

El control de bivalvos invasores *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en la central hidroeléctrica Yaciretá mediante pinturas.

Juan J. Caprari¹ y Carlos J. Lecot²

CIDEPINT(Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas)(CIC-CONICET) 52 entre 121 y 122. 1900 La Plata. E-mail: cidepint@ba.net

RESUMEN

El presente trabajo está destinado a prevenir el desarrollo y la fijación del molusco invasor *limnoperna fortunei*, evitando así los efectos adversos que el mismo tiene sobre los sistemas de suministro de agua a utilizar en refrigeración en Centrales Hidroeléctricas.

Se han ensayado 48 muestras de pinturas de diferente composición, las que fueron aplicadas a pincel sobre paneles de fibrocemento y acero y sumergidas soportadas sobre bastidores sumergidos en los vanos de distintas unidades de la represa que posee el Ente Binacional Yaciretá en aguas del río Paraná.

Dentro de dichas composiciones se han incluido pinturas de **ligante parcialmente soluble**, cuyo ligante está compuesto por una resina de caucho acrílico-resina colofonia WW-standoil de lino-tung, pigmentadas con mezclas de óxido cuproso-óxido de cinc en cinco diferentes proporciones.

Otra serie está compuesta por un **ligante insoluble**, mezcla de dos resinas de caucho acrílico, plastificadas con parafina clorada y pigmentadas con una mezcla de cobre metálico-óxido de cinc en distintas proporciones y cinc metálico-óxido de cinc y bronce-óxido de cinc también en proporciones variables.

Con el mismo ligante se han formulado **zinc-rich primers**, pigmentadas con zinc metálico de partícula esférica-aluminio laminar-óxido de cinc en cinco concentraciones diferentes.

Se ensayan además **pinturas epoxídicas de alto contenido de pigmentos metálicos** en cuya composición se incluyen zinc metálico de partícula esférica-óxido de cinc y zinc metálico de partícula esférica-cobre metálico y dos **sistemas de baja energía superficial** que contienen resinas de silicona.

Se informan resultados de nueve meses de exposición que incluyen un período de fijación alta (octubre-abril) y dos de fijación media (mayo-julio), analizando los mismos en función del tipo de ligante y la composición del pigmento.

¹ Jefe del Área Pinturas Ecológicas y Medio Ambiente del CIDEPINT. Miembro de la Carrera de Investigador Científico del CONICET.

² Área Pinturas Ecológicas y Medio Ambiente del CIDEPINT. Miembro de la Carrera del Personal de Apoyo del CONICET.

INTRODUCCION

La protección de los sistemas de refrigeración de la acción negativa que sobre ellos tiene el desarrollo y la fijación del *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), es muy importante para mantener la eficiencia de la operación, al disminuir el impacto económico que tienen las paradas de planta producidas por deficiencias en los sistemas de refrigeración y cañerías de transporte de agua, al ser colonizadas por dicho molusco.

Dentro de estos sistemas, se pueden encontrar diferentes situaciones, ya que los mismos afectan tanto las paredes de entrada del agua, como las rejillas que constituyen los filtros de entrada a las cañerías, el interior de las mismas tuberías, los sistemas de filtrado fino, los cabezales de entrada y salida de intercambiadores y los sistemas de protección contra incendios.

Por lo tanto, las estrategias de control pueden ser de los más variadas e incluyen:

- a) **La sustitución de materiales:** En aquellos casos en que sea posible porque así permite el diseño del sistema.
- b) **La aplicación de pinturas:** En aquellos sectores de fácil acceso y gran desarrollo superficial.

La **sustitución de materiales** exige un estudio en planta de cada caso particular para realizar un diseño ingenieril de la solución que sea aplicable, efectivo y económico.

La protección por **aplicación de pinturas**, puede proveer de una protección efectiva y de larga duración. Se encuentran en desarrollo en la actualidad, pinturas con alto contenido de sustancias biocidas inorgánicas y, en algunos casos, con biocidas orgánicos de refuerzo que aumentan la eficiencia del comportamiento pero que, al no ser biodegradables, producen una polución continua en el medio en el que actúan.

La aparición en el mercado de productos orgánicos de bajo impacto ambiental, genera nuevas esperanzas de llegar a nuevos productos efectivos y menos contaminantes, como etapa intermedia al desarrollo de pinturas libres de tóxico que resistan la fijación de larvas del molusco invasor

Esta última etapa aportaría indudables beneficios al usar productos "amigables" con el medio ambiente, los que no contienen biocidas que se van lixiviando y disminuyen la concentración que los hace efectivos, lo que provoca que en un lapso más o menos extenso el revestimiento debe ser reemplazado totalmente.

