corrosión

de las **TABLESTACAS METÁLICAS** *en medios marinos*

MANUEL J. BENEGAS CAPOTE, Ingeniero de C., C. y P.

558-20

sinopsis La disminución del consumo de petróleo acarrea una lógica reducción del comercio por mar y, como consecuencia inmediata, la transformación consiguiente de los supuestos del transporte por este medio, así como a la generalidad de las obras marítimas y, en particular, de las tablestacas utilizadas para construir pantalanes, muelles, esclusas, etc.

El presente artículo trata de estudiar someramente la corrosión a que se ven sometidas las tablestacas en este medio marino, en todas sus modalidades; a saber: sus causas y parámetros, su evaluación cualitativa y cuantitativa y los diversos modos de lucha o protección.

Es cada vez más importante el uso de las tablestacas metálicas en obras marítimas definitivas, tales como pantalanes, muelles, diques, esclusas, etc., por lo que ha comenzado a preocupar, de un tiempo a esta parte, la perennidad o duración de estas obras y, más concretamente, la evaluación de su tiempo de vida útil, funcional y estructuralmente.

Es de todos conocido que el ambiente marino es eminentemente agresivo para los materiales férreos, por lo que existía una costumbre muy generalizada en nuestro país de infravalorar los proyectos de obras marítimas de tablestacas, por suponer su destrucción funcional en un breve espacio de tiempo.

La complejidad de la técnica actual, y el grado de mutación y cambio acelerado que ello comporta, ha dado una nueva perspectiva al concepto de perdurabilidad de las obras proyectadas por el hombre. De forma que hoy raramente se proyectan obras industriales «para durar» más de 50 años. Es más, se cuida especialmente la flexibilidad y adaptabilidad del proyecto a las nuevas tecnologías que aparecerán en el futuro.

En las obras marítimas, concretamente, asistimos al comienzo de un período de cambio, originado en octubre del año 1973, con el tremendo impacto del descenso del consumo de petróleo y la subsiguiente reducción del comercio marítimo mundial. Esta crisis tan importante del transporte marítimo está transformando velozmente los supuestos de dicho transporte, y a buen seguro que afectará directísimamente a la generalidad de las obras marítimas. En este supuesto, los muelles, terminales marítimas, etc., de las décadas de los años 80 y 90 habrán de ser notablemente diferentes a los actuales; y en ese marco, las tablestacas desempeñarán (están desempeñando ya) un importantísimo papel.

LA CORROSION Y SUS CAUSAS

La corrosión de un metal consiste principalmente en la transformación mediante la cual pasa del estado elemental (metálico) en que se encuentra al estado de combinación con otro u otros elementos, con la consiguiente pérdida de sus características físicas y químicas en general, y particularmente el debilitamiento de sus propiedades mecánicas. Se trata, por tanto, de un fenómeno químico, aunque se conoce el caso de una corrosión física bajo estados de tensión, como el de fragilización por el hidrógeno naciente que penetra en la estructura cristalina metálica, debilitándola, pero que no viene al caso estudiar en el tema concreto que nos ocupa.

Esta corrosión química puede presentarse de diversas formas: ataque de un cuerpo exterior, oxidación directa, oxidación electroquímica, electrólisis, etc.

El ataque directo de una sustancia corrosiva es muy limitado, y sólo debe ser tenido en cuenta en aquellas rías o bahías de notable concentración industrial donde sea previsible el vertido de este tipo de sustancias (ácidos en general); pero salvo este caso excepcional, los tipos principales de corrosión son los siguientes:

a) Corrosión por la acción del oxígeno u otro elemento en un medio electrolítico:

Se trata de una de las causas más generales de corrosión. Debido a la existencia de un medio electrolítico, como el agua de mar, se forman diferencias de potencial eléctrico entre una parte del metal ya oxidado y otra que no lo está, o bien entre partes próximas con distintas concentraciones de oxígeno, que es el fenómeno de aireación diferencial. También se forman micropilas en presencia de iones extraños tales como el Cl^- , SO_4^{2-} , etc.; provocando una concentración localizada de corrosión, que producen un aspecto de «pica-dura» a las zonas afectadas.

