



Sistemas de Pinturas para el Control de la Biocorrosión y del Biofouling

Carlos A. GIUDICE*, Andrea M. PEREYRA*, Liz K. HERRERA**, Hector A. VIDELA*

*Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata (UTN-FRLP)
La Plata, Argentina

**Instituto de Ciencia de los Materiales (CSIC). Isla de la Cartuja, Sevilla, España
cagiudice@yahoo.com

Resumen: El alto grado de contaminación y la elevada temperatura de un puerto ubicado en latitud tropical facilitan, en una primera etapa, la colonización microbiana ("slime film") de las superficies metálicas y posteriormente la intensa fijación por epibiosis de macroorganismos ("biofouling") de características muy variadas. En el presente trabajo se caracterizó en primera instancia el biofouling y luego se formularon y ensayaron en condiciones reales de campo y de laboratorio varios sistemas protectores marinos.

Los sistemas multicapa experimentales estuvieron basados en composiciones tripigmentadas (zinc laminar, extendedores e inhibidores de la corrosión) mientras que las composiciones antiincrustantes fueron del tipo matriz soluble, las que mostraron en estado estacionario de disolución un valor de lixiviación del biocida superior al crítico, es decir un excelente control de la fijación de biofouling como mínimo durante 16 meses de inmersión en agua de mar.

Palabras clave: acero naval, biocorrosión, biofouling, pinturas

Coatings Systems for Biocorrosion and Biofouling Control

Abstract: The elevated degree of pollution and the high temperature of a port located in tropical latitude facilitate, in one first stage, the microbial colonization (slime film) of the metallic surfaces and later the intense fixation by epibiosis of macro organisms (biofouling) of characteristics very varied. In the present work the biofouling was firstly characterized and then protected marine coatings systems were formulated and tested in real conditions of field and laboratory.

The experimental multicoats systems were based on tripigmented compositions (lamellar zinc, extenders and corrosion inhibitors) while antifouling compositions were of soluble matrix; the last ones showed in stationary state of dissolution a biocide leaching rate superior to the critical value, which means an excellent control of biofouling fixation for at least 16 months in seawater immersion.

Key words: naval steel, biocorrosión, biofouling, coatings

Introducción

La palabra "biofouling" se refiere a la acumulación indeseable de depósitos biológicos sobre una superficie [1]; están conformados por microorganismos y macroorganismos. El microfouling o biofilm se forma rápidamente luego de la inmersión del sustrato en agua de mar o de río; está constituido por células inmovilizadas e incluidas en una matriz orgánica de polímeros extracelulares producida por los mismos microorganismos, genéricamente denominada material polimérico extracelular (MPE). El "biofilm" es el resultado de una acumulación superficial que no es uniforme ni en el tiempo ni en el espacio. Por su

parte, la fijación de los macroorganismos tiene lugar sobre el biofilm mediante un proceso denominado epibiosis; la capa de macrofouling puede alcanzar varios centímetros de espesor y afecta el peso y las características hidrodinámicas de la superficie. El "biofouling" presente en los ambientes industriales es complejo y comúnmente incluye partículas inorgánicas, precipitados cristalinos y/o productos de corrosión; la formación tiene lugar tanto en flujo turbulento como en aguas estancadas y sobre superficies lisas, rugosas y en fisuras ("cervices") de diferente naturaleza (metálicas o no metálicas). En el caso de un metal en contacto con aguas industriales o naturales, los citados procesos biológicos e inorgánicos que producen

el “biofouling” favorecen además la corrosión, ya que modifica en forma marcada el comportamiento de la interfase metal / solución [2].

La biocorrosión incluye todo fenómeno de deterioro metálico en el cual los organismos actúan directamente o por medio de sustancias provenientes de su metabolismo, acelerando el proceso de corrosión ya establecido o creando las condiciones favorables para que se produzca dicho fenómeno. Por su parte, los procesos inorgánicos que ocurren simultáneamente en la interfase metal / solución involucran la oxidación (disolución metálica) y la reducción de las especies activas presentes, con la consiguiente formación de los productos insolubles de corrosión (“scaling”) que se depositan entre ambos electrodos (ánodo y cátodo, respectivamente).

Los procesos biológicos (“biofouling”) e inorgánicos (corrosión generalmente de naturaleza electroquímica), si bien ocurren en forma simultánea, se llevan a cabo en sentidos opuestos: el “biofouling” es, como se expresó anteriormente, un proceso de acumulación que se dirige desde el seno del líquido hacia la superficie metálica mientras que la corrosión se inicia en la superficie metálica y se traslada hacia el seno del fluido [3].