Clasificación de las pinturas antiincrustantes

Las pinturas antiincrustantes son productos formadores de películas los cuales producen una lixiviación controlada de los productos biocidas que ellas contienen.

Este mecanismo tiende a lograr que los biocidas se disuelvan durante toda la vida útil de la película creando, sobre la superficie de la pintura, una microcapa donde la concentración del biocida impide la fijación de larvas o esporas del *Limnoperna fortunei*.

De acuerdo a su mecanismo de acción, las pinturas antiincrustantes pueden dividirse en cinco grupos:

1. **Pinturas de matriz soluble a base de biocidas inorgánicos.**
2. **Pinturas de matriz insoluble a base de biocidas inorgánicos y pigmentos metálicos.**
3. **Pinturas de baja energía superficial.**
4. **Pinturas de disolución por abrasión a base de óxido de tributilestano.**
5. **Pinturas de disolución por abrasión libres de óxido de tributilestano.**

Pinturas de matriz soluble

El principal material soluble formador de película utilizado en este grupo es de origen natural y proviene de un recurso renovable, tal como la resina colofonia. Esta es una resina que se obtiene de coníferas, de naturaleza ácida (principal componente ácido abiótico), la que se acompaña también de otras sustancias solubles que actúan como plastificantes y ejercen acción de adhesión sobre el sustrato.

En el caso del cemento, es necesario aplicar una capa de imprimación resistente al medio alcalino debido a que todas estas sustancias son sensibles al mismo. Emplean en su composición **biocidas inorgánicos**, como el óxido cuproso solo acompañado por óxido de cinc y pigmentos extendedores como el óxido de hierro rojo y cargas como carbonato de calcio natural. En algunos casos suelen dosificarse pequeñas cantidades de biocidas orgánicos que ejercen una acción sinérgica con el producto inorgánico o la mezcla de ambos óxidos, aumentando la efectividad del sistema.

La duración de este revestimiento está limitada a unos 36 meses, por lo que se considera no son muy útiles para esta aplicación.

Pinturas de matriz insoluble.

Denominadas también como pinturas de lixiviación por contacto continuo o sistemas de larga vida útil. En este caso, el componente resinoso es insoluble y no sufre efecto erosivo por parte del agua circulante. Hay una gran variedad de polímeros que pueden ser efectivos como las resinas vinílicas, las acrílicas, los caucho-acrílico y los epoxídicos. Estas pinturas se diferencian además por el tipo de biocida que contienen, y en tal sentido pueden clasificarse en:

A base de biocidas inorgánicos: Cuya composición de pigmento es similar a las empleadas en las pinturas de matriz soluble.

A base de pigmentos metálicos: Son pinturas de bajo y medio contenido de ligante, que es lo mismo que decir alto y medio contenido de pigmento. En las pinturas con alto contenido de pigmento, el ligante es agregado solo en cantidad suficiente como para mantener aglomerado el pigmento durante toda la vida útil de la película. Se emplean polvos de cobre y cinc de diferente tipo y tamaño de partícula. También suele acompañarse el pigmento con pequeñas cantidades de óxido de cinc y biocidas orgánicos que tienen el efecto sinérgico ya mencionado. Se consideran las resinas más aptas para este tipo de pinturas las epoxídicas, vinílicas, las acrílicas y los caucho-acrílico.

Según diferentes autores, presentan como características más destacables su excelente comportamiento en aguas dulces, su larga vida útil y haber probado su eficiencia en el control de otro molusco invasor existente en EE.UU. como es el Zebra Mussel (*Dreissena Polymorpha*).

Pinturas de baja energía superficial

Es un tema de pinturas en desarrollo en el ámbito mundial sobre el que se han logrado alentadores avances en los últimos años. Son sistemas basados en una resina formadora de película y resinas de siliconas, que impiden el desarrollo del bicho y la fijación de bivalvos.

Pinturas de disolución por abrasión a base de óxido de tributilestano y pinturas de disolución por abrasión libres de óxido de tributilestano.

No serán consideradas en el presente trabajo porque son de vida útil limitada al sufrir erosión por parte del agua circulante. Su uso se limita a barcos y agua de mar.

Composición de las pinturas antiincrustantes

Es posible contar con productos que alcancen un mínimo de 42 meses en servicio, momento a partir del cual es necesario realizar un trabajo de mantenimiento mínimo como:

- 1) Limpieza de la superficie con agua a presión media, para eliminar la suciedad superficial.
- 2) Reparación de los posibles daños ocasionados por golpes producidos por elementos contundentes (ramas, maderos, etc.) o fallas puntuales del revestimiento original.
- 3) Dejar secar el sustrato.
- 4) Aplicar dos capas nuevas de la misma pintura. Dejar secar un mínimo de 24 horas para las pinturas a base de barnices oleorresinosos o standoils.

