

Pruebas de recubrimientos marinos: Cinco años en una corriente de marea

Informe final 2017
Coppercoat

Referencia: PMA 139

Cliente: Coppercoat

Fecha: marzo de 2018

Elaborado por: Dr. Tom Vance, Miss Anna Yunnie y
Costanza Zanghí

PML Applications Ltd
Prospect Place
West Hoe
Plymouth
Devon
PL1 3DH
Reino
Unido

PML Applications es su puerta de entrada a los últimos avances en investigación marina, pensados para impulsar su negocio, especialmente en gestión de agua de lastre, bioincrustaciones, trabajos de inspección y teledetección por satélite.

A través de nuestra empresa matriz, Plymouth Marine Laboratory (una organización de investigación marina de prestigio mundial con más de 500 colaboradores globales), PML Applications accede a tecnología y conocimientos marinos de vanguardia, permitiendo a nuestros especialistas ofrecerle asesoramiento independiente e imparcial, evaluaciones, inspecciones y pruebas.

Trabajar en un entorno complejo y a menudo extremo supone numerosos retos, cuyas consecuencias pueden resultar costosas tanto para los operadores como para el propio medio ambiente. Ofrecemos servicios, experiencia y orientación a una amplia variedad de clientes comerciales y, gracias a un mayor conocimiento del entorno marino, se puede ahorrar tiempo y dinero.

Especialidades

Bioincrustaciones, Agua de lastre, Sistemas de tratamiento de agua de lastre, Inspecciones marinas, Evaluación del entorno marino, Teledetección, Observación de la Tierra, Floraciones de algas nocivas.

Coordinador de proyecto:

Correo
electrónico:

Teléfono:

Móvil:

Fax:

Web:

LinkedIn PML Applications:

Dr. Tom Vance

thva@pml.ac.uk

+44 (0)1752 633412

+44(0) 7867 525735

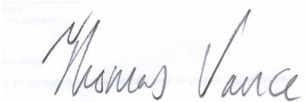
+44(0)1752 633101

www.pml.ac.uk y

www.pml-applications.co.uk

<http://linkd.in/1LZzywt>

Control de documentos

	Nombre y dirección	Firma
Autor	Dr. Tom Vance, PML Applications Limited, Prospect Place, West Hoe, Plymouth, Reino Unido, Costanza Zanghi	
Revisado por	PML Applications Limited, Prospect Place, West Hoe, Plymouth, Reino Unido, Dr. Tom Vance, PML Applications Limited, Prospect Place	
Aprobado por	West Hoe, Plymouth Reino Unido	

Índice de contenidos

Figuras y Tablas.....	5
1 Antecedentes y Resumen Ejecutivo	6
2 Métodos	7
2.1 Cápsulas.....	7
2.2 Paneles	7
2.3 Recubrimientos	7
2.3.1 Selección del recubrimiento	7
2.3.2 Procedimientos de aplicación	8
2.3.3 Especificaciones del recubrimiento	8
2.4 Diseño experimental.....	8
2.5 Historial de despliegue de pods	9
2.6 Inspección con ROV.....	10
2.6.1 Método para evaluar la incrustación y daños en paneles a partir de imágenes de ROV	10
2.7 Grosor del recubrimiento.....	10
2.7.1 Medición	10
2.8 Análisis específico por especies	11
2.8.1 Conservación de muestras	11
2.8.1 Evaluación del rendimiento del recubrimiento	11
2.8.2 Análisis estadístico	13
3 Resultados.....	14
3.1 Fotografías de paneles a los 60 meses	14
3.2 Inspección con ROV.....	15
3.2.1 Incrustación total.....	15
3.2.2 Daños totales.....	15
3.3 Espesor del recubrimiento.....	16
3.4 Clasificación del rendimiento	16
4 Discusión	17
4.1 Selección del recubrimiento.....	17
4.2 Valor de las pruebas in situ.....	17
4.2.1 Variabilidad natural en el lugar de ensayo.....	17
4.3 Especies clave.....	17
4.4 Especificación y estrategia del recubrimiento.....	17
4.5 Durabilidad del recubrimiento	18
4.6 Clasificación	18
4.7 Resumen.....	18