Como consecuencia de ambos procesos se forma una nueva interfase metal / solución que se denomina “interfase bioelectroquímica” ya que su comportamiento depende de variables electroquímicas que controlan los procesos de corrosión y la fijación biológica, Figura 1.

embarcaciones, las estructuras costa afuera, etc. plantean requerimientos cada vez más rigurosos en todo lo relativo a la conservación y a la protección de los materiales. El objetivo general fue determinar el comportamiento de recubrimientos protectores marinos con características anticorrosivas y antiincrustantes diseñados para prevenir o minimizar la corrosión inorgánica y biológica del acero naval en las condiciones del Mar Caribe. Los objetivos secundarios incluyeron la optimización de formulaciones anticorrosivas basadas en zinc laminar y de composiciones antiincrustantes tipo matriz soluble de alta velocidad de disolución.

Es importante mencionar que el comportamiento de un esquema protector está condicionado por el estado de la superficie metálica, la calidad de los productos seleccionados, la forma de la aplicación y las condiciones ambientales en que la misma tiene lugar [4]. Se debe resaltar además que no es lo mismo proteger superficies nuevas que aquellas con muchos años de servicio; en el primer caso los logros pueden ser muy superiores y el desarrollo tecnológico actual apunta a obtener satisfactoria protección anticorrosiva por lapsos no inferiores a diez años [5].

Pinturas ricas en zinc metálico (“zinc rich”) y modificadas

La aplicación de sistemas multicapa, basados en recubrimientos protectores eficientes, resulta la

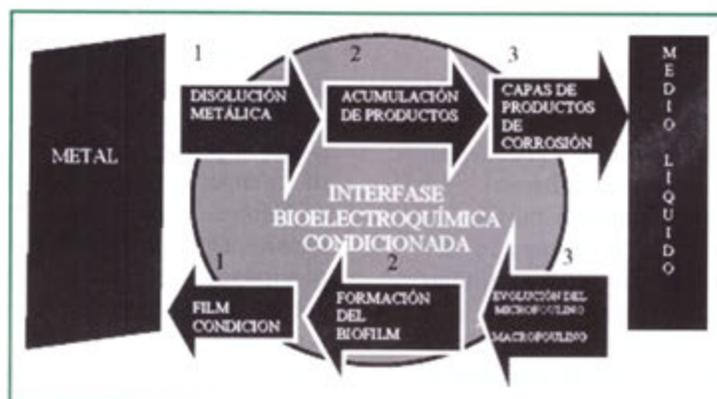


Figura 1: Interfase bioelectroquímica

Objetivos

El desarrollo actual de la industria naval y las exigencias de servicio para los diferentes tipos de

forma más conveniente desde un punto de vista técnico-económico para la protección de estructuras de acero expuestas a medios agresivos.

Muchos recubrimientos han sido empleados para lograr este objetivo. Las pinturas ricas en zinc se han manifestado como las más eficaces en comparación a otras; su éxito está basado en su capacidad para otorgar protección catódica al sustrato metálico (las partículas de zinc actúan como ánodo de sacrificio); la reacción anódica corresponde a la disolución del zinc mientras que el proceso catódico implica la reducción generalmente de oxígeno en la superficie del sustrato metálico [6-8]. En condiciones atmosféricas, el mecanismo de prevención anticorrosiva por parte de los imprimantes ricos en zinc está dominado por la acción sellante de los productos de corrosión del zinc en los poros de la película. Bajo condiciones de inmersión, el tiempo de protección catódica depende del nivel porcentual de zinc en la película. Un contenido de zinc óptimo debe ser encontrado para cada formulación y para cada tipo de exposición en servicio.

Un problema importante en los imprimantes de zinc, en particular en aquellos formulados en un único envase, es debido a la característica sumamente reactiva del zinc metálico. En presencia de agua, en particular a pH reducidos, el zinc reacciona generando gas hidrógeno lo cual podría deformar el recipiente de almacenamiento y aún producir explosiones; para imprimantes basados en vehículos ácidos, el problema es más delicado. Debido a este hecho, los fabricantes por lo general formulan pinturas de zinc en dos envases y por lo tanto el zinc debe ser incorporado al vehículo en forma previa a su aplicación [9-11]. Las propiedades fisicoquímicas así como el comportamiento frente a la corrosión de los imprimantes de zinc están notablemente afectadas por la forma de las partículas de zinc y la concentración del pigmento de volumen (PVC). Se define un valor crítico de la PVC, denominado usualmente CPVC, en el que el ligante ocupa exactamente todos los intersticios que generan las partículas del pigmento densamente compactadas. A valores de la PVC superiores a la CPVC, muchas de las propiedades de la película seca disminuyen bruscamente (por ejemplo, adhesión) mientras que otras se incrementan dramáticamente (por ejemplo, permeabilidad de la película y velocidad de corrosión del material de base) [12-18].