Para que la corrosión producida por la oxidación del metal se vea favorecida, es necesario una renovación del oxígeno en las proximidades del acero, lo cual no se ve ayudado en los puertos y muelles actuales, donde la superficie del agua se halla normalmente cubierta por una capa de aceites o grasas que impiden o dificultan esa oxigenación. Sin embargo la corrosión por el efecto del ataque de iones como el Cl^- , no sólo no se ve dificultada, sino que está en el medio idóneo para que se produzca.

b) Corrosión por electrólisis

Se produce particularmente cuando existen próximas a la estructura de tablestacas corrientes vagabundas procedentes de instalaciones eléctricas industriales cercanas, ferrocarriles, etc. Se origina, como consecuencia de estas corrientes, una auténtica electrólisis del agua de mar que causan la destrucción de la estructura metálica de las tablestacas que actúan como ánodo, produciéndose compuestos tales como $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Cl_3Fe , etc.

Entre los factores o parámetros que influyen en la corrosión podemos considerar dos tipos:

1.º Factores propios del elemento estructural:

En general, la variación de las propiedades físicas y mecánicas de los aceros empleados en la fabricación de las tablestacas no tiene gran influencia en el grado de corrosión sobre la misma. Se ha podido comprobar la poca influencia de la calidad del acero y de su proceso de elaboración, así como de la adición de cobre y de otros metales. Concretamente, la utilización de aceros semi-inoxidables, como el popular Cor-Ten, carece de sentido, pues el fenómeno de autoprotección que manifiestan estos aceros en un medio atmosférico no lo manifiestan en agua de mar.

La forma y estado de la superficie tienen también poca importancia.

2.º Factores propios del medio:

Los principales factores que influyen son los siguientes:

- a) La cantidad de oxígeno disuelto, cuyo aumento favorece la corrosión, como señalábamos.
- b) La cantidad y tipos de sales disueltos, teniendo en cuenta que unas favorecen y otras retrasan el fenómeno.
- c) El estado de agitación del medio, que actúa principalmente desconchando el óxido formado y ofreciendo nuevas zonas al ataque.
- d) La temperatura. Se considera que una temperatura del agua entre 0° y 10° C no tiene influencia especial en la corrosión, y que por encima de 10° C de temperatura la corrosión puede aumentar sus efectos hasta un 5 % por cada grado.

La combinación de estos parámetros en un caso determinado proporciona la información básica elemental para prever el grado de corrosión en el lugar que se estudia. No obstante la imprecisión con que actúan estos parámetros, conviene señalar que la variación de la corrosión en agua de mar no varía más que en proporciones de 1 a 2, mientras que en otros medios, como el aire, puede hacerlo entre 1 y 20.

Sin embargo, hay algunas zonas de la tierra donde la corrosión en el medio marino puede ser 10 ó 20 veces más fuerte que la media de que hablaremos más adelante.

Se trata de los llamados microclimas de la Costa de Marfil, Madagascar y algunas zonas del continente americano.

En cuanto a su localización, podemos decir que en la zona de empotramiento, así como en la zona constantemente sumergida, la corrosión es débil, incluso casi inexistente en la zona empotrada, por la falta de oxígeno. La corrosión suele ser máxima en la zona próxima al nivel de bajamar, y es más importante en la zona de carrera de mareas que en la zona sumergida, debido a las alternancias de aireación-inmersión, volviendo a aparecer un máximo un poco por encima del nivel del pleamar, afectando a la parte batida por las olas, donde es muy importante el efecto de la erosión.

Se han llevado a cabo gran cantidad de ensayos en los últimos años y tomas de datos en la mayoría de las obras marítimas de tablestacas, con el fin de evaluar cuantitativamente el efecto de la corrosión. Limitándonos a los efectuados en Europa, estos datos revelan que en la zona más afectada puede producirse una pérdida de espesor de entre 0,12 a 0,24 mm/año.

Al mismo tiempo, la corrosión media generalizada alcanza valores 3 ó 4 veces inferiores a los máximos.

LA LUCHA CONTRA LA CORROSION

A la hora de realizar un proyecto de obra marítima con tablestacas será preciso plantearse previamente el tema de la corrosión y acotarle en sus justos términos, para tomar a priori una decisión en torno al mejor procedimiento de proteger la estructura proyectada.