Figuras y tablas

Figuras

Figura 1: Montaje de las cápsulas y paneles en Orkney.....	8
Figura 2: Esquema de la disposición de paneles en los lados este y oeste del East Lander, reinstalados en 2014.	9
Figura 3: Imagen de la cápsula completa tras su recuperación en 2017 después de 60 meses en situ.....	14
Figura 4: Ejemplos del recubrimiento Coppercoat tras 60 meses de exposición en una corriente de marea. Todos los paneles son de 12x 12 cm ²	14
Figura 5: Porcentaje total de recubrimiento por incrustaciones de 2014 a 2017 según datos de ROV o análisis de imagen a nivel general. Las barras de error indican la desviación estándar. n= 10 en 2014, 10 en 2015, 9 en 2016 y 10 en 2017.	15
Figura 6: Espesor medio del recubrimiento antes de la exposición, a los 24 meses y a los 60 meses.....	16

Tablas

Tabla 1: Descripción y especificaciones del sistema Coppercoat proporcionadas por el fabricante.....	8
Tabla 2: Resumen del historial de despliegue de las cápsulas.....	9
Tabla 3: Criterios específicos de evaluación por especies.....	12
Tabla 4: Orden de clasificación del recubrimiento Coppercoat (sobre 10) según su eficacia antifouling y resistencia al daño a los 24 meses. La puntuación más baja indica el mejor rendimiento.....	16
Tabla 5: Orden de clasificación del recubrimiento Coppercoat (sobre 10) según su eficacia antifouling y resistencia al daño a los 60 meses. La puntuación más baja indica el mejor rendimiento.....	16

1 Antecedentes y Resumen Ejecutivo

- El objetivo de este trabajo es medir el rendimiento de los recubrimientos marinos durante una exposición in situ de cinco años en una corriente de marea.
- En el momento de redactar este informe, consideramos que se trata de la prueba de recubrimiento más prolongada de este tipo. Ofrece una visión única del comportamiento de los recubrimientos en un periodo comparable a los intervalos de mantenimiento previstos de los dispositivos de energía marina.
- Como parte del proyecto ReDAPT del Energy Technology Institute (ETI), el 28 de mayo de 2012 se instalaron dos pods bentónicos en el Fall of Warness, Orkney (Escocia), a 40 metros de profundidad, cerca del área de pruebas de turbinas de Alstom.
- Ambos pods, de 3,5 toneladas cada uno, fueron equipados con diferentes paneles de recubrimientos antifouling y de protección. Estos paneles permanecieron instalados durante 24 meses, hasta el final del proyecto ReDAPT. Tras ese periodo, se recuperó el pod sur para su análisis, cumpliendo con los requisitos del proyecto.
- En mayo de 2014, se acordó ampliar la prueba tres años más, manteniendo el otro pod para alcanzar un total de cinco años de ensayo continuo in situ.
- Durante 2015 y 2016, se realizaron inspecciones visuales anuales del pod con un vehículo operado remotamente (ROV) para comprobar su posición y obtener una evaluación básica del rendimiento antifouling.
- En 2017, tras cinco años en la corriente de marea, se recuperó y analizó el pod restante. Este informe resume las inspecciones anuales y el análisis final.
- Todos los recubrimientos mostraron signos de daño, incrustaciones o ambos tras cinco años.
- Gran parte de las incrustaciones se debieron a una especie de percebe, *Chirona hameri*, y una buena medida del éxito del recubrimiento era su capacidad para repeler esta especie.
- Según nuestros criterios de evaluación, Coppercoat obtuvo una puntuación de 2 sobre 10 en prevención de incrustaciones y daños a los 24 meses.
- Sin embargo, tras 60 meses de ensayo, Coppercoat resultó ser el recubrimiento con mejor desempeño.

2 Métodos

2.1 Cápsulas experimentales

Las cápsulas experimentales se fabricaron específicamente para el proyecto ReDAPT de ETI. Puede encontrarse una descripción completa de su diseño en el informe ReDAPT ME8.2. En resumen, se diseñaron para ser resistentes, evitar el vuelco por las mareas y soportar varias placas recubiertas en la corriente de marea.

2.2 Paneles

La mayoría de los paneles de prueba se fabricaron en acero al carbono, simulando el material empleado en la mayoría de los dispositivos de energía marina. Sin embargo, un conjunto de paneles se elaboró en polímero reforzado con fibra de vidrio (GRP) y se recubrió con una capa epoxi con escamas de vidrio, para reproducir otra combinación habitual de material y recubrimiento.