Cuando se emplea polvo de zinc esférico, la corriente eléctrica puede sólo ser transferida tangencialmente entre dos partículas adyacentes y por lo tanto el contacto está limitado (bajo contenido de zinc efectivo). Además, su elevada

densidad provoca en el envase, luego de incorporado previo a la aplicación, una rápida sedimentación y aglomerados de difícil redispersión; la heterogeneidad de la película conduce a zonas con $PVC / CPVC > 1$ (pobres propiedades mecánicas, alta porosidad, etc.) y a otras con reducidos PVC (insuficiente contacto eléctrico para una acción catódica eficiente). Por su parte, las partículas laminares exhiben una elevada relación área superficial/peso lo cual genera un efectivo contacto eléctrico; sin embargo, el zinc laminar se comporta como un ánodo demasiado activo para alcanzar una protección prolongada y promueve en consecuencia los fenómenos osmóticos (ampollamiento, pérdida de adhesión, etc.). El zinc laminar permite formular primers con menor PVC que el zinc esférico, ya que los valores de la CPVC son inferiores (reducida capacidad de empaquetamiento); además, la sedimentación en el envase no es significativa por la propia geometría de la partícula.

Considerando el concepto de ánodo de sacrificio (protección catódica), se han formulado pinturas que consisten en dispersiones de alta concentración de polvo de zinc laminar de elevada pureza, es decir en niveles cercanos a los valores de la correspondiente CPVC, con el fin de alcanzar un íntimo contacto de las partículas entre sí y con el sustrato metálico a proteger. Otra serie de pinturas se modificó, por lo anteriormente mencionado, con diferentes extendedores; para cada PVC considerado, el nivel varió desde 20 hasta 60 % en volumen sobre el total de pigmento. Se empleó mica (silicato de potasio y aluminio hidratado), caolín (silicato de aluminio hidratado) o silicato de calcio sintético. Finalmente, se elaboró una tercera serie que incluyó, además de los extendedores citados, pigmentos inhibidores de la corrosión que variaron desde el 5 al 15 % en volumen sobre el pigmento total. Se emplearon para tal fin tanatos metálicos y fosfatos de zinc.

Pinturas antiincrustantes de elevada velocidad de disolución

Las pinturas antiincrustantes actúan liberando tóxico, formando una capa de alta concentración en la superficie de la película. De esta manera repelen o matan a los organismos marinos constituyentes del "fouling" cuando los mismos se ponen en contacto con la superficie pintada. Varios investigadores han demostrado la

existencia de esta capa, como así también la capacidad de ejercer su acción biocida más allá de la zona pintada [19-20]. Esto demuestra que una pintura antiincrustante modifica en forma permanente sus características cuando está sumergida en agua de mar. A lo largo de su vida útil va perdiendo permanentemente tóxico y dicho tiempo estará determinado por el espesor de la película, por la reserva de tóxico en la misma y por la velocidad de disolución de ambos. Transcurrido un cierto tiempo, la pintura se agota y pierde efectividad.

La disolución de la película (reducción de espesor) tiene mayor significación en condiciones dinámicas pero la incrustación biológica ocurre en condiciones estáticas o casi estáticas. La lixiviación de tóxico desde el interior de la película hacia la superficie debe alcanzar como mínimo un cierto nivel crítico en condiciones estáticas para controlar o evitar la fijación de los organismos [19, 21, 22]; este valor, que depende del tóxico considerado, se define como la cantidad liberada por unidad de área y de tiempo y se expresa generalmente como $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$.

Las pinturas se formularon con resinato de cobre elaborado a partir de resina colofonia desproporcionada como material formador de película y caucho clorado adecuadamente plastificado como coligante para regular la velocidad de disolución. La relación en peso resinato de cobre/caucho clorado plastificado fue 5/1, 4/1 y 3/1. En lo referente a la pigmentación, se incluyó óxido cuproso rojo como tóxico fundamental, óxido de zinc como tóxico de refuerzo y carbonato de calcio como extendedor para regular el pH en la interfase película de pintura/agua de mar, en diferentes relaciones. En lo referente a la PVC, en todos los casos fue 60,0 %.