De esta forma se procede tal como se indica en la Norma ISO 12944 utilizada en la protección de superficies de acero: Sistemas de vida media con un mantenimiento preventivo como el indicado en el párrafo anterior.

Pinturas de matriz insoluble.

Denominadas también como **pinturas de lixiviación por contacto continuo o sistemas de larga vida útil**. En este caso, el componente resinoso es insoluble y no sufre efecto erosivo por parte del agua circulante. Hay una gran variedad de polímeros que pueden ser efectivos como las **resinas vinílicas, las acrílicas, los caucho-acrílico y los epoxídicos**. En este caso también se coloca como componente del ligante **resina colofonia**, la que es soluble o erosionable por el agua circulante. La diferencia consiste en que su concentración en el sistema es tal que se producen huecos que aumentan la permeabilidad de la película y la salida del biocida de las capas más internas, sin producir disminución del espesor de película del sistema.

Ya que estas pinturas se diferencian entre sí por el tipo de biocida que contienen, se han seleccionado de acuerdo a su naturaleza química.

Biocidas inorgánicos

El **óxido cuproso**, de fórmula **Cu_2O** , es uno de los compuestos más antiguos y más efectivos utilizado como pigmento en pinturas antiincrustantes. Tiene una muy baja solubilidad en agua dulce, la que aumenta aunque no de manera sustancial en agua de mar. Su acción depende del perfecto ajuste de la solubilidad del ligante, proveyendo de protección contra organismos larvales en muy bajas concentraciones dentro de la película. Actúa aumentando su acción en presencia de óxido de cinc.

Con la fórmula **ZnO** se describe al **óxido de cinc** un compuesto de 99% de pureza, muy poco soluble en agua, que contiene como impurezas pequeñas cantidades de plomo, hierro, azufre y cadmio. Una vez obtenido cristaliza en el sistema hexagonal en forma de un polvo de apariencia blanco, aunque su color depende del tamaño de las partículas que lo forman. De acuerdo al proceso de elaboración se obtiene un producto de partículas aciculares (forma de agujas) o nodular, que aumenta la dureza de la película y la resistencia a la descomposición del ligante. Como complemento tiene una cierta acción fungicida y bactericida. En pinturas, se lo emplea solo o acompañado con óxido cuproso, con el cuál ejerce una acción sinérgica mutua.

Estos compuestos mejoran su comportamiento en presencia de pequeñas cantidades de biocidas orgánicos con los que también ejercen una acción sinérgica.

Pigmentos biocidas metálicos

A diferencia de lo que ocurre en el caso anterior, no hay una fórmula específica para definir químicamente a los **pigmentos biocidas metálicos**, ya que estos son sustancias puras en su forma elemental y no la combinación de esos metales con otras especies existentes en la naturaleza. Sin embargo, los polvos puros de cobre, cinc y aluminio se diferencian por su forma y tamaño de partícula, los que pueden llegar a influir sobre sus propiedades antiincrustantes, según indican algunos autores.

Las aleaciones de cobre y estaño, que pueden o no estar adicionadas de zinc y aluminio son llamados de acuerdo a su composición **bronces o latones**. Los sistemas que forman con las resinas tienen un excelente comportamiento en aguas dulces y en agua de mar. Dado que se utiliza un elevado contenido de pigmento, dan películas de larga vida útil

DISEÑO EXPERIMENTAL

Composición de las pinturas

Las pinturas de **matriz parcialmente soluble**, contienen un componente resinoso fijo (8%), un componente soluble (20%) y un plastificante para controlar la elasticidad que, en muchos casos, es también soluble. En las formulaciones ensayadas, el componente resinoso fijo es una **resina de caucho – acrílico** (Pliolite VT), el

componente soluble una **resina natural** (Colofonia WW) y un **aceite polimerizado de lino-tung** (Polistand PLT 903), como plastificante y pigmentadas con una mezcla sinérgica de **óxido cuproso-óxido de cinc** en diferentes proporciones, tal como se indican en la tabla siguiente. Se han ensayado un total de 5 muestras.

Cu₂O	100	75	50	25	0
ZnO	0	25	50	75	100

Las pinturas de base **matriz insoluble o pinturas de lixiviación por contacto continuo** ensayadas, son de **contenido metálico medio** (máximo 40%)-**alto contenido de resina** (máximo 15%), con la composición de pigmento que se indica en las tablas siguientes.