En primer lugar habrá de recavarse información del comportamiento de otras obras metálicas, si las hubiera, en el lugar del proyecto, y con este dato y la determinación y fijación de cada uno de los parámetros señalados anteriormente se podrá hacer una estimación bastante precisa de las corrosiones máxima y media previsibles en ese lugar.

Por otra parte, será preciso determinar la vida útil mínima que se desea tenga la obra en cuestión, en función del progreso técnico estimado y las variaciones funcionales que puedan producirse.

Con estos dos datos, y una vez determinado el perfil o módulo necesario para soportar los esfuerzos que se producen, es el momento de decidir si es preciso tomar alguna precaución para luchar contra la corrosión, o bien si la reserva natural del perfil elegido es suficiente para garantizar la vida útil estimada de la obra.

La reserva natural del perfil elegido es sencillo de evaluar, admitiendo que la ruina de la estructura se produce cuando una sección está totalmente plastificada. En este caso habría que estudiar sección por sección y determinar la reserva de cada una de ellas, siendo, pues, la de menor reserva la que hace colapsar antes a la estructura. Sin embargo, la práctica demuestra, salvo casos excepcionales, que el colapso tiene lugar en una de las dos secciones siguientes: bien en la sección donde se produce la máxima corrosión, en la zona de las bajas mareas, o bien en la sección de momento máximo, que normalmente suele estar en la zona continuamente sumergida.

El cuadro siguiente muestra un ejemplo de la estimación de reserva natural del perfil elegido previamente, con un acero de límite elástico de 2.400 kp/cm².

	Sección de máxima corrosión	Sección de máximo momento
Espesor inicial del perfil	14,0 mm	14,0 mm
Tensión inicial de cálculo	1.397 kp/cm ²	1.911 kp/cm ²
Espesor necesario para que se produzca una tensión igual al límite elástico	8,2 mm	11,1 mm
Pérdida admisible de espesor	5,8 mm	2,9 mm
Corrosión estimada	0,17 mm/año	0,07 mm/año
Reserva natural de la sección	34 años	41 años

Si determinada esta reserva natural de la estructura se establece como necesario prolongar su vida útil, será preciso utilizar cualquiera de los procedimientos siguientes:

- 1) Modificar las características del perfil elegido.
- 2) Someter al perfil a revestimientos protectores.
- 3) Realizar una protección catódica.

ADAPTACION DEL PERFIL

Es el medio más simple y normalmente uno de los más utilizados para prolongar la vida de estas estructuras y frecuentemente la más económica.

La modificación puede afectar a dos factores:

- a) Modificación de la calidad del acero. Elegir otro de mayor límite elástico.
- b) Modificación del perfil. Elegir otro de mayor espesor.

En el primer caso, al ser un acero de mayor límite elástico, el espesor necesario para absorber el momento de servicio será menor, y por tanto crecerá el espesor que puede ser «corroído», aumentando con ello el tiempo de duración.

Si mantenemos la calidad del acero y aumentamos el espesor del perfil, es obvio que incrementamos la vida útil de la estructura.

Como en el mercado no hay una gama continua de calidades y módulos, y tanto unos como otros dan «saltos», será preciso estudiar cada caso concreto para determinar cuál es la solución más económica. Puede procederse como en el ejemplo que desarrollamos a continuación:

	Solución inicial	Cambio de calidad	Cambio de perfil
Momento de la sección estudiada	19 m · t	19 m · t	19 m · t
Perfil elegido	M	M	N
Calidad: límite elástico	2.400 kp/cm ²	2.700 kp/cm ²	2.400 kp/cm ²
Espesor inicial del perfil	14,0 mm	14,0 mm	15,5 mm
Tensión inicial	1.397 kp/cm ²	1.397 kp/cm ²	931 kp/cm ²
Corrosión estimada	0,17 mm/año	0,17 mm/año	0,17 mm/año
Espesor necesario para que se produzca una tensión igual al límite elástico	8,2 mm	7,2 mm	6,0 mm
Pérdida admisible de espesor	5,8 mm	6,8 mm	9,5 mm
Aumento de pérdida admisible de espesor	—	1,0 mm	3,7 mm
Aumento de vida útil	—	6 años	22 años
Aumento aproximado de coste	—	2 %	9,3 %

REVESTIMIENTOS PROTECTORES

Podemos subdividirlos en dos grandes grupos: revestimientos pasivos y activos.