Manufactura de las pinturas, preparación de los paneles y ensayos realizados

Las muestras se elaboraron por duplicado en escala de laboratorio, en molinos de bolas de 3,3 litros de capacidad total. En primera instancia se prepararon los respectivos vehículos bajo agitación, a temperatura ambiente; se realizó un control reológico para ajustar la viscosidad y determinaciones de tensión superficial para mejorar, con la incorporación de agentes humectantes, la eficiencia de la dispersión [23-25]. Luego, se dispersaron los pigmentos y exten-

dedores hasta alcanzar el grado 2 / 3 de la cuña Hegmann (aproximadamente, 24 horas bajo condiciones operativas optimizadas del molino); en el caso de las pinturas antiincrustantes, el óxido cuproso sólo se dispersó durante 3 horas en las mismas condiciones para evitar reacciones de dismutación (el óxido cuproso genera óxido cúprico y cobre metálico). Finalmente, se ajustó la viscosidad de las muestras para alcanzar valores de 2 a 4 poises a 5000 segundos recíprocos (adecuada pintabilidad) y de 700 a 800 poises a 0,001 segundos recíprocos (satisfactoria resistencia al escurrimiento); la cinética de recuperación de la viscosidad fue ajustada de tal manera de alcanzar un 80 % del valor final en 10 minutos con el fin de lograr buenas características de nivelación de la película [26-29].

La preparación de las probetas para los ensayos se realizó con paneles de acero SAE 1010 de aproximadamente 100 x 150 x 1 mm, arenados al grado ASa 2 1/2 (SIS 05 59 00/67) y desengrasados con vapor de tolueno; la rugosidad máxima osciló alrededor de los 40 μm . La aplicación de los primers (una sola capa de 75/80 μm) se realizó con pincel, protegiendo los bordes por inmersión en una solución de resina acrílica estirenada. Finalmente, para la evaluación de las pinturas antiincrustantes se aplicaron tres capas con pincel (espesor de película seca 180/200 μm), con 24 horas de secado entre cada una de ellas.

Los primers se ensayaron en laboratorio determinando la *resistencia a la corrosión*, según la Norma ASTM 1654, luego de la exposición de los paneles pintados durante lapsos diferentes según la formulación en Cámara de Niebla Salina (ASTM D 117, 35 \pm 1 °C; pH 6,5 a 7,2; pulverización continua de una solución de cloruro de sodio al 5 \pm 1 % en peso) y la *resistencia a la formación de ampollas* de origen osmótico, según la Norma ASTM D714, luego de la exposición de los paneles pintados durante lapsos variables en Cámara de Humedad Relativa 100 % (ASTM D 2247).

Por su parte, los paneles con los sistemas protectores completos, es decir con las pinturas anticorrosivas basadas en zinc laminar y con los productos antiincrustantes experimentales, se ensayaron en el medio natural (Cartagena de Indias, Colombia). Para ello se diseñó y construyó una estructura flotante tipo boya, en la que se montaron los bastidores con paneles a la altura de la línea de flotación y de carena. La distribución vertical de los paneles brinda información sobre el biofouling en función de la profundidad (Figura 2). Se realizaron inspecciones periódicas, con

registros fotográficos.

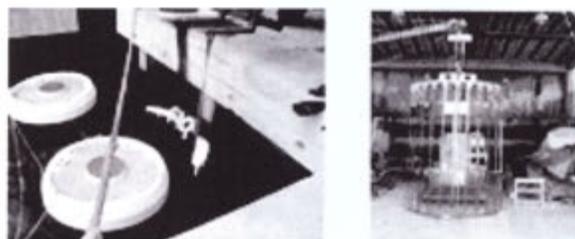


Figura 2: Ensayo en balsa experimental y bastidores

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica del agua de mar

Se evaluó la variación de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos de interés en función de la profundidad. Los resultados indican que la zona afótica comienza a una profundidad de 2,96 m y termina en la máxima profundidad del lugar; en esta área se encuentran organismos aerobios y facultativos, los cuales se alimentan con los residuos orgánicos (biomasa) que provienen de la sedimentación de aquéllos que viven en la zona fótica y de otro tipo de materia orgánica proveniente de la desembocadura del un río cerca de la zona de estudio. Se obtuvieron datos a diferentes horas, en función de la profundidad para las variables temperatura, oxígeno disuelto, potencial redox y salinidad.