Cu	100	75	50	25	0
ZnO	0	25	50	75	100

Zn	100	75	50	25
ZnO	0	25	50	75

Bronce	100	75	50	25
ZnO	0	25	50	75

Otra serie la constituyen las de **alto contenido metálico** (máximo 72%)-**bajo contenido de resina** (6,5%), en cuya pigmentación se emplea polvo de cinc de partícula esférica, polvo de aluminio laminar y óxido de cinc nodular.

Zinc, %	100	95	90	80	75
Aluminio, %	0	5	5	5	5
ZnO, %	0	0	5	15	20
Polvo metálico, % Máximo.	72,00				

En ambos casos, el componente resinoso fijo que es una mezcla de **resinas de caucho – acrílico** (Pliolite VT y Pliolite AC).

Tipo de sustrato, forma de aplicación y método de ensayo

Las pinturas cuya composición se ha indicado, fueron aplicadas a pincel, sobre paneles de 250 x 200 x 50 mm, empleando fibrocemento para simular las paredes de cemento y acero. En la primera serie de ensayos iniciada en noviembre de 2000, todas las pinturas se aplicaron directamente sobre fibrocemento. Luego del primer mes de inmersión, varias muestras evidenciaron cierto grado de ampollado, por lo cual se diseñó una imprimación especial para aplicar sobre dicho sustrato y que sirviera de fondo adherente.

En la aplicación sobre acero de las pinturas pigmentadas con óxido cuproso, se comenzó con una imprimación anticorrosiva a base de resina Pliolite y fosfato de

cinc (pigmento ecológico), sobre la que luego se aplicó la pintura antiincrustante correspondiente. Las pinturas a base de cinc se aplicaron directamente sobre paneles de acero de 250 x 200 x 5 mm, ya que en sí constituyen una protección anticorrosiva (el cinc es anódico respecto de ese metal), mientras no se ensayaron sobre ese sustrato pinturas de cobre y bronce, por ser materiales catódicos respecto de el y que producirían la rápida corrosión del acero.

Una vez pintados, los paneles fueron ubicados en bastidores como el que se indican en la figura 1 y sumergidos en los vanos de entrada a la cámara espiral de las turbinas de la represa de Yaciretá sobre el río Paraná, en períodos variables que van desde los 9 a los 6 meses entre noviembre de 2000 y julio de 2001. Esto se debió a que cada observación realizada implicaba observaciones y cambios en las formulaciones para tratar de producir avances pronunciados en el estudio.

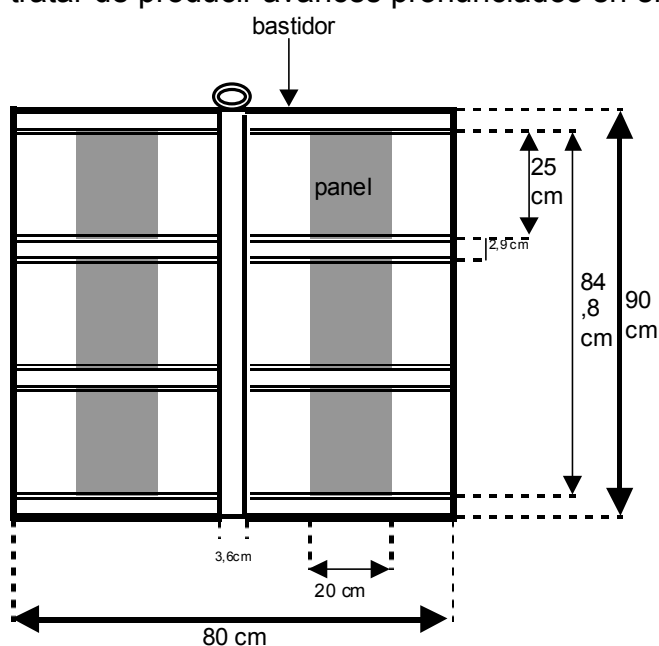


Figura 1

Bastidor para ensayos de inmersión

A partir de noviembre de 2000, se realizaron observaciones visuales directas y clasificación del grado de incrustación, tomándose fotografías digitales de los paneles, lo que permitió la confirmación de la evaluación por observación de los registros en laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pinturas de ligante soluble, pigmentadas con óxido cuproso-óxido de cinc. Pinturas aplicadas directamente sobre fibrocemento, sobre imprimación especial para fibrocemento y sobre imprimación anticorrosiva para acero. (Figura 2)