Los paneles se fijaron en soportes a medida antes de ser atornillados a las cápsulas, como se observa en la Figura 1. Los paneles quedaban sujetos en canales de plástico de nailon, con separadores de plástico entre ellos y los extremos de los soportes. Así, cada panel quedaba aislado eléctricamente del resto y del propio soporte.

No se emplearon ánodos de sacrificio ni en las cápsulas ni en los soportes de los paneles.

2.3 Recubrimientos

2.3.1 Selección de recubrimientos

Al inicio del proyecto ReDAPT, se contactó con Coppercoat y se le invitó a suministrar recubrimientos para el proyecto. Se proporcionó a Coppercoat una descripción del entorno de prueba y se le pidió que propusiera el sistema de recubrimiento más adecuado para el ensayo.

Además del recubrimiento suministrado por Coppercoat, se probaron varios sistemas adicionales aplicados por el fabricante, junto a un recubrimiento biocida autolimpiable de bajo coste, adquirido en una tienda náutica local y aplicado con brocha por el usuario, siguiendo las instrucciones del fabricante.

No fue posible dejar un panel sin recubrimiento como control, ya que se habría corroído antes de finalizar la prueba. Por ello, se aplicó con brocha, siguiendo las instrucciones del fabricante, un recubrimiento anticorrosivo de uso comercial sin propiedades antifouling conocidas a un conjunto de paneles para servir como control.

2.3.2 Procedimiento de aplicación

El proceso y las condiciones de aplicación del recubrimiento pueden influir notablemente en el rendimiento del sistema. Por ello, se decidió que, salvo en el caso del recubrimiento autolimpiable de bajo coste y el control anticorrosivo, todos los recubrimientos fueran aplicados por los propios fabricantes. PML entregó los paneles de acero al carbono al fabricante, quien posteriormente devolvió los paneles ya recubiertos a PML para su evaluación.

2.3.3 Especificación del recubrimiento

A continuación se presenta toda la información disponible sobre el sistema de recubrimiento Coppercoat.

Tabla 1: Descripción y especificaciones del sistema Coppercoat según el fabricante.

Nombre	Coppercoat
Tipo de tecnología	Resina epoxi con cobre biocida
Anticorrosivo	GP120 (DFT 250-300Kμm)
Capa superior	Coppercoat (DFT 250-300Kμm)
DFT total previo a la prueba	~350 μm
Disponibilidad comercial	Disponible – nov. 2017
Observaciones	Aplicado por el fabricante

2.4 Diseño experimental

Cada cápsula se equipó con 10 filas de paneles, cada una compuesta por diez paneles de ensayo; es decir, un total de 100 paneles por cápsula, con 10 réplicas de cada recubrimiento por cápsula. Las diez filas se distribuyeron entre lados opuestos de cada cápsula, por lo que 5 filas (50 paneles) estaban en cada lado (véase la Figura 1). En cada fila se incluyó un panel de cada uno de los 10 tratamientos de recubrimiento antifouling o protector, así como los controles.



Figura 1: Montaje de las cápsulas y los paneles en Orkney.

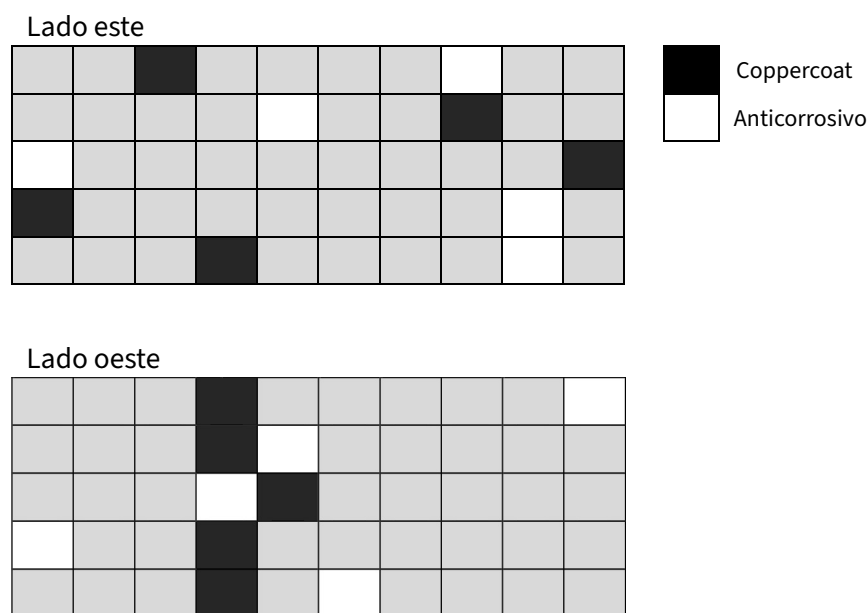


Figura 2: Esquema de la disposición de los paneles en los lados este y oeste del East Lander, reinstalado en 2014.

