



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio del comportamiento de pinturas de uso naval sometidas a
niebla salina*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Rafael Ferrández Granados

DIRECTORES: Santiago Rafael Urréjola Madriñán

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio del comportamiento de pinturas de uso naval sometidas a
niebla salina*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el estudio de la degradación de distintas pinturas de uso naval mediante la realización de una serie de ensayos con una duración exacta de diez días cada uno, realizándose cada uno de ellos con las mismas pinturas sobre distintas placas para así comparar cada uno entre sí y con sus iguales, para ello se ha diseñado y construido una cámara niebla de bajo coste y tamaño de laboratorio. Los ensayos se han escogido para someter a los recubrimientos a distintos ambientes, de tal forma que podemos comprobar los efectos que producen cada uno de ellos sobre las pinturas presentadas. El primer ensayo realizado es la exposición de las pinturas a una niebla salina, para la que con materiales de fácil acceso y bajo coste se construye una cámara que permite su realización. Posteriormente se realiza un ensayo de inmersión en solución salina empleando una solución de características iguales a la empleada en la cámara de niebla salina. Le sigue un ensayo de exposición a niebla en base a agua desionizada, para el que se emplea la misma cámara que se empleó en la cámara de niebla salina. Finalmente, se realiza un ensayo de inmersión en agua desionizada en un periodo de tiempo igual que el que se realizaron los ensayos anteriores.

PALABRAS CLAVE

Niebla salina, pinturas antifouling, corrosión, ensayos de inmersión, efecto barrera.

AGRADECIMIENTOS

En esta parte me gustaría agradecer a todos aquellos que me han apoyado durante esta gran etapa de mi vida, especialmente a mi familia y amigos que han conseguido sacar lo mejor de mí en lo profesional y especialmente en lo personal. Gracias a todos, sin vosotros jamás podría haber conseguido todo aquello que me he propuesto en vida.

No podía olvidarme de todos los goat's que día a día hacen todo lo posible por hacer frente a los antigoat's, sois un ejemplo de compromiso y lealtad.

También debo agradecer a todos los prusios, futuros goat's, por hacerme más llevadero todos estos años. Finalmente me gustaría agradecer a mi tutor por su contribución, habilidad, apoyo, trabajo, guía y perseverancia, tarea oculta que fue clave para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	6
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Introducción	7
1.2 Motivación	7
1.3 Objetivos	8
1.4 Metodología	9
1.5 Estructura de la memoria	9
2 Estado del arte	11
2.1 Proceso de corrosión marina	11
2.1.1 Corrosión galvánica en el casco de un buque	11
2.2 Formas de corrosión más comunes en buques	12
2.2.1 Corrosión uniforme.....	12
2.2.2 Corrosión por picaduras.....	12
2.2.3 Corrosión anaeróbica	13
2.2.4 Corrosión biológica	13
2.3 Factores que afectan a la corrosión marina	14
2.3.1 Efecto de la salinidad.....	14
2.3.2 Efecto de la temperatura	15
2.3.3 Efecto de la velocidad del agua del mar	16
2.3.4 Efecto de la profundidad.....	16
2.3.5 Efectos biológicos.....	17
2.4 Protección frente a la corrosión	18
2.4.1 Protección catódica	18
2.4.1.1 Ánodos de sacrificio	18
2.4.2 Pinturas marinas.....	20
2.5 Propiedades deseables de las películas de pintura	20
2.5.1 Adherencia	21
2.5.2 Permeabilidad	21
2.5.3 Continuidad de la película	21
2.5.4 Flexibilidad	21
2.5.5 Resistencia al impacto y a la abrasión	21

2.5.6 Resistencia la exposición a la intemperie	21
2.5.7 Resistencia química	21
2.5.8 Resistencia al crecimiento biológico	22
2.6 Corte por enrejado.....	22
2.7 Dureza por ensayo de lápiz	23
2.8 Cámara de niebla salina	25
3 Desarrollo del TFG.....	27
3.1 Material	27
3.2 Pinturas marinas para emplear	28
3.2.1 Hempel ecopower prop.....	28
3.2.2 Imnasa Marine Print	30
3.2.3 Pintura de acabado acrílico poliéster de color rojo.....	30
3.2.4 Pintura de acabado oleorresionoso de color blanco.....	31
3.3 Preparación de la solución salina	32
3.4 Pintado de las muestras del material	33
3.5 Cámara de niebla.....	33
3.6 Ensayo en cámara de niebla	34
3.7 Ensayo en inmersión	36
3.8 Ensayo de dureza por lápiz	37
3.9 Observación microscópica del corte enrejado	38
4 Resultados y discusión	40
4.1 Construcción cámara de niebla	40
4.2 Resultados de la cámara de niebla salina	41
4.3 Resultados del ensayo de inmersión en solución salina.....	45
4.4 Resultados de la cámara de niebla con agua desionizada	49
4.5 Resultados del ensayo de inmersión en agua desionizada	54
4.6 Comparativa de resultados	58
5 Conclusiones y líneas futuras	60
5.1 Conclusiones del trabajo	60
5.2 Líneas futuras	61
6 Bibliografía.....	62
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	65
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Metodología empleada en el trabajo.....	9
Figura 2-1 Corrosión uniforme en un buque [4]	12
Figura 2-2 Corrosión por picadura en una tubería [6].....	13
Figura 2-3 Corrosión biológica en una tubería [8]	13
Figura 2-4 Salinidad de los mares y océanos de la Tierra [11]	14
Figura 2-5 Gráfica de la variación de la corrosión en función de la temperatura [12].....	15
Figura 2-6 Temperatura de la Tierra [13].....	16
Figura 2-7 Efectos biológicos en la corrosión [15]	18
Figura 2-8 Protección frente a la corrosión [16]	18
Figura 2-9 Ánodos de sacrificio en un barco [18].....	19
Figura 2-10 Protección catódica de corriente impresa [19].....	19
Figura 2-11 Componentes de una máquina de corte por enrejado [22]	22
Figura 2-12 Componentes de una máquina de ensayo por dureza de lápiz [23].....	24
Figura 2-13 Cámara de niebla salina de uso experimental [24]	25
Figura 2-14 Disposición interior de una cámara de niebla salina [25].....	26
Figura 3-1 Modelo placa empleada (elaboración propia).....	28
Figura 3-2 Medidor de espesores (elaboración propia).....	29
Figura 3-3 Pintura Hempel Ecopower Prop [30].....	29
Figura 3-4 Imnasa Marine Print [32].....	30
Figura 3-5 Agitador magnético (elaboración propia).....	32
Figura 3-6 Cámara de niebla salina empleada (elaboración propia)	34
Figura 3-7 Cámara de niebla salina en funcionamiento (elaboración propia).....	35
Figura 3-8 Dispositivo de inmersión empleado (elaboración propia)	36
Figura 3-9 Realización de ensayo de dureza por lápiz (elaboración propia)	37
Figura 3-10 Microscopio Microbite Plus 60x-120x LED Lighted Pocket [44]	38
Figura 3-11 Utensilio para corte enrejado (a) de frente y (b) de lado (elaboración propia).....	38
Figura 4-1 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en niebla salina (elaboración propia)	41
Figura 4-2 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en niebla salina (elaboración propia)	41
Figura 4-3 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en niebla salina (elaboración propia)	42
Figura 4-4 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en niebla salina (elaboración propia)	42
Figura 4-5 (a) Antes y (b) después pintura roja en niebla salina (elaboración propia)	43

Figura 4-6 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en niebla salina (elaboración propia)	43
Figura 4-7 (a) Antes y (b) después pintura blanca en niebla salina (elaboración propia)	44
Figura 4-8 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en niebla salina (elaboración propia)	44
Figura 4-9 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en inmersión salina (elaboración propia)	45
Figura 4-10 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en inmersión salina (elaboración propia)	46
Figura 4-11 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en inmersión salina (elaboración propia)	46
Figura 4-12 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en inmersión salina (elaboración propia)	47
Figura 4-13 (a) Antes y (b) después pintura roja en inmersión salina (elaboración propia)	47
Figura 4-14 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en inmersión salina (elaboración propia) ...	48
Figura 4-15 (a) Antes y (b) después pintura blanca en inmersión salina (elaboración propia)	48
Figura 4-16 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en inmersión salina (elaboración propia)	49
Figura 4-17 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	50
Figura 4-18 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	50
Figura 4-19 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	51
Figura 4-20 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	51
Figura 4-21 (a) Antes y (b) después pintura roja en niebla de agua desionizada. (elaboración propia)	52
Figura 4-22 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	52
Figura 4-23 (a) Antes y (b) después pintura blanca en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	53
Figura 4-24 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en niebla de agua desionizada (elaboración propia)	53
Figura 4-25 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	54
Figura 4-26 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	55
Figura 4-27 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	55
Figura 4-28 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	56

Figura 4-29 (a) Antes y (b) después pintura roja en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	56
Figura 4-30 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	57
Figura 4-31 (a) Antes y (b) después pintura blanca en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	57
Figura 4-32 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)	58
Figura 4-33 Comparación de resultados (elaboración propia)	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Clasificación de los resultados del ensayo de corte por enrejado [22]	23
Tabla 2-2 Clasificación de los lápices en función de su dureza [23]	24
Tabla 3-1 Composición química (% en masa) del acero S275JR [18].....	27
Tabla 4-1 Precio cámara de niebla empleada (elaboración propia)	40
Tabla 4-2 Resumen efectos niebla salina (elaboración propia).....	45
Tabla 4-3 Resumen efectos inmersión salina (elaboración propia).....	49
Tabla 4-4 Resumen efectos cámara de niebla con agua desionizada (elaboración propia).....	54
Tabla 4-5 Resumen efectos inmersión en agua desionizada (elaboración propia).....	58

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La corrosión en el casco de los buques representa un desafío crítico para la industria naval, afectando no solo la seguridad y la operatividad de las embarcaciones sino también su eficiencia económica. Este fenómeno destructivo, caracterizado por el deterioro del material debido a reacciones químicas o electroquímicas en el entorno marino, pone en riesgo la integridad estructural de los barcos, acorta su período de vida y eleva significativamente los gastos relacionados con su mantenimiento y reparación. El proceso corrosivo es impulsado principalmente por la interacción del metal del casco con elementos como el oxígeno y el cloruro de sodio, abundantes en el agua de mar, lo que facilita la formación de óxido y promueve otras formas de desgaste. Dada la exposición continua a estas condiciones hostiles, los cascos metálicos de los buques son especialmente vulnerables a la corrosión, lo que hace destacar la importancia de adoptar estrategias preventivas eficaces para mitigar este problema.

Dentro del marco del proyecto, se enfoca en la evaluación de diversas técnicas de protección contra la corrosión, incluyendo la aplicación de pinturas y revestimientos sobre placas metálicas, seguido de su exposición a distintos ambientes controlados para simular las condiciones marinas. El objetivo principal de esta iniciativa es profundizar en la eficiencia de varios métodos de tratamiento y recubrimiento en la prevención de la corrosión. A través de la realización de ensayos meticulosos, se busca descubrir aquellos recubrimientos y procedimientos que demuestren ser los más efectivos en combatir la corrosión en los cascos de los buques, generando así conocimiento crítico que pueda guiar las prácticas de mantenimiento y los enfoques de diseño dentro de la industria naval.

Este proyecto no solo se proyecta como una vía para extender la vida útil y garantizar la seguridad de los buques, sino que también apunta a disminuir los costos operacionales y el impacto ambiental asociados con los procesos corrosivos. Con este enfoque, se busca contribuir significativamente a la sustentabilidad y la innovación en el sector naval, estableciendo nuevas pautas para el manejo eficiente y efectivo de la corrosión en los buques.

1.2 Motivación

El casco de un buque y su integridad es una parte esencial para la eficiencia y rendimiento de los buques. Las pinturas antifouling, son pinturas que previenen adherencia de organismos marinos en superficies sumergidas, son imprescindibles para garantizar que navegación sea segura y ordenada, consiguiendo que la fricción con el agua sea mínima durante la misma gracias a que consigue mantener el casco libre de organismos marinos no deseados. No obstante, el agua salada produce un efecto progresivo de degradación sobre su superficie asociado con la exposición continua al medio marino.

Este trabajo busca diseñar y construir una cámara de niebla en el laboratorio para estudiar el efecto del agua salada, cuando se emplea una solución salina, sobre una serie de placas de acero similar al usado en el casco de un buque, simulando una superficie lisa del casco, con diferentes tipos de pinturas de uso naval y estudiar los efectos sobre cada una. Este proceso nos permite acelerar el envejecimiento de las diferentes pinturas, replicando las condiciones a las que estarían expuestas en el medio marino en un periodo de tiempo menor al real. Además, para mejorar el análisis, realizaremos paralelamente una inmersión de otras placas, con mismas características que cada una de las placas expuestas a la niebla salina, en la misma disolución que empleamos en el experimento anterior. Con esto conseguiremos unos resultados más precisos y claros de la diferente degradación que se produce sobre las diferentes pinturas, comparando las condiciones de niebla salina e inmersión. Tanto el análisis de inmersión como de niebla salina son importantes dado que el casco está en parte sumergido y en parte no.

Una vez finalizado ambos ensayos en solución salina se realizarán ambos ensayos empleando agua desionizada. El objetivo de realizar estos dos últimos ensayos es la comparación de la corrosión sobre los recubrimientos entre los empleados en solución salina y agua desionizada, tanto en inmersión como en forma de niebla, durante el mismo periodo de tiempo, analizando así de una forma más profunda y empírica el efecto de la sal sobre dichos recubrimientos.

Para evaluar la resistencia y durabilidad de las pinturas, es importante tener en cuenta que se utilizarán técnicas especiales. La técnica empleada para determinar la adherencia del recubrimiento a la placa será la de corte enrejado, en el que se realizarán doce incisiones seis pares perpendiculares entre sí, con el que conseguiremos observar y clasificar en función de una serie de criterios visuales. Para evaluar la dureza del recubrimiento de pintura lo haremos mediante el ensayo del lápiz, en el que se observará la resistencia de la pintura a quedar marcada como resultado de acción de la acción de un lápiz con unas características determinadas.

Este estudio multidisciplinario considera tanto la degradación de las pinturas como una evaluación de su resistencia y durabilidad en condiciones simuladas con el fin de aportarnos información de los distintos tipos de pinturas y conocer en qué aspectos cabe mejora en estas áreas tecnológicas clave dentro de la industria marina.

1.3 Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar y construir a partir de los materiales del laboratorio una cámara de niebla salina con el que poder estudiar la degradación de las diferentes pinturas que se emplearán y compararlas entre sí, al someterlas a un envejecimiento acelerado con la niebla producida a partir de la solución salina creada.

Además, se hará un estudio de inmersión con las mismas pinturas empleadas en la cámara salina y comparar los resultados obtenidos entre sí y con respecto a las mismas pinturas sometidas a la niebla salina. Paralelamente se comparará el uso de estas pinturas con unas iguales, pero realizando los ensayos con agua desionizada, para así comparar entre pinturas del mismo tipo los efectos de la sal sobre las mismas al carecer el agua desionizada de la ella.

1.4 Metodología

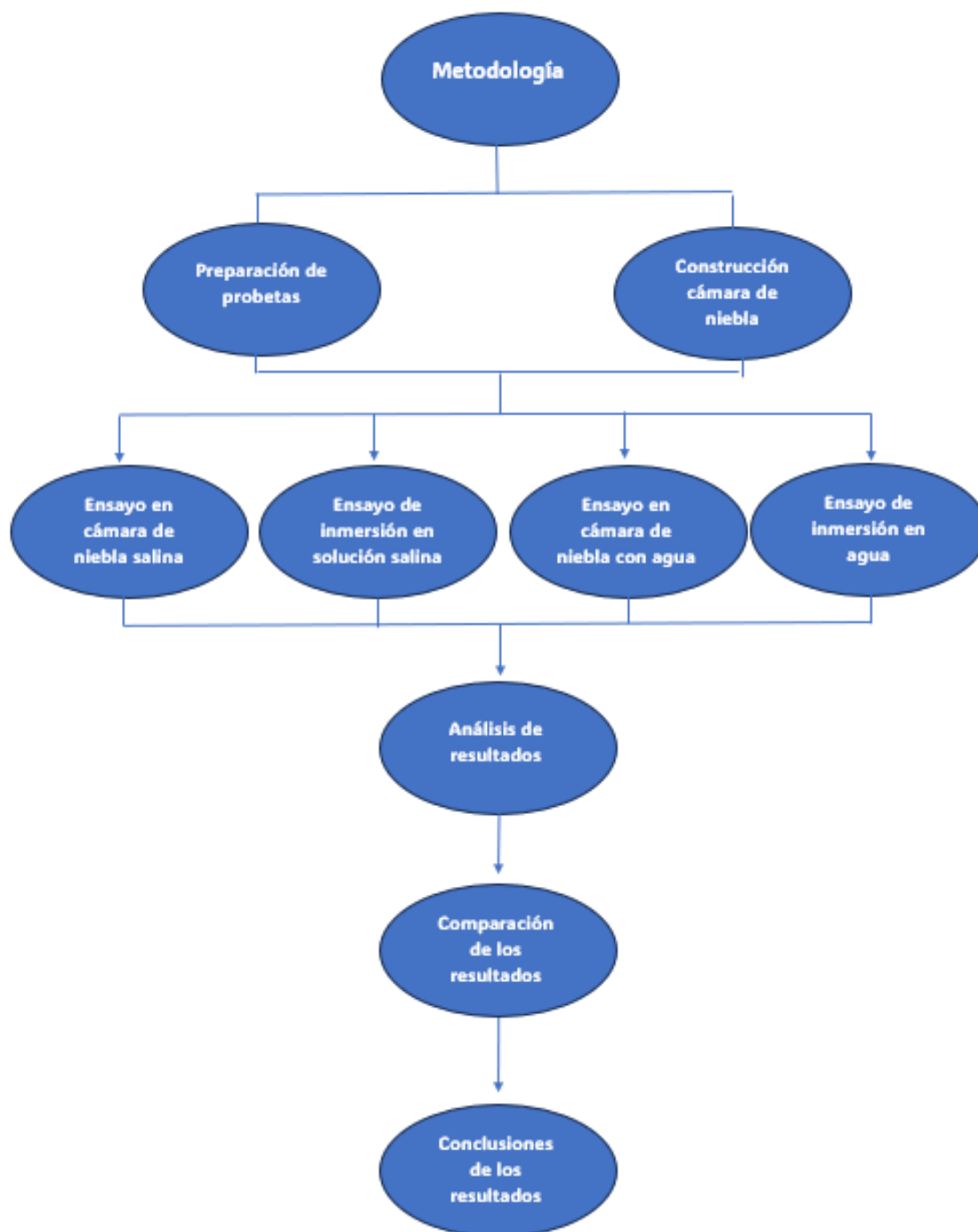


Figura 1-1 Metodología empleada en el trabajo

1.5 Estructura de la memoria

La estructura de los contenidos de la memoria parte de la conceptualización del trabajo en este

apartado introductorio para desenvolverse en los capítulos posteriores:

- Capítulo 1: Introducción y objetivos. Presente apartado con información general del proyecto.
- Capítulo 2: Estado del Arte. Revisión bibliográfica de los contenidos necesarios para el desarrollo del trabajo.
- Capítulo 3: Desarrollo del TFG. Descripción de los procesos y tareas realizados.
- Capítulo 4 Resultados/Validación/Prueba. Comprobación de funcionalidades a nivel usuario.
- Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras. Opciones de mejora u otros proyectos que tomen este trabajo como punto de partida.

Además de esta división, se contempla la inclusión de Anexos que complementen las bases de lo descrito a lo largo de la memoria, siendo remarcables por su entidad propia los dos primeros:

- Anexo I. Implicaciones Sociales y/o Económicas y/o Ambientales. Desarrollo del impacto del trabajo en las áreas del epígrafe.
- Anexo II. Reflexiones éticas y sociales. Recopilación de las consideraciones en el plano ético y social surgidas a lo largo del trabajo. Caso específico de la implantación de este software como herramienta de apoyo

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Proceso de corrosión marina

La corrosión en ambientes marinos es provocada principalmente por procesos electroquímicos, en los que la presencia de agua salada facilita la transferencia de electrones entre las diferentes partes del casco, provocando así un deterioro gradual. El proceso de corrosión es intensificado por una serie de factores, entre los que destacan la temperatura del agua, salinidad, presencia de oxígeno disuelto y la velocidad del flujo del agua, que pueden variar significativamente con la profundidad y la geografía.

Para combatir sus efectos existen diferentes estrategias de prevención y mitigación. Una de las formas más eficaces de evitar la corrosión es la selección cuidadosa de materiales con alta resistencia a la misma, el uso de recubrimientos protectores, la implementación de sistemas de protección catódica, como los ánodos de sacrificio o la protección catódica impresa, y el mantenimiento regular de la estructura del casco. Estas medidas no solo ayudan a proteger las infraestructuras y los vehículos marinos de la corrosión, sino que también representan una práctica importante para garantizar la seguridad y reducir los costos a largo plazo.[1]

2.1.1 Corrosión galvánica en el casco de un buque

La corrosión galvánica es un fenómeno que sucede cuando dos metales diferentes, con distintos potenciales electroquímicos, se ponen en contacto en presencia de un electrolito como puede ser el agua salada, generando daños importantes en la estructura metálicas de los buques. Este tipo de corrosión se manifiesta cuando el metal más reactivo, el ánodo, pierde electrones frente al metal menos reactivo, el cátodo, provocando una degradación del metal anódico. Este tipo de corrosión es especialmente problemático para barcos y estructuras marinas, ya que puede comprometer la integridad de componentes cruciales como el casco la hélice y el eje, haciendo necesario emplear medidas para contrarrestar este problema.