En cuanto a la *temperatura*, se determinó que ésta permaneció aproximadamente constante en toda la columna de agua, es decir que no se observó una estratificación térmica; esto último es atribuible a que el Mar Caribe se encuentra en una zona tropical, donde no se presentan estaciones muy marcadas como en otras latitudes geográficas [30] y porque además la acción de las olas y particularmente las corrientes submarinas son muy significativas. El *oxígeno disuelto* es uniforme debido a la ausencia de una estratificación térmica. Por su parte el *potencial redox*, que está relacionado con la conductividad y la *salinidad*, presentó una importante relación entre la disminución del potencial redox y el aumento de la salinidad; esto es significativo ya que el medio marino es muy corrosivo y la disolución metálica ocurre simultáneamente con la formación del biofouling.

Los valores de salinidad reportados son debidos a la fuerte influencia del agua dulce proveniente del río cercano ya que la densidad de esta última es inferior a la del mar; se favorece así la ubicación de aguas menos salubres en la superficie.

Caracterización biológica

Se pudo observar que a medida que transcurrió el tiempo de inmersión, las comunidades de macroorganismos fueron aumentando su desarrollo; esto fundamenta el aumento de peso observado tanto en la línea de flotación como en carena. La Figura 3 indica el citado incremento en un área de 1200 cm². Las algas se incluyen en esta clasificación pero no se identificaron las especies; su presencia solamente se observó en la línea de flotación debido a la significativa disponibilidad de luz en esta zona.

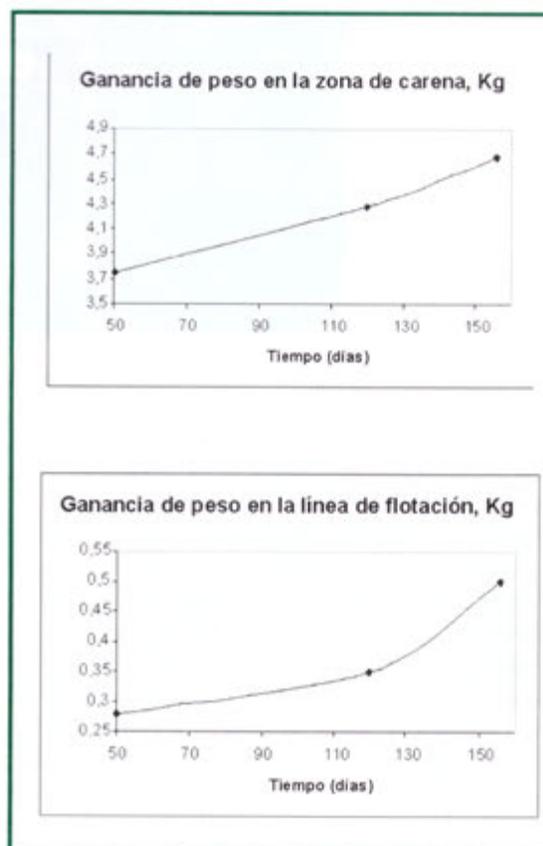


Figura 3: Ganancia de peso en línea de carena y flotación

Además, se corroboró que esta área es altamente agresiva para los paneles de referencia (sin protección) debido a la deposición de sales en estado sólido y a la alta concentración de oxígeno. Los citados paneles desnudos fueron rápidamente colonizados por los organismos incrustantes debido a la escasez de fondos duros (rocas, etc.) presentes en el mar, Figuras 4 y 5.



Figura 4: Colonización en la línea de flotación: (a) 50 días; (b) 120 días y (c) 156 días

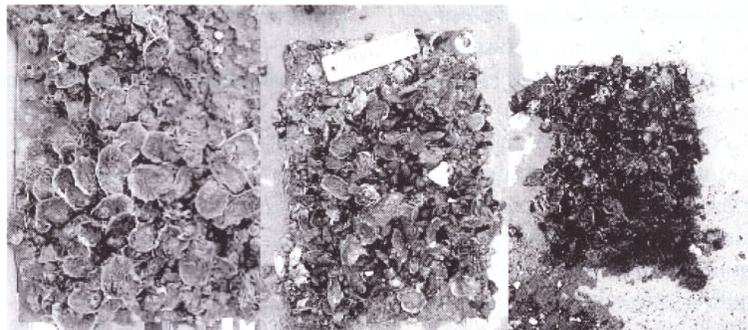


Figura 5: Colonización en el nivel de carena: (a) 50 días; (b) 120 días y (c) 156 días