Analizando los resultados de los paneles del Bastidor 1, se puede observar un ampollado general de la película de pintura que es mayor en el panel correspondiente a la que contiene óxido cuproso solamente (1.1) y que disminuye a medida que aumenta el contenido de óxido de cinc. Se hace mínimo en la relación 50:50 (v/v) hasta desaparecer por completo en la relación 25:75 (v/v) óxido cuproso-óxido de cinc estando también sin este defecto en aquel que contiene solo este último como pigmento antibivalvo. Como se puede apreciar en las fotografías, la aparición de este defecto no afectó el comportamiento antiincrustante de la película. Al cabo de los ocho meses de ensayo, el mejor comportamiento lo ha tenido la muestra formulada exclusivamente con óxido de cinc. Siguiendo el comportamiento de esta muestra desde comienzos del ensayo, se puede notar que la misma sufre períodos de aparición de velo bacteriano y viso y desaparición de los mismos, apareciendo los primeros bivalvos fijados sobre bordes y tornillos en marzo de 2001 y continuando su propagación de igual forma e intensidad hasta final del ensayo. Esto no impide asegurar que la mayor eficiencia es la desarrollada por el óxido de cinc.

En el convencimiento de que el ampollado estaba íntimamente ligado a la excesiva alcalinidad de la base, se formuló una pintura de imprimación resistente a dicho medio a base de resina Pliolite VT-Parafina Clorada 42, aplicando sobre el panel dos capas (60 μm). Si bien esta forma parte de la formulación de este tipo de pinturas, no se encuentra en proporción suficiente como para resistir dicho medio ya que la mayor proporción del ligante está constituida por resina colofonia WW-Standoil de Lino-Tung, componentes estos muy sensibles a la alcalinidad.

Analizando los resultados finales de esta serie, se ha vuelto a apreciar ampollado aunque de menor tamaño e intensidad que en el caso anterior, aunque el comportamiento antiincrustante demostró igual eficiencia. Esto implica que este tipo de pinturas debe ser reformuladas para este uso, ya que se estima que el defecto es intrínseco de la película y está relacionado con la adhesión de la película a ambos sustratos.

Estas mismas pinturas aplicadas sobre imprimación anticorrosiva, no muestran problemas de incrustación ni corrosión en toda la serie que contiene óxido cuproso-óxido de cinc. En cambio, la serie pigmentada con óxido de cinc sí bien no presenta problemas de formación de velo o viso, presenta problemas graves de corrosión. Esto es debido a que durante el secado, la pintura de terminación sufrió cuarteado, evidencia de incompatibilidad de esta con el fondo anticorrosivo, problema que deberá ser corregido reformulando la pintura de terminación.

Pinturas de ligante insoluble a base de resina Pliolite VT-Pliolite AC-Parafina Clorada 42, pigmentadas con polvo de cobre-oxido de cinc. Aplicadas directamente sobre fibrocemento. (Figura 3)

Un análisis de los resultados obtenidos muestran que el ligante insoluble a base de resina Pliolite VT-Pliolite AC-Parafina Clorada 42, es inapropiado para usar con biocidas como el cobre metálico, oxido de cinc o sus mezclas, ya que no tiene la permeabilidad suficiente como para permitir la lixiviación a niveles compatibles con una apropiada eficiencia antiincrustante, ya que a Julio de 2001 todos los paneles de la serie tienen el mismo grado de incrustación final. Comparadas con las pinturas de ligante soluble, su comportamiento se revela como inferior a aquellas.

Pinturas de ligante insoluble a base de resina Pliolite VT- Pliolite AC-Parafina Clorada 42, pigmentadas con polvo de cinc-oxido de cinc, contenido medio de pigmento. Pinturas aplicadas directamente sobre fibrocemento y sobre imprimación anticorrosiva para acero. (Figura 4)

En todos los paneles puede observarse un buen comportamiento durante los primeros cuatro meses de ensayo, aunque durante ese período se produce la formación de velo y biso sobre todos los paneles el que desaparece en marzo para luego retornar en el mes de abril. En mayo se puede observar una fijación pronunciada. A esta altura de los ensayos, esta serie parece tener un rendimiento intermedio entre los dos anteriores, aunque su comportamiento se revela superior a las que contienen polvo de cobre.

Sobre panel de acero, la protección anticorrosiva ha sido muy buena y el comportamiento antibivalvo es similar al descrito en el párrafo anterior. Estos paneles tienen menor tiempo de exposición que los aplicados sobre fibrocemento.

