

## Planteamiento metodológico para la evaluación del desempeño de pinturas antiincrustantes en condiciones estáticas

*Félix Echeverría<sup>a</sup>\*, Juan G. Castaño<sup>a</sup>, Néstor Aguirre<sup>b</sup>, Ana C. Valderrama<sup>a</sup>, Juan D. Peña<sup>a</sup>, Liz Herrera<sup>a</sup>, Carlos Giudice<sup>c</sup>, Alfredo Morales<sup>d</sup>*

<sup>a</sup>Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia, Sede de Investigación Universitaria (SIU), Torre 2, Medellín, Colombia.

<sup>b</sup>Grupo GAIA, Universidad de Antioquia, Medellín.

<sup>c</sup>CIPEPINT, Universidad Tecnológica, La Plata, Argentina.

<sup>d</sup>COTECMAR, Zona Industrial Mamonal, Cartagena, Colombia.

(Recibido el 21 de octubre de 2005. Aceptado el 8 de noviembre de 2005)

### Resumen

La protección de superficies sumergidas en agua de mar tiene además de los aspectos de corrosividad un aspecto importante que debe considerarse y es evitar la colonización por especies marinas. La colonización de superficies sumergidas, además de deteriorar todo el sistema de protección, genera inconvenientes en cuanto a la operatividad de naves y estructuras, debido al aumento en rugosidad y peso de estas. Como medida preventiva se emplean recubrimientos de pintura denominados antiincrustantes, los cuales evitan la adhesión de organismos a las superficies. Para la formulación y posterior evaluación de una nueva pintura es necesario tener conocimiento del medio ambiente y disponer montajes tanto de laboratorio como de campo, para lograr resultados representativos y de inmediata aplicación. En el presente trabajo se describen los pasos recomendados a seguir en un estudio de este tipo, metodología que se ha desarrollado y aplicado recientemente con resultados muy halagadores.

----- *Palabras clave:* corrosión en agua de mar, pinturas antiincrustantes, *biofouling*, ensayos estáticos de inmersión.

---

\* Autor de correspondencia: teléfono +97+7 210 66 15, fax + 97+4 263 82 82, correo electrónico: fecheve@udea.edu.co

## **Methodology for the evaluation of antifouling paints performance in static conditions**

### **Abstract**

Biofouling is an important aspect to consider in the protection of a structure submerged in sea water. In fact, besides causing deterioration of the entire protective system (e. g., corrosion protection), biofouling increases roughness and weight in ships and other structures therefore affecting their operation. Antifouling paints, having the capacity to exclude the marine organisms that tend to adhere to the surface, have been developed in order to mitigate these adverse effects. In order to formulate and evaluate a potential paint it is necessary to have knowledge of the marine environment, and to be able to conduct both laboratory and field tests so representative and applicable results are obtained. The recommended steps to follow in such a study are described in this paper. The methodology proposed has been recently developed and applied with promising results.

----- *Key words:* Sea water corrosion, antifouling paints, biofouling, static immersion tests.

## Introducción

Los fenómenos de biocorrosión o bioensuciamiento (también denominado *biofouling*) en superficies metálicas sumergidas en medio marino, ocurren a menudo por la acumulación de microorganismos y organismos sobre tal superficie. Se estima que aproximadamente un 20% de los casos de corrosión se deben a fenómenos de biocorrosión [1, 2]. Si se tiene en cuenta que los gastos originados por problemas de corrosión corresponden a entre el 2 y 5% del PIB de algunos países, se puede estimar el gran costo asociado a problemas de biocorrosión [1, 2].