Una medida a implementar es el aislamiento galvánico, en el que se impide el flujo eléctrico directo entre los metales consiguiendo así un bloqueo de la formación galvánica y, por ende, la corrosión. Esto se consigue mediante el uso de metales no conductores que separan físicamente los metales. Otra medida de protección puede ser el empleo de ánodos de sacrificio, que se corroen en lugar de las partes valiosas de la embarcación, y los recubrimientos protectores, que actúan como barreras físicas contra el electrolito.

Además, hay que destacar que el mantenimiento regular y la vigilancia son clave para prevenir la corrosión galvánica, siendo necesario inspeccionar de forma periódica las áreas que son más susceptibles de ser corroídas y reemplazar los ánodos de sacrificio cuando sea necesario. Al igual que debemos de

hacer una buena selección de los materiales que vamos a emplear y considerar el diseño de la embarcación con el fin de minimizar los riesgos de corrosión desde el inicio.[2]

2.2 Formas de corrosión más comunes en buques

La corrosión es algo que se puede encontrar en multitud de ambientes con condiciones completamente distintas: En este apartado se desarrolla las distintas formas de corrosión que se pueden encontrar un buque.

2.2.1 Corrosión uniforme

La corrosión uniforme en los buques se refiere al desgaste homogéneo de las superficies metálicas expuestas al ambiente marino, como se puede observar en la Figura 2-1. Este tipo de corrosión es uno de los más comunes y predecibles y afecta a los buques de forma generalizada. Además, se caracteriza por la pérdida uniforme, como su propio nombre indica, de material a lo largo de extensas áreas metálicas, lo que normalmente hace que se reduzca el grosor de la pared del casco y comprometer así la integridad estructural del buque en el caso de que no se controle de forma adecuada. [3]



Figura 2-1 Corrosión uniforme en un buque [4]

2.2.2 Corrosión por picaduras

La corrosión por picadura es uno de los principales problemas de mantenimiento que se sufren en los buques, provocando serios problemas en su durabilidad y seguridad a la hora de navegar. Este tipo de corrosión se caracteriza por la formación de pequeños orificios en la superficie del metal, generalmente lo podemos observar en el acero, causados por una continua exposición al ambiente marino, representado gráficamente en la Figura 2-2Figura 2-2 Corrosión por picadura en una tubería. Los factores que provocan este tipo de corrosión suelen ser la presencia de cloruros, las temperaturas elevadas del agua del mar y el nivel de oxígeno disuelto en el agua, haciendo estos factores que se cree unas condiciones ideales para que se inicie y propague este tipo de corrosión.

La picadura no solo compromete la integridad estructural del buque, sino que también hace que aumente considerablemente la probabilidad de que haya fallos catastróficos, lo que hace aún más claro la necesidad de implementar estrategias efectivas de prevención y mantenimiento, tales como las vistas en os otros tipos de corrosión.[5]



Figura 2-2 Corrosión por picadura en una tubería [6]

2.2.3 Corrosión anaeróbica

La corrosión anaeróbica es un fenómeno que afecta principalmente a través de la actividad de los microorganismos que no requieren oxígeno para vivir, siendo las principales las bacterias reductoras de sulfato. Estas bacterias son capaces de causar una corrosión acelerada en el acero y otras partes metálicas de los barcos, favoreciendo los procesos de corrosión electroquímica por despolarización anódica y catódica. Este tipo de corrosión no solo se limita a la superficie de los metales, sino que puede profundizar, generando picaduras que en alguna ocasión puede llegar a transformarse en grietas.[7]

2.2.4 Corrosión biológica

La corrosión biológica es un tipo de deterioro de materiales metálicos causado por microorganismos, como bacterias, hongos o algas, que pueden iniciar, facilitar o acelerar el proceso corrosivo como en la tubería de la Figura 2-3. Este fenómeno es especialmente relevante en entornos donde se encuentran comunidades microbianas anaeróbicas, como las bacterias sulfato reductoras, que producen compuestos corrosivos como el H_2S . Estos microorganismos forman biopelículas que complican la remoción y protección de las superficies metálicas, acelerando el daño y afectando la integridad y funcionamiento de estructuras y equipos. [8]



Figura 2-3 Corrosión biológica en una tubería [8]

2.3 Factores que afectan a la corrosión marina

La corrosión marina, como ya hemos visto, es uno de los grandes problemas que sufren los barcos y esta causado por el efecto de diferentes que factores en un mismo medio. Factores que se desarrollan en los siguientes apartados, tales como: la salinidad, temperatura, velocidad del agua del mar, profundidad y efectos biológicos.

2.3.1 Efecto de la salinidad

La salinidad del agua del mar tiene un impacto significativo en la corrosión de los materiales que componen un buque, siendo causado principalmente por efectos producidos debido a la presencia de sales disueltas, destacando el cloruro de sodio, en el agua. Esta salinidad es diferente a lo largo del globo terráqueo, como viene expuesto en la Figura 2-4.

Las sales disueltas en el agua de mar aumentan significativamente la conductividad eléctrica de la misma. Esta alta conductividad hace que sea más sencillo que se produzcan reacciones electroquímicas entre el metal que compone el barco y el medio marino que lo rodea, factores que son determinantes a la hora de comenzar con la corrosión. En este caso la conductividad juega el papel de enlace o puente para los electrones, haciendo que la propagación de la corrosión sea más rápida.

Además, la presencia de la sal aumenta la solubilidad del oxígeno en el agua, siendo este un reactivo clave en muchas formas de corrosión al actuar como agente oxidante que acelera la degradación del metal. Al haber más oxígeno la tasa de corrosión aumenta, especialmente en tipos de corrosiones como la galvánica o la corrosión por picadura.

Los iones de cloruro juegan un papel más destructivo en la corrosión por picadura, uno de los tipos de corrosión más dañinos. Esto se debe a que estos iones son capaces de penetrar las capas protectores en la superficie de los metales, haciendo que se formen sitios de corrosión más de una manera más localizada. Esta corrosión localizada, conocida como corrosión por picadura, puede llevar a la formación de pequeños agujeros que acabarán siendo profundamente penetrantes y causar fallos importantes en la estructura del material sin una pérdida de masa que se pueda llegar a apreciar.[9]

La salinidad también influye en la vida microbiana que puede inducir o acelerar la corrosión, conocida como la corrosión biológica. Es usual que algunos microorganismos puedan desarrollarse de una forma más sencilla en ambientes salinos y puedan formar películas en las superficies metálicas, siendo estas películas capaces de concentrar iones corrosivos o secretar sustancias que den pie a la corrosión. Generalmente este aspecto se relaciona con la salinidad de una forma más indirecta, aunque este sea un factor importante en el contexto marino donde la biodiversidad afectada por la salinidad puede tener un impacto significativo en la corrosión. [10]

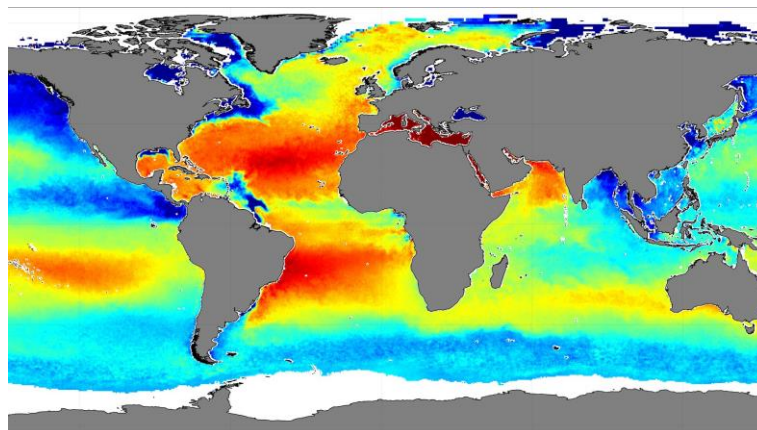


Figura 2-4 Salinidad de los mares y océanos de la Tierra [11]

2.3.2 Efecto de la temperatura

El efecto de la temperatura en la corrosión marina es un aspecto crucial que afecta en el tiempo de desarrollo y en la forma en la que ocurre la corrosión en estos ambientes, como podemos ver en la Figura 2-5. La temperatura es un factor crucial en la velocidad de las reacciones químicas y electroquímicas implicadas en la corrosión, cosa que podemos observar en los fundamentos de la química, especialmente en la regla de Van't Hoff, en la que en un aumento de la temperatura puede duplicar o triplicar la velocidad en las reacciones químicas. Esto implica que a mayores temperaturas las reacciones entre el metal del barco y los elementos corrosivos presentes en el agua del mar, véase el oxígeno y los iones de cloruro, suceden a una velocidad menor que a temperaturas menores.

Por otro lado, la temperatura del agua afecta a la solubilidad del oxígeno dentro este medio, provocando que cuanto mayor sea la temperatura menor será la solubilidad del oxígeno. Sin embargo, el aumento de la temperatura también hace que aumente la actividad y la movilidad de las moléculas de oxígeno, cosa que facilita su participación en reacciones de corrosión a pesar de que la solubilidad sea menor. Esto se traduce en un aumento de la velocidad de corrosión causado por una mayor disponibilidad de oxígeno para reaccionar con el metal. [6]

Otro efecto que producen las temperaturas más elevadas es que se favorezcan la proliferación de microorganismos, cosa que puede llegar a aumentar el riesgo a que haya corrosión microbiológica. Este tipo de corrosión aparece cuando microorganismos como bacterias y algas se pegan a la superficie metálica de los barcos, formando películas sobre ellas. Estas películas concentran en sí mismas iones corrosivos y secretan ácidos y otro tipo de compuestos que favorecen a la aceleración de la corrosión. En zonas donde la temperatura del agua del mar es más cálida habrá mayor riesgo de proliferación de las películas mencionadas y por ellos mayor riesgo de que se produzca una aceleración de la corrosión. [7]

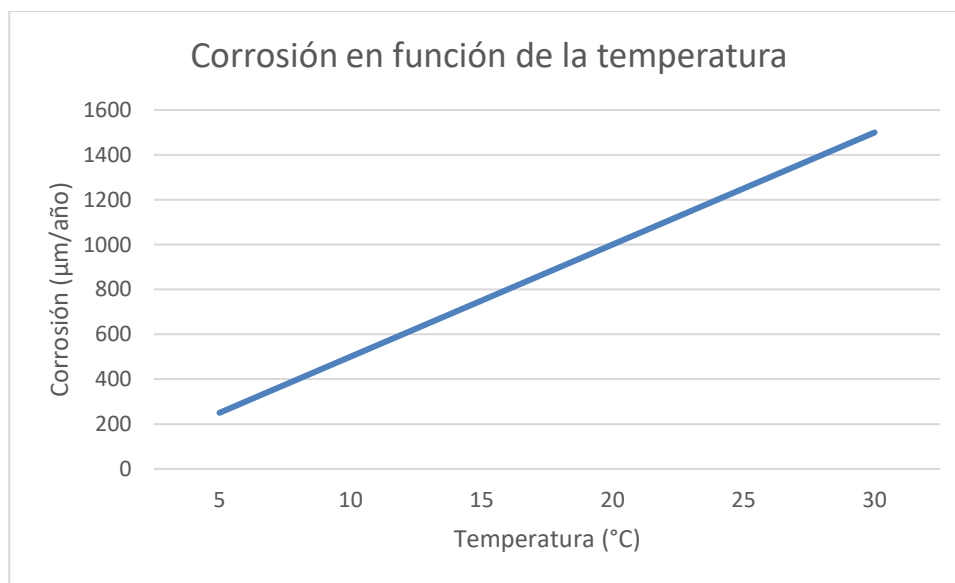


Figura 2-5 Gráfica de la variación de la corrosión en función de la temperatura [12]

Por último, la temperatura también afecta en la formación y la capacidad de mantenerse de películas de óxido que se forman de manera natural en la superficie de algunos metales, como puede ser el acero, y que ofrecen cierta protección frente a la aparición de la corrosión. Esto, sin embargo, puede verse afectado por unas temperaturas del agua del mar más elevadas, haciendo que estas películas puedan hacerse más porosas o incluso lleguen a disolverse, exponiendo al metal a que sufra una corrosión de una forma más acelerada. [6]

En resumen, la temperatura del agua, cuya variación se puede observar en la Figura 2-6, juega varios papeles diferentes en la corrosión marina, afectando tanto a la velocidad de las reacciones como a la biología y química del entorno marino.

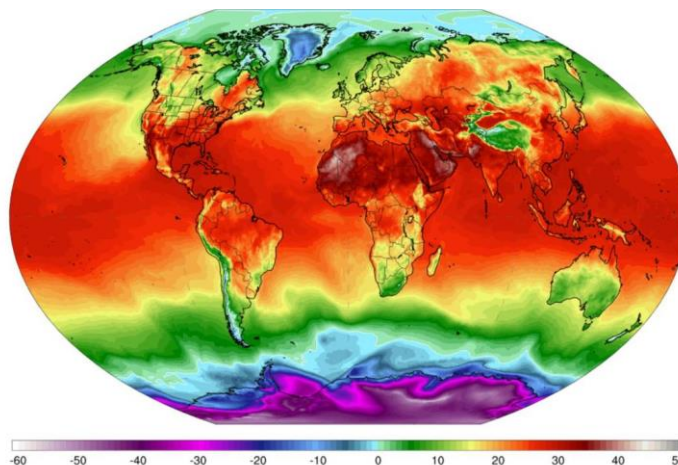


Figura 2-6 Temperatura de la Tierra [13]

2.3.3 Efecto de la velocidad del agua del mar

La velocidad del agua del mar es un factor crítico que influye en la corrosión de estructuras y vehículos marinos, afectando tanto a la tasa como el mecanismo de corrosión. A mayores velocidades de agua habrá una mayor tasa de remoción de los productos de corrosión de la superficie del metal. Esto puede tener dos efectos distintos; por una parte, se acelera la corrosión debido a que se expone diferentes áreas de metal al ambiente corrosivo, y por la otra parte, puede disminuir la corrosión en ciertos casos al prevenir la acumulación de una capa de productos de corrosión que podría actuar como una barrera protectora.

La velocidad del agua también influye en la renovación del oxígeno en la interfaz metal-agua, provocando que a velocidades más altas el suministro de oxígeno a las partes metálicas será de una forma más eficiente, provocando que se acelere los procesos de corrosión que dependen del oxígeno, como la corrosión electroquímica. Esto se debe a que el oxígeno es un reactante muy importante en gran cantidad de reacciones de corrosión y su disponibilidad mayor producida por la velocidad del agua consigue que se intensifique la tasa de corrosión. [6]

A su vez la combinación de corrosión y erosión es más relevante en estas condiciones de alta velocidad del fluido, ocurriendo cuando las partículas sólidas en suspensión o incluso la propia turbulencia del agua a altas velocidades provocan un desgaste mecánico de la superficie del metal al mismo tiempo que hay reacciones electroquímicas provocadas por la corrosión. Esto implica que la combinación entre erosión y corrosión produzca un desgaste significativamente acelerado del material y es bastante problemático en aquellas zonas expuestas a flujos de corriente de mayor velocidad, véase las hélices de los barcos o incluso las tuberías de entrada de agua. [7]

Por último, la velocidad alta del agua hace que aumente la turbulencia alrededor de las estructuras sumergidas, lo que lleva a un mayor desgaste mecánico y a la desestabilización de las capas protectoras en la superficie del metal. Esta turbulencia puede crear microvórtices que aumentan localmente la velocidad del agua y pueden inducir tipos de corrosión como la cavitación, donde la formación y colapso de burbujas de vapor causan daño mecánico y químico a las superficies metálicas. [6]

2.3.4 Efecto de la profundidad

La corrosión de barcos y estructuras marinas debido a la profundidad de la inmersión es un tema que se ve influenciado por diversos factores ambientales, entre los que la profundidad es uno no tan

influyente como otros expuestos anteriormente. Está demostrado que la concentración de oxígeno, la temperatura del agua y, potencialmente, los niveles de sílice disuelto juegan roles muy importantes en la tasa de corrosión del acero y otros metales en entornos marinos. Por otro lado, se ha explorado que también la corrosión producida a distintas profundidades, encontrando poca evidencia de que la profundidad afecte de una forma tan directa, como los otros factores, en la tasa de corrosión. [14]

Un aspecto importante es que la mayor zona de corrosión no se encuentra en las profundidades, sino todo lo contrario, localizada justo encima de la línea de flotación, en la zona conocida como la región de salpicadura. A partir de ahí, según la profundidad va aumentando progresivamente, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye. Entonces, podemos decir que a cuanto mayor sea la profundidad menor será la corrosión debido a una menor presencia de oxígeno. Esto en un barco no afecta debido a que la distancia entre la línea de flotación y la parte más profunda de la obra viva es insignificante en cuanto a la variación de oxígeno se refiere. Sin embargo, esto será un factor a tener en cuenta en los submarinos debido a la gran variación de profundidades que sufren los mismos durante sus navegaciones.[6]

2.3.5 Efectos biológicos

Este efecto sobre la corrosión implica una aceleración de esta debido a la actividad de microorganismos como bacterias, hongos y microalgas, visto de forma gráfica en la Figura 2-7. Además, la formación de biofilms, a partir de la unión de estos microorganismos sobre la superficie metálica del barco, crea condiciones más favorables para la aparición y proliferación de corrosión electroquímica.

Existen diferentes formas en las que los microorganismos promueven la corrosión, tales como la producción de metabolitos corrosivos y la creación de diferencias de concentración de oxígeno bajo los biofilms, cosa que lleva a una corrosión localizada más intensa. Los biofilms no solo protegen a las comunidades microbianas corrosivas, sino que también son las encargadas de establecer microambientes que aceleran la corrosión. Esta compleja interacción entre los microorganismos y los materiales metálicos hace destacar la importancia de comprender los procesos biológicos involucrados en la corrosión con el fin de establecer y desarrollar estrategias para mitigar la corrosión de una forma más efectiva.

Las medidas que se han implementado para combatir la biocorrosión incluyen el uso de biocidas para inhibir el crecimiento microbiano, la aplicación de recubrimientos protectores que previenen el contacto directo entre el metal y los organismos corrosivos, y la selección de materiales resistentes diseñados específicamente para entornos marinos. Estas medidas son de especial importancia con la intención de proteger las infraestructuras y equipos marinos que se encuentran en contacto con el medio marino, haciendo que se produzca una reducción sobre el impacto económico y extendiendo de esta forma su vida útil frente a los desafíos presentados por la corrosión mediada biológicamente. [15]

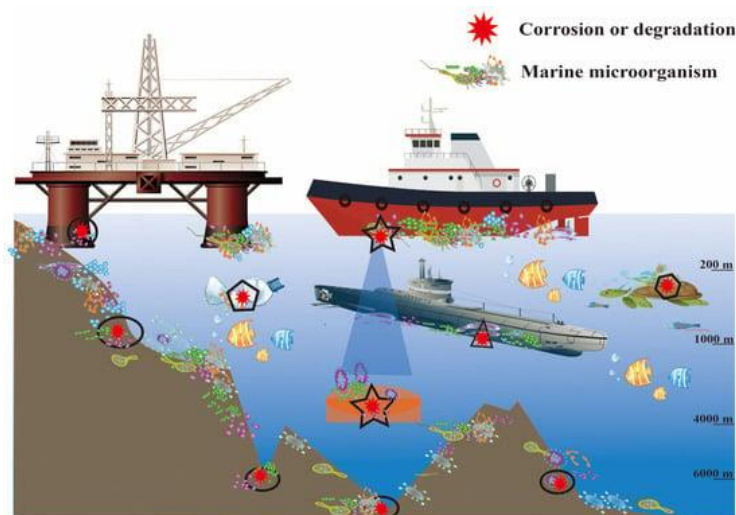


Figura 2-7 Efectos biológicos en la corrosión [15]

2.4 Protección frente a la corrosión

Para reducir el impacto de la corrosión en un buque, se emplean varios métodos. Entre estos, los más destacados son el uso de pintura y la protección catódica, la cual se logra a través del uso de ánodos de sacrificio y/o la aplicación de corrientes impuestas, representado de forma esquemática en la Figura 2-8.