2.5 Historial de despliegue de pods

En 2014, tras 24 meses de exposición, las cápsulas fueron recuperadas del agua. La cápsula sur se desmontó y los paneles se enviaron al Laboratorio Marino de Plymouth para un análisis completo dentro del proyecto ReDAPT. La cápsula este fue izada, fotografiada y recolocada en el mismo lugar con un margen de ± 2 m.

Tabla 2: Resumen del historial de despliegue de las cápsulas.

Tarea	Fecha	Duración total de la prueba
Cápsulas ensambladas y desplegadas	Mayo 2012	0
Cápsulas inspeccionadas por ROV	Mayo 2013	1 año
Recuperación de una cápsula para el proyecto ReDAPT	Mayo de 2014	2 años
Inspección de la cápsula restante mediante ROV	Mayo de 2015	3 años
Inspección de la cápsula restante mediante ROV	Mayo de 2016	4 años
Recuperación de la cápsula restante	Mayo de 2017	5 años

2.6 Inspección ROV

Durante los años 2015 y 2016, se empleó un ROV para verificar la posición e integridad del módulo, además de capturar imágenes que permitieron obtener una estimación aproximada del porcentaje de incrustaciones en cada panel, junto con una evaluación visual del porcentaje de daños en el recubrimiento cuando correspondía.

2.6.1 Método para evaluar la incrustación y daños en los paneles a partir de imágenes obtenidas por ROV

La valoración de los paneles mediante imágenes de ROV solo proporciona datos generales para un análisis preliminar, por lo que los resultados son limitados en detalle. Se obtuvieron imágenes fijas de cada panel directamente del vídeo del ROV.

Cada imagen fija de ambos años fue evaluada por el mismo taxónomo interno para reducir el error de muestreo. El porcentaje de cobertura de organismos visibles y los daños en el recubrimiento se estimaron visualmente en cada panel. Las estimaciones de porcentaje se “calibraron” revisando puntuaciones anteriores para facilitar la comparación entre años.

Evaluar el porcentaje de cobertura en vez de la abundancia (contando todos los individuos) resulta más adecuado en este caso, ya que permite analizar todas las especies y la corrosión en una escala común, y la extensión de organismos como esponjas se puede medir fácilmente (J.A.Lewis, 1981). Las estimaciones visuales, frente a métodos más técnicos, han demostrado ser más consistentes en precisión que, por ejemplo, el uso de cuadrantes de puntos aleatorios (Dethier et al, 1993).

Conviene señalar que el término “daño” abarca diversas condiciones del panel, incluyendo la corrosión total del recubrimiento y del panel, la exposición de capas intermedias y los efectos provocados por el desplazamiento de percebes.

Referencias:

Lewis, J.A., 1981. Comparación de posibles métodos para la evaluación del ensuciamiento marino durante pruebas con balsas (Nº MRL-R-808). MATERIALS RESEARCH LABS ASCOT VALE (AUSTRALIA).

Dethier, M.N., Graham, E.S., Cohen, S. y Tear, L.M., 1993. Estimaciones visuales frente a estimaciones por puntos aleatorios de la cobertura porcentual: ‘lo objetivo’ no siempre es mejor. Marine Ecology Progress Series, pp.93-100.

2.7 Espesor del recubrimiento

2.7.1 Medición

Se compararon los datos de espesor del recubrimiento, tanto dentro de un mismo tipo como entre diferentes tipos, en tres momentos (0, 24 y 60 meses), antes y después de la puesta en servicio, para analizar la posible vida útil de los sistemas de recubrimiento en condiciones de prueba exigentes.