Numerosas industrias se ven afectadas por los problemas que este tipo de corrosión acarrea, entre las más importantes, claro está, la industria naval. En los cascos y en otras estructuras de hierro o acero sumergidas en agua de mar, la formación de la biopelícula y posterior fijación de organismos incrustantes [3, 4], frecuentemente induce la corrosión del metal, reduciendo la velocidad de desplazamiento por la rugosidad que se genera, incrementando el consumo de combustible y aumentando la frecuencia de entradas en dique seco. Las pinturas antiincrustantes además de brindar protección anticorrosiva general, de manera particular deben tener la capacidad de evitar la fijación de organismos marinos a la superficie pintada [3-5]. Lo anterior se logra mediante la liberación de un tóxico o biocida regulado por normas medioambientales cada vez más estrictas [6].

Mediante la identificación de los mecanismos de corrosión y los agentes implicados en los fenómenos de degradación de la obra viva de las unidades en mención, así como del desarrollo y evaluación del comportamiento de pinturas antiincrustantes en unas condiciones de interés particular, es posible el establecimiento de acciones encaminadas a minimizar el efecto de los organismos en las embarcaciones así como de las pinturas empleadas en el medio ambiente [7].

En este trabajo se puede ver cómo, en términos generales, una aproximación adecuada para en-

frentar este reto, consta de los siguientes pasos: establecer el grado y los mecanismos del ataque sufrido por biocorrosión en las unidades y partes afectadas, evaluar el medio ambiente de interés [8, 9], desarrollar en laboratorio una o varias formulaciones de pinturas con posibilidades de tener buen comportamiento antiincrustante en agua marina, evaluar en campo y en laboratorio el comportamiento de diferentes pinturas antiincrustantes y finalmente establecer las alternativas de protección por pinturas antiincrustantes, más adecuadas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

## Parte experimental

### Caracterización del problema

Por caracterización del problema se entiende la evaluación directa del estado de superficies expuestas al medio ambiente de interés y que por tanto reflejen los efectos del mismo sobre la estabilidad de los materiales, teniendo en cuenta que se deben evaluar diferentes zonas de la obra viva, buscando cubrir variadas situaciones de flujo (figura 1).



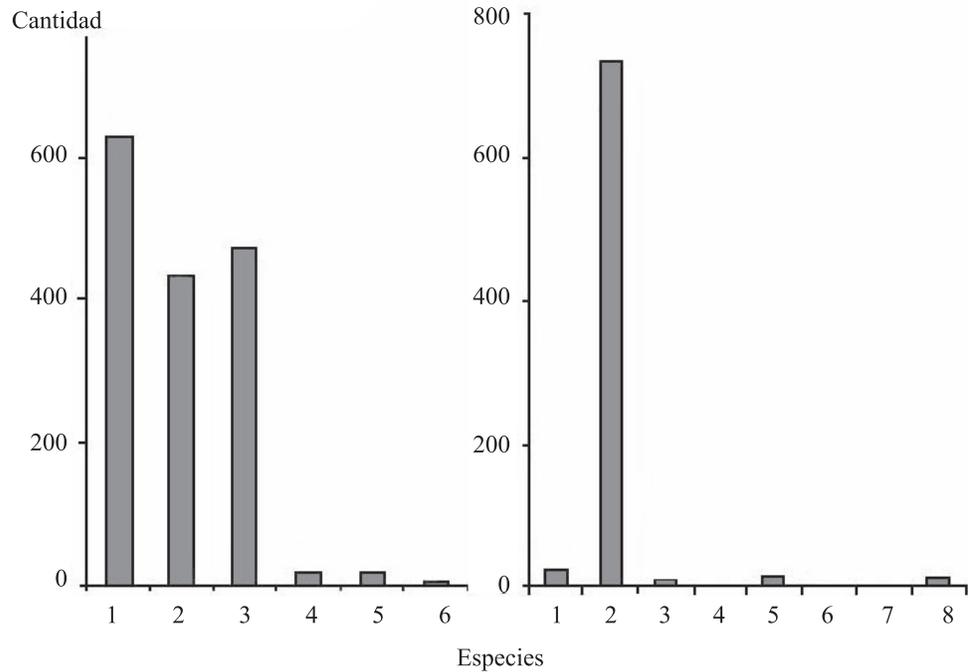
**Figura 1** Diagrama de vista en planta de una embarcación; los puntos señalan cuatro zonas seleccionadas para muestreo de organismos adheridos y análisis superficial

En este punto se deben tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

1. Tipo y cantidad de organismos incrustados (figura 2).
2. Estado general del mecanismo de protección empleado.
3. Características y extensión del ataque sufrido por el sustrato metálico.