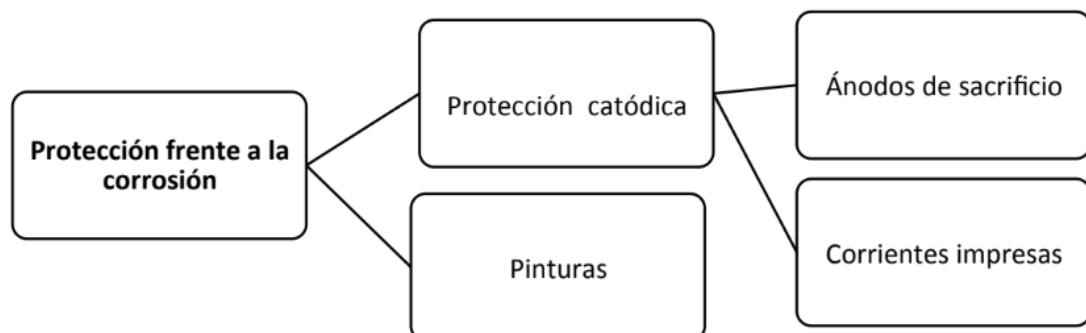


Figura 2-8 Protección frente a la corrosión [16]

2.4.1 Protección catódica

Este enfoque implica eliminar las reacciones anódicas de corrosión mediante la inversión del flujo de electrones, lo cual reduce el potencial de los ánodos, convirtiéndolos en cátodos. La protección catódica se divide en dos técnicas principales: el uso de ánodos de sacrificio y la aplicación de corrientes impuestas. [16] [19]

2.4.1.1 Ánodos de sacrificio

Los ánodos de sacrificio, que se pueden ver en la Figura 2-9, son componentes adheridos al casco de un barco, diseñados para corroerse en lugar del propio casco. Esto sucede porque tienen un potencial anódico más alto que el acero del casco cuando se encuentran en agua salada. La principal desventaja de este método es la necesidad de reemplazarlos cada cierto tiempo debido a la corrosión que experimentan. Actualmente, se utilizan ánodos de sacrificio hechos de aleaciones de zinc, aluminio o magnesio, y la selección de estos materiales se basa en consideraciones económicas, la duración hasta el próximo reemplazo, entre otros factores. [17]



Figura 2-9 Ánodos de sacrificio en un barco [18]

Las corrientes impresas, representadas en la Figura 2-10, son una técnica de protección catódica utilizada para combatir la corrosión en estructuras metálicas, como los cascos de los barcos. Este método consiste en aplicar una corriente eléctrica externa a la estructura que se desea proteger, invirtiendo así el proceso natural de corrosión. Al suministrar esta corriente, se reduce el potencial electroquímico de la superficie metálica, transformando áreas anódicas, propensas a la corrosión, en cátodos donde la corrosión es mucho menos probable.

La implementación de corrientes impresas requiere una fuente de energía externa y sistemas de control para ajustar la intensidad de la corriente según las necesidades específicas de la estructura protegida. Esta técnica ofrece una solución duradera y eficiente para prevenir la corrosión, especialmente en ambientes marinos agresivos. Sin embargo, su aplicación y mantenimiento necesitan de un diseño cuidadoso y una monitorización constante para asegurar la protección efectiva contra la corrosión a lo largo del tiempo.

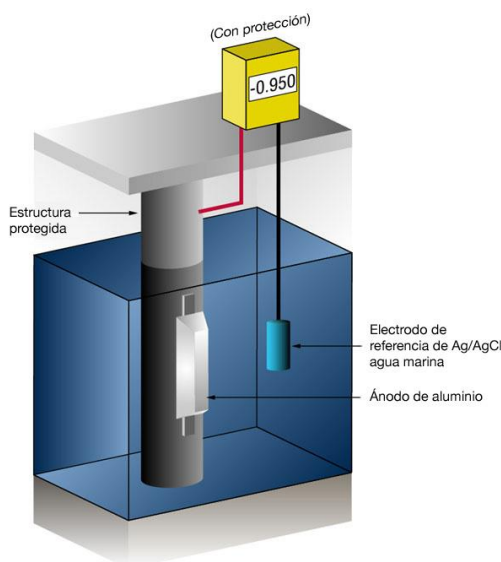


Figura 2-10 Protección catódica de corriente impresa [19]

2.4.2 Pinturas marinas

Una pintura marina es un tipo de recubrimiento especialmente diseñado para proteger las superficies de los buques y estructuras expuestas al ambiente marino. Su función principal es prevenir la corrosión y el deterioro causados por el agua salada, la vida marina, como los organismos incrustantes, y las variadas condiciones climáticas. Estas pinturas contienen compuestos que inhiben la corrosión y pueden incluir biocidas para combatir el crecimiento de organismos en el casco del barco. Además, mejoran la hidrodinámica de la embarcación, reduciendo la resistencia al movimiento y, por consiguiente, optimizando el consumo de combustible.

Las pinturas desempeñan diversas funciones, abarcando desde la protección contra la corrosión hasta fines estéticos. Los sistemas anticorrosión, que típicamente consisten en múltiples capas de pintura, proporcionan tres tipos principales de protección a las superficies metálicas. Primero, actúan como un aislante, creando una barrera impermeable que previene el contacto entre los agentes corrosivos del entorno y la superficie metálica. Esta característica limita el efecto corrosivo a través de un simple mecanismo de barrera.

Además, algunas pinturas incluyen inhibidores que forman una capa protectora, ya sea por absorción física o química, minimizando la interacción entre el metal y su entorno corrosivo. Otro aspecto importante es la protección catódica ofrecida por componentes de la pintura que, al ser electroquímicamente más activos, se corroen preferentemente, salvaguardando así el metal subyacente. Este enfoque multifacético asegura una defensa integral contra los daños por corrosión, combinando métodos físicos, químicos y electroquímicos para preservar la integridad de las estructuras metálicas. [20]

2.5 Propiedades deseables de las películas de pintura

Para asegurar una protección prolongada del acero y otros metales de uso marino las pinturas a emplear deben de poseer propiedades específicas enfocadas en el control de la corrosión, además de tener otras cualidades necesarias para que tenga una eficiencia en un ambiente marino específico. Dependiendo del tipo de pintura que se emplea y la aplicación a la que se va a ver sometida se puede decir que las características que deben de incluir son una buena adherencia, permeabilidad baja, formación de una película continua, flexibilidad y resistencia al impacto, abrasión, condiciones meteorológicas adversas, agua, combustibles, productos químicos, así como al crecimiento de organismos biológicos.

Las pinturas utilizadas en entornos marítimos se componen de varios ingredientes, incluyendo pigmentos, que son sustancias orgánicas o inorgánicas que otorga color, opacidad y resistencia a la película de pintura. Estos pigmentos pueden clasificarse en coloreados, que son los que proporcionan la tonalidad. Por otro lado, están los anticorrosivos, que son la parte del pigmento que proporciona la prevención a la corrosión y pueden incluir compuestos como los tetróxidos de plomo, cromato básico de cinc y potasio, además de metales como el cinc y el aluminio que funcionan como ánodos de sacrificio para la protección catódica.

Por otro lado, se encuentra el sustrato, que se encarga de otorgar viscosidad a la pintura y que al evaporarse deja un recubrimiento sólido. Este proceso de secado puede ocurrir por evaporación directa, al oxidarse con el contacto del aire, o mediante polimerización con la ayuda de un catalizador.

Finalmente, se encuentran los aditivos, que son los elementos encargados de mejorar el rendimiento de la pintura, como con la aceleración del secado o aumentando la resistencia a condiciones ambientales adversas, e incluyen agentes como humectantes y dispersantes.

Por último, es importante tener en cuenta que algunos de estos componentes pueden ser nocivos para el medio ambiente marino, por lo que se debe de tener cuidado en su uso para minimizar el impacto ecológico. Además, es crucial respetar los tiempos de secado, los cuales dependen de la evaporación del solvente utilizado. [20] [21]

2.5.1 Adherencia

Para lograr una protección duradera en metales expuestos de forma continuada al medio acuático los recubrimientos de pintura deben adherirse correctamente al sustrato, produciéndose mediante enlaces químicos tanto fuertes como débiles. La mayoría de las pinturas orgánicas se unen a través de enlaces secundarios, pero algunos pueden formar enlaces primarios más fuertes con el metal, como con los tratamientos previos. Una superficie metálica limpia, y ligeramente rugosa, es esencial para una correcta adherencia, ya que los contaminantes afectan a que esta unión se produzca.

2.5.2 Permeabilidad

Las pinturas orgánicas varían en gran medida en su capacidad para bloquear electrolitos debido a su permeabilidad variable, entiendo que la permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su composición. Aquellos que tienen una baja permeabilidad son más efectivos a la hora de proporcionar protección de efecto barrera, cosa de gran importancia en condiciones extremas como la inmersión que sufre el metal en todo momento. Por otro lado, los recubrimientos que logran una alta densidad mediante el entrecruzamiento presentan una permeabilidad reducida, haciendo que se mejore su función protectora.

2.5.3 Continuidad de la película

Una característica importante de los recubrimientos es la capacidad que estos tienen para crear una capa de forma continua, de espesor uniforme a lo largo de la zona de acción y sin que se presente ningún tipo de defecto, como si de capas sin pintura se trataran. Esto es de vital importancia porque cualquier deficiencia que se presente permitirá la penetración de electrolitos, cosa que hace que la corrosión de acelere y acentúe. Un recubrimiento líquido con buena capacidad de fluidez y nivelación ayudará a evitar imperfecciones como poros o áreas finas, que como se ha mencionado son las principales causas de fallo inicial en las pinturas.

2.5.4 Flexibilidad

La flexibilidad es una cualidad valiosa en los recubrimientos, ya que permite que la capa de pintura se adapte a las expansiones y contracciones del sustrato bajo diferentes condiciones sin dañarse ni agrietarse. Por otro lado, es importante que las capas superiores sean igual de flexibles con el fin de evitar fisuras al no moverse de una forma sincronizada con las capas inferiores.

2.5.5 Resistencia al impacto y a la abrasión

La resistencia a impactos y a la abrasión es crucial en varios aspectos de la aplicación, siendo los recubrimientos de poliuretano destacados por su superior resistencia a la abrasión. Pese a que los recubrimientos de cinc inorgánico son más frágiles, han demostrado ser efectivos en superficies expuestas como la de las barcas, buques y costados de navíos, manteniendo su funcionalidad en condiciones exigentes.

2.5.6 Resistencia la exposición a la intemperie

Los ligantes en recubrimientos orgánicos se degradan bajo la luz ultravioleta del sol, lo que causa la ruptura de los enlaces químicos que presenta. Los recubrimientos como los epoxis, que son vulnerables a la luz ultravioleta suelen protegerse con una capa final resistente a la luz ultravioleta, mediante el empleo de materiales como poliuretano alifático o acrílicos, con el fin de mejorar su durabilidad y resistencia a la degradación por luz solar.

2.5.7 Resistencia química

Las áreas internas de estructuras destinadas al almacenamiento de agua, combustible o químicos necesitan revestimientos resistentes a estos materiales. Igualmente, las partes externas de muelles y

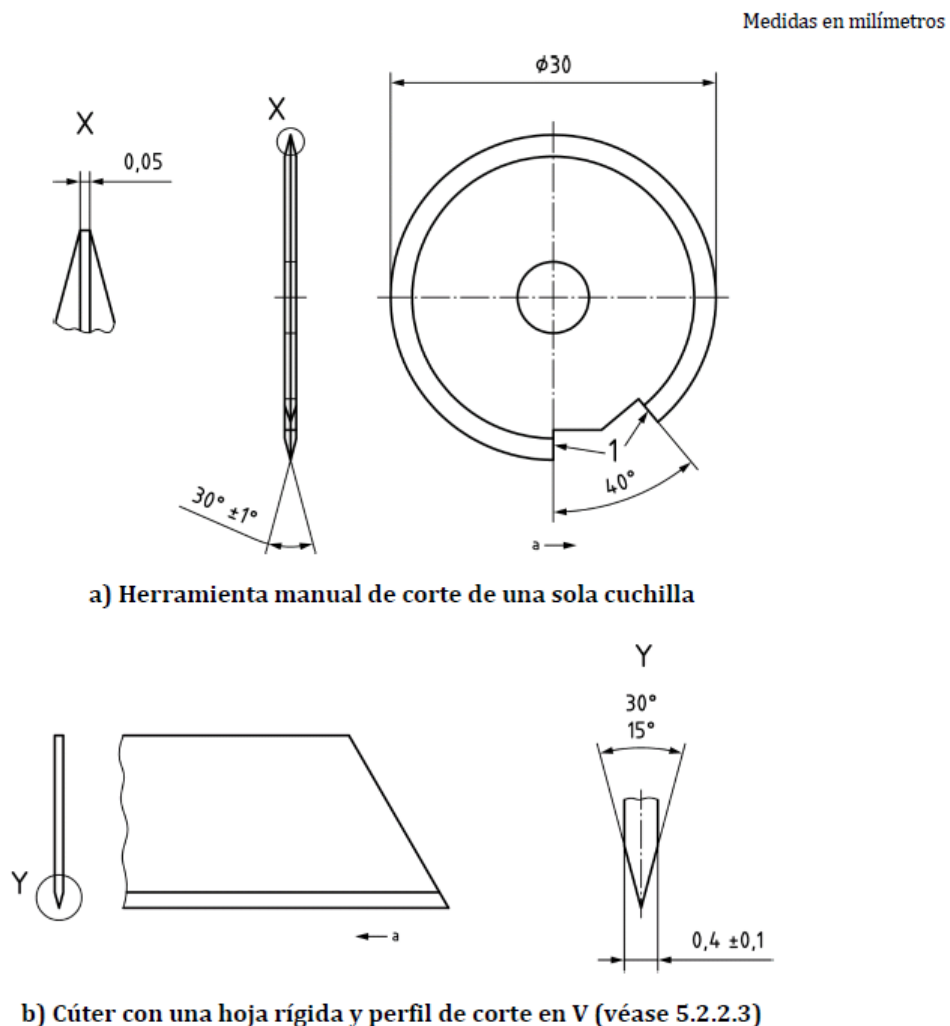
plataformas marinas, así como los cascos de los barcos, deben estar protegidas contra las duras condiciones ambientales y operativas a las que están expuestas.

2.5.8 Resistencia al crecimiento biológico

Los recubrimientos protectores para estructuras en zonas tropicales o subtropicales deben de incluir agentes antimoho para evitar el deterioro biológico: los recubrimientos de acabado en cascos de barcos y estructuras sumergidas necesitan compuestos antiincrustantes que se liberan en el mar para prevenir el anclaje y crecimiento de organismos marinos, ya que su acumulación disminuye la velocidad y maniobrabilidad del barco, aumentando el consumo del combustible. Se trabaja en desarrollar recubrimientos lisos que impidan la adhesión de estos organismos.

2.6 Corte por enrejado

El "corte por enrejado" es una técnica empleada para evaluar la adherencia de pinturas, barnices y otros recubrimientos a sus respectivas superficies. Esta prueba, también conocida como prueba de adherencia por enrejado, involucra cortar un patrón de cuadrícula en el recubrimiento y luego evaluar la capacidad del recubrimiento para permanecer adherido a la superficie después de aplicar cinta adhesiva sobre el corte y posteriormente retirarla.



Leyenda

1 Bordes cortantes

a Dirección de la incisión

NOTA Todas las dimensiones son aproximadas, excepto cuando se indican tolerancias de manera específica

Figura 2-11 Componentes de una máquina de corte por enrejado [22]

Para la realización de este ensayo se realizarán seis cortes paralelos al recubrimiento, mediante el empleo de los componentes señalados en la Figura 2-11, y luego otros seis perpendiculares tanto al recubrimiento como a los cortes anteriores, generalmente la herramienta a emplear consta de 6 cuchillas que permiten que los seis cortes en ambos sentidos sean paralelos entre sí a la distancia estipulada. En este proceso se debe garantizar que todos los cortes marquen o rayen el sustrato. Sin embargo, la profundidad de la incisión debe de ser la menor posible.

Una vez se les ha sometido a las probetas a los ensayos necesarios los resultados obtenidos de esta prueba se examinarán de manera visual con lo presentado en la Tabla 2-1, por lo que se necesitará una buena iluminación para poder sacar correctamente las conclusiones a partir de la observación.

Categoría	Descripción	Aspecto de la superficie de la zona cuadrículada con presencia de descamación ^a (Ejemplo para seis incisiones paralelas)
0	Los bordes de las incisiones son perfectamente lisos: ningún cuadrado del enrejado se ha desprendido	
1	Se observan ligeras descamaciones del recubrimiento en las intersecciones de las incisiones. El área de enrejado afectada es inferior al 5%.	
2	Se observan descamaciones del recubrimiento en los bordes y/o en las intersecciones de las incisiones. El área de enrejado afectada es superior al 5%, pero inferior al 15%.	
3	El recubrimiento se ha descamado parcial o totalmente en grandes bandas a lo largo de los bordes de las incisiones y/o se ha descamado parcial o totalmente en distintas partes de los cuadrados. El área de enrejado afectada es superior al 15%, pero inferior al 35%.	
4	El recubrimiento se ha descamado en grandes bandas a lo largo de los bordes de las incisiones y/o algunos cuadrados se han desprendido parcial o totalmente. El área de enrejado afectada es superior al 35%, pero inferior al 65%.	
5	Se observa un grado de descamación superior al de la categoría 4.	—
^a Las figuras son ejemplos para un enrejado dentro de cada categoría. Los porcentajes reflejados se basan en la impresión visual que muestran las imágenes y los mismos porcentajes no serán reproducibles necesariamente mediante imágenes digitales.		

Tabla 2-1 Clasificación de los resultados del ensayo de corte por enrejado [22]

Finalmente, con los resultados obtenidos se realizará un informe del ensayo en el que deben de incluir una serie de apartados. En el informe debe de estar toda la información necesaria para identificar el producto ensayado, una referencia a la norma ISO 2409:2020, el material, espesor y superficie del sustrato, el método de aplicación del material de recubrimiento, la duración y condiciones de secado y periodo de envejecimiento del recubrimiento antes del ensayo, el espesor de la película seca, la temperatura y la humedad relativa durante el ensayo, tipo de herramienta de corte empleada y procedimiento, forma de desprenderse de los fragmentos de pintura desprendidos, los resultados del ensayo (“pasa/no pasa”), cualquier desviación respecto al método de ensayo, cualquier aspecto inusual observado durante el ensayo y la fecha del ensayo. [22]

2.7 Dureza por ensayo de lápiz

El ensayo de dureza por lápiz es un método utilizado para determinar la resistencia de un revestimiento al rayado. Este ensayo implica el uso de lápices de diferentes durezas (representadas en la Tabla 2-2), que son presionados contra el revestimiento bajo un ángulo estandarizado y con una fuerza específica. La dureza del revestimiento se evalúa basándose en el lápiz más duro que no logra rayar la

superficie. Es un método simple, pero efectivo, para evaluar la dureza superficial de pinturas, barnices y otros recubrimientos.

9B - 8B - 7B - 6B - 5B - 4B - 3B - 2B - B - HB - F - H - 2H - 3H - 4H - 5H - 6H - 7H - 8H - 9H			
Más blando			Más duro
B - Negro	HB - Duro negro	F - Firme	H - Duro

Tabla 2-2 Clasificación de los lápices en función de su dureza [23]

En este ensayo una mina de lápiz, cuya geometría viene previamente definida, se hace deslizar sobre la superficie que previamente hemos pintado con un ángulo de 45° con una fuerza de 7,35N con un error de 0,15N. Durante este proceso incrementaremos la dureza de la mina hasta que se quede marcada con defectos visibles, siendo el resultado del ensayo la dureza superior a la que la superficie pintada no se le produzca ninguna marca.

El instrumento de ensayo, representado en la Figura 2-12, consiste en un bloque metálico con una rueda, construida de tal forma que no hagan marca sobre la superficie, a cada lado. En el medio del bloque metálico deberá existir un agujero cilíndrico con una inclinación de 45° , de tal forma que se pueda colocar el lápiz a través de él y hacer rodar el bloque comprobando si queda marca en la superficie atravesada. Por otro lado, en la parte superior del bloque metálico se pondrá un nivel, empleado para verificar que el ensayo se lleva a cabo con el instrumento en posición horizontal.

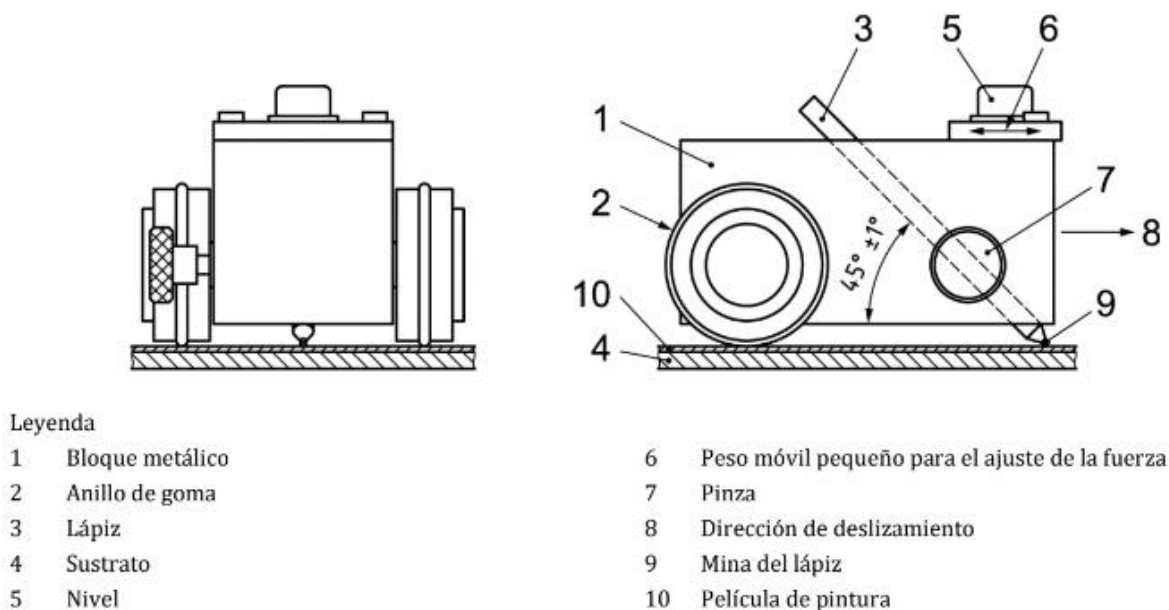


Figura 2-12 Componentes de una máquina de ensayo por dureza de lápiz [23]

Inmediatamente después de que se coloque el lápiz sobre el bloque metálico se desliza el mismo sobre las dos ruedas a una velocidad lenta, probando las durezas de lápiz de menor a mayor hasta que se quede marcado sobre la superficie. Una vez se quede marcado se hace el ensayo por duplicado para comprobar que los resultados obtenidos no tienen diferencias y en caso correcto se selecciona la dureza del lápiz más duro que no deja marca sobre la superficie pintada.