La Figura 6 muestra las comunidades fijadas sobre los sustratos artificiales estudiados a nivel de carena; se observó una clara dominancia del *Balanus* sp, *Mitilus* (*Mitilopsis* sp.) y *Ostras* (*Crassostrea* *rizophora*), con especies acompañantes tales como algunos Crustáceos (*Panopeus* sp., *Petrolistes* sp., *Pachigrapsus* sp. y *Enripanopeus* sp.). El tipo y la cantidad de organismos variaron según la incidencia de la luz en la columna de agua, lo cual está sustentado por las modificaciones de la profundidad de la zona fótica/afótica en el transcurso del día. Los resultados corroboran las conclusiones de otros autores [19, 20, 31].

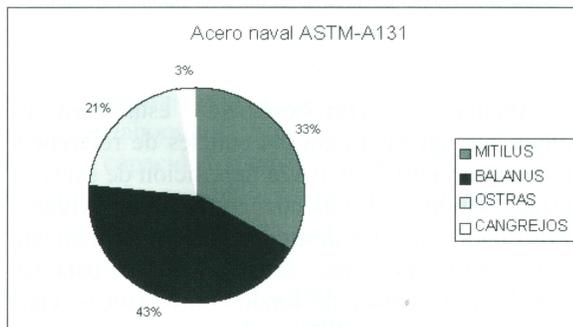


Figura 6: Muestreo biológico a nivel de carena

Caracterización de los productos de corrosión

El análisis por difracción de rayos X de los productos de corrosión de los paneles sin protección fueron realizados en un difractómetro BRUKER AXS modelo D8 (fuente de radiación de cobalto Co K α , $\lambda=1,78897\text{\AA}$, con geometría Bragg Brentano θ - θ). El equipo se calibró en posición angular 2θ mediante una muestra estándar de cuarzo ubicando la posición del pico en $31,3^\circ$ (el error máximo estimado para 2θ es de $0,1^\circ$). El barrido en ángulos se realizó desde 10° a 90° con un paso de $0,014$. En la *línea de flotación* los productos de corrosión identificados por DRX, luego de 50 días de inmersión en agua de mar, fueron lepidocrocita, goethita, semitita y magnetita y/o maghemita; en este estudio se observaron tres productos típicos de la corrosión del acero sumergido en agua de mar [29], dos oxihidróxidos (goethita y lepidocrocita) y un óxido de hierro asociado a una fase espinela (magnetita y/o maghemita). A partir del difractograma se deduce que la fase espinela es decir magnetita o maghemita está en mayor proporción, seguida por goethita y lepidocrocita y por último semitita.

Resulta oportuno destacar la presencia de semitita (un sulfato de hierro) la cual se puede

asociar a las bacterias reductoras de azufre según la literatura [32]; cabe notar que la fase de *symtitita* presente está en pequeños porcentajes, probablemente debido al corto tiempo de inmersión. Luego de 56 días de inmersión en agua de mar, los productos de corrosión que se identificaron por DRX en la línea de flotación fueron *lepidocrocita*, *goethita*, *schwertmannita*, *greenalita* y *magnesioferrita*; esta última se puede asociar a los procesos de *biofouling*. En lo referente a los paneles desnudos sumergidos a *nivel de carena*, los productos de corrosión identificados por DRX luego de 50 y 156 días de inmersión fueron *lepidocrocita*, *goethita*, *schwertmannita*, *greenalita*, *magnesioferrita* y *calcita*.

La *calcita* se asocia a las incrustaciones calcáreas, las cuales se adhieren fuertemente a la superficie y son causantes del deterioro del material base por ejercer una gran fuerza de adhesión sobre el sustrato al cual se fijan. También se observaron dos fases de sulfato de hierro, asociadas nuevamente a la presencia de las bacterias reductoras de sulfato; esto último puede ser debido a que la *symtitita* pasa a través del tiempo, tanto por vía biológica, química o electroquímica según se ha reportado en la literatura, a otros sulfuros más estables como la *greenalita* [34]. En este nivel continúan destacándose los oxihidróxidos de hierro como fase mayoritaria, seguido de la *calcita* y de las fases asociadas a sulfatos de hierro las cuales en conjunto tienen cierta relevancia. Por medio de SEM/EDX se observó la morfología características de los oxihidróxidos de hierro, Figura 7.