4. De ser posible, se debe examinar al menos un ejemplo de embarcaciones tanto fondeadas

en puerto por un período largo como con desempeño normal en cuanto a movilidad.



**Figura 2** Resultados de la caracterización biológica de la película encontrada en dos zonas (popa: izquierda, proa: derecha) de una embarcación que navega en el mar Caribe: 1: ostras, 2: Balanus sp., 3: Mitilus, 4: crustáceos, 5: esponjas, 6: camarón, 7: poliquetos, 8: oligoquetos

**Evaluación del medio ambiente de interés**

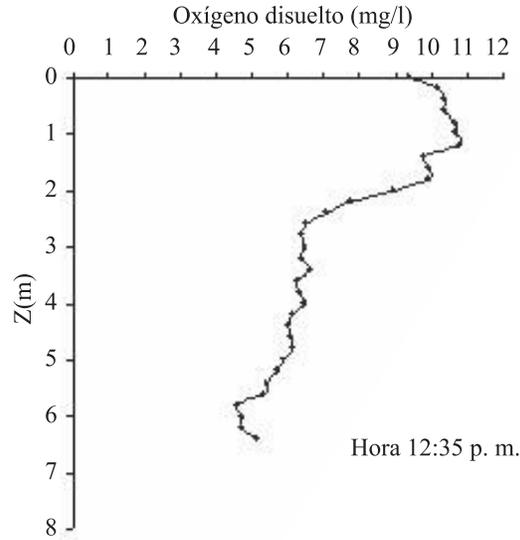
Se considera importante la realización de un muestreo fisicoquímico del agua de mar en la zona en la cual se planea instalar las estaciones de prueba. Este muestreo en términos generales debe tener las siguientes características

1. Periodo de evaluación: entre más o menos las 8 a. m. y 4 p. m.
2. Intervalos de medida: al menos cada 4 horas.
3. Profundidad de medida: la profundidad máxima hasta la que se realicen las mediciones puede variar según el caso específico y la profundidad misma del sitio de muestreo. En el caso evaluado se llegó hasta 7,35 m desde la superficie.

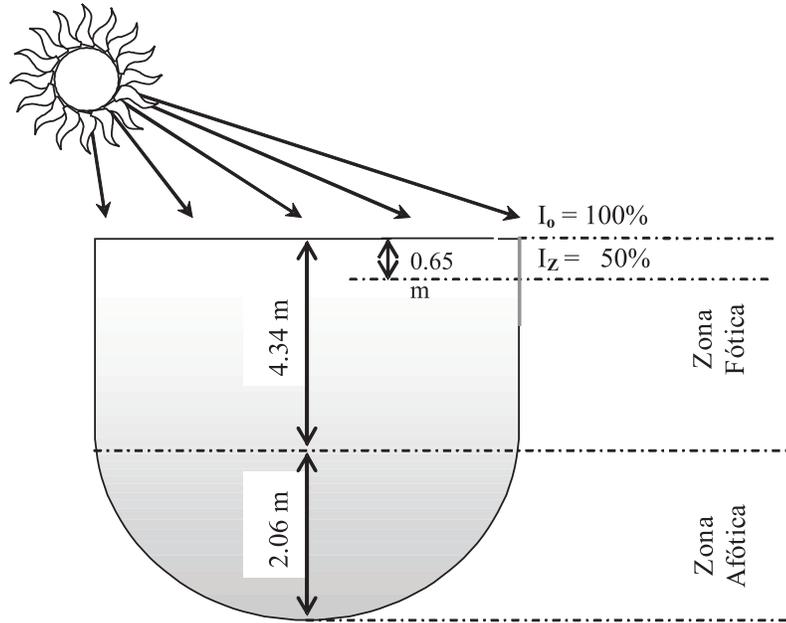
4. Variables a evaluar: profundidad, radiación solar, transparencia del agua, temperatura, oxígeno disuelto, pH, potencial redox, conductividad eléctrica, salinidad y alcalinidad total (figuras 3 y 4).