El informe del ensayo debe de contar de una información específica que debe de ser la misma en todos los ensayos realizados. En este ensayo debe de aparecer todos los datos necesarios para identificar el producto a ensayar, una referencia a la Norma ISO 15184, el material y preparación superficial del sustrato, el método de aplicación y recubrimiento sobre el sustrato, el tiempo y las condiciones de secado del recubrimiento y las condiciones de envejecimiento, el espesor en milímetros de la película seca, la temperatura y la humedad relativa del ensayo, la clase y el fabricante de los lápices utilizados, el

resultado del ensayo, la amplificación de las lupas en caso de utilizarse, cualquier variación respecto al procedimiento del ensayo especificado, cualquier aspecto inusual observada durante el ensayo y, por último, la fecha del ensayo. [23]

2.8 Cámara de niebla salina

La cámara de niebla salina, también conocida como cámara de prueba de sal o cámara de corrosión salina, es un aparato de laboratorio (como el de la Figura 2-13) el cual se utiliza con el fin de evaluar la resistencia a la corrosión de materiales y recubrimientos, véase pinturas de uso naval, en un ambiente controlado que simula condiciones adversas. Este tipo de cámaras están generalmente diseñadas para replicar el efecto corrosivo del ambiente marino, la contaminación industrial o cual ambiente donde la sal es un factor corrosivo de mayor importancia. El ensayo se realiza con la creación de niebla con una mayor concentración de sal o con un rocío salino, exponiendo el sustrato de ensayo a estas condiciones, a partir de una disolución de cloruro de sodio en agua desionizada y su pulverización dentro de la cámara a una temperatura constante.

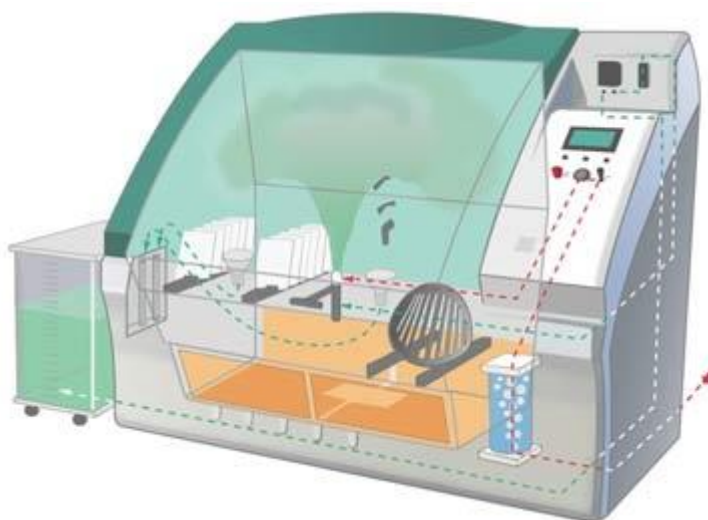


Figura 2-13 Cámara de niebla salina de uso experimental [24]

El propósito principal de las pruebas realizadas en las cámaras de niebla salina es conseguir una medida para comparar la durabilidad de diferentes materiales y recubrimiento cuando se exponen a las mismas condiciones de corrosión acelerada. Esto es espacialmente relevante en distintas industrias, destacando la construcción naval debido a la continua exposición de los materiales a emplear a condiciones similares a las empleadas en el ensayo.

Las pruebas en las cámaras de niebla salina son de gran importancia para el desarrollo de productos que requieren altos estándares de resistencia a la corrosión. Esto se debe a que gracias a los resultados obtenidos con los distintos materiales o recubrimientos permite investigar y desarrollar los adecuados para las necesidades específicas buscadas por la empresa pertinente, así como para mejorar los procesos de fabricación y tratamiento superficial para aumentar la resistencia a la corrosión de los productos.

Este tipo de cámaras siguen las normas ASTM B117 y la ISO 9227, que son los estándares más reconocidos internacionalmente para la realización de pruebas de corrosión en cámaras de niebla salina. Estas incluyen las condiciones con las que se deben de realizar los ensayos, con información como la concentración de la solución salina, la temperatura de la cámara y la duración de la exposición al rocío salino. Esto se realiza con el fin de asegurar la consistencia y reproducibilidad de los resultados entre diferentes laboratorios y pruebas.

En términos generales, el procedimiento implica crear una solución de cloruro de sodio del 5% en agua desionizada, calentar la solución a la temperatura especificada, en caso de ser necesario, y, por

último, pulverizarla dentro de la cámara donde se encuentran las muestras a investigar. Las muestras deben de colocarse en la cámara de tal forma que la niebla pueda entrar en contacto con todas las partes de la superficie de cada una de las muestras, como se ve en la Figura 2-14. Después de un periodo determinado, que puede variar en el tiempo de forma considerable en función de las necesidades del productor, se evalúa el grado de corrosión en las muestras, lo que proporciona información de gran utilidad sobre su comportamiento en condiciones similares a las encontradas en entornos naturales corrosivos.

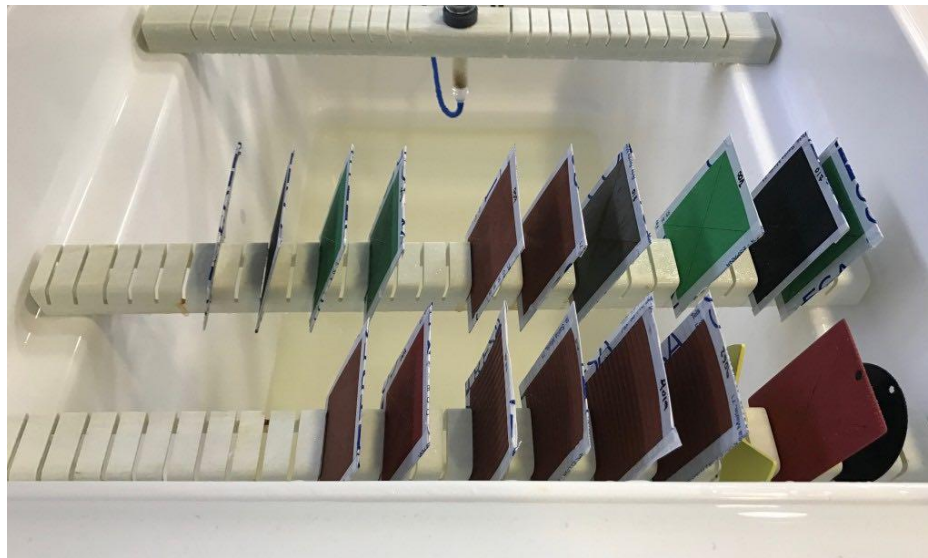


Figura 2-14 Disposición interior de una cámara de niebla salina [25]

Los resultados obtenidos de los ensayos en las cámaras de niebla salina son un componente de vital importancia en la evaluación de la idoneidad de materiales y recubrimientos para sus aplicaciones específicas, permitiendo de esta manera a los fabricantes y diseñadores hacer elecciones fundamentadas en los datos obtenidos con el fin de maximizar la vida útil y, al mismo tiempo, la fiabilidad de sus productos. [25] [26] [27]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Material

Para el desarrollo del proyecto buscamos comprobar el grado de corrosión en distintos ambientes salinos del acero S275JR recubierto de cuatro tipos de pintura diferentes. El acero S275JR es un tipo de acero estructural comúnmente utilizado en la construcción y en la ingeniería civil, conocido por su buena soldabilidad y su alta resistencia fabricado con la composición química representada en la Tabla 3-1. Pertenece a la familia de aceros de bajo carbono, lo que significa que contiene una cantidad relativamente baja de carbono, lo que facilita su moldeo y formación. La designación "S275" refiere a la resistencia mínima del material, que es de 275 megapascals, haciendo de este acero una opción preferente para estructuras que requieren una buena resistencia mecánica sin ser excesivamente pesadas.

El acero S275JR se distingue también por su versatilidad, siendo apto para gran cantidad de aplicaciones como puentes, estructuras de soporte, componentes de máquinas entre otros. La terminación "JR" indica que el material ha sido sometido a ensayos de resistencia al impacto a una temperatura mayor de grados centígrados, asegurando así su durabilidad y fiabilidad en condiciones climáticas variadas. Esta combinación de características hace al S275JR un material fundamental en proyectos de construcción y manufactura, ofreciendo un equilibrio óptimo entre resistencia, maleabilidad y coste. [29] [30]

C	Si	Mn	P	S
0,18	0,03	1,5	<0,035	<0,035

Tabla 3-1 Composición química (% en masa) del acero S275JR [18]

Para este ensayo se seleccionaron dieciséis probetas distintas, como la de la Figura 3-1Figura 3-1, del mismo acero con las mismas especificaciones técnicas, con unas dimensiones de 15 x 7,5 centímetros, para así disponer de cuatro probetas distintas para cada una de las cuatro pinturas diferentes.



Figura 3-1 Modelo placa empleada (elaboración propia)

3.2 Pinturas marinas para emplear

En el desarrollo del proyecto se han empleado cuatro pinturas diferentes para someterlas a una serie de ensayos en distintos ambientes. De estas cuatro pinturas hay dos que han sido seleccionadas debido a sus características antifouling y otras dos de las que ya disponemos de conocimiento sobre su comportamiento gracias a trabajos anteriores.

3.2.1 *Hempel ecopower prop*

Hempel Ecopower Prop, representada en la Figura 3-3, es un spray antifouling de biocida libre que está diseñado específicamente para aplicarse en hélices y unidades de propulsión, aunque en el desarrollo de este trabajo lo haremos sobre placas metálicas genéricas simulando que son una superficie del casco al igual que haremos con el resto de las pinturas que se emplearán en el desarrollo del proyecto.

Este producto destaca por su gran capacidad para impedir que el fouling se adhiera de forma completa a las superficies tratadas, haciendo que sea más fácil su eliminación durante la limpieza. Una de las características más innovadoras que podemos contemplar de Ecopower Prop es su tecnología avanzada de aglutinante, que regula el efecto de autorrenovación a lo largo del tiempo sin que sea necesario acumular más capas de pintura sobre la misma.

Esta pintura está disponible en latas de espay de 500ml en colores negro y gris, siendo el negro el color que emplearemos en el transcurso del trabajo, y está diseñado para ser amigable con el medioambiente gracias a su composición, como se ha mencionado anteriormente, libre de biocidas. El espesor medio de la pintura sobre las placas metálicas se obtiene mediante el empleo de un medidor de espesor de la Figura 3-2, obteniendo un valor de 160 micrómetros al realizar una única pasada con el espay.



Figura 3-2 Medidor de espesores (elaboración propia)

Para la preparación y aplicación de este tipo de pintura La empresa Hempel recomienda que nos aseguremos de que todas las superficies estén limpias, libres de aceite y secas antes de aplicar el producto. La limpieza de la superficie debe realizarse con el detergente adecuado o con alcohol impregnado en un algodón sanitizado y después lijarla con papel abrasivo fresco, eliminando después de forma cuidadosa el polvo desprendido con agua fresca.

Este producto se presenta como una solución efectiva para la protección antifouling de componentes marinos expuestos de forma constante al agua, dándonos una alternativa ecológica a las opciones basadas en biocidas. Su facilidad de aplicación y mantenimiento hace que sea una opción popular entre los



Figura 3-3 Pintura Hempel Ecopower Prop [30]

propietarios de embarcaciones que buscan proteger sus sistemas de propulsión expuestos al medio

marino de la acumulación de organismos sin comprometer la salud de los ecosistemas acuáticos. [31][32]

3.2.2 *Imnasa Marine Print*

La pintura Imnasa Marine Print, presentada en la Figura 3-4, está diseñada para combatir el fouling, que es la acumulación no deseada de organismos acuáticos en el casco de los barcos. Estos organismos, que incluyen algas o moluscos, pueden causar una resistencia adicional en el agua, reduciendo la velocidad del barco y aumentando el consumo de combustible. Las pinturas antifouling contienen compuestos biocidas, como el óxido de cobre, que previenen el crecimiento biológico al ser tóxicos para estos organismos. Además, la propiedad autopolimentable de la pintura asegura una liberación controlada de estos compuestos, manteniendo la efectividad de la pintura a lo largo del tiempo sin necesidad de una aplicación frecuente.

La aplicación de esta pintura requiere métodos profesionales para garantizar una cobertura efectiva y uniforme. El proceso comienza con una preparación cuidadosa del casco, que debe estar limpio y libre de grasa antes de aplicar la pintura. El espesor medio de la pintura sobre las placas metálicas se obtienen mediante el empleo de un medidor de espesor, obteniendo un valor de 154 micrómetros al realizar una única pasada con el espay. Las instrucciones del producto especifican la necesidad de aplicar varias capas delgadas, permitiendo que cada una seque adecuadamente para formar una barrera sólida contra el fouling. Esta meticulosidad en la aplicación no solo mejora la durabilidad de la pintura, sino que también optimiza su rendimiento, ofreciendo una protección prolongada que puede variar de meses a años, dependiendo de las condiciones marinas a las que se exponga la embarcación. [33]



Figura 3-4 Imnasa Marine Print [32]

3.2.3 *Pintura de acabado acrílico poliéster de color rojo*

Esta pintura de uso naval está especialmente diseñada para ofrecer una protección eficaz contra los elementos, manteniendo sus propiedades estéticas y estructurales en condiciones adversas, lo que la hace ideal para el recubrimiento de embarcaciones y estructuras marinas donde la resistencia a la corrosión, la durabilidad y el aspecto estético son de suma importancia. Este es un recubrimiento de acabado

acrílico-poliéster de color rojo, con un espesor total de 187 micrómetros. Esta pintura está compuesta por una mezcla de resinas acrílicas, alquídicas y poliéster, todas diluidas al 40%, pigmentos colorantes y aditivos específicos, disueltos en un solvente aromático. La composición detallada y las características de cada componente juegan un papel crucial en las propiedades finales del recubrimiento, especialmente diseñado para ofrecer resistencia, durabilidad y estética en entornos marinos.

La resina acrílica diluida al 40%, que constituye el 32,32% de la mezcla, proporciona una excelente resistencia a la degradación por la luz UV y condiciones climáticas adversas, lo que es esencial para mantener el color y el brillo de la pintura en aplicaciones marinas. Además, esta resina ofrece una buena adhesión a diversos sustratos y flexibilidad, lo que reduce el riesgo de fisuración y descascarillado. Luego, la resina alquídica diluida al 40%, representando el 23,70% de la composición, aporta durabilidad y resistencia a la corrosión, así como una excelente adherencia y propiedades de secado rápido. Esta resina mejora la resistencia química del recubrimiento, crucial para proteger las superficies contra los efectos corrosivos del agua salada y la atmósfera marina. [34] [35]

Por otro lado, la resina poliéster diluida al 40%, que es el 8,62% de la fórmula, incrementa la dureza del recubrimiento y su resistencia a los solventes y productos químicos. Esta resina contribuye a la formación de una superficie sólida y duradera, capaz de soportar el desgaste mecánico y la abrasión típica en el entorno naval. El pigmento colorante constituye el 4,87% de la mezcla, proporcionando el distintivo color rojo de la pintura. Este pigmento no solo ofrece estética, sino que también puede contribuir a la reflectividad y a la absorción de radiación UV, dependiendo de su composición. [36] [37]

Los aditivos, que representan el 3,92%, incluyen una variedad de sustancias diseñadas para mejorar el rendimiento de la pintura, como agentes antisedimentación, secantes, y estabilizadores de la luz UV. Estos aditivos son esenciales para garantizar la calidad y la vida útil del recubrimiento aplicado. Finalmente, el disolvente aromático, que constituye el 26,57% de la formulación, juega un papel clave en la aplicación de la pintura, asegurando una viscosidad adecuada para una aplicación uniforme y facilitando el secado al evaporarse después de la aplicación. [38] [39]

3.2.4 Pintura de acabado oleorresinoso de color blanco

La pintura de acabado oleorresinoso de color blanco es un recubrimiento de alta calidad diseñado para aplicaciones en entornos marinos. Con un espesor total de 145 micrómetros, esta pintura se compone principalmente de resina fenólica modificada, aceite secante modificado, pigmento de dióxido de titanio (TiO₂), aditivos específicos y disolventes. La selección y proporción de estos componentes son clave para brindar a la pintura sus características distintivas de durabilidad, resistencia y acabado estético, especialmente en condiciones adversas encontradas en el ámbito naval.

Resina fenólica modificada (34,40%) es un componente fundamental para la formulación de la pintura, ya que proporciona una excelente resistencia química y a la humedad, características indispensables en el entorno marino. Las resinas fenólicas modificadas son conocidas por su dureza y por formar películas de recubrimiento con buena adherencia y resistencia a la corrosión. Además, mejoran la estabilidad del recubrimiento frente a condiciones climáticas severas y a la exposición a diferentes agentes químicos. [40]

Los aceites secantes modificados (12,00%) son aceites vegetales tratados para mejorar su capacidad de secado al aire. Estos aceites reaccionan con el oxígeno del aire para endurecerse, contribuyendo a la formación de una película de pintura flexible y resistente. La inclusión de aceite secante modificado en la pintura mejora la trabajabilidad y la flexibilidad del recubrimiento, lo cual es esencial para prevenir el agrietamiento y el descascarillado bajo las condiciones de flexión y expansión que a menudo experimentan las superficies en entornos marinos. [41]

Pigmento TiO₂ (27,70%) es un pigmento blanco de alta opacidad y excelente poder cubriente, lo que permite alcanzar el color blanco intenso deseado con menor cantidad de material. Además, el dióxido de titanio es muy resistente a la degradación por luz ultravioleta, lo que contribuye

significativamente a la durabilidad del acabado y al mantenimiento del color y brillo a lo largo del tiempo, incluso bajo exposición directa a la luz solar en entornos marítimos. [42]

Los aditivos (3,20%) incluidos en la pintura cumplen funciones específicas, como mejorar la estabilidad de la mezcla, optimizar las propiedades de flujo y nivelación durante la aplicación, y proteger la película de pintura de la degradación ultravioleta y de otros factores ambientales. También pueden incluir agentes antiespumantes y fungicidas para prevenir problemas durante la aplicación y la vida útil del recubrimiento. [38]

Los disolventes (22,70%) facilitan la aplicación de la pintura, ajustando la viscosidad para permitir una aplicación uniforme y eficiente. Al evaporarse después de la aplicación, dejan tras de sí la película de pintura formada. La selección de disolventes asegura que la pintura pueda ser aplicada mediante diferentes técnicas, como brocha, rodillo o pistola, y que el tiempo de secado sea adecuado para las necesidades de la industria naval. [39]

Esta pintura oleorresinosa está especialmente formulada para ofrecer un alto rendimiento en la protección y el acabado estético de superficies expuestas a las condiciones marinas. Su composición la hace ideal para aplicaciones donde se requiere resistencia a la corrosión, durabilidad del acabado, y un alto grado de protección contra la degradación ambiental, haciendo de ella una opción preferente para el mantenimiento y la preservación de embarcaciones y estructuras marina

3.3 Preparación de la solución salina

El objetivo de este trabajo es analizar la corrosión acelerada sufrida por el acero recubierto de una pintura de uso naval, por lo que para el desarrollo de este es necesaria la creación de una solución salina que nos permita llevar a cabo la parte experimental del trabajo. Esta solución salina está compuesta por un 5% de cloruro sódico (NaCl) lo que implica disolver sal, en este caso a temperatura ambiente, en agua hasta alcanzar una concentración del 5% en peso/volumen. Para preparar esta solución a temperatura ambiente, inicialmente se mide la cantidad precisa de cloruro sódico que necesitamos, que sería de 5 gramos de sal por cada 100 mililitros de agua, asegurando así la concentración deseada. Luego, se vierte el agua en un recipiente adecuado, en este caso es de vidrio, pero puede ser de cualquier material resistente a la corrosión, y se añade lentamente la sal mientras se procede a la siguiente etapa del proceso que implica la utilización de un agitador magnético como el de la Figura 3-5.



Figura 3-5 Agitador magnético (elaboración propia)

El uso del agitador magnético es crucial para conseguir una mezcla homogénea y eficiente de la sal en el agua. Al colocar el recipiente sobre la plataforma del agitador y utilizando una barra magnética dentro del líquido, el dispositivo genera un campo magnético rotativo que mueve la barra a través del

líquido, facilitando la disolución completa del cloruro sódico. Este método no solo es efectivo sino también práctico, ya que minimiza la intervención de un individuo y asegura una mezcla uniforme sin la necesidad de agitación mecánica directa. Al mantener la solución a temperatura ambiente y con el agitador funcionando a una velocidad adecuada, se obtiene una solución salina al 5% perfectamente disuelta, lista para su uso en aplicaciones que van desde experimentos de laboratorio, que es para la que lo vamos a emplear, hasta soluciones médicas. [43]

3.4 Pintado de las muestras del material

En esta parte del proyecto se procede a pintar las dieciséis placas que se van a emplear en los diferentes ensayos, pintando con cada una de las cuatro pinturas cuatro placas metálicas siguiendo la norma europea UNE EN ISO 12944. En este proceso se parte con que las placas recubiertas con la pintura de acabado acrílico de poliéster de color rojo y la pintura de acabado oleorresionoso de color blanco ya están pintadas, por lo que se procede a pintar las placas en dos grupos de cuatro mediante el empleo de la pintura Hempel Ecopower Prop e Imnasa Marine print.