Pinturas de ligante insoluble a base de resina Pliolite VT- Pliolite AC-Parafina Clorada 42, pigmentadas con polvo de bronce-oxido de cinc, contenido medio de pigmento. Pinturas aplicadas directamente sobre fibrocemento. (Figura 5)

Todos los paneles de esta serie llegan al final del ensayo con algún grado de fijación. Se puede considerar que los meses de febrero-mayo han sido los más intensos, con un pico máximo en abril.

En el caso particular de Abril, puede observarse que la incrustación disminuye a medida que aumenta el contenido de oxido de cinc en la película, pero al final del ensayo, el grado de incrustación es similar en todos. El comportamiento se revela como similar al de todas las pinturas con contenido medio de pigmento metálico.

Pinturas de ligante insoluble a base de resina Pliolite VT- Pliolite AC-Parafina Clorada 42, pigmentadas con polvo de cinc-oxido de cinc, alto contenido de pigmento. Pinturas aplicadas directamente sobre fibrocemento y sobre imprimación anticorrosiva para acero. (Figura 6)

El comportamiento de todas las muestras ha sido excelente a lo largo de los nueve meses de ensayo, sin aparición de velo, biso o incrustación. Esto es independiente de la composición de la mezcla de pigmento.

En el bastidor C, se puede apreciar que el sistema cumple con la doble función de dotar de protección anticorrosiva y antibivalvo, lo que lo transforma en una alternativa interesante tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Ligante epoxídico curado con poliamida, alto contenido de pigmento, pigmentado con polvo de cinc-oxido de cinc. Pintura tipo “metal rich”. (Figura 7)

Luego de 7 meses de ensayo esta serie muestra un excelente comportamiento, presentándose libre de bivalvos a julio de 2001 y sin haber sufrido en períodos intermedios, las invasiones cíclicas de velo-biso-incrustación.

Ligante epoxídico curado con poliamida, alto contenido de pigmento, pigmentado con polvo de cinc-polvo de cobre. Pintura tipo “metal rich”. (Figura 8)

Las composiciones ensayadas muestran excelente comportamiento, llegando al final del ensayo libre de bivalvos a julio de 2001 y sin haber sufrido en períodos intermedios, las invasiones cíclicas de velo-biso-incrustación. Para este tipo de pinturas solo se han ensayado dos combinaciones debido a que el reemplazo de pigmento se realiza en volumen y, por la diferencia de densidades existente entre ambos metales, el volumen de cobre resultante es tan elevado que el ligante contenido en la formulación es insuficiente para lograr la humectación de todo el pigmento.

Ligante epoxídico curado con poliamida, contenido medio de pigmento, pigmentado con polvo de cinc-polvo de cobre. (Figura 9)

Para poder ensayar diferentes mezclas de polvo de cinc-polvo de cobre, se reformularon las pinturas de la serie anterior, aumentando el contenido de ligante y disminuyendo paralelamente el de pigmento. Un análisis de los resultados indica que se produce una caída en la eficiencia antibivalvo, aunque se observa una importante formación de velo pero no de biso desde el primer mes de inmersión. La cantidad de velo es función de la cantidad de cinc presente en la película. Este se puede apreciar desde la película que contiene 50:50 cinc-cobre (v/v) y se acentúa para aquellos que tienen 25:75 y 0:100.

En estos casos la aparición de velo se nota en la primera inspección para, en el quinto mes, se aprecia el desarrollo de biso desde los bordes hacia el centro del panel, aunque no hay presencia física de bivalvos sobre la superficie.

Lo observado indicaría que el polvo de cinc constituye el pigmento que controla e inhibe el desarrollo inicial del proceso y que el mismo debe encontrarse en la película por encima de una concentración crítica para que sea efectivo. Este polvo metálico puede estar solo o acompañado con óxido de cinc. Los resultados son similares a los observados para el resto de las películas con contenido medio de pigmento.

Pinturas de baja energía superficial.

Pintura comercial de baja energía superficial. (Figura 10)

Luego de 7 meses de ensayo, el panel se encuentra libre de fijación de bivalvos, produciéndose solo algo de velo. Es prematuro establecer el tiempo de duración efectiva de la protección y deberán estudiarse su impacto sobre el medio ambiente, ya que la película aplicada segrega siliconas durante un cierto tiempo luego de aplicada.

Desarrollo de pinturas de baja energía superficial. (Figura 11)

Se han formulado dos matrices epoxídicas curadas con poliamida (contenido medio de resina), al que se le han adicionado 5-10-15 y 20% de dos aditivos siliconados de distintas características.

