.70	2.20
Terraplenes no compactados agresivos (cenizas, escoria, etc.)	0.50	2.00	3.25	4.50	5.75

Tabla 1: Pérdida de espesor (mm) debido a la corrosión, para pilotes de acero enterradas en suelos, independientemente del nivel freático.

4.3 International Building Code 2000

El Internacional Building Code 2000 (2001) norteamericano, no muestra ninguna referencia a la corrosión de las estacas o pilotes enterrados en el suelo. El descuento del espesor no está considerado, pues se considera que la estaca de acero no sufrirá corrosión quedando totalmente inmersa en suelos naturales.

La práctica constructiva norteamericana está basada en una extensa pesquisa hecha por el National Institute of Science and Technology- NIST que realizó un extenso conjunto de ensayos entre los años de 1910 y 1955.

Romanoff (1957) publicó en 1956 un documento en el que describe los resultados de ensayos efectuados con más de 36,500 cuerpos de prueba, representando 333

variedades de materiales ferrosos, no ferrosos y materiales de protección expuestos en 128 diferentes localidades de Estados Unidos, comprendiendo desde suelos arenosos bien drenados hasta arcillas muy compactas, con resistividades que varían entre 300 $\Omega\cdot\text{cm}$ a 50,200 $\Omega\cdot\text{cm}$ y pH entre 2.3 a 8.6.

Los datos confirman que los suelos naturales son tan deficientes en oxígeno que el acero no se ve afectado por la corrosión, independientemente del tipo de suelo y sus propiedades.

El código norte-americano impone, por otro lado, condiciones geométricas de las estacas (por ejemplo, el espesor mínimo del alma, etc.) que deben ser satisfechas.

4.4 LRFD Design Specifications for Highway Bridges de la AASHTO.

La AASHTO considera que los pilotes de acero enterrados en suelos naturales no son afectados por la corrosión, y por lo tanto, ninguna protección especial es necesaria. La corrosión localizada, por pites, puede ocurrir en la parte superior del pilote, en ciertos suelos aireados. Sin embargo, estas áreas son normalmente protegidas de la corrosión a través de la colocación de los encepados, en concreto. El código presenta, al igual que el Eurocode, ciertas condiciones del suelo que son indicativas de su posible agresividad:

- Suelos con resistividades menores que $100 \Omega \cdot \text{mm}^{-1}$;
- Suelos con $\text{pH} < 5.5$;
- Suelos con $5.5 < \text{pH} < 8.5$ que contengan alto tenor de materia orgánica;
- Suelos con $[\text{SO}_4^{2-}] > 0.10 \%$;
- Terraplenes recientes o suelos conteniendo cenizas;
- Suelos sujetos a drenaje de minas o drenaje de industrias;
- Mezclas de suelos altamente alcalinos, de alta y baja resistividad.

Como respuesta, tenemos que los pilotes enterrados en suelos naturales no necesitan cualquier tipo de protección (incluyendo sobre-espesor). Para suelos que posean una o más de las condiciones descritas arriba, se vuelve necesaria una evaluación técnica de modo a definir el mejor modo de protección requerido (p.ej. pintura, protección catódica, etc.).

Es importante resaltar que estas condiciones son válidas tanto para el acero como para el concreto.

4.5. NBR 6122: 1996 “Proyecto y Ejecución de Cimentaciones”

La Norma Brasileña NBR 6122 (1996) prescribe que los pilotes de acero deben resistir a la corrosión por la propia naturaleza del acero o por tratamiento adecuado. Del mismo modo que los códigos internacionales, indica que los pilotes, cuando están enterrados en suelos naturales, independientemente de la situación del nivel freático, dispensan cualquier tratamiento especial – una visión compartida por el código norteamericano.

Todavía, en el párrafo 7.8.2.3.2., afirma que “Cuando el pilote trabaja total y permanentemente enterrado en suelo natural, se debe descontar de su espesor 1,5 mm por faz

que pueda a venir a entrar en contacto con el suelo, exceptuándose los pilotes que dispone de protección especial de eficiencia comprobada a la corrosión.”

Aunque no existan registros claros del origen de esta imposición, parece ser oriunda del código inglés, visto anteriormente.

Es importante resaltar que la BS 8004 (1986) utiliza, en esta prescripción, datos provenientes de Inglaterra y también de otros países. Fueron en ella incorporados algunos de los peores resultados logrados en Japón (Osaki 1982), conseguidos en suelos especialmente ácidos ($\text{pH} < 4$). Así, el valor sugerido para el descuento de espesor prescrito por la BS 8004 (1986) es, conocidamente, exagerado. Esto es tan verdadero que la exigencia fue ablandada en el Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993), que sustituyó a BS 8004 (1986).