El grosor del recubrimiento se evaluó utilizando un medidor digital de espesor magnético Elcometer® que fue calibrado a 1300 y 126 micras para abarcar el rango de espesores de la película seca esperados. Las mediciones iniciales se tomaron en al menos 10 puntos distribuidos de manera uniforme sobre cada superficie de panel, procurando que ningún punto estuviera a menos de 1 cm del borde. Estos datos se emplearon para calcular el espesor superficial medio de cada panel.

Se siguió el mismo procedimiento para los otros dos puntos temporales (24 y 60 meses). Tras la instalación, en algunos casos no fue posible medir el espesor debido a incrustaciones severas o corrosión avanzada. Tenga en cuenta que, por ello, el tamaño de las muestras varía tras la instalación y se detalla en la sección de Resultados.

Debido a los requisitos del anterior proyecto ReDAPT, no siempre fue posible tomar medidas en los mismos paneles en cada punto temporal. Por tanto, en los datos se incluye inevitablemente la variabilidad entre recubrimientos en cuanto al espesor.

2.8 Análisis Específico por Especies

2.8.1 Conservación de muestras

El compartimento restante fue recuperado del sitio de prueba y almacenado durante la noche en el puerto de Kirkwall hasta su muestreo al día siguiente. Veinticuatro horas después de su extracción, se retiró del agua por última vez y se procedió a su muestreo destructivo en menos de una hora en una nave cercana.

Se tomaron fotografías digitales de todos los paneles de inmediato. Las tres primeras filas del lado B se retiraron y cada panel se separó de su soporte, se conservó en etanol al 70 % y se envió al Plymouth Marine Laboratory (PML) en Devon, Reino Unido, para su identificación taxonómica. Se eligieron las tres filas superiores para el análisis específico por especie, ya que se observó que el sustrato móvil había limpiado en gran medida las dos filas inferiores de paneles.

Los siete soportes de panel restantes se retiraron del compartimento y se devolvieron al PML. Los paneles de prueba individuales se separaron de sus soportes, se fotografiaron nuevamente y se almacenaron en seco para el análisis del espesor del recubrimiento.

2.8.1 Evaluación del rendimiento del recubrimiento

El rendimiento del recubrimiento fue evaluado por el taxónomo interno de PML Applications. Se puntuaron los paneles colocando una rejilla de hilo de nailon sobre un marco de plástico en cada panel. La rejilla constaba de 100 cuadrados de 1 cm². Se registró cuántas veces se cumplían los siguientes criterios en cada cuadrícula. Sólo se analizaron los organismos adheridos directamente a los paneles; las especies móviles y los organismos epífitos no se tuvieron en cuenta.

Tabla 3: Criterios de evaluación específicos por especie.

Criterios de Evaluación	
Categoría Específica	Categoría General
Chirona hameri	Percebe
Especie desconocida	Subespecie desconocida
Percebe juvenil	Percebe
Pomatoceros spp.	Gusano de tubo
Bellota de mar muerta completa	Percebe
Placa basal de bellota de mar	Percebe
Bivalvo Anomia spp.	Bivalvo
Bryozoos incrustantes	Bryozoos
Bryozoos erguidos	Bryozoos
Diplosoma listerianum	Ascidia
Tubularia spp.	Hidroideo
Otras spp.	Hidroideo
Esponja sp	Esponja
Didemnid spp.	Ascidia
Vesícula	Revestimiento dañado
Desgaste/grietas	Revestimiento dañado
Corrosión	Revestimiento dañado
Zona descubierta	Zona descubierta
Hiatella sp.	Bivalvo
Verde sp.	Algas
Otras spp.	Bivalvo
Especies solitarias	Ascidia
Especies rojas	Algas
Anémona sp. desconocida	Anémona

2.8.2 Análisis estadístico

Los datos de rendimiento del recubrimiento se analizaron utilizando PRIMER v6. Se trata de una herramienta estadística sólida y de amplia aplicación, reconocida como estándar para el estudio de comunidades marinas multivariantes y datos de biodiversidad, y cada vez más empleada en la evaluación ambiental comercial (<http://www.primer-e.com/>).

El conjunto de datos multivariantes fue transformado mediante la raíz cuarta para garantizar la homogeneidad de varianzas, antes de generar las matrices de similitud Bray-Curtis, basadas en la distancia euclidiana y utilizando 9999 permutaciones de los residuos bajo un modelo sin restricciones. Para ampliar información sobre la selección de medidas de similitud, el número de permutaciones empleadas y el nivel de restricción del modelo, visite <http://www.primer-e.com/>.