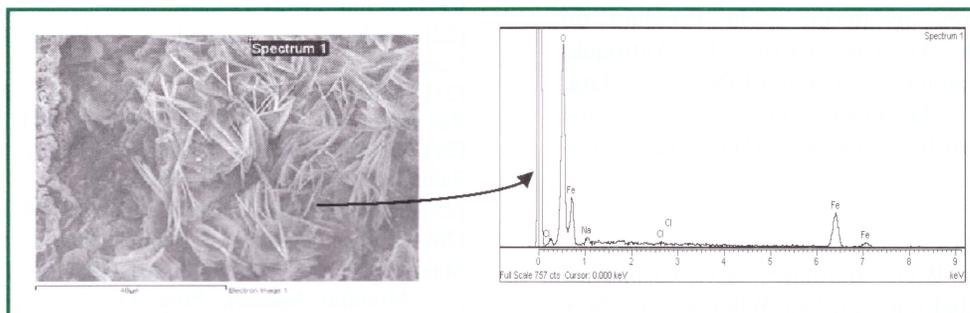


Figura 7. SEM/EDX de los productos de corrosión formados a nivel de carena

Primers anticorrosivos

Considerando los resultados experimentales obtenidos en Cámara de Niebla Salina y Cabina de Humedad Relativa 100%, los sistemas tripigmentados (zinc laminar, extendedor y pigmento inhibidor) presentaron en general

mejor comportamiento seguidos de aquéllos modificados sólo con extendedor y con zinc laminar como único pigmento, en ese orden. En todos los casos, el zinc laminar presentó una mayor eficiencia que el zinc esférico.

El extendedor más adecuado fue el silicato de calcio sintético debido a su más elevado índice de absorción de aceite; esto último le permite actuar muy eficientemente como “espaciador” de las partículas de zinc laminar para evitar el elevado contacto eléctrico entre ellas. En lo referente al pigmento inhibidor, el fosfato básico de zinc y los tanatos metálicos estudiados presentaron comportamientos similares. La mejor relación zinc laminar/extendedor/inhibidor fue 65/25/10 en volumen, en un rango de PVC de 25,0 a 32,5 %. Los resultados permiten concluir que niveles muy bajos de zinc laminar en los primers tripigmentados, calculados sobre la película seca (aproximadamente 20 % en volumen), parecen suficientes para alcanzar una efectiva protección catódica del sustrato y también una controlada acción galvánica para evitar la formación de grandes cantidades de productos solubles de zinc que promueven la formación de ampollas.

Pinturas antiincrustantes

Las pinturas antiincrustantes formuladas con resinas desproporcionadas de cobre presentaron en todos los casos, luego de 16 meses de inmersión, un mejor comportamiento que aquéllas basadas en resina colofonia, particularmente cuando se prolongó el lapso entre la finalización de la aplicación y la inmersión. Esto se

fundamenta en que la resina colofonia se oxida al aire y aumenta sensiblemente su velocidad de disolución, lo cual reduce su vida útil en servicio por un agotamiento más prematuro de la película que el estimado por el formulador. Se observó además una importante influencia de la variable

relación en peso resina soluble/coligante sobre la bioactividad de las pinturas; el valor 5/1 fue el que presentó la mejor performance, seguido del 4/1 y del 3/1, en ese orden. El primero de ellos exhibió la mayor velocidad de disolución en agua de mar (más significativa reducción de espesor) dado el más alto nivel de componentes solubles, lo cual condujo a películas más difíciles de bloquear por los contaminantes del medio marino; en consecuencia, se deduce que la relación más elevada favoreció una lixiviación continua y uniforme del biocida para repeler la fijación de los organismos incrustantes. Con respecto a la pigmentación, la mejor relación en peso óxido cuproso rojo/óxido de zinc/carbonato de calcio natural fue 25,0/2,5/25,0.

Conclusiones

Los resultados de los estudios fisicoquímicos y del relevamiento del biofouling presente en el Mar Caribe han revelado que el agua de mar posee un alto grado de agresividad y de actividad biológica que afectan significativamente el acero naval sumergido sin una protección adecuada.

Se formularon sistemas protectores marinos altamente eficientes, basados en primers exentos de cromatos y en pinturas antiincrustantes de alta velocidad de disolución, aptos para controlar la cinética de los procesos de oxidación del acero naval y la indeseable fijación de organismos incrustantes que incrementan el peso y las características hidrodinámicas de la estructura, con las consiguientes consecuencias económicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia); al CIDEPINT (La Plata, Argentina) y a las instituciones en las que los autores desarrollan sus actividades científico-académicas.