Los revestimientos tienen la misión de impedir que la oxidación electroquímica se produzca, o a lo sumo que este ataque se retrase un tiempo prudencial.

Un revestimiento ideal debe tener numerosas propiedades, tales como: adherencia, estanquidad, resistencia a las deformaciones, resistencia a los choques, inercia química y biológica, resistencia a la vibración, etc.

En lo práctico, para las tablestacas, los revestimientos pasivos se limitan a los productos bituminosos y a los epoxi. El único revestimiento activo utilizado en la práctica es el revestimiento a base de zinc. Los mejores productos fabricados actualmente para este fin son los que están compuestos a base de resina epoxi. Es necesario prever: 2 capas de epoxi-zinc de 40 micrones cada una, que es el revestimiento activo, y después 2 capas de epoxi-brea de 150 micrones cada una, que es el pasivo que protege a las anteriores. En buenas condiciones de aplicación, este revestimiento puede retrasar el comienzo de la corrosión unos quince años. Naturalmente, este procedimiento es muy eficaz, pero también muy caro.

PROTECCION CATODICA

Realmente durante la corrosión electroquímica de las tablestacas, éstas realizan el papel de ánodo en la reacción electrolítica que se produce. Por tanto, se evitará el ataque del acero, invirtiendo el sentido de la corriente por medio de un generador, o bien situando próximo un metal de mayor potencial electronegativo que el acero, que realice la misión de ánodo, o una combinación de ambos métodos, como ocurre en la práctica.

No hay que olvidar que la protección catódica sólo actúa de forma completamente eficaz en la parte permanentemente sumergida, parcialmente en la zona de carrera de mareas, y no tiene ningún efecto apreciable en la zona no accesible por el mar.

La protección catódica requiere unos gastos de instalación bastante elevados (generadores, controles, ánodos de sacrificios, etc.) y conlleva unos gastos de funcionamiento anuales del orden del 10 % de los gastos de instalación. En suma, una protección completamente eficaz para la zona sumergida, pero cara.

résumé

Corrosion des palplanches métalliques en milieux marins

Manuel J. Benegas Capote,
ingénieur de C. C. et P.

La diminution de la consommation de pétrole occasionne une réduction logique du commerce par mer et, comme conséquence immédiate, la transformation résultante des suppositions du transport par cette voie, ainsi que la généralité des travaux maritimes et, en particulier, des palplanches utilisés pour construire des quais, écluses, etc.

Cet article fait une étude sommaire de la corrosion à laquelle sont soumises les palplanches dans ce milieu marin, dans toutes leurs catégories, à savoir: ses causes et paramètres, son évaluation qualitative et quantitative et les diverses manières de lutte ou protection.

summary

Corrosion of metal sheet piles in sea water

Manuel J. Benegas Capote,
civil engineer

The decrease in oil consumption causes a natural reduction in the shipping trade, in harbour works in general and in particular in the use of sheet piles in the construction of wharfs, sluices, etc.

The present article gives a brief study of the corrosion that affects the sheet piles in sea water, in all its aspects; namely, the reasons and parameters, the qualitative and quantitative evaluation thereof and the various methods for prevention of protection.

zusammenfassung

Korrosion von Metallspundbohlen in seawasser

Manuel J. Benegas Capote,
Hoch- und Tiefbauingenieur

Der abnehmende Ölverbrauch verursacht eine natürliche Herabsetzung des Seehandels, sowie auch der Hafenarbeiten im allgemeinen und insbesondere des Gebrauches von Spundbohlen im Bau von Kaien, Schleusen, usw.

Der vorhandene Artikel ist ein übersichtliches Studium der Korrosion in allen Hinsichten, die die Spundbohlen im Seewasser angreift; die Gründe und Parameter, die qualitative und quantitative Schätzung und die verschiedenen Bekämpfungs- und Schutzmethoden.