En ambos casos se puede observar la formación de velo durante el primer mes y de velo y biso a partir del segundo. Sin embargo, el sistema velo-biso desarrollado tiene baja adhesión, como lo demuestra la limpieza intencional realizada durante el mes de abril de 2001 (panel 591-zona blanca), la que fue realizada pasando simplemente un dedo sobre ese lugar. Luego de alcanzar un punto de máximo “ensuciamiento” en los meses de marzo y abril de 2001, se llega a la observación final en julio de 2001 con un panel completamente limpio. Esto puede observarse en los dos bastidores mencionados, por lo que la comparación entre aditivos no indican diferencias sustanciales de comportamiento.

CONCLUSIONES

- ♦ Las pinturas de ligante soluble (Pliolite VT-colofonia WW-satandoil lino-tung), pigmentadas con óxido cuproso solo o con óxido de cinc, resultan muy efectivas para proveer protección contra bivalvos invasores. Si este tipo de pinturas se emplea sobre cemento, debe aplicarse previamente una imprimación resistente a los álcalis y una imprimación anticorrosiva antes de su aplicación sobre acero.
- ♦ Del resto de las pigmentaciones ensayadas, la que ha demostrado mayor eficiencia es aquella que contiene cinc metálico en polvo de partícula esférica en su composición. Las composiciones que contienen aluminio laminar también exhiben buen comportamiento y el agregado de óxido de cinc es neutro, ya que no aumenta ni disminuye la eficiencia. El óxido de cinc empleado como único pigmento también posee buenas características antibivalvos, aunque no es frecuente su empleo en pinturas como único pigmento.
- ♦ Es conveniente el empleo de pinturas tipo ricas en cinc (cinc rich), ya que con una sola pintura es posible proveer de protección anticorrosiva y antibivalvo a sustratos metálicos. Aplicados sobre cemento, pueden presentar fenómenos de ampollado debido a la alta alcalinidad de la base.
- ♦ Las pinturas de baja energía superficial constituyen una alternativa interesante, aunque se estima que es necesario un mayor tiempo de ensayos para conocer su grado de eficiencia y su influencia sobre la ecología del lugar.

BIBLIOGRAFÍA

- Information Review. Zebra Mussel information clearinghouse. **4** (5), 1-12, Octubre-Noviembre 1993.
- US Army Corps of Engineers. Zebra Mussel Research Technical Notes. Sec. 2. Control Methods. Technical Note ZMR-2-03, 1-2 1992.
- US Army Corps of Engineers. Zebra Mussel Research Technical Notes. Sec. 4. Miscellaneous. Technical Note ZMR-4-01, 1-2 1992.
- US Army Corps of Engineers. Zebra Mussel Research Technical Notes. Sec. 3. Control Strategies. Technical Note ZMR-3-09, 1-2 1993.
- Darrigran, G. y Ezcurra de Drago, I. Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia Mytilidae) in South America. *The Nautilus*. **114** (2): 69-73, 2000.
- Lindner, E. y Mera, A. Fluorinated ship hull coatings for non-polluting fouling control. US Navy Control and Ocean Surveillance Center. EPA Program/office NA. EnvirSense Document NA . 1-6, 1996.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del Convenio EBY-FCN y Museo (UNLP)-Prórroga. Acuerdo específico UNLP-CIDEPINT (CIC-CONICET). Los autores agradecen a las autoridades y personal binacional de profesionales, técnicos y operarios de la Central Yaciretá por la eficiente colaboración prestada durante la realización de los ensayos que posibilitaron su presentación. A la Empresa Arquimex S.A. de Argentina por la provisión de pigmentos metálicos y resinas utilizados en este trabajo de investigación.

Figura 2: Bastidor 1 (Panel 11)

	
Diciembre 2000	Enero 2001
	
Febrero 2001	Marzo 2001
	
Abril 2001	Mayo 2001
	
Junio 2001	Julio 2001

Figura 3: Bastidor 2 (Panel 21)

	
Diciembre 2000	Enero 2001
	
Febrero 2001	Marzo 2001
	
Abril 2001	Mayo 2001
	
Junio 2001	Julio 2001

Figura 4: Bastidor 3 (Panel 31)

	
Diciembre 2000	Enero 2001
	
Febrero 2001	Marzo 2001
	
Abril 2001	Mayo 2001
	
Junio 2001	Julio 2001

Figura 5: Bastidor 4 (Panel 41)

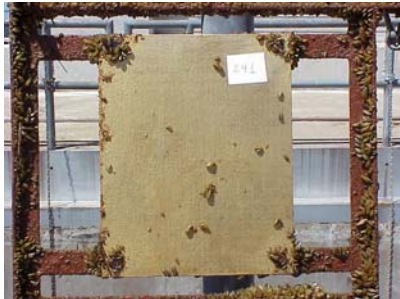
	
Diciembre 2000	Enero 2001
	
Febrero 2001	Marzo 2001
	
Abril 2001	Mayo 2001
	
Junio 2001	Julio 2001

Figura 6: Bastidor 5 (Panel 51)