REFERENCIAS

[1] Characklis, W.G. "Biofilms", W.G. Characklis, K.C. Marshall (ed.); p. 524, John Wiley & Sons, New York, (1990).
[2] Videla, Héctor A., "Biofouling and Biocorrosion in Industrial Water Systems", G.G. Geesey, Z. Lewandowski, H.C. Flemming (eds.); p. 231, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, (1994).

[3] Videla, Héctor A., Herrera, Liz K., "Microbiologically influenced corrosion: looking to the future, *International Microbiology*"; 8, 169-180, (2005).
[4] Giudice, Carlos A., Benítez, Juan C., Pereyra, Andrea M. "Pinturas para controlar la incrustación en estructuras externas: evaluación de desempeño". *Rev. ImpraLatina*; , (2003).
[5] Rascio, Vicente J. "Antifouling coatings: where do we go from here?". *Corrosion Reviews*; XVIII (2-3), 133-154, (2000).
[6] Weldon D.G., Carl B.M. J. *Coat. Technol.*; 69 (868) 45, (1997).
[7] Vincent L.D. *Mat. Performance*; 39 (5) 38, (2000).
[8] Mukherjee S. *Paintindia*; 49 (7) 31, (1999).
[9] Giudice Carlos A., del Amo Delia B. *Corrosion Control & Prevention*; 43 (1), 15, (1996).
[10] Giudice Carlos A., Benitez Juan C. *Corrosion Reviews*; 13 (2-4), 81, (1995).
[11] Bucharsky E., Vilche J. *Pittura e Vernici*; 73 (16) 9, (1997).
[12] Muller B., Langenbucher J. *Corrosion Sci.*; 45 (2) 395, (2003).
[13] Hare C. J. *Prot. Coat. & Lin.*; 15 (9) 34, (1998).
[14] Vilche Jorge, Bucharsky Ethel, Giudice Carlos A. *Corrosion Sci.*; 44 1287, (2002).
[15] Bucharsky, Ethel, Real Silvia, Vilche Jorge. *Corrosion Rev.*; 14, 15, (1996).
[16] Hare C. J. *Prot. Coat. & Lin.*; 15 (8) 29, (1998).
[17] Del Amo Delia B., Giudice Carlos A., Rascio Vicente J. *J Coatings Technology*, 56 (719), 63, (1984).
[18] Giudice Carlos A., Benitez Juan C., Morcillo Manuel. *Surface Coat. Int.*; 80 (6) 279, (1997). [19]. Parker Waterblasting Corp Houston, USA, (1992). [20]. Houghton, D. *Ocean Management*; 4, 347, (1982)
[21] Rascio Vicente J., Giudice Carlos A., Benítez Juan C., Presta, Mario. "Comportamiento de pinturas antiincrustantesoleorresinosas en servicio y en balsaexperimental". *Rev. Iberoamericana deCorrosión y Protección*; 11, 23, (1986).
[22] Brady R. Jr., Bonafede S., Schmidt D. *Surface Coat. Int.*; 79 582, (1999).
[23] Giudice Carlos A., del Amo Delia B. *Rev.Iberoamer. Corr. y Prot.*; XVII, (2) 141, (1986).
[24] Villoria Gustavo, Giudice Carlos A. *American Paint and Coat. J.*; 74 (12) 38, (1989).
[25] Giudice Carlos A.. *Eur. Coat. J.*; (5) 292, (1994).
[26] Giudice Carlos A., Benitez Juan C., Morcillo Manuel *Surface Coat. Int.*; 80 (6) 279, (1997).
[27] Morcillo Manuel. *Prog. Org. Coat.*; 36, 137, (1999).
[28] Bucharsky, Ethel, Real Silvia, Vilche Jorge. *Corrosion Rev.*; 14, 15, (1996).
[29] Weldon D. G., Carl B. M. J. *Coat. Technol.*; 69 (868) 45, (1997).



[30] Asociación de ingenieros sanitarios de Antioquia, "Limnología Aplicada a Embalses". Medellín, Ed. AISA, (1991).
[31] Pipe, A. "The fouling of fixed structures".

Mariner Laboratory University of Strathclyde, (1990).
[32] Edyvean R. G., Videla Héctor. A. "Biological Corrosion". Interdisciplinary Science Reviews; 16(3), 267, (1991).

TyC