Las matrices de similitud Bray-Curtis se representaron gráficamente mediante Escalado Multidimensional No Métrico (nMDS). El nMDS resulta especialmente útil para visualizar las distancias relativas o similitudes entre muestras (paneles recubiertos) a partir de datos multivariantes.

Las diferencias estadísticas entre las muestras se evaluaron con ANOSIM en PRIMER v6. Valores de R iguales a 1 indican diferencias significativas entre muestras, considerando factores como el nombre del recubrimiento, el tipo y la presencia de acción biocida.

Cuando se detectaron diferencias entre las muestras, se empleó la función SIMPER de PRIMER v6 para identificar qué variables podrían haber contribuido a la disimilitud observada entre ellas.

Nota

Los resultados de esta sección no se incluyen en este informe, ya que contienen información comercial confidencial y, por tanto, no pueden compartirse con fabricantes individuales.

3 Resultados

3.1 Fotografías de los paneles a los 60 meses

La cantidad de incrustaciones y daños en el recubrimiento varió considerablemente según el tipo de recubrimiento. Incluso dentro de cada tipo, la ubicación en el módulo parecía influir en el grado de incrustación, observándose mucha menos acumulación en las dos filas inferiores, probablemente debido a la acción de limpieza de los sedimentos móviles.



Figura 3: Imagen del conjunto completo tras su recuperación en 2017, después de 60 meses de exposición in situ.

Figura 4: Ejemplo del revestimiento Coppercoat tras 60 meses de exposición in situ en una corriente de marea. Todos los paneles tienen dimensiones de 12 x 12 cm².

3.2 Inspección mediante ROV

3.2.1 Incrustaciones totales

En la mayoría de los casos, la cantidad total de incrustaciones disminuyó progresivamente desde 2014, 2015 y 2017, aunque normalmente volvió a aumentar durante 2017. La excepción a esta tendencia fueron los revestimientos de “control” – aplicados por el usuario – ambos de los cuales fallaron notablemente en 2015. Para ese año, ambos tipos de paneles quedaron como acero dulce sin protección y con un alto grado de corrosión. Cabe destacar que los niveles de incrustación en Coppercoat siguieron reduciéndose hasta 2017.

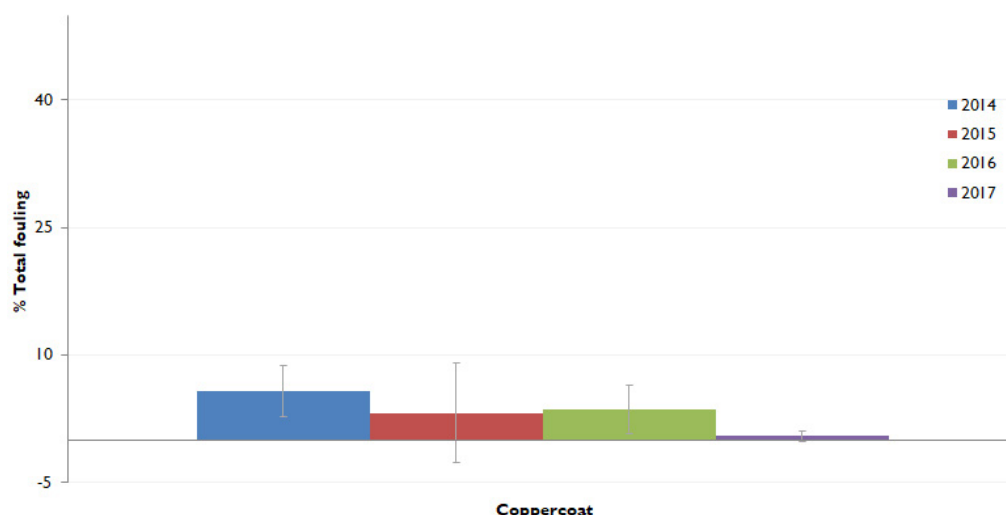


Figura 5: Porcentaje total de superficie cubierta por incrustaciones de 2014 a 2017, según los datos del ROV o un análisis de imágenes a nivel general. Las barras de error representan la desviación estándar. n= 10 en 2014, 10 en 2015, 9 en 2016 y 10 en 2017.