 A photograph of a rectangular metal panel, labeled '51' in the top right corner, mounted on a red-painted metal frame. The panel is light blue-grey and shows some surface wear. The frame is made of thick red metal bars.	 A photograph of the same panel, now labeled '151' in the top right corner. The panel appears slightly more weathered, and the red frame is more visible.
 A photograph of the panel, labeled '51' in the top left corner. The panel is mounted on a red frame, and there is some visible rust or corrosion on the frame's edges.	 A photograph of the panel, labeled '451' in the top left corner. The panel is mounted on a red frame, and the background shows some structural elements of the facility.
 A photograph of the panel, labeled '551' in the top left corner. The panel is mounted on a red frame, and the background is a light-colored wall.	 A photograph of the panel, labeled '651' in the top right corner. The panel is mounted on a red frame, and there is some visible rust or corrosion on the frame's edges.
 A photograph of the panel, labeled '851' in the top left corner. The panel is mounted on a red frame, and the background is a light-colored wall.	 A photograph of the panel, labeled '951' in the top right corner. The panel is mounted on a red frame, and the background is a light-colored wall.

Figura 7: Bastidor 6 (Panel 61)

 A photograph of a rectangular metal panel, labeled '61', mounted on a red-painted metal frame. The panel is a dull, greyish-blue color and appears relatively clean.	 A photograph of the same panel, labeled '61', showing some initial signs of rust and discoloration compared to the January photo.
Enero 2001	Febrero 2001
 A photograph of the panel, labeled '61', showing significant rust and brown staining across its surface.	 A photograph of the panel, labeled '561', showing extensive rust and brown staining, particularly concentrated in the center.
Marzo 2001	Abril 2001
 A photograph of the panel, labeled '61', showing continued rust and staining, with some areas appearing more corroded.	 A photograph of the panel, labeled '861', showing heavy rust and staining, with the metal surface appearing more degraded.
Mayo 2001	Junio 2001
 A photograph of the panel, labeled '61', showing severe rust and staining, with the metal surface appearing heavily corroded.	
Julio 2001	

Figura 8: Bastidor 6 (Panel 65)

 165	
Enero 2001	Febrero 2001
	 565
Marzo 2001	Abril 2001
 665	 865 866
Mayo 2001	Junio 2001
 865	
Julio 2001	

Figura 9: Bastidor 7 (Panel 71)

 A photograph of a dark, rectangular panel with a small white label in the top left corner containing the number '71'. The panel is mounted on a red metal frame.	 A photograph of a light blue-grey rectangular panel with a small white label in the top right corner containing the number '471'. The panel shows some rust and is mounted on a red metal frame.
Febrero 2001	Marzo 2001
 A photograph of a light blue-grey rectangular panel with a small white label in the top left corner containing the number '571'. The panel shows some rust and is mounted on a red metal frame.	 A photograph of a light blue-grey rectangular panel with a small white label in the top right corner containing the number '671'. The panel shows some rust and is mounted on a red metal frame.
Abril 2001	Mayo 2001
 A photograph of a light blue-grey rectangular panel with a small white label in the top right corner containing the number '871'. The panel shows some rust and is mounted on a red metal frame.	 A photograph of a light blue-grey rectangular panel with a small white label in the top right corner containing the number '971'. The panel shows some rust and is mounted on a red metal frame.
Junio 2001	Julio 2001

Figura 10: Bastidor 6 (Panel 66)

 A photograph of a rectangular metal panel with four screws, mounted on a red metal frame. A small white label with the number '166' is attached to the top right corner. The panel shows some surface corrosion.	 A photograph of the same panel, showing a similar level of corrosion and the '166' label.
Enero 2001	Febrero 2001
 A photograph of the panel, showing more significant surface corrosion and staining. The '166' label is still present.	 A photograph of the panel with a yellow label '566' at the top left. The corrosion is more pronounced.
Marzo 2001	Abril 2001
 A photograph of the panel with a yellow label '666' at the top right. The surface is heavily corroded.	 A photograph of the panel with a yellow label '866' at the top left. The corrosion is extensive.
Mayo 2001	Junio 2001
 A photograph of the panel, showing the most severe corrosion and staining among the series. The '666' label is visible at the top right.	
Julio 2001	

Figura 11: Bastidor 9 (Panel 91)