El trabajo de Ohsaki bajo la observación, por un período medio de 10 años, de 126 pilotes de acero, totalizando 1,93 km, enterrados en los más variados tipos de suelos y diferentes niveles freáticos. Debido al hecho que este trabajo es universalmente considerado una referencia en el entendimiento del fenómeno, se trató de reproducir, a continuación, sus más importantes conclusiones:

- No hubo variación, en la magnitud de la corrosión, para diferentes tipos de acero o de suelos;
- El grado de corrosión, en la región próxima a la superficie del terreno, es poco mayor de lo que en el restante del pilote, pero, así mismo, muy pequeña;
- No fue observada ninguna correlación entre la consistencia, o compacidad de los suelos y la corrosión;
- Se ha verificado una leve inclinación, que no fue considerada significativa, para el aumento de la velocidad de corrosión en suelos ácidos;
- Ninguna relación fue establecida entre la corrosión y la variación del nivel freático;
- La renovación del agua del subsuelo por circulación no alteró los niveles de corrosión de los pilotes;
- Se verificó que las soldaduras fueron un poco más corroídas que los pilotes, pero los aumentos en las tasas de corrosión fueron insignificantes;
- No hubo influencia de las corrientes de fuga, ni de subestaciones, ni de ferrocarriles, en las tasas de corrosión de los pilotes; y,
- Las velocidades de corrosión en ambos lados de los pilotes tubulares fueron de la misma orden de grandeza.

5. CONCLUSIONES

Los pilotes de acero enterrados en el suelo presentan enorme durabilidad debido a la baja concentración y difusión del oxígeno en los suelos naturales. Así, el control del proceso de corrosión es resultado del transporte de masa (del oxígeno) hasta la superficie metálica, limitando el proceso de reducción catódica.

Varios de los más importantes códigos normativos internacionales consideran que la corrosión de pilotes, en suelos naturales, es muy pequeña o inexistente: el código norteamericano no prescribe sobre-espesor; el Eurocode utiliza una tabla indicando el sobre-espesor a ser aplicado, que es función de las características del suelo y de la vida útil establecida en el proyecto de las cimentaciones.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Beckwith, N.R. (1979). "Corrosion Test Programme of Steel Piles in River Murray Swamp Land South Australia", Engineering and Water Supply Dept., South Australia.
- Bjerrum, L. (1957). "Norwegian Experiences with Steel Piles to Rock", *Geotechnique*, Vol. 7, p. 73.
- Booth, G.H., Cooper, A.W. e Wakerley, D.S. (1967). "Criteria of Soil Aggressiveness Towards Buried Metals – Part I, II e III" *British Corros. J.*, 2, May.
- Bruce, D.W. (1979). "Corrosion of Steel Piles at BTP Tioxide Site at Hartlepool", Technical Note No T/CS/TN/19/79/D, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- BS 8004 (1986) "British Standard Code of Practice for Foundations", British Standards Institution, Milton Keynes, UK.
- Eadie, G.R. (1979). "The Durability of Steel Piles in Soils", Broken Hill Proprietary Co. Ltd., Melbourne Research Laboratories.
- Eadie, G.R. e Kinson, K. (1980). "Examination of Steel Piling Recovered From Port Adelaide After 52 Years Service", Broken Hill Proprietary Co. Ltd., Melbourne Research Laboratories.
- Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993), European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.
- LRFD Design Specifications for Highway Bridges (1994). American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
- Morley, J. (1977). "A Corrosion Examination of Extracted Larssen Piles", Report T/CS/906/3/77/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. (1978a). "A Review of the Underground Corrosion of Steel Piling", Report T/CS/1114/1/78/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. (1978b). "A Corrosion Examination of Extracted Piles from Beach Groynes", Report T/CS/906/6/78/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. e Bruce, D.W. (1978). "A Corrosion Examination of an Extracted H-Bearing Pile: Scotswood Bridge", Report T/CS/906/5/78/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. e Bruce, D.W. (1983). "Survey of Steel Piling Performance in Marine Environments", ECSC Sponsored Research Contract No. 7210, KB/804, BSC Ref. No. 597 – 811.
- NBR 6122 (1996) "Projeto e Execução de Fundações", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- Osaki, Y. (1982). "Corrosion of Steel Piles Driven in Soil Deposits", *Soil and Foundations*, Vol. 22, No. 3, September.
- Romanoff, M. (1957). "Corrosion of Steel Piling in Soil", National Bureau of Standards, Monograph No. 58, US Dept. of Commerce, Washington, DC.
- Shreir, L.L. (1976). "Corrosion – 2nd. Ed.", Newnes-Butterworths, London.
- Steel Bearing Piles Guide (1997). Publication Number P156, The Steel Construction Institute.
- Trethewey, K.R. e Chamberlain, J. (1988). "Corrosion for Students of Science and Engineering", Longman Scientific & Technical, Harlow (UK).