**Diseño y elaboración de pinturas**

Basándose en la información obtenida en los puntos anteriores se pueden proponer niveles de biocida a emplear en las diferentes formulaciones. Esto sin embargo comprende un rango amplio de velocidades de liberación de biocida, que como primera aproximación permitirá delimitar el problema y luego en etapas posteriores ir acotando dicho rango, ajustándolo a la actividad biológica del medio ambiente de trabajo. Las propiedades fisicoquímicas del medio además de



**Figura 3** Gráfico del contenido en oxígeno disuelto en el agua en función de la profundidad, medido en horas del mediodía



**Figura 4** Representación gráfica de la transparencia de la columna de agua en el mar a las 12:35 p. m.  $I_0$ : profundidad cero con 100% de radiación incidente,  $I_z$ : profundidad a la cual la radiación se reduce al 50% de la incidente

estar íntimamente relacionadas con la actividad biológica, determinan características de la pin-

tura a desarrollar, con el objeto de asegurar un desempeño biocida adecuado.

### **Evaluación de pinturas en laboratorio**

La evaluación de pinturas en laboratorio principalmente se refiere a establecer las velocidades de liberación de biocida en agua de mar. Para esto se han empleado diferentes métodos, cuyos resultados muy recientemente se han recogido en un ensayo estandarizado consignado en la norma ASTM D 6442-03 [10], el cual no solamente

permite la evolución de la cantidad liberada luego de sumergir una probeta recubierta con la pintura de interés en una cubeta de agua, sino que incluye un efecto dinámico, en el cual la probeta pintada se mantiene inmersa en agua de mar y periódicamente se están haciendo evaluaciones bajo condiciones dinámicas y empleando técnicas analíticas de alta resolución para la cuantificación de la cantidad de biocida liberado (figura 5).



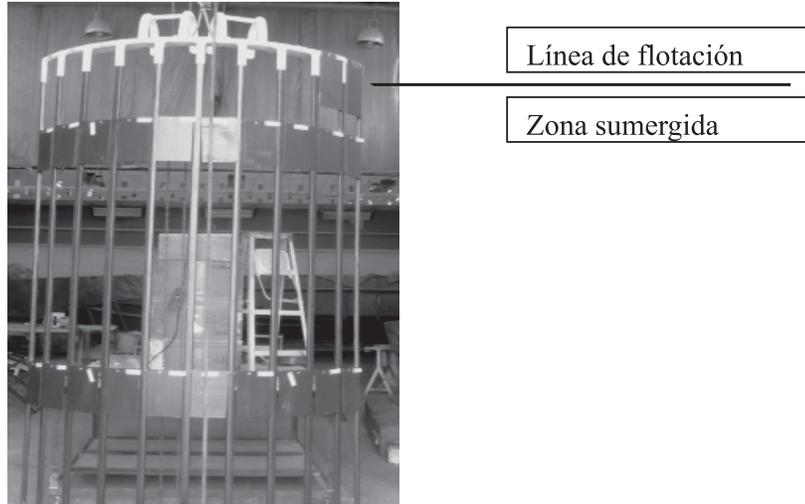
**Figura 5.** Montaje para evaluación de velocidad de liberación de biocida en pinturas antiincrustantes en agua de mar. Izquierda: inmersión, derecha: ensayo dinámico.