Antes del pintado de las placas que quedan, para la preparación y aplicación de este tipo de pintura, se debe asegurar de que todas las superficies estén limpias, libres de aceite y secas antes de aplicar el producto. La limpieza de la superficie se realiza con alcohol impregnado en un algodón sanitizado y después se lija con papel abrasivo fresco para favorecer el anclaje de la pintura, eliminándose después de forma cuidadosa el polvo desprendido con agua fresca. Una vez están limpias cada una de las placas se ponen ordenadas en una mesa, poniendo una bolsa de basura bajo ellas con el objetivo de evitar que las pinturas empleadas dañen la mesa. En esta parte del pintado, al contener las pinturas sustancias nocivas, el encargado de pintarlas debe alistarse con el equipo de protección individual necesario, que en este caso consta de una mascarilla y unos guantes de plástico.

Debido a que estas pinturas son mediante spray se presiona la boquilla superior de cada uno de los botes que contienen la pintura de tal forma que se recubre una única cara de la placa de forma uniforme y en la misma dirección durante todo el proceso de pintado, consiguiendo que el espesor de pintura sobre toda la superficie pintada sea constante y sin que quede ningún claro sobre la misma. Finalmente, una vez se han pintado las placas metálicas necesarias se deja secar la pintura durante dos días completos, que a su finalización permitiría ya el comienzo de los distintos ensayos que se desarrollan a lo largo del trabajo.

3.5 Cámara de niebla

Una cámara de niebla salina es un dispositivo utilizado en laboratorios de pruebas para evaluar la resistencia a la corrosión de materiales y recubrimientos sometiéndolos a un ambiente altamente corrosivo. Este equipo simula las condiciones agresivas a las que pueden estar expuestos los materiales en diferentes ambientes, especialmente aquellos ambientes que contienen altas concentraciones de sal, como zonas costeras o carreteras tratadas con sal durante el invierno. La cámara genera una niebla o bruma salina a partir de una solución de agua salada, siendo esta normalmente cloruro de sodio, manteniendo una atmósfera saturada que acelera el proceso de corrosión en los materiales expuestos.

Los ensayos en cámara de niebla salina son procedimientos estandarizados que se llevan a cabo para determinar la durabilidad y la eficacia de protecciones contra la corrosión, como pinturas, revestimientos galvánicos, o tratamientos anticorrosivos aplicados a metales. Estos ensayos se rigen por normativas internacionales, como la ASTM B117, que especifican las condiciones del ensayo, incluyendo la concentración de la solución salina, la temperatura y la duración de la exposición. A través de estos ensayos, es posible identificar la aparición de signos de corrosión, como óxido, picaduras o cambios en las propiedades físicas del material, lo que permite evaluar el rendimiento de los recubrimientos y tratamientos bajo condiciones extremas. Esta información es crucial para el desarrollo de materiales y

recubrimientos más resistentes a la corrosión, mejorando así la vida útil y la seguridad de estructuras y componentes en diversas aplicaciones industriales y de ingeniería. [25] [27] [28]

Para el desarrollo del trabajo tuvimos que construir una cámara de niebla, que se puede observar en la Figura 3-6, a partir de los materiales existentes en el laboratorio y algún complemento comprado en negocios locales. Esta cámara de niebla salina artesanal consta de un envase de plástico con una tapa inviolable como recipiente principal, una barra metálica para sostener las placas, un pequeño generador de niebla, un higrómetro para medir la humedad relativa en el interior del envase y plastilina para establecer la estanqueidad.



Figura 3-6 Cámara de niebla salina empleada (elaboración propia)

En la construcción de la cámara de niebla salina utilizamos en el envase como parte principal, conteniendo en su interior el resto de los utensilios empleados. Este envase era completamente estanco, lo que impedía que las placas de acero pintadas se encuentren solo en contacto con la niebla y no con la solución salina ya que no se disponía de forma alguna de ponerla de tal forma. Por esta razón se obtuvo una barra metálica que pudiese sostener las placas, gracias a que estas disponían de un agujero en su parte superior de tamaño ligeramente superior a la barra, en una zona fuera de contacto de la solución salina. Esta barra se introdujo en el envase mediante la realización de dos agujeros opuestos en la parte superior del envase, pero estos no fueron los únicos agujeros que se realizaron ya que también se hicieron uno, en la parte media del envase, para poder sacar el cable que conecta al enchufe al generador de niebla y otro, en la tapa del envase, para poder introducir el higrómetro. Sin embargo, la realización de estos cuatro agujeros supuso un problema para la estanqueidad del envase, por lo que se decidió utilizar plastilina como método de taponamiento para evitar la salida de la niebla y por ende el fracaso del experimento.

3.6 Ensayo en cámara de niebla

Una vez construida la cámara de niebla, expuesta en la Figura 3-7, salina se vierte sobre ella una cantidad de solución salina determinada, hasta el punto de que sobrepase ligeramente la superficie superior del evaporador para que así pueda funcionar. Una vez cubierto completamente el evaporador este procede a crear una niebla que lentamente empieza a cubrir toda la cámara hasta que finalmente se llena entera de niebla. En este punto la humedad relativa es del 99% y es cuando empieza a hacer efecto sobre los recubrimientos, llegando al cabo de los días al punto de generar corrosión sobre los mismos.

El proceso de vaporización de la cámara con la solución salina continua constantemente durante el periodo de diez días, momento en el que se sacan las placas y se realiza una serie de ensayos expuestos a continuación para observar la corrosión y características estructurales que presentan las distintas placas, y sus respectivos recubrimientos, tras un periodo de diez días inmersos en una niebla salina.

Una vez se han sacado las placas de la cámara y se realizan los ensayos pertinentes se procede a limpiar de forma exhaustiva y rigurosa de la cámara empleada durante estos días, debido a que se va a reutilizar para continuar con el desarrollo del proyecto. Una vez está limpia la cámara se llena de nuevo, pero esta vez en lugar de la solución salina empleada en el ensayo anterior se llena de agua desionizada, la cual no contiene cloruro de sodio. Este ensayo se realiza para observar de una forma más clara y concisa el efecto de la sal a la hora de corroer un material, presuponiendo que la corrosión presentada en las mismas condiciones durante un periodo de tiempo igual será menor.

Cuando se vierte el agua desionizada necesaria para la realización del experimento se colocan las placas con la misma disposición que se hizo en los pasos previos, colgadas de una barra metálica por su agujero superior y la barra sustentada sobre la cámara mediante el apoyo de ambos extremos en los agujeros, con disposición opuesta, presentados en la parte superior de la cámara. Una vez está colocado se vuelve a conectar el vaporizador creando la niebla y quedándose encendido durante el periodo de diez días que estuvieron las otras placas con la niebla producida a partir de la solución salina.

Al igual que en el proceso anterior, a los diez días se desconecta el vaporizador y se dispone a sacar las placas. Una vez las placas están secas se procede a realizar el ensayo de dureza mediante el lápiz y se observa la corrosión que presenta cada placa, todo esto se hará de igual manera que en el caso previo para poder comparar cada pintura con sus iguales y poder sacar conclusiones precisas sobre el efecto de la sal a la hora de desgastar los materiales empleados en el ámbito marítimo y sus respectivas pinturas.

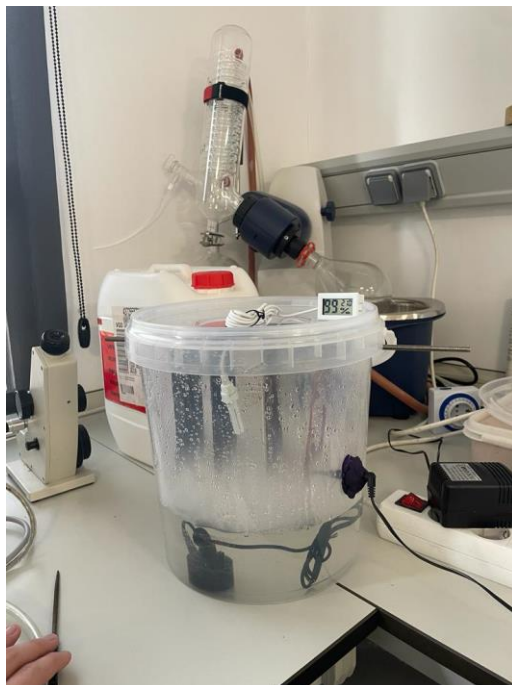


Figura 3-7 Cámara de niebla salina en funcionamiento (elaboración propia)

3.7 Ensayo en inmersión

Este ensayo de inmersión de placas con pintura de uso naval, tanto en solución salina como con agua desionizada, es una prueba crítica diseñada para evaluar la resistencia de las pinturas y recubrimientos utilizados en la industria naval frente a diferentes ambientes acuosos. Esta prueba simula las condiciones a las que están expuestos los barcos y otras estructuras marinas, permitiendo de esta forma evaluar la durabilidad, eficacia en la prevención de la corrosión y la adherencia de la pintura bajo condiciones variadas de inmersión.

El procedimiento comienza al sumergir las placas, pintadas previamente, en un recipiente, que en este caso es el de la Figura 3-8, con una solución salina con una concentración de cloruro de sodio del 5%, que hasta en un punto y medio superior a la que se encuentra de media en los océanos. En este proceso, con el objetivo de que las placas no se queden sobre la superficie del recipiente empleado para la inmersión, se le une a un corcho cuya densidad permite que flote sobre la superficie de la solución (como se presenta en la Figura 3-8). La inmersión, al igual que los ensayos en la cámara, se realizan durante un periodo de diez días, momento en el que se sacan las placas y se espera a que se sequen para realizar las mismas pruebas que se hacen a las placas sometidas a la niebla.



Figura 3-8 Dispositivo de inmersión empleado (elaboración propia)

Una vez se sacan las placas metálicas de la solución salina se procede a una profunda limpieza del recipiente de inmersión para así poder comenzar con la inmersión en agua desionizada. En este proceso primero se llena el recipiente de agua desionizada hasta prácticamente alcanzar la parte superior del recipiente, momento en el que se introducen las nuevas placas, cada una con condiciones iguales que cada una de las pinturas empleadas en el proceso anterior, con la misma disposición que se empleó en la inmersión en la solución salina. Estas placas están en inmersión durante el periodo de diez días, igual que todos los procesos anteriores, momento en el que se sacan, se secan y se realizan los ensayos pertinentes sobre las mismas.

Durante el ensayo, se monitorean varios parámetros como la adherencia de la pintura al sustrato, la resistencia a la corrosión y la capacidad para prevenir el crecimiento de organismos marinos sobre la superficie pintada. La comparación entre los resultados obtenidos en agua desionizada y en solución salina permite identificar cómo afecta la presencia de sales a la efectividad de la pintura. Este tipo de ensayos es esencial para el desarrollo y la selección de recubrimientos marinos que ofrezcan protección duradera en condiciones marinas agresivas, contribuyendo a la conservación de la integridad estructural y la eficiencia operativa de las embarcaciones y estructuras expuestas al ambiente marino.

3.8 Ensayo de dureza por lápiz

En la siguiente parte del desarrollo se lleva a cabo un ensayo de dureza por lápiz en las distintas placas metálicas, siendo este un ensayo de caracterización de las pinturas. El propósito de este ensayo es determinar la resistencia de la superficie de estas placas a la dureza del lápiz después de ser sometidas a condiciones ambientales adversas.

Para iniciar, se dividen las placas en cuatro grupos de cuatro. Las primeras cuatro placas son expuestas a un ensayo de cámara de niebla salina. Este proceso implica colocar las placas en una cámara donde se libera una niebla salina para simular las condiciones corrosivas a las que podrían estar expuestas en ambientes marinos o costeros. Este tratamiento pretende acelerar el proceso de corrosión y evaluar cómo afecta a la adherencia y la dureza de las pinturas aplicadas.

Después de completar el ensayo de niebla salina, se procede con el segundo grupo de cuatro placas, sometiéndolas a un ensayo de inmersión salina. En este caso, las placas se sumergen directamente en una solución salina para simular condiciones de inmersión o exposición prolongada a ambientes salinos. Este ensayo ayuda a comprender cómo la exposición continua al agua salada puede afectar la integridad de la pintura y la superficie metálica.

Una vez finalizados ambos ensayos, inicio la evaluación de la dureza de las pinturas en las superficies metálicas utilizando el método de dureza por lápiz. Este método consiste en rayar la superficie con lápices de diferentes durezas, comenzando con el más blando y avanzando hacia los más duros, hasta encontrar el lápiz que logra rayar la pintura. La dureza del lápiz que logra rayar la superficie indica la resistencia de la pintura.

Sin embargo, al realizar el ensayo, se encuentra que todas las superficies de las placas son más blandas que el lápiz más blando disponible en el conjunto de herramientas. Este resultado significa que no se puede determinar una medida precisa de dureza para las pinturas en ninguna de las placas, ya que incluso el lápiz más suave logra marcar la superficie. Esta falta de resistencia al rayado indica que las condiciones de exposición a la niebla y la inmersión salinas han deteriorado significativamente la dureza de las pinturas, o que las pinturas seleccionadas para el estudio tienen intrínsecamente una baja dureza.

Al sacar las placas del ensayo de cámara de niebla salina y de inmersión salina procedemos a realizar el mismo proceso que el anterior, pero esta vez la niebla será a base de agua desionizada y la inmersión igual. Una vez pasa el tiempo establecido para ambos ensayos, que es de diez días al igual que el resto de los ensayos, se procede a sacar las placas, secarlas y realizar el ensayo de dureza por lápiz, representado en la Figura 3-9, de la misma forma que se realizó anteriormente. Obteniendo el mismo resultado no concluyente que en los casos anteriores, cosa que pasa al dejar marca sobre la pintura el lápiz más blando disponible.



Figura 3-9 Realización de ensayo de dureza por lápiz (elaboración propia)

3.9 Observación microscópica del corte enrejado

El proceso de observación de las dieciséis placas pintadas comienza con la preparación de estas, utilizando cuatro tipos distintos de pinturas. Cada conjunto de cuatro placas es sometido a diferentes condiciones ambientales: niebla salina, inmersión salina, niebla a partir de agua desionizada, e inmersión en agua desionizada. Antes de exponer las placas a estas condiciones, se realiza un corte enrejado sobre superficie de cada una. Este corte se realiza tal y como viene señalado en la sección 2.6. A esto le sigue una observación detallada con un MicroBrite Plus 60x-120x LED Lighted Pocket Microscope, como el de la Figura 3-10. Este proceso se realiza tanto antes como después de los ensayos para evaluar el impacto de las condiciones en la adherencia y la integridad de las pinturas.



Figura 3-10 Microscopio Microbrite Plus 60x-120x LED Lighted Pocket [44]

Inicialmente, en cada una de las placas pintadas, se realiza un corte enrejado, mediante el uso del utensilio de la Figura 3-11. Este corte consiste en hacer una serie de incisiones perpendiculares entre sí mediante el empleo de un aparato destinado a este uso, formando una cuadrícula. Este método es crucial para evaluar la adherencia de la pintura a la superficie metálica. Para realizar los cortes, se utiliza un instrumento afilado que consta de seis puntas en una misma línea, garantizando que las incisiones sean uniformes y profundas, sin llegar a dañar el metal subyacente. Este procedimiento requiere de precisión para asegurar que el patrón de cuadrícula sea consistente en todas las placas.



(a)



(b)

Figura 3-11 Utensilio para corte enrejado (a) de frente y (b) de lado (elaboración propia)

Antes de someter las placas a las diferentes condiciones ambientales, se observan bajo el MicroBrite Plus 60x-120x LED Lighted Pocket Microscope. Esta observación inicial permite documentar el estado de la superficie pintada y la calidad de los cortes enrejados. Se examina la uniformidad de la pintura, la presencia de burbujas, grietas o cualquier otro defecto. Esta etapa es fundamental para tener un punto de comparación después de las pruebas.

Después de someter las placas a las respectivas condiciones, se repite la observación bajo el microscopio. Este paso es crítico para evaluar los cambios en la superficie pintada, la integridad de los cortes enrejados y la adherencia de la pintura. Se presta especial atención a la aparición de grietas, descamación, oxidación bajo la pintura, y cualquier otro signo de deterioro. La comparación directa con las observaciones previas permite determinar el impacto de cada condición ambiental en las diferentes pinturas. Este método meticuloso de observación y comparación proporciona datos valiosos sobre la resistencia y durabilidad de las pinturas frente a diversas condiciones, permitiendo identificar aquellas que ofrecen la mejor protección para aplicaciones específicas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Construcción cámara de niebla

La construcción de una cámara de niebla salina a partir de materiales de bajo coste, expuestos en la Tabla 4-1, en comparación con las cámaras de niebla comerciales cuyo precio mínimo es de 3500 euros. En este proceso se sigue en todo momento la norma europea UNE EN ISO 9227 del año 2012, en un proceso que aprovecha recursos accesibles para crear un entorno controlado necesario para la realización de ensayos en pinturas de uso naval. El proceso comienza con la selección de un envase de plástico cilíndrico, que sirve como estructura principal de la cámara. Este envase es modificado mediante la realización de dos agujeros opuestos en su parte superior, por los cuales se introduce una varilla metálica. Esta varilla actúa como soporte para las placas que serán sometidas a los ensayos, permitiendo su exposición uniforme a la niebla salina generada dentro de la cámara.

Para la generación de la niebla, se emplea un evaporador específico que crea las condiciones de humedad necesarias para simular el ambiente salino. Este elemento esencial se conecta a una fuente de energía a través de un cable, que se introduce en la cámara por un agujero realizado en la parte inferior del envase, permitiendo así la operación continua del evaporador sin comprometer el ambiente sellado de la cámara. Además, se realiza otro agujero en la tapa superior del envase para introducir el sensor de un higrómetro, herramienta clave para monitorear y ajustar la humedad dentro de la cámara a los niveles deseados durante los ensayos.

Finalmente, para asegurar la integridad del ambiente controlado dentro de la cámara y evitar fugas de niebla o entradas no deseadas de aire, se utiliza plastilina para sellar los pequeños espacios alrededor de los agujeros por donde pasan los cables y el sensor del higrómetro. Este detalle asegura que las condiciones internas se mantengan estables y precisas según los requerimientos de los ensayos. Para poner en funcionamiento la cámara, se vierte en su interior la solución que se desea evaporar, completando así el montaje de una herramienta efectiva y de bajo coste para el estudio de la degradación de pinturas bajo condiciones de niebla salina.

Producto	Precio (Euros)
Envase cilíndrico	10
Vaporizador	12
Higrómetro	6,99
Barra	2
Plastilina	1,55
Total	32,54

Tabla 4-1 Precio cámara de niebla empleada (elaboración propia)

4.2 Resultados de la cámara de niebla salina

Después de someter cuatro placas metálicas, cada una pintada con una pintura marina diferente, a un ensayo de diez días de cámara de niebla salina, se obtienen resultados que revelan el comportamiento y la resistencia de cada tipo de pintura bajo condiciones extremas de corrosión. Este ensayo simula la exposición prolongada a ambientes marinos, donde la salinidad elevada es algo crítico que puede acelerar la degradación de materiales y recubrimientos. Al final del periodo de prueba, se observa que las placas muestran distintos grados de deterioro, lo que refleja la variabilidad en la eficacia de las pinturas marinas utilizadas. A la hora de la observación microscópica nos vamos a referir a la Tabla 2-1 sobre la clasificación de los resultados del ensayo de corte por enrejado para categorizar la corrosión que presenta cada uno de los cortes.



Figura 4-1 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en niebla salina (elaboración propia)

La placa de la Figura 4-1 revela un desempeño intermedio, con algunas áreas de ampollas e incluso desprendimiento de pintura, pero en una extensión poco significativa. Esto sugiere que la pintura ofrece una protección moderada contra la corrosión salina, posiblemente debido a una formulación equilibrada que resiste mejor la penetración de sal pero que aún es susceptible bajo condiciones extremas.

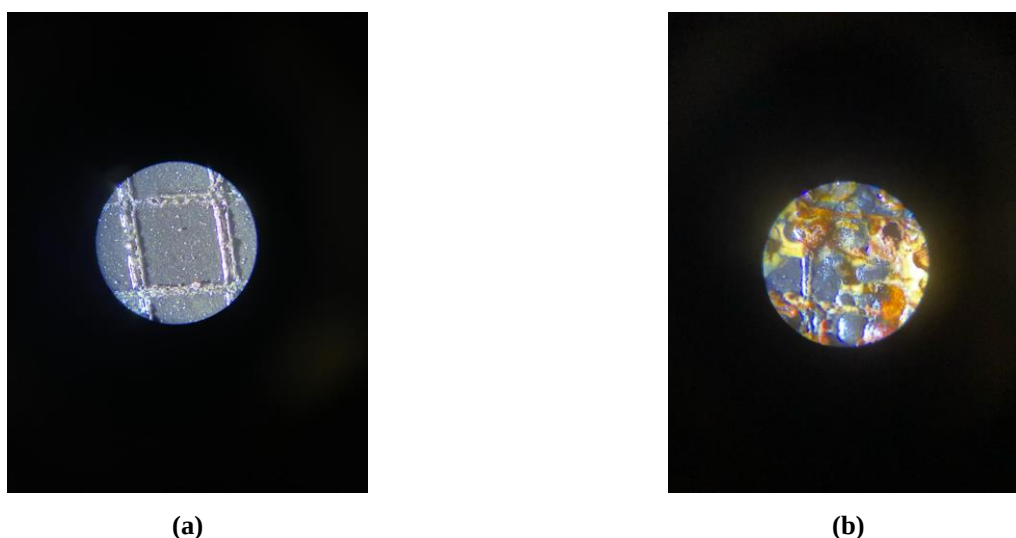


Figura 4-2 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en niebla salina (elaboración propia)

El corte de la Figura 4-2 presenta un daño significativo y se clasifica en la cuarta categoría de evaluación de corte enrejado, donde la descamación del recubrimiento es extensa a lo largo de los bordes de las incisiones y algunos cuadrados se han desprendido parcial o totalmente. La superficie afectada es superior al 35% pero inferior al 65%. Esto implica que la pintura o el recubrimiento en esta sección ha fallado en proteger la superficie metálica de manera considerable ante la exposición a la niebla salina, que simula condiciones corrosivas similares a las encontradas en ambientes marinos.



