

INFORME TÉCNICO DEL CCA “*Prestige*”

TITULO: INFORME PRELIMINAR SOBRE LA CORROSION DEL CASCO*

Objetivo: El casco del “*Prestige*” experimenta un deterioro por el efecto del oxígeno y dióxido de carbono disueltos en el agua de mar. Se pretende precisar el alcance de los fenómenos de corrosión sobre la estructura metálica y en lo posible cuantificar la velocidad del proceso.

Metodología: Aunque no existen datos de corrosión metálica en agua de mar a la profundidad a la que se encuentran los pecios (3500-3800 m), se dispone de algunos datos de corrosión obtenidos en el Laboratorio de Ingeniería Civil Naval de Port Hueneme, California, en el periodo 1960-1970, en la zona del Pacífico (34°06' N / 120°42' W), sobre diferentes materiales metálicos sumergidos a profundidades de hasta 1830 m, donde el contenido en oxígeno disuelto a esa profundidad era de 1.35 mL/L (1.9 ppm O₂) (1,3). De la campaña oceanográfica OVIDE de Julio 2002 (4) se sabe que la concentración de oxígeno a la profundidad de 3600 m en la zona del hundimiento es de 5.4 mL/L, equivalente a 7.7 ppm O₂.

Resultados:

Corrosión inducida por el oxígeno disuelto. La velocidad de corrosión de aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica (HSLA) y de aceros de alta resistencia es similar, y se estima en 50–75 μm/año durante el primer año, disminuyendo a 12.5-25 μm/año al tercer año. Aunque la presión no tiene una influencia significativa sobre la corrosión del acero, al menos hasta 1830 m y para periodos de inmersión de un año, *la concentración de oxígeno en el agua de mar es la variable ambiental más importante en el proceso, y en menor medida la temperatura y la concentración de dióxido de carbono*. La velocidad media de corrosión (μm/año) puede estimarse mediante la ecuación (2,3):

$$\mu\text{m/año} = 21.3 + 24.5 [\text{O}_2] + 0.356 T \quad (1)$$

donde la concentración de oxígeno disuelto [O₂] está en ml/L y la temperatura T en °C. Suponiendo que la ecuación anterior, que describe los datos de la campaña del Pacífico, es válida para el caso del “*Prestige*”, la corrosión a 2.5 °C y [O₂] de 5.4 mL/L (7.7 ppm O₂) sería en el primer año de 154.5 μm/año. Puesto que la velocidad de corrosión del acero decrece con el tiempo, cabe estimar un valor asintótico tres veces menor, es decir, 50-55 μm/año, que podría alcanzarse al cabo de tres años de inmersión. Aun cuando la corrosión del acero en estas condiciones ambientales es del tipo generalizado, el perfil de la superficie

* Este informe se ha elaborado en parte con la información proporcionada por el CENIM (CSIC) y el Departamento de Mecánica Aplicada y Construcción de la Universidad de Vigo

corroída muestra desigualdades, con puntos de ataque preferentes, donde el ataque se adentra más que la penetración media. De acuerdo con estudios realizados en agua de mar por el Instituto de Ingeniería Civil de Londres, una estimación por exceso indicaría que la penetración de los focos de ataque preferente excedería como máximo en 5 veces la penetración media del ataque generalizado. Así, para una penetración media de 155 $\mu\text{m}/\text{año}$ durante el primer año, los focos de ataque preferente podrían alcanzar una profundidad máxima de 775 $\mu\text{m}/\text{año}$. Al cabo del tercer año, cuando la penetración media fuera de 55 $\mu\text{m}/\text{año}$, los focos de ataque preferente podrían alcanzar los 275 $\mu\text{m}/\text{año}$.

De acuerdo con las Reglas de las Sociedades de Clasificación (5) los tanques de lastre de los petroleros deben estar protegidos por pinturas, por ánodos de sacrificio o por una combinación de ambos métodos, y el estado de la estructura y del sistema de protección debe ser inspeccionado en las Inspecciones Anuales, Intermedias y Periódicas Especiales. En estas dos últimas deben además medirse los espesores de chapas y refuerzos recogiendo los resultados en informes detallados. Cuando aparecen muchos focos de corrosión puntual o bien corrosión generalizada se exige renovar los elementos afectados sustituyéndolos por estructura nueva.

Asumiendo que los espesores de las planchas de la cubierta, mamparos y costados del “Prestige” al producirse el hundimiento tuvieran por efectos del deterioro previo los valores mínimos aceptables (20.0, 9.6 y 15.5 mm respectivamente), y utilizando los valores de velocidad de corrosión mencionados más arriba, el tiempo requerido para que se produzcan perforaciones en la cubierta sería de 52 años mientras que en los mamparos y los costados estas perforaciones se producirían a los 23 y 40 años respectivamente.

Corrosión inducida por el CO₂ disuelto. Se ha determinado también el alcance de la corrosión del acero en función de la concentración de CO₂ disuelto (6). La cuantificación se ha realizado mediante un modelo (7) que predice con suficiente aproximación la velocidad de corrosión en función de la temperatura y la presión parcial de CO₂:

$$\log (V_{\text{cor}}) = 5.8 - 1710/T + 0.67 \log (P_{\text{CO}_2}) \quad (2)$$

donde V_{cor} es la velocidad de corrosión en $\text{mm}/\text{año}$, T es la temperatura del agua en $^{\circ}\text{K}$ y P_{CO_2} es la presión parcial del CO₂ en atm. La velocidad de corrosión determinada mediante la ecuación (2) se considera como la velocidad máxima sin tener en cuenta la formación de una película de carbonato de hierro sobre la superficie inicial, que dificulta el progreso de corrosión hacia el interior de la placa de acero. Tal como se ilustra en la Figura 1, la dependencia de la velocidad de corrosión con la temperatura sigue curvas de volcán, con los máximos desplazados hacia temperaturas más bajas cuanto más elevada es la presión parcial del CO₂. Teniendo en cuenta el valor de la presión parcial del CO₂ de aproximadamente 10^{-1}atm , medida a esa profundidad en la campaña OVIDE2 (4), se obtiene una velocidad de corrosión por CO₂ de 84 $\mu\text{m}/\text{año}$. Este valor resulta consistente con las previsiones del modelo que describe la velocidad de corrosión en la Figura 1. Este resultado indica que el efecto de corrosión por CO₂ (presión parcial de CO₂ en la zona del pecio de 10^{-1}atm) es bastante inferior a la estimada para el ataque puntual por oxígeno disuelto.