### **Evaluación de pinturas en campo**

Para este ensayo es necesario disponer de la infraestructura adecuada que permita evaluar el desempeño de las pinturas en condiciones estáticas, tal y como se encontraría una embarcación fondeada en puerto. Esta es la condición más crítica de todas y por tanto pondrá mayores exigencias sobre el recubrimiento. Para este tipo de evaluación se dispone de balsas o boyas flotantes, ancladas convenientemente al fondo marino. Estas estructuras se emplean fundamentalmente para adelantar estudios en puertos o en aquellos lugares donde el *biofouling* es muy abundante (figura 6). La preparación y disposición de las probetas se debe realizar siguiendo los procedimientos indicados en la norma ASTM D 3623-78a [11]. Dicha norma se debe analizar cuidadosamente antes de iniciar el diseño de la boya experimental, con el fin de tener las previsiones necesarias en cuanto a tamaño de probetas,

espaciamiento de las mismas, mecanismos de sujeción, etc. Además de los paneles pintados con los esquemas de pintura a evaluar, se colocan paneles de acrílico arenados que se emplean como testigos no tóxicos para la recolección de las especies incrustantes. Se llaman paneles de “línea de flotación” a los más superficiales, mientras que los ubicados bajo el agua se denominan “paneles de carena”.

Antes de iniciar las exposiciones se deben adelantar ensayos preliminares con el fin de evaluar la resistencia mecánica de la boya y sus diferentes elementos, con respecto a las fuerzas ejercidas por el movimiento del agua. Las probetas expuestas, deben ser evaluadas periódicamente con el fin de determinar la efectividad de la pintura antiincrustante y dar una valoración de tipo semi-cuantitativo del estado de colonización de la superficie (figura 7).

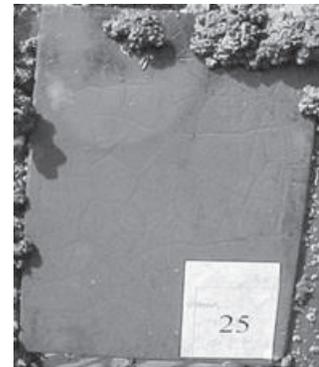


**Figura 6** Estructura empleada para la exposición de probetas pintadas en campo

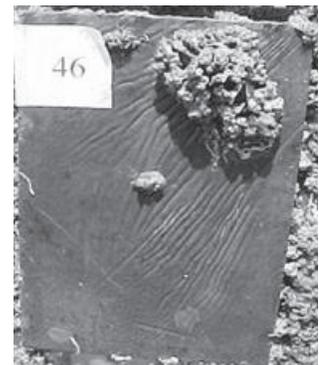
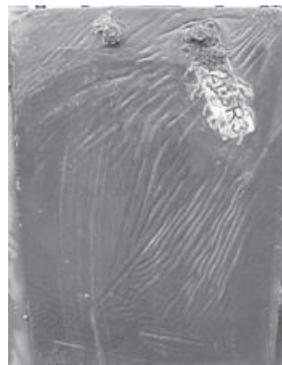
0 días