Figura 4-3 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en niebla salina (elaboración propia)

La pintura de la Figura 4-3 presenta signos significativos de desgaste, incluyendo ampollas y desprendimiento en varias áreas. Este deterioro indica que la pintura utilizada tiene una baja resistencia a la corrosión inducida por la sal, lo que sugiere una formulación o una aplicación inadecuada para ambientes de alta salinidad.

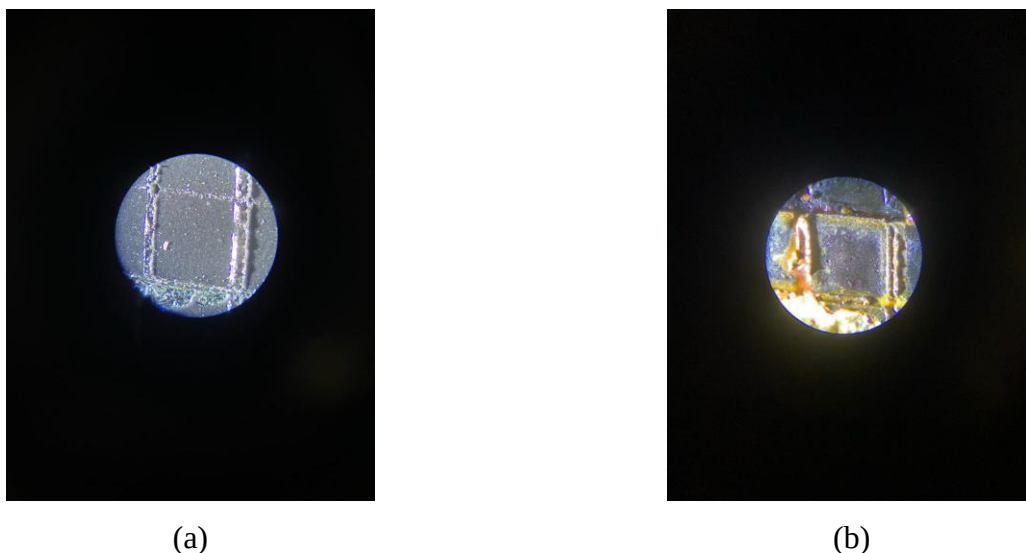


Figura 4-4 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en niebla salina (elaboración propia)

En el corte de la Figura 4-4 el recubrimiento se ha desprendido parcial o totalmente en grandes bandas a lo largo de los bordes de las incisiones y en distintas partes de los cuadros, clasificándose en la tercera categoría de corte enrejado. La cantidad de área afectada supera el 15% pero es inferior al 35%.

Aunque no tan grave como en la categoría cuatro, el recubrimiento aquí también muestra una inadecuada resistencia a las condiciones simuladas de corrosión.



Figura 4-5 (a) Antes y (b) después pintura roja en niebla salina (elaboración propia)

La pintura de la Figura 4-5 demuestra ser la más resistente a la corrosión salina en un ambiente de niebla, con escasos signos visibles de deterioro sometiéndola a un ambiente tan extremo. La ausencia de ampollas, desprendimiento u oxidación nos hace ver que la pintura utilizada en esta placa es altamente efectiva contra la corrosión inducida por la sal, lo que la hace ideal para aplicaciones en entornos marinos severos.

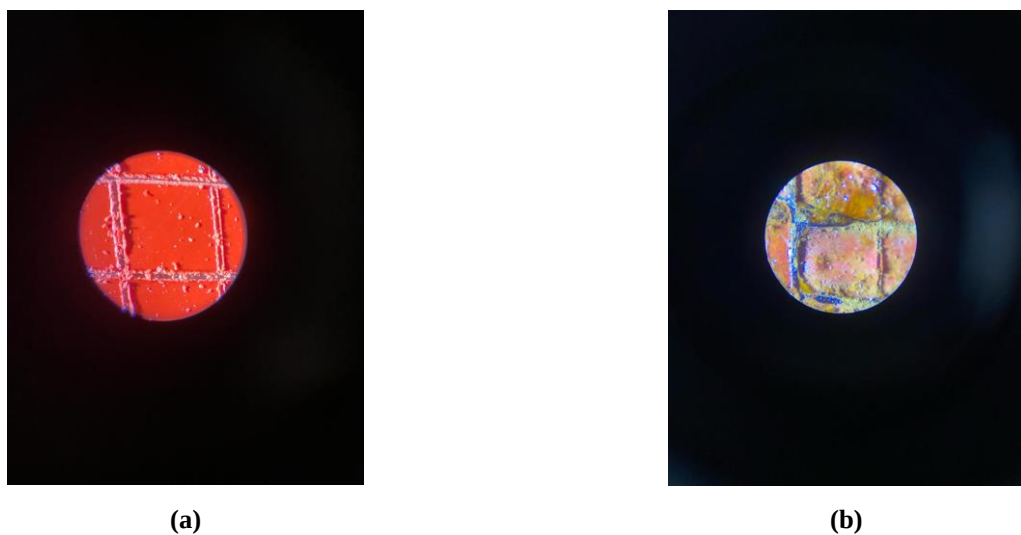


Figura 4-6 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en niebla salina (elaboración propia)

En el tercer corte presentado en la Figura 4-6, se observa una descamación del recubrimiento predominante en los bordes de las incisiones y en las intersecciones. La degradación se manifiesta en forma de descamación y pérdida del recubrimiento hace que pertenezca a la tercera categoría, al superar el umbral del 15%. La presencia de estas descamaciones sugiere una vulnerabilidad del recubrimiento cuando se enfrenta a la corrosión generada por la niebla salina.



(a)



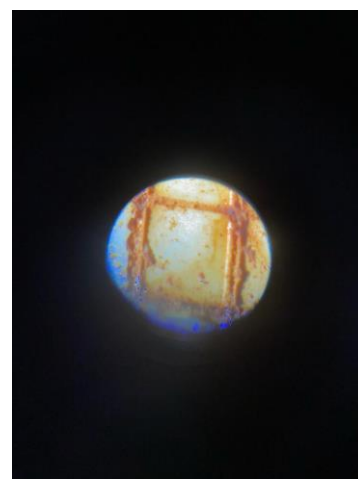
(b)

Figura 4-7 (a) Antes y (b) después pintura blanca en niebla salina (elaboración propia)

La pintura de la Figura 4-7, como podemos observar, presenta signos significativos de desgaste, incluyendo ampollas y desprendimiento en varias áreas. Este deterioro indica que la pintura utilizada tiene una baja resistencia a la corrosión inducida por la sal, lo que sugiere una formulación o una aplicación inadecuada para ambientes de alta salinidad.



(a)



(b)

Figura 4-8 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en niebla salina (elaboración propia)

Por otro lado, el cuarto corte presentado en la Figura 4-8 muestra una resistencia ligeramente mejor. Aunque todavía se clasifica en la segunda categoría con descamación visible en los bordes y en las intersecciones, la extensión del daño parece ser ligeramente menor que en el tercer corte. La degradación aquí podría estar más cerca del límite inferior del rango de la segunda categoría, con una superficie afectada claramente superior al 5% pero aun así con menos deterioro que el tercer corte.

	Hempel	Imnasa	Rojo	Blanco
Niebla salina	La placa tiene desempeño intermedio, con protección moderada contra corrosión salina y daño significativo en extensión considerable.	La pintura muestra desgaste con ampollas y desprendimiento, indicando baja resistencia a la corrosión salina y aplicación inadecuada.	Esta pintura resiste bien la corrosión salina, con mínimos signos de deterioro, siendo ideal para entornos marinos severos, aunque muestra vulnerabilidad en ciertas áreas.	La pintura muestra desgaste significativo por corrosión salina, sugiriendo mala formulación o aplicación, aunque el cuarto corte indica una resistencia ligeramente mejor.

Tabla 4-2 Resumen efectos niebla salina (elaboración propia)

4.3 Resultados del ensayo de inmersión en solución salina

Paralelamente al ensayo de cámara de niebla salina se realiza el ensayo de inmersión en una solución salina empleada en el ensayo de cámara de niebla salina, empleando cuatro placas metálicas con las mismas pinturas empleadas en el otro experimento. Se obtienen resultados que permiten comparar la eficiencia de las distintas pinturas frente a la corrosión provocada por ambientes salinos extremos. Este método de inmersión directa en solución salina ofrece una evaluación rigurosa de la protección que cada pintura proporciona al metal subyacente.



(a)



(b)

Figura 4-9 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en inmersión salina (elaboración propia)

La pintura de la Figura 4-9 sufre de ampollas y desprendimiento de pintura, con zonas de corrosión que indican una protección insuficiente contra la solución salina en un ensayo de inmersión. El nivel de deterioro, aunque grave, es notablemente alto entre las placas, reflejando una resistencia insuficiente en este ambiente corrosivo.

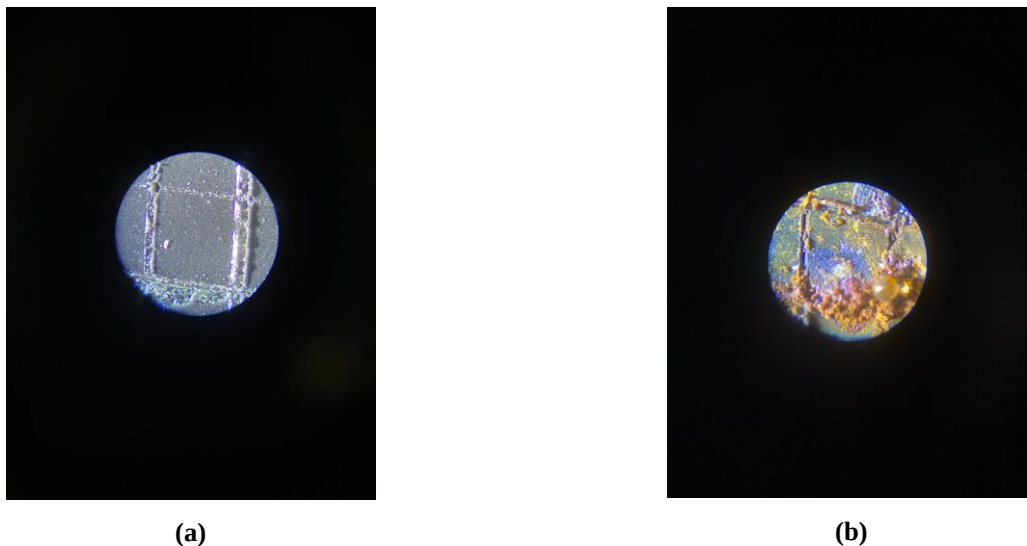


Figura 4-10 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en inmersión salina (elaboración propia)

El primer corte presentado en la Figura 4-10 muestra una descamación del recubrimiento que ha ocurrido parcialmente en grandes bandas a lo largo de los bordes de las incisiones y en distintas partes de los cuadrados. La superficie afectada es superior al 15%, pero inferior al 35%. Esto indica una falla sustancial de la pintura o recubrimiento en proteger contra la corrosión inducida por la inmersión en la solución salina. Aunque no es el peor de los casos, la tercera categoría señala una urgente necesidad de revisión de la fórmula de la pintura o de las prácticas de aplicación para mejorar la resistencia en tales entornos.



Figura 4-11 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en inmersión salina (elaboración propia)

El corte de la Figura 4-11 presenta un deterioro extremo con ampollas grandes, desprendimiento de la pintura en distintas zonas localizadas de la placa y áreas extensas de corrosión visible en el metal, especialmente la mitad izquierda de la misma. Este grado de daño indica una falla prácticamente total de la pintura para proteger la superficie metálica bajo condiciones de inmersión salina prolongada, presentándose como la pintura más dañada en este ensayo.

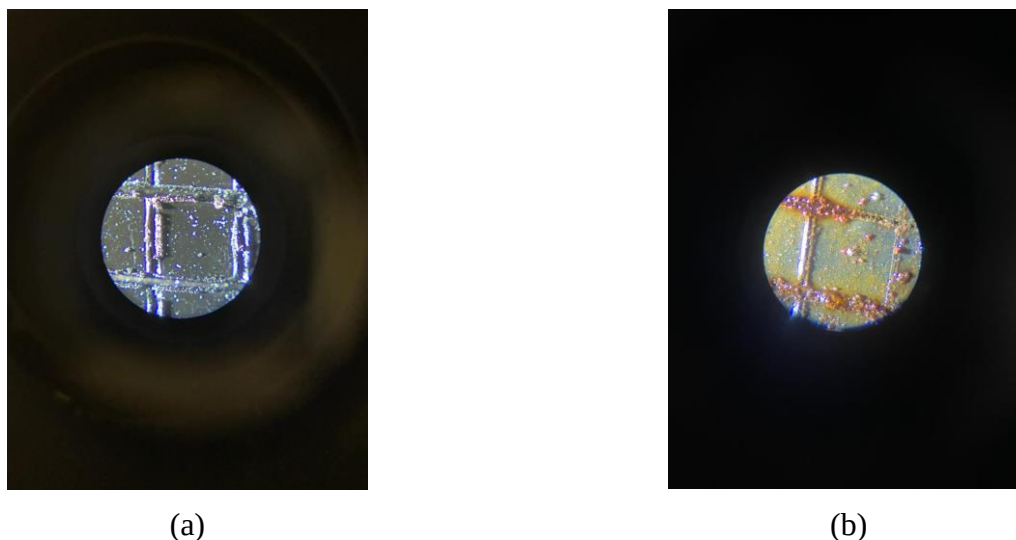


Figura 4-12 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en inmersión salina (elaboración propia)

En el segundo corte presentado en la Figura 4-12, las descamaciones son menos graves que en el primer corte, con daños observados en los bordes y en las intersecciones de las incisiones, afectando más del 5% pero menos del 15% del área enrejada, categorizándola en el segundo nivel. Esto sugiere que el recubrimiento tiene una mejor adherencia y resistencia a la inmersión en solución salina en comparación con el primer corte, aunque todavía muestra signos evidentes de vulnerabilidad al entorno salino.



Figura 4-13 (a) Antes y (b) después pintura roja en inmersión salina (elaboración propia)

A pesar de ser la que mejor resistencia mostró en comparación con las otras, la placa de la Figura 4-13 aún presenta un deterioro considerable. Se observan áreas menores sin ampollas o desprendimiento en comparación con las otras placas, pero el daño general sigue siendo significativo, evidenciando la presencia de corrosión y la falla de la pintura para ofrecer una protección efectiva.

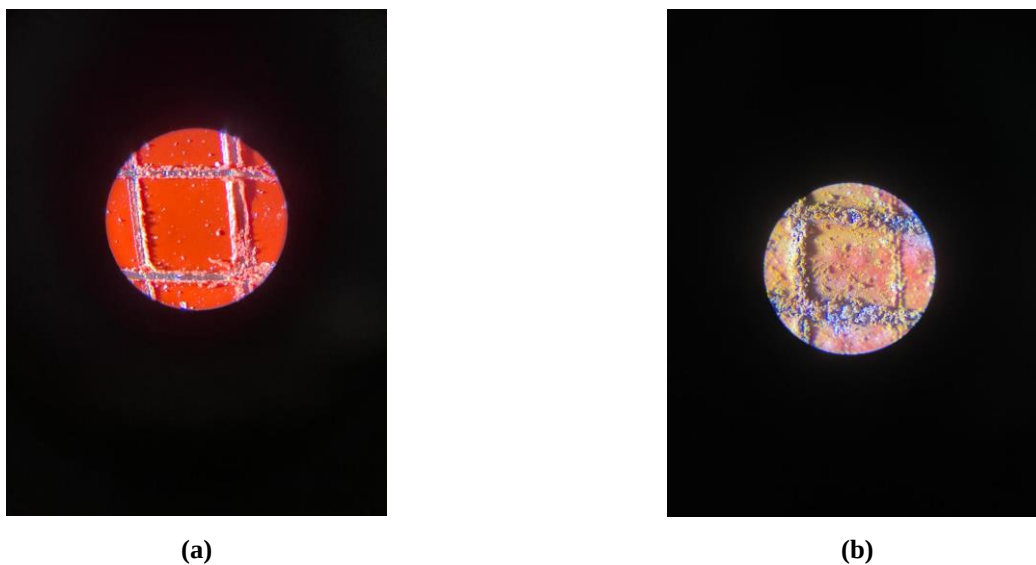


Figura 4-14 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en inmersión salina (elaboración propia)

Similar al segundo corte, el corte de la Figura 4-14 también se clasifica en la segunda categoría. Al no existir una diferencia notable, el tercer corte igualmente muestra un daño que afecta una superficie significativa del área cuadriculada, evidenciando una resistencia insuficiente para una protección duradera bajo condiciones de inmersión salina.



Figura 4-15 (a) Antes y (b) después pintura blanca en inmersión salina (elaboración propia)

Aunque ligeramente mejor que la primera y segunda pintura, la placa de la figura Figura 4-15 también muestra signos significativos de corrosión, incluyendo ampollas, desprendimiento en los bordes, siendo la que más lo ha sufrido, y áreas de corrosión que sugieren una penetración de la solución salina a través de la pintura.



Figura 4-16 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en inmersión salina (elaboración propia)

El último corte presentado en la Figura 4-16, al igual que el primero, cae en la tercera categoría con un nivel de daño más notable. La descamación afecta más del 15% y menos del 35% del área, lo que puede indicar una consistencia en la vulnerabilidad de ciertas formulaciones de pintura o en el proceso de aplicación del recubrimiento frente a entornos altamente corrosivos.

	Hempel	Imnasa	Rojo	Blanco
Inmersión en solución salina	La pintura muestra ampollas, desprendimiento y corrosión, reflejando protección insuficiente en un entorno corrosivo, necesitando revisión de la fórmula o aplicación. Se encuentra en la tercera categoría.	Presenta deterioro extremo con ampollas, desprendimiento y corrosión, indicando falla casi total bajo inmersión salina, con mejor resistencia y adherencia en el segundo corte, pero aún vulnerable. Se encuentra en la tercera categoría.	Aunque muestra la mejor resistencia entre las evaluadas, esta placa aún sufre deterioro considerable con corrosión y falla en ofrecer protección efectiva, similar al daño del segundo corte. Se encuentra en la segunda categoría.	Ligeramente mejor que las primeras dos, esta placa aún sufre de corrosión significativa, con consistencia en la vulnerabilidad frente a entornos corrosivos. Se encuentra en la tercera categoría.

Tabla 4-3 Resumen efectos inmersión salina (elaboración propia)

4.4 Resultados de la cámara de niebla con agua desionizada

Tras someter a las placas metálicas a un ensayo de diez días de cámara de niebla utilizando agua desionizada, se observan resultados que ofrecen una perspectiva sobre la resistencia y durabilidad de las pinturas en un ambiente menos corrosivo que el de la niebla salina. La cámara de niebla con agua desionizada simula condiciones de alta humedad sin la presencia de sales corrosivas, permitiendo evaluar cómo las pinturas protegen contra la humedad y el posible inicio de corrosión en ausencia de sal. El ensayo con agua desionizada revela que, aunque la presencia de sales acelera significativamente la corrosión, la resistencia a la absorción de agua y la protección contra la humedad son también factores críticos en la durabilidad de las pinturas marinas.



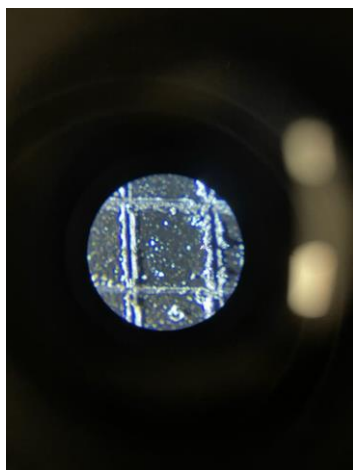
(a)



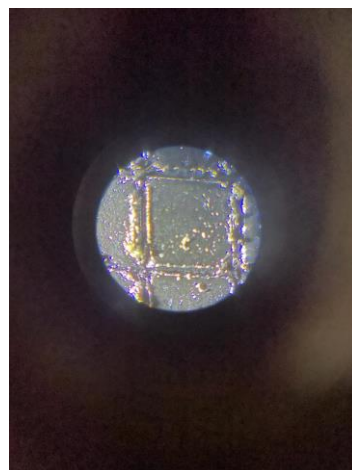
(b)

Figura 4-17 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

La pintura de la Figura 4-17 muestra signos mínimos de deterioro, con algunas áreas ligeramente afectadas por la humedad, lo que indica una absorción superficial de agua. Sin embargo, no se observan daños significativos como ampollas o desprendimiento de la pintura, sugiriendo que la pintura proporciona una barrera efectiva contra la penetración de agua.



(a)



(b)

Figura 4-18 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

El corte de la Figura 4-18 muestra un resultado muy positivo, ya que solo se observan ligeras descamaciones en las intersecciones de las incisiones. El área total afectada es inferior al 5%. Este grado de afectación mínima sugiere que la pintura o recubrimiento tiene una buena adhesión al sustrato y que la exposición al agua desionizada no ha comprometido significativamente la integridad de la superficie.