Coppercoat se situó entre los tres sistemas con menor nivel de incrustaciones, manteniéndose generalmente por debajo del 10% de cobertura de incrustaciones entre 2014 y 2017.

3.2.2 Daños totales

Durante los primeros cuatro años del proyecto no se realizó una medición del daño visual en los paneles de Coppercoat. Tras la evaluación posterior a la recuperación, estos paneles presentaron un porcentaje total de daño de hasta un 10%.

3.3 Espesor del recubrimiento

Coppercoat presentó apenas variaciones significativas de espesor a lo largo del tiempo, salvo por la variabilidad entre paneles.

Ambos sistemas de recubrimiento aplicados por el usuario prácticamente desaparecieron. Los paneles de acero restantes se habían corroído tanto que las ampollas aparentaban un aumento de espesor, aunque en realidad quedaba muy poca o casi ninguna matriz del recubrimiento.

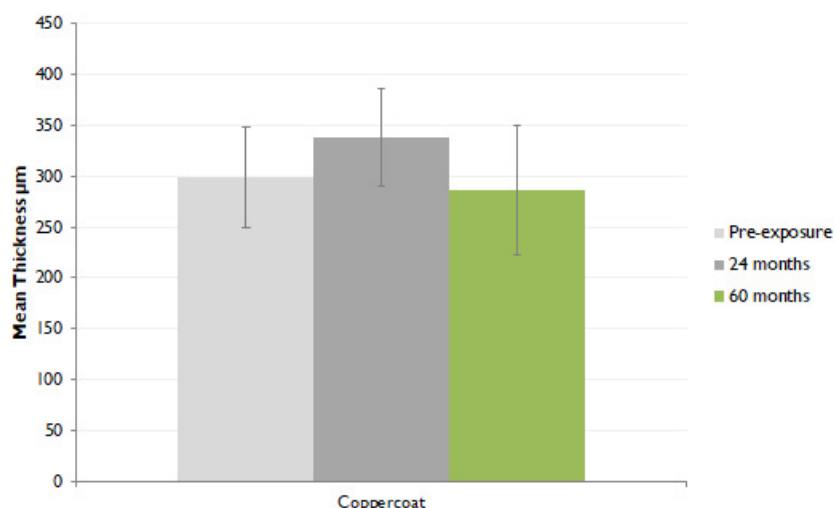


Figura 6: Espesor medio del recubrimiento antes de la exposición, a los 24 meses y a los 60 meses. Las barras de error muestran la desviación estándar y n=3.

3.4 Clasificación del rendimiento

Tabla 4: Orden de clasificación del recubrimiento Coppercoat (sobre 10) según su rendimiento en resistencia a incrustaciones y daños a los 24 meses. La puntuación más baja indica el mejor resultado.

Nombre del recubrimiento	Tipo de recubrimiento	Clasificación (Basado en incrustaciones prevención)	Clasificación (Basado en daños prevención)	Puntuación (Incrustaciones + daños)	Clasificación
Coppercoat	Epoxi biocida	3	1	4	2

Tabla 5: Clasificación del recubrimiento Coppercoat (de un total de 10) según su rendimiento frente a organismos marinos y resistencia a daños tras 60 meses. La puntuación más baja indica el mejor resultado.

Nombre del recubrimiento	Tipo de recubrimiento	Clasificación (Basado en incrustaciones prevención)	Clasificación (Basado en daños prevención)	Puntuación (Incrustaciones + daños)	Clasificación
Coppercoat	Epoxi biocida	1	5	6	1

4 Discusión

4.1 Selección del revestimiento

Según las pruebas realizadas en este estudio, queda patente que la elección del recubrimiento en entornos marinos de alta energía, como las corrientes de marea, puede influir notablemente en el estado de la estructura subyacente.

4.2 Valor de las pruebas in situ

Asimismo, estas pruebas comparativas en campo aportan una visión muy valiosa sobre el rendimiento real de los recubrimientos, información que no se podría obtener de otra manera. Hasta donde sabemos, actualmente no existen otros datos independientes y comparables sobre la eficacia de recubrimientos que permitan elegir el más adecuado para corrientes de marea en zonas templadas.

Aunque los costes asociados a la evaluación de recubrimientos en este entorno son elevados en comparación con ambientes marinos menos exigentes, la inversión se recupera rápidamente al considerar los gastos de mantenimiento de conjuntos de dispositivos mareomotrices.