50 días

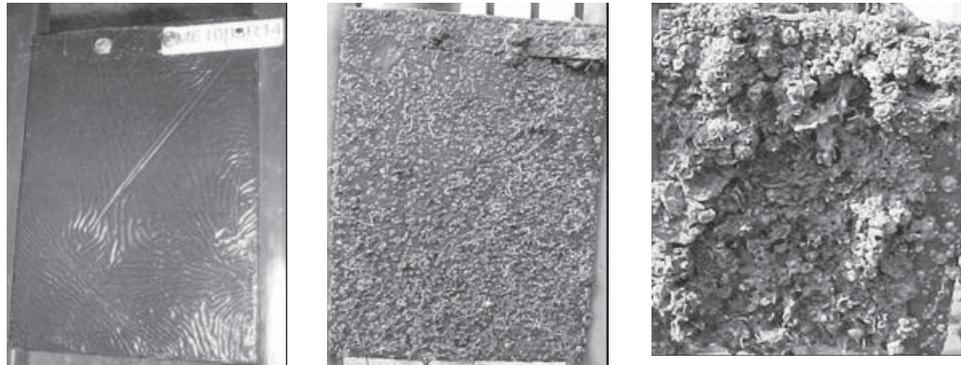
238 días



**Sistema 1**



**Sistema 2**



Sistema 3

**Figura 7** Estado de probetas pintadas con tres formulaciones diferentes de pintura antiincrustante, sin exponer y luego de 50 y 238 días de exposición, respectivamente

### Conclusiones

El diseño de una pintura antiincrustante y del sistema a emplear para su evaluación en campo, tienen íntima relación con las características del medio ambiente en cuanto a propiedades físico-químicas y su variación con la profundidad desde la superficie del agua.

Las características de los organismos encontrados en superficies reales expuestas al medio ambiente de interés, es de importancia a la hora de diseñar una pintura antiincrustante, en especial en lo referente a las velocidades de liberación de biocida.

Es de primordial importancia conocer las condiciones de flujo a las que estará sometida la balsa experimental, asegurando así el cumplimiento de las exigencias mecánicas a los elementos estructurales y de anclaje de la misma.

Cada uno de los pasos enunciados en la presente metodología ha mostrado ser de fundamental importancia a la hora de iniciar un estudio sistemático de desarrollo y evaluación de recubrimientos antiincrustantes a emplear en un medio ambiente específico.

### Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Colciencias, a la Universidad de Antioquia y a

COTECMAR por la financiación del proyecto: “Problemas de biocorrosión y alternativas de protección para embarcaciones en el mar Caribe (Código 1115-06-12480, contrato 417-2002).

### Referencias

1. M. Callow, J. Callow. “Marine biofouling: a sticky problem”. *Biologist (London)*. Vol. 49. 2002. pp. 1-5.
2. V. Rascio. “Antifouling coatings: where do we go from here?”. *Corrosion Reviews*. Vol. XVIII. 2000. pp. 133-154.
3. M. C. Pérez, M. Stupak. “El conocimiento del “biofouling”. Un aspecto importante para el desarrollo de pinturas antiincrustantes eficientes”. *Color & Textura*. N.º 64. 2000. pp. 8-11.
4. M. C. Pérez, M. Stupak. “Revisión sobre los aspectos biológicos del fouling”. *Anales CIDEPINT 1996*. La Plata. pp. 95-154.
5. C. A. Giudice, J. C. Benitez, V. Rascio. “Prevención del fouling en arena de embarcaciones con pinturas AF a base de resina colofonia y caucho clorado”. *Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección*. Vol. XV. 1984. p. 16.
6. B. del Amo, C. A. Giudice, V. Rascio. “Influence of binder dissolution rate on the bioactivity of AF paints”. *Journal of Coatings Technology*. Vol. 56. 1984. pp. 63-73.
7. D. M. Santágata, P. R. Seré, C. Elsner, A. Di Sarli. “Evaluation of the surface treatment effect on the corrosion performance of paint coated carbon steel”. *Progress In Organic Coatings*. Vol. 33. 1998. pp. 44-54.
8. R. Wetzel, G. Likens. *Limnological Analysis*. Third edition. New York. Springer Verlag. 2000. pp. 18-21.

9. D. Meseguer, S. Kiil, K. Dam-Johansen. "Antifouling technology-past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings". *Progress in organic coatings*. Vol. 50. 2004. pp. 75-104.
10. ASTM D 6442-03. "Test Method for Determination of Copper Release Rate from Antifouling Coating Systems in Artificial Seawater". American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, USA. 2003.
11. ASTM D 3623-78a. "Standard Test Method for Testing A. F. Panels in Shallow Submergence. American Society for Testing and Materials". American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, USA. 1998.