Figura 4-19 (a) Antes y (b) después Immasa Marine Print en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

En esta pintura presentada en la Figura 4-19, el impacto de la exposición a la humedad es más evidente que en la pintura anterior. La pintura no mantiene su integridad con signos de deterioro, lo que refleja una mediana protección contra la humedad y una escasa resistencia a la corrosión en condiciones de alta humedad, pero sin la presencia de agentes corrosivos directos como las sales. De las pinturas sometidas a este ensayo es la que presenta mayores daños, sin embargo, no es comparable con los daños sufridos en los ambientes salinos.

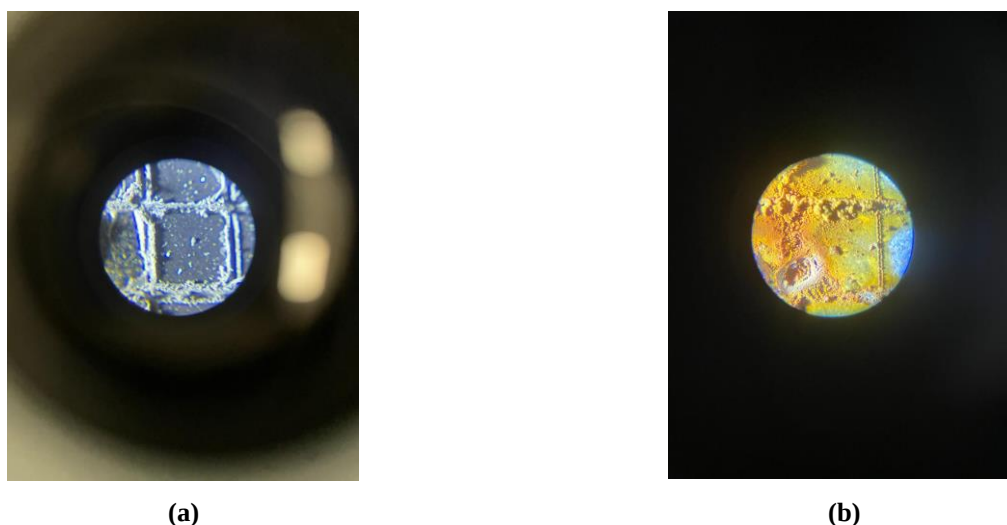


Figura 4-20 (a) Antes y (b) después corte Immasa Marine Print en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

En el segundo corte que se puede ver en la Figura 4-20, el nivel de deterioro es mayor, con descamaciones del recubrimiento tanto en los bordes como en las intersecciones de las incisiones. El área afectada en este caso es superior al 5%, pero aun así inferior al 15%, indicando que, aunque hay una resistencia aceptable a la humedad, el recubrimiento podría estar comenzando a fallar en ofrecer protección completa.



Figura 4-21 (a) Antes y (b) después pintura roja en niebla de agua desionizada. (elaboración propia)

La pintura de la Figura 4-21 presenta un comportamiento similar al de la primera pintura, con ligeras marcas de agua y una mínima absorción superficial. Esto indica una buena, aunque no perfecta, resistencia a la humedad. La pintura protege adecuadamente el metal subyacente, pero muestra una susceptibilidad limitada a las condiciones de alta humedad.

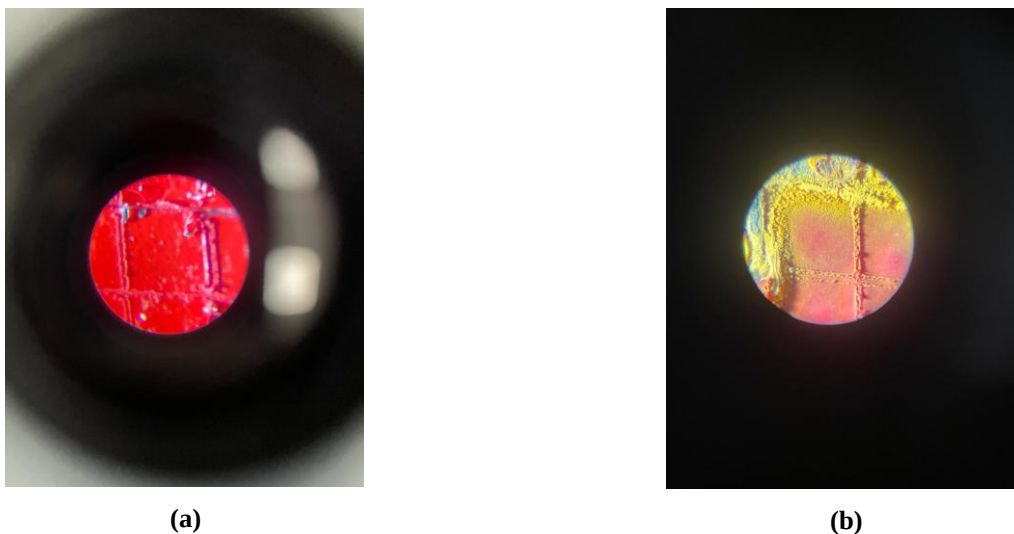


Figura 4-22 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

Este corte de la Figura 4-22 refleja un estado similar al segundo, clasificándose también en la categoría 2. Esto implica que la descamación es más notoria que en la categoría 1, afectando más del 5% del área. Es posible que la formulación o aplicación del recubrimiento en esta placa sea similar al segundo corte, mostrando una consistencia en la respuesta del material a la niebla con agua desionizada.



Figura 4-23 (a) Antes y (b) después pintura blanca en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

Sorprendentemente, la pintura de la Figura 4-23 exhibe prácticamente ninguna alteración después del ensayo, sin señales de absorción de agua, ampollas, o cualquier otra forma de deterioro. Esto sugiere que la pintura no solo es altamente resistente a la corrosión en presencia de sales, sino también excepcionalmente eficaz en repeler el agua y prevenir el daño por humedad.

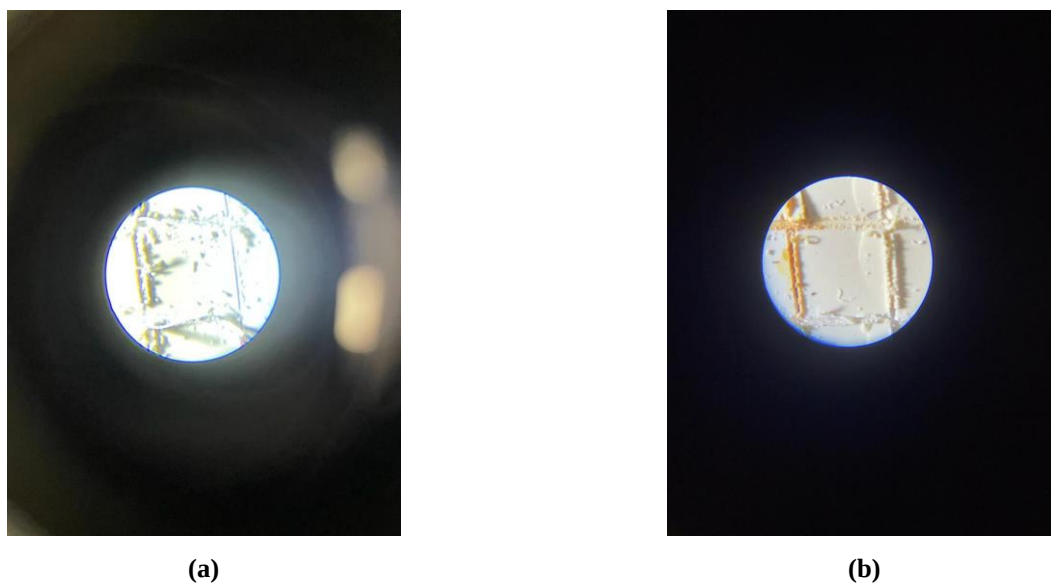


Figura 4-24 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en niebla de agua desionizada (elaboración propia)

El cuarto corte de la Figura 4-24 ofrece los resultados más sobresalientes, sin mostrar señales de descamación o daño. Los bordes de las incisiones son perfectamente lisos y el recubrimiento permanece completamente adherido al sustrato. El rendimiento excepcional de este recubrimiento implica que es altamente resistente al tipo de deterioro que puede ser causado por la exposición a humedad elevada.

	Hempel	Imnasa	Rojo	Blanco
Niebla con agua desionizada	La pintura exhibe signos mínimos de deterioro por humedad, sugiriendo buena adhesión y una barrera efectiva contra la penetración de agua, con afectación muy limitada. Se encuentra en la primera categoría.	Esta pintura muestra un impacto mayor de la humedad que la anterior, con deterioro y mediana protección contra la humedad, indicando resistencia aceptable pero no completa. Siendo esta la pintura más afectada. Se encuentra en la segunda categoría.	La pintura, similar a la primera, muestra buenas cualidades de resistencia a la humedad con ligeras marcas de agua, protegiendo el metal, pero con cierta susceptibilidad a alta humedad. Se encuentra en la segunda categoría.	Esta pintura muestra una resistencia excepcional sin alteraciones tras el ensayo, repeliendo el agua eficazmente y previniendo el daño por humedad, con resultados sobresalientes. Se encuentra en la primera categoría.

Tabla 4-4 Resumen efectos cámara de niebla con agua desionizada (elaboración propia)

4.5 Resultados del ensayo de inmersión en agua desionizada

Al someter a las placas metálicas a un ensayo de diez días a inmersión en agua desionizada durante diez días, se evalúa la capacidad de cada pintura para resistir los efectos de la saturación en un medio acuoso sin la presencia de agentes corrosivos como las sales. La inmersión en agua desionizada simula condiciones de exposición prolongada al agua, aunque en un entorno menos agresivo que el de las soluciones salinas, permitiendo observar cómo las pinturas protegen el metal subyacente en ambientes húmedo. Al igual que en el ensayo de cámara de niebla con agua desionizada se observa que la presencia de sales acelera significativamente la corrosión, la resistencia a la absorción de agua y la protección contra la humedad son también factores críticos en la durabilidad de las pinturas marinas.



Figura 4-25 (a) Antes y (b) después Hempel Ecopower Prop en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

La observación de la pintura de la Figura 4-25 revela cierto grado de absorción de agua, visible en un ligero empañamiento y decoloración de la superficie pintada. Aunque no se observan daños severos como ampollas o desprendimiento de la pintura, este cambio sugiere una permeabilidad moderada al agua, que podría conducir a problemas de integridad a largo plazo si la pintura no seca adecuadamente.

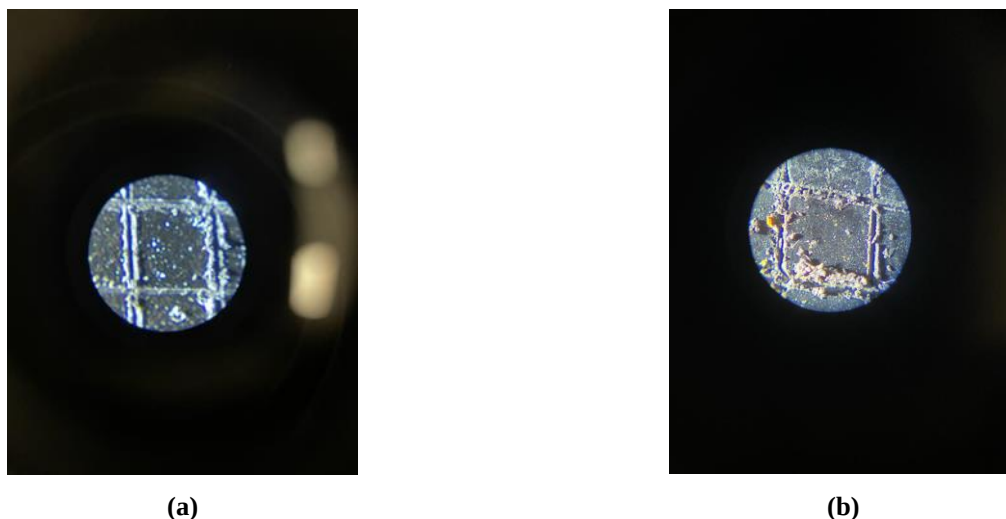


Figura 4-26 (a) Antes y (b) después corte Hempel Ecopower Prop en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

El corte de la Figura 4-26 presenta descamaciones del recubrimiento en los bordes y en las intersecciones de las incisiones, con un área afectada que es superior al 5% pero inferior al 15%, situándose así en segunda categoría. Esta categoría refleja un nivel de daño moderado, lo que indica que, aunque el recubrimiento tiene alguna vulnerabilidad al agua desionizada, aún mantiene una protección parcial.

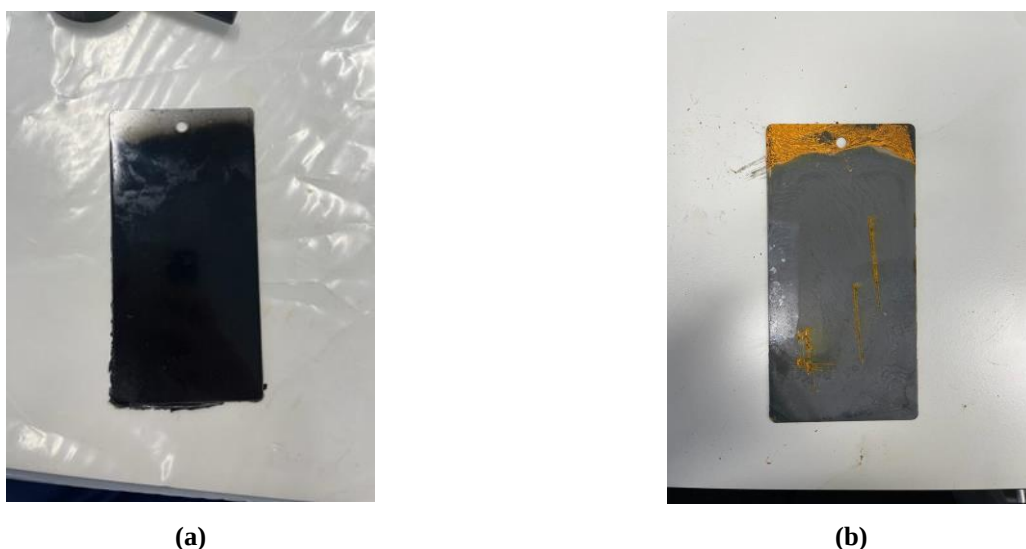


Figura 4-27 (a) Antes y (b) después Imnasa Marine Print en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

Por otro lado, la pintura de la Figura 4-27 muestra una peor resistencia a la inmersión en agua desionizada, con pequeñas señales de absorción de agua, empañamiento y un visible deterioro de la pintura. Este comportamiento indica que la pintura aplicada sobre la placa ofrece una barrera no muy efectiva contra el agua, protegiendo el metal subyacente de manera poco eficiente en condiciones de saturación prolongada.

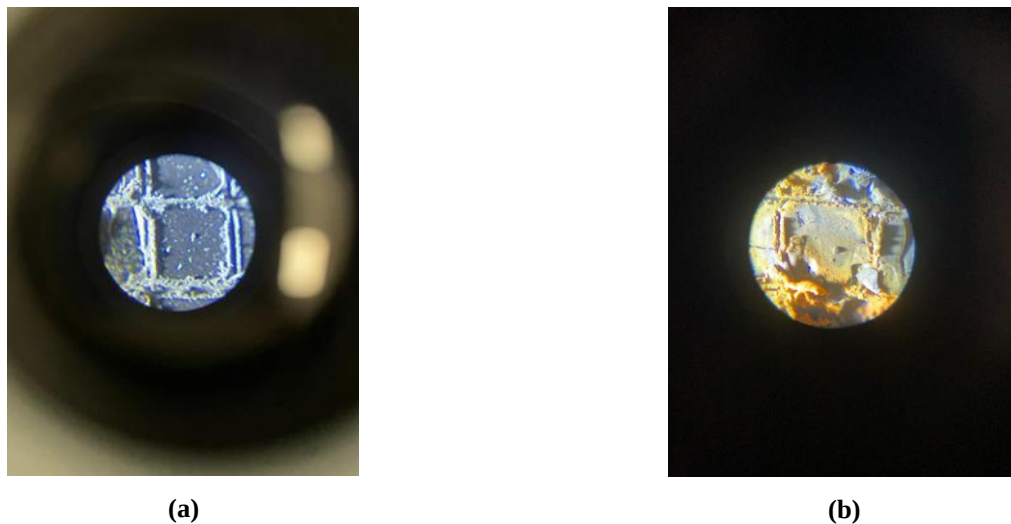


Figura 4-28 (a) Antes y (b) después corte Imnasa Marine Print en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

El corte de la Figura 4-28 muestra una degradación más extensa, con el recubrimiento desprendiéndose en grandes bandas a lo largo de los bordes de las incisiones y en diferentes partes de los cuadrados. El área de enrejado afectada es superior al 15%, pero inferior al 35%. La tercera categoría sugiere que la pintura o recubrimiento es menos efectiva en mantener su adhesión y protección bajo la influencia del agua desionizada.



Figura 4-29 (a) Antes y (b) después pintura roja en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

Similar a la primera, la pintura de la Figura 4-29 exhibe algunos signos de interacción con el agua, como una ligera decoloración y un mínimo empañamiento. Estos efectos son indicativos de una resistencia aceptable a la inmersión en agua, aunque no óptima, lo que apunta a una formulación de pintura que podría requerir mejoras para aplicaciones en ambientes constantemente húmedos.

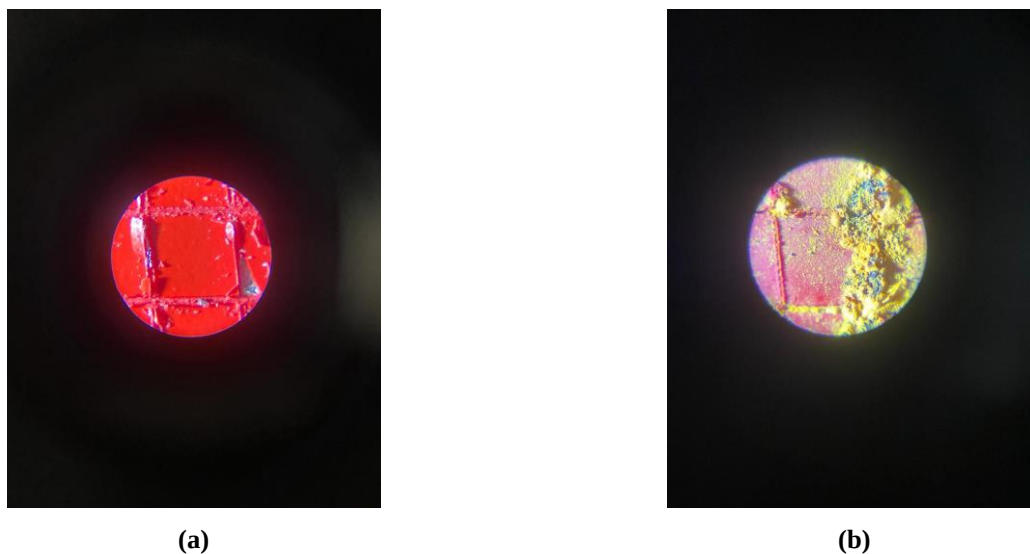


Figura 4-30 (a) Antes y (b) después corte pintura roja en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

Al igual que el segundo, el corte de la Figura 4-30 también se encuentra en la tercera categoría, lo cual indica un nivel de daño similar. Este patrón consistente de deterioro sugiere una falta de resistencia al agua que puede ser característica de cierta formulación del recubrimiento o de la manera en que se ha aplicado.



Figura 4-31 (a) Antes y (b) después pintura blanca en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

Finalmente, la pintura de la Figura 4-31 también muestra un rendimiento sobresaliente frente a la inmersión en agua desionizada, sin evidencia de daño, absorción de agua, o alteración de la pintura. Esto sugiere que la pintura no solo es resistente a la corrosión salina, como se observó en ensayos anteriores, sino que también posee propiedades hidrófobas destacadas, repeliendo el agua eficazmente y proporcionando una protección integral en ambientes acuosos.

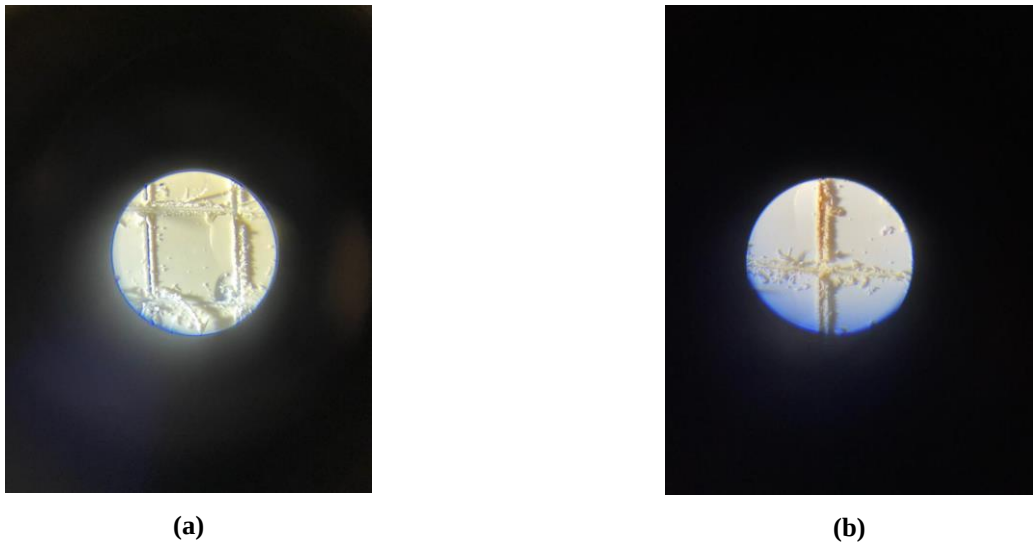


Figura 4-32 (a) Antes y (b) después corte pintura blanca en inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

El corte de la Figura 4-32 destaca por su resistencia, al mostrar solo ligeras descamaciones en las intersecciones de las incisiones y un área de enrejado afectada inferior al 5%. Esto implica que el recubrimiento asociado con este corte tiene una muy buena adhesión y ofrece una resistencia considerable contra la inmersión en agua desionizada.