Corrosión en zonas altamente deformadas. Las deformaciones plásticas y las grietas aparecidas en la estructura del pecio como consecuencia del impacto con el fondo marino y de los colapsos locales constituyen otro factor a considerar en la corrosión localizada. Los fenómenos de pasivación y de ataque local anódico están implicados en la iniciación y el crecimiento de microroturas en las planchas de acero sometidas a deformación permanente. En algunos casos, este tipo de corrosión se produce en las uniones de grano y en otras a lo largo de planos cristalográficos dentro de los granos. El factor más importante que determina este tipo de corrosión es la concentración del agente corrosivo (iones nitrato, carbonato e hidróxido) y en una menor extensión la intensidad de la tensión mecánica. En estas condiciones las zonas del casco donde se desarrollaron plegamientos durante el impacto son más susceptibles a la acción de la corrosión.

Conclusión: De este informe preliminar se deduce que la corrosión de las partes metálicas del pecio ocurrirá necesariamente como consecuencia de la presencia de oxígeno (concentración aproximada de 5.4 mL/L) y de dióxido de carbono disueltos en el agua. Los cálculos de las velocidades de corrosión indican que el oxígeno disuelto tiene un efecto mucho más acusado que el dióxido de carbono sobre la velocidad de corrosión. Suponiendo las condiciones más desfavorables de corrosión (altos contenidos de oxígeno en el agua de mar, zonas del casco desprovistas de pintura), la perforación de los mamparos tendría lugar como mínimo a los 23 años, mientras que en costados y cubierta ocurriría después de 40 y 52 años, respectivamente. Cabe señalar el hecho de que las zonas del pecio sometidas a deformación permanente producida por el impacto con el fondo marino son más susceptibles a la acción de la corrosión. **Puede concluirse que, aunque hoy se sellaran totalmente las fugas, el deterioro estructural local a partir de los 23/40 años, sería suficiente para no poder evitar que el fuel saliera definitivamente de la totalidad de los tanques.**

Bibliografía:

1. M. Morcillo: “Corrosión de metales sumergidos” en “Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión”, CSIC, Madrid (1984), p. 97.
2. F.M. Reinhart: “Corrosion of metals and alloys in the deep ocean”, Technical Report R 834, Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California (1976).
3. F.M. Reinhart y J.F. Jenkins: “ The relationship between the concentration of oxygen in seawater and the corrosion of metals” Proceedings Third International Congress on Marine Corrosion and Fouling, National Bureau of Standards, Maryland (1972), p. 562-577.
4. Campaña OVIDE2, IFREMER, 2002.
5. I.A.C.S. (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación) “Requirements Concerning Survey and Certification”.
6. <http://www.corrosionsource.com>
7. C. De Waard y U. Lotz, Prediction of CO₂ corrosion of carbon steel, Corrosion 93, Paper 69, NACE, Houston, TX, 1993.

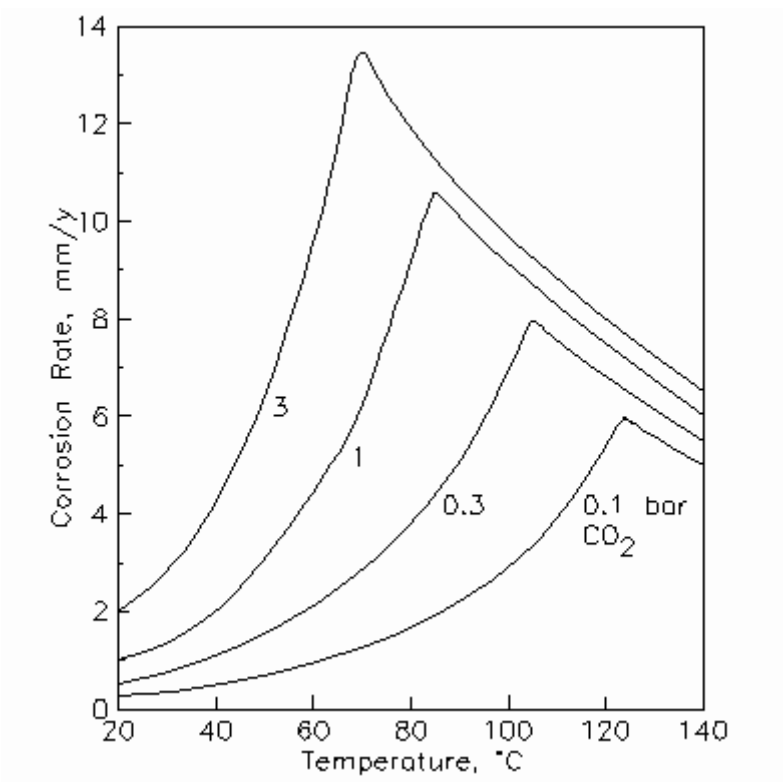


Figura 1

Predicción de la velocidad de corrosión del acero en función de la temperatura y de la presión parcial del CO₂ disuelto