4.2.1 Variación natural en el lugar de ensayo

Estas pruebas también ofrecieron información clave sobre la variabilidad en la severidad del ensuciamiento en el lugar de ensayo, así como pruebas contundentes de episodios de abrasión altamente destructivos que se producen durante los meses de invierno.

4.3 Especies clave

Como resultado de este trabajo, se ha comprobado que gran parte del ensuciamiento en el emplazamiento está causado por la presencia del percebe *Chirona hameri*. Aunque la biología de esta especie no está muy documentada, se sabe que desova en invierno y que puede alcanzar un tamaño considerable (hasta 2 cm de diámetro) en menos de doce meses en el lugar de pruebas. Además, esta especie parece ser responsable del fallo de varios sistemas de recubrimiento, especialmente las tecnologías de liberación de ensuciamiento.

No se conoce bien el rango geográfico de esta especie, pero en el contexto de la evaluación del rendimiento de recubrimientos para corrientes de marea en el norte de Escocia, nuestro estudio indica que *Chirona hameri* podría ser considerado un organismo modelo para comprobar la eficacia de las tecnologías antifouling.

4.4 Especificación y estrategia de recubrimiento

Ninguno de los recubrimientos probados en este estudio logró ofrecer una protección completa frente a daños y al ensuciamiento durante los cinco años de pruebas. De forma general, los recubrimientos protectores a base de epoxi ofrecieron mayor resistencia frente a daños, pero no evitaron el ensuciamiento. La mayoría de los recubrimientos antifouling biocidas proporcionaron cierto grado de protección, aunque su eficacia disminuyó con el tiempo. Cuando el sistema de recubrimiento sin biocidas permaneció intacto,

Ofrecieron un nivel destacado de protección frente a la bioincrustación. No obstante, cuando sufrían daños mecánicos, se cubrían fácilmente de diversas especies de organismos incrustantes.

4.5 Durabilidad del recubrimiento

Todos los recubrimientos biocidas mostraron indicios de estar llegando al final de su vida útil tras cinco años. El SPC aplicado por el usuario falló poco después de 24 meses, probablemente por un procedimiento de aplicación deficiente. Sin embargo, se siguieron las instrucciones del fabricante lo más fielmente posible, imitando el método habitual de muchos usuarios, es decir, sin acceso a condiciones ambientales controladas (como cabinas de pintura) y utilizando rodillos en lugar de pistolas de pulverización.

Coppercoat ofreció un rendimiento excelente durante los primeros cuatro años, pero varias de las placas empezaron a mostrar ampollas y desprendimientos después de cinco años. No obstante, cuando estos sistemas se mantenían intactos, seguían siendo eficaces en la prevención de la incrustación.

4.6 Clasificación

Según nuestros criterios de clasificación, Coppercoat fue uno de los dos recubrimientos más eficaces en la prevención de incrustaciones y daños a los 24 meses. Tras 60 meses de pruebas, estos dos productos seguían ocupando los primeros puestos, con Coppercoat a la cabeza, aunque con un nuevo competidor entre ellos. Sin embargo, resulta evidente que todos estos sistemas comenzaron a deteriorarse tras cinco años. Se prevé que todos perderán eficacia relativamente rápido debido a la aparición de ampollas (en Coppercoat), el desgaste de la capa superior y la delaminación.

Cabe destacar que nuestros criterios de rendimiento no contemplan factores clave que podrían ser determinantes para desarrolladores o empresas de servicios, como el coste inicial y el impacto medioambiental de los biocidas.

4.7 Resumen

El nivel de incrustaciones detectado en esta prueba no solo podría afectar al rendimiento hidrodinámico de un dispositivo, sino que también dificultaría la realización de inspecciones estructurales adecuadas y favorecería la aparición de hábitats para especies marinas no autóctonas. Esto último podría causar problemas de permisos durante el mantenimiento o el desmantelamiento. Por todo ello, la elección del recubrimiento marino para activos en corrientes de marea es fundamental.

La información obtenida en este estudio aporta un valioso apoyo a la selección tecnológica y permite comprender mejor los retos medioambientales en zonas marinas de alta energía. Profundizar en estos trabajos probablemente resulte una inversión rentable a medio plazo, facilitando así que se hagan realidad las aspiraciones vinculadas a la energía renovable marina.