	Hempel	Imnasa	Rojo	Blanco
Inmersión en agua desionizada	La pintura muestra absorción de agua y decoloración, indicando permeabilidad moderada y posible afectación a la integridad a largo plazo, con daño moderado visible. Se encuentra en la primera categoría.	Esta pintura muestra baja resistencia a inmersión en agua desionizada, indicando una protección ineficiente del metal, con degradación extensa y adhesión reducida. Se encuentra en la tercera categoría.	Esta pintura muestra resistencia aceptable pero no óptima al agua, con decoloración y empañamiento, necesitando mejoras para entornos húmedos y daño consistente. Se encuentra en la tercera categoría.	Esta pintura destaca por su rendimiento sobresaliente en agua desionizada, sin daños ni absorción, mostrando propiedades hidrófobas y protección integral en ambientes acuosos. Se encuentra en la primera categoría.

Tabla 4-5 Resumen efectos inmersión en agua desionizada (elaboración propia)

4.6 Comparativa de resultados

A partir de los resultados obtenidos, expuestos en la Figura 4-33, y su comparación se puede decir que la pintura blanca mostró el mejor rendimiento en general frente a los diferentes tipos de exposición ambiental, viendo que ofrece una resistencia superior contra la corrosión en los distintos ensayos. Siguiendo en eficacia a la pintura blanca, la pintura Hempel mostró buenos resultados, aunque con algunas peculiaridades en su comportamiento en las condiciones específicas de los ensayos entre los resultados esperados. La pintura roja se posiciona después de la Hempel en términos de resistencia a la corrosión en los diferentes ambientes probados, siendo inesperado su menor resistencia en la inmersión en agua desionizada comparada con la inmersión en solución salina. Finalmente, la pintura Imnasa presentó el peor desempeño de todas, lo que sugiere que su composición es menos resistente a los tipos de corrosión inducida por los ambientes simulados en los ensayos.

En cuanto a los distintos tipos de ensayos la niebla salina resultó ser más corrosiva que la inmersión salina para las pinturas Hempel e Imnasa, un resultado contrario al esperado basado en la idea general de que la inmersión directa en soluciones suele ser más agresiva. Por otro lado, la inmersión salina fue menos corrosiva que la inmersión en agua desionizada para la pintura roja, un hallazgo que no era previsible antes de la realización de los ensayos. La corrosión inducida por la niebla basada en agua desionizada fue de forma notable menor que la generada por las soluciones salinas, lo cual era esperado. De manera similar a la exposición a niebla, la inmersión en agua desionizada fue menos corrosiva en general, con la excepción notable de la pintura roja, donde la corrosión fue inesperadamente más alta que en la inmersión salina.

Estos resultados nos hacen ver la complejidad de predecir la resistencia a la corrosión de distintas pinturas bajo diferentes condiciones ambientales. Mientras que algunas tendencias generales se mantienen, como la menor corrosión de ambientes creados con agua desionizada comparada con soluciones salinas, los resultados inesperados, especialmente para las pinturas Hempel e Imnasa frente a la niebla salina y la inusual reacción de la pintura roja a la inmersión en agua desionizada, subrayan la importancia de considerar la composición específica de cada pintura y su interacción con diferentes ambientes. Exceptuando estos casos el resto de las pinturas han actuado como se esperaba, con una mayor corrosión en ambientes salinos y produciéndose menos corrosión en niebla que en inmersión.

	Niebla salina	Inmersión salina	Niebla en agua desionizada	Inmersión en agua desionizada
Hempel	Categoría 4 escasa protección y daño considerable	Categoría 3 Ampollas, desprendimiento, protección insuficiente, revisión necesaria.	Categoría 1 Mínimo deterioro, buena adhesión, barrera efectiva.	Categoría 1 Absorción, decoloración, permeabilidad, daño moderado visible.
Imnasa	Categoría 4 Desgaste, ampollas, resistencia baja	Categoría 3 Deterioro extremo, falla, mejoría parcial, vulnerable.	Categoría 2 Deterioro mediano, protección aceptable.	Categoría 3 Baja resistencia, protección ineficiente, degradación extensa.
Rojo	Categoría 3 Resiste corrosión, mínimos deterioros, vulnerabilidad puntual	Categoría 2 Resistencia media, sufre deterioro, protección ineficaz.	Categoría 2 Buena resistencia, ligeras marcas, susceptible.	Categoría 3 Resistencia aceptable, decoloración, necesita mejoras, daño.
Blanco	Categoría 2 Desgaste, mala formulación, resistencia variable.	Categoría 3 Sufrir la placa, consistente vulnerabilidad.	Categoría 1 Resistencia excepcional, repelente, sin daño, sobresaliente.	Categoría 1 Rendimiento sobresaliente, sin daño, hidrófoba.



Figura 4-33 Comparación de resultados (elaboración propia)

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones del trabajo

La construcción de una cámara de niebla salina en el laboratorio ha sido un objetivo satisfactoriamente cumplido. Utilizando los materiales de bajo coste se logró construirla y que funcione al simular de forma correcta las condiciones corrosivas de ambientes marinos o con alta salinidad. El diseño propio de la cámara, aunque modesto en comparación con las opciones comerciales, ha demostrado ser efectivo en la realización de ensayos de corrosión que son fundamentales para el estudio y la mejora de recubrimientos y materiales resistentes a la corrosión. Además, hay que destacar que ha sido una solución económica para poder desarrollar este tipo de ensayos y que permite aplicar conocimientos de distintas materias al realizarla y estudiarla.

En cuanto a las pinturas, con la realización de los distintos ensayos, hemos podido observar que la pintura roja es la que mejor se comporta tanto en ambientes de severa corrosión como en situaciones normales. Por otro lado, las pinturas de Hempel e Imnasa se comportan de una forma similar, siendo ligeramente superior la segunda que la primera, destacando la necesidad de emplear más capas de ambas pinturas sobre las placas para que estas proporcionen mejores resultados. Finalmente, la pintura blanca se podría decir que es la que peores resultados a dado, no solo por la corrosión que se produce al emplear este recubrimiento sino por haber sido la pintura que notablemente ha tenido peor adherencia a la superficie.

Estos resultados destacan la importancia de seleccionar la pintura marina adecuada para proteger estructuras metálicas en ambientes salinos. Las diferencias en la resistencia a la corrosión entre las diferentes pinturas hacen destacar la necesidad de realizar pruebas de rendimiento, como el ensayo de cámara de niebla salina, para evaluar la adecuación de los recubrimientos en aplicaciones específicas. La selección cuidadosa de pinturas basada en datos empíricos puede prevenir fallas prematuras y garantizar la longevidad de las estructuras expuestas a condiciones corrosivas.

Por último, este trabajo nos ha permitido comprobar el efecto de la sal en la corrosión de los recubrimientos al realizar ensayos con solución salina, donde la concentración de sal es superior que, en ambientes normales, y con agua desionizada, donde no se encuentra sales dispersas en su concentración. Con la realización de estos ensayos vemos que al emplear agua desionizada no se presenta prácticamente corrosión sobre los recubrimientos frente a la alta corrosión de los recubrimientos al someterse a la solución salina, haciéndonos ver que la sal tiene un efecto de gran notoriedad a la hora de corroer un material.

5.2 Líneas futuras

Para profundizar en el entendimiento y mejorar la aplicación de estas pinturas en entornos marinos, se propone un plan de acción futuro estructurado en varias líneas de investigación y desarrollo. Primero, es imperativo incrementar la cantidad de ensayos realizados. Un mayor volumen de datos contribuirá a la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos, permitiendo una comparación más detallada entre las diferentes formulaciones de pintura. Esta ampliación en el número de ensayos asegurará una evaluación exhaustiva de las propiedades de resistencia a la corrosión, adhesión, y durabilidad de las pinturas bajo condiciones extremas de salinidad y humedad.

En segundo lugar, se debe trabajar en la estandarización de los ensayos. La creación de un protocolo uniforme para la realización de estos experimentos garantizará que los resultados sean comparables y reproducibles, independientemente del laboratorio o del equipo que los ejecute. Esto incluye la estandarización de la preparación de las muestras, los tiempos de exposición, y los métodos de evaluación del deterioro.

Otra línea de acción propuesta es la experimentación con distintos espesores de pintura. La determinación del espesor óptimo para cada tipo de pintura puede resultar en mejoras significativas en la protección contra la corrosión y en la longevidad de la aplicación. Este enfoque permitirá optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia de la protección ofrecida.

Además, se sugiere la realización de proyectos conjuntos con distintas asignaturas para fomentar un enfoque multidisciplinario en la solución de problemas. Un proyecto destacado en este aspecto sería la creación de una cámara de niebla salina con recursos limitados. La colaboración con la asignatura de electrónica permitiría implementar mecanismos de control avanzados para regular las condiciones dentro de la cámara. La ingeniería gráfica contribuiría con el diseño y la realización de planos y proyecciones 3D, asegurando una construcción eficiente y adaptada a las necesidades del proyecto. Por último, la ciencia y tecnología de materiales jugaría un papel crucial en la determinación de las propiedades necesarias para que la pintura sea idónea, basándose en las observaciones derivadas de los distintos ensayos.

Por último, se propone la mejora de la cámara de niebla construida añadiéndole unas luces con el fin de realizar ensayos noche y día. Esto consiste en crear ciclos Norma ASTM G 154

Estas líneas de acción propuestas buscan no solo avanzar en la comprensión y mejora de las pinturas de uso naval frente a los desafíos de la corrosión salina, sino también promover la sinergia entre diversas áreas del conocimiento para abordar de manera integral los retos presentados por los entornos marinos extremos.

6 BIBLIOGRAFÍA

En esta sección figurarán todas las referencias, sean recursos web, libros, artículos, etc., incluyendo la información de autores, título de la obra, nombre de la publicación, año, edición y enlace más fecha de último acceso en el caso de referencias a recursos online.

[1] «Identificando mecanismos de degradación por corrosión en ambientes marinos para prevenir daños en estructuras y equipos». [En línea]. Disponible en: <https://inspenet.com/articulo/mecanismos-de-corrosion-en-ambientes-marinos/>

[2] «8. Corrosión galvánica». Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.victronenergy.com/media/pg/The_Wiring_Unlimited_book/es/galvanic-corrosion.html

[3] «Uniform Corrosion», Corrosionpedia. Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.corrosionpedia.com/definition/6542/uniform-corrosion>

[4] «La Corrosión». Accedido: 3 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/03/la-corrosion.html>

[5] I. pedia, «Corrosión por Picadura: Entendiendo y Previniendo este Fenómeno Destructivo». Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ingenieriapedia.com/que-es-la-corrosion-por-picadura/>

[6] Á. A. de Metalurgia, «Tipos de corrosión que ocurren en sistemas de tuberías industriales», Área Académica de Me. Accedido: 3 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.areametalurgia.com/post/tipos-de-corrosion-que-ocurren-en-sistemas-de-tuberias-industriales>

[7] «Qué es Corrosión anaeróbica». Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://industriapedia.com/que-es-corrosion-anaerobica/>

[8] «Entendiendo la biocorrosión ¿Qué es y como mitigarla? - Predictiva 21». Accedido: 3 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://predictiva21.com/entendiendo-la-biocorrosion/>

[9] I. Marino, «Corrosión y Tratamiento de Superficies en Buques», Ingeniero Marino. Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ingenieromarino.com/corrosion-y-tratamiento-de-superficies-tratamiento-de-la-obra-viva-del-buque/>

[10] «La corrosión en ambientes marinos: Mecanismos de degradación». Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://inspenet.com/articulo/mecanismos-de-corrosion-en-ambientes-marinos/>

- [11] «Mapping salty waters». Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Mapping_salty_waters
- [12] I. Marino, «> Corrosión y Protección Catódica», Ingeniero Marino. Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ingenieromarino.com/corrosion-y-proteccion-catodica/>
- [13] «UPV - Universitat Politècnica de València». Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_5_2.html
- [14] R. E. Melchers, «Effect of Immersion Depth on Marine Corrosion of Mild Steel», *Corrosion*, vol. 61, n.º 09, sep. 2005.
- [15] C. C. C. R. de Carvalho, «Marine Biofilms: A Successful Microbial Strategy With Economic Implications», *Front. Mar. Sci.*, vol. 5, 2018, Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00126>
- [16] R. V. Caro, «LAS CORRIENTES IMPRESAS Y LOS SISTEMAS DE ANTIINCRUSTACIÓN EN LOS BUQUES».
- [17] R. V. Caro, «LAS CORRIENTES IMPRESAS Y LOS SISTEMAS DE ANTIINCRUSTACIÓN EN LOS BUQUES».
- [18] «O que é ânodo de sacrifício e sua importância para o barco | Marina Imperial». Accedido: 3 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://marinaimperial.com.br/anodo-de-sacrificio/>
- [19] ticeadmin, «La protección catódica explicada | TICE Expertos SPC», Tecna ICE tecnología para las empresas del futuro. Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tecna-ice.com/la-proteccion-catodica-explicada/>
- [20] «UNE-EN ISO 12944-4:2018 Pinturas y barnices. Protección de est...» Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060804>
- [21] B. A. Piñero, «Procesos de Pintura en los Buques Mercantes».
- [22] «Corte Enrejado Norma UNE-EN ISO 2409».
- [23] «Dureza ensayo de lápiz NORMA UNE-EN ISO 15184».
- [24] «Cámaras de niebla salina para ensayos ISO 9227 Ascott». Accedido: 3 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ascott-esp.es/camaras-niebla-salina/>
- [25] Coatresa, «Cámara de niebla salina para los recubrimientos», Coatresa. Accedido: 3 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.coatresa.com/camara-de-niebla-salina/>
- [26] «content.pdf». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/8a559e5e-d8f3-4252-b001-ceffcb0aa1c3/content>
- [27] «Diseno+de+una+camara+de+niebla+salina+para+ensayos+de+corrosion..pdf». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1942/Diseno+de+una+camara+de+niebla+salina+para+ensayos+de+corrosion..pdf?sequence=1>
- [28] adttslab, «Ensayo de corrosión acelerada», Eurecat Labs. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://labs.eurecat.org/servicio/ensayo-de-corrosion-acelerada/>
- [29] «Acero S275JR - Características, propiedades y usos», ITALFABER. Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.italfaber.it/es/caracter%C3%ADsticas%2C-propiedades-y-usos-del-acero-s275jr/>

- [30] «Acero S275JR: características, propiedades, análogos - Metinvest». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/s275jr>
- [31] «Hempel's Ecopower Prop 7446X-7446X - Hempel». Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.hempel.com/en-gb/products/hempels-ecopower-prop-7446x-7446x>
- [32] «Hempel Ecopower Prop | Antifouling spray», Jimmy Green Marine. Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://jimmygreen.com/antifouling-boat-paint/79058-hempel-ecopower-prop>
- [33] «ANTIFOULING SPRAY PARA COLAS 400ml IMNASA». Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.imnasa.com/es/antifouling/antifouling-spray-para-colas-400ml-imnasa-18250303>
- [34] «Todo sobre resinas acrílicas: Guía y ventajas de su uso en tus pavimentos.», Blog de Microcementos Online. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://microcementosonline.com/blog/guia-resinas-acrilicas/>
- [35] «<https://www.pinturasjet.com/novedades/pintura-alquidica-para-que-sirve-usos>». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pinturasjet.com/novedades/pintura-alquidica-para-que-sirve-usos>
- [36] N. Connor, «Compuesto de resina de poliéster | Fórmula, propiedades y aplicación», Material Properties. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://material-properties.org/es/compuesto-de-resina-de-poliester/>
- [37] «Química de los pigmentos: síntesis y aplicaciones de compuestos que producen color». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cienciaconjunta.com/quimica/quimica-de-los-pigmentos-sintesis-y-aplicaciones-de-compuestos-que-producen-color/>
- [38] «¿Qué son los aditivos? | Recubrimiento y aplicación de pintura en metales como el hierro». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aplicacionesyrecubrimientos.es/que-son-los-aditivos/>
- [39] P. Mata, «Disolventes para pintura. Conoce sus tipos y utilidades -», Pinturas Mata S.L. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pinturasmata.com/disolventes-para-pintura-conoce-sus-tipos-y-utilidades/>
- [40] «Resina fenólica (PF): Qué es, características y beneficios». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://industriapedia.com/que-es-resina-fenolica-pf/>
- [41] «Aceites modificados», Traquisa. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.traquisa.com/es/informacion/aceites-modificados/>
- [42] «▷ Dióxido de Titanio | Usos, Propiedades y Características». Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://geologiaweb.com/materiales/dioxido-de-titanio/>
- [43] «Agitador Magnético de Laboratorio - ¿Qué es, cómo funciona y para qué sirve? 🏆», Materiales de Laboratorio. Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://materialeslaboratorio.com/agitador-magnetico-de-laboratorio/>
- [44] «MicroBrite Plus – Carson Optical». Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://carson.com/es/producto/mm-300/>

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

La implementación de un proyecto de estas características tiene implicaciones que van más allá del ámbito científico y técnico, impactando también en esferas sociales, económicas y ambientales. El proyecto promueve la colaboración entre distintas disciplinas académicas, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en sus futuras carreras profesionales con un enfoque integral. Los resultados de las investigaciones sobre la resistencia de distintas pinturas a condiciones extremas, se puede aumentar la conciencia pública respecto a la importancia de elegir materiales duraderos y sostenibles para la industria naval y otras aplicaciones.

Por otro lado, la construcción de una cámara de niebla salina con materiales de laboratorio representa una alternativa de bajo costo comparada con la adquisición de equipos comerciales. Esto democratiza la investigación, permitiendo a instituciones con menos recursos participar en estudios avanzados. Los resultados obtenidos pueden guiar a las industrias relacionadas en la elección de pinturas y recubrimientos más eficientes y económicos a largo plazo, reduciendo los costos de mantenimiento y reparación.

Finalmente, al identificar pinturas que ofrecen una mayor resistencia a la corrosión con menos necesidad de volver a aplicarlo, se reduce la frecuencia con la que los barcos y estructuras marinas necesitan ser repintados, disminuyendo el impacto ambiental asociado a los procesos de mantenimiento. La comparación de pinturas bajo condiciones controladas fomenta la selección de aquellas con menor impacto ambiental, potencialmente llevando a una disminución en el uso de sustancias tóxicas en la industria.

El desarrollo de este proyecto no solo amplía el conocimiento en el campo de la ingeniería de materiales y la protección contra la corrosión, sino que también promueve prácticas más sostenibles y económicas en la industria, al tiempo que sensibiliza a la comunidad académica y al público en general sobre la importancia de la investigación aplicada y la colaboración interdisciplinaria.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El uso de pinturas en aplicaciones navales, como en la construcción y mantenimiento de barcos y submarinos, plantea una serie de consideraciones éticas y sociales importantes. Comenzando en el plano ético las pinturas navales suelen contener sustancias químicas diseñadas para proteger las embarcaciones de la corrosión y el crecimiento biológico, como los moluscos. Sin embargo, estas sustancias pueden ser tóxicas para la vida marina y los ecosistemas acuáticos. La ética ambiental nos lleva a considerar el impacto de estas sustancias y a buscar alternativas menos dañinas. Además, la aplicación de pinturas navales puede exponer a los trabajadores a sustancias químicas peligrosas. Desde una perspectiva ética, es crucial garantizar condiciones de trabajo seguras, proporcionar equipos de protección adecuados y minimizar la exposición a sustancias tóxicas. Por último, podemos considerar que en un mundo con recursos limitados y una creciente conciencia sobre el cambio climático, la producción y aplicación de pinturas navales deben considerar principios de sustentabilidad. Esto incluye la eficiencia energética, la reducción de residuos y la elección de materiales que tienen un menor impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

Por otro lado, en el plano social, se puede considerar que las comunidades más pobres y vulnerables suelen ser las más afectadas por la contaminación y los daños ambientales, incluidos los derivados de la industria naval. Es importante considerar cómo las prácticas en esta área pueden contribuir a la justicia social, asegurando que todos tengan derecho a un medio ambiente saludable. Otro aspecto a tener en cuenta es que la industria naval es vital para la economía global, facilitando el comercio y la comunicación entre países. Sin embargo, el desarrollo de esta industria debe equilibrar las necesidades económicas con las sociales y ambientales. Promover prácticas sostenibles en la aplicación de pinturas navales es un paso hacia un desarrollo que beneficie a las generaciones actuales y futuras. Finalmente se insta a aumentar la conciencia sobre los impactos éticos y sociales de las pinturas navales es crucial para fomentar un cambio positivo. Esto incluye educar a los involucrados en la industria naval, desde los fabricantes de pintura hasta los constructores de barcos y operadores, así como al público en general, sobre las mejores prácticas ambientales y sociales.

En resumen, las consideraciones éticas y sociales relacionadas con el uso de pinturas en aplicaciones navales nos desafían a buscar un equilibrio entre las necesidades de la industria y la protección del medio ambiente y la salud humana. Promover la investigación y el desarrollo de alternativas más seguras y sostenibles es un paso crucial hacia este equilibrio.