

Tratamientos Superficiales: Sistemas de aplicación de pintura utilizados en los astilleros

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Marc Martín Pi

Dirigido por:

Jordi Torralbo Gavilán

Grado en INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA NAVAL

Barcelona, 2 de juny de 2016

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



Resumen

Debido al medio en el que habitualmente se encuentran, las embarcaciones están expuestas a un gran número de agresiones que pueden ser altamente perjudiciales no sólo importantes a nivel estético. Es por esto que, además de por imagen y decoración, es muy importante y necesario pintar un barco para protegerlo, facilitar su limpieza y realizar una navegación más segura.

Según el material de construcción del barco, creando una película entre un sustrato (superficie) y el agua dulce o salada, viento, sol, y todo aquello que pueda afectar directamente a la superficie de una embarcación, se protege:

- El acero y el aluminio contra la corrosión
- La fibra de vidrio y el Gelcoat contra la osmosis
- La madera contra la desecación y putrefacción

Además de la protección que debe recibir cada material por sus características, pintando las diferentes zonas del barco según el medio en el que se encuentra cada una, se protege:

- La obra viva contra las incrustaciones
- La obra muerta contra la abrasión

Una buena capa de protección, junto con una correcta preparación superficial es una parte muy importante tanto de la construcción como del mantenimiento de un barco para su buena conservación.

En este proyecto se describen los principales sistemas de aplicación de pinturas utilizados en un astillero según las necesidades de cada embarcación. Para ello, este estudio comprende desde los diferentes productos aplicables y la técnica más adecuada para hacerlo, hasta la descripción del proceso de preparación y pintado de las diferentes zonas de una embarcación. Además, se identifican los riesgos para la salud de los trabajadores y el medio ambiente desengranando los procesos y productos desde la base.

Abstract

Due to environment in which they usually are, boats are exposed to a large number of aggressions that can be highly harmful not only aesthetically. This is why is very important and necessary to paint a boat to protect, facilitate cleaning and make navigation safer, additionally to improve image and decoration.

Creating a film between a substrate (surface) and water, wind, sun, and anything that might affect directly to the surface of a vessel protects:

- The steel and aluminium against corrosion
- The fiberglass and gelcoat against osmosis
- The wood against drying and putrefaction

Additionally to the protection that should receive each material by its nature, painting the different areas of the boat according to the environment where it is, protects:

- The draft against fouling
- The freeboard against abrasion

A good layer of protection, along with a correct surface preparation is a very important part of both the construction as a maintenance of a ship for their preservation.

In this project are described the main paint application systems used in a shipyard according to the requirements of each vessel. This study covers from the different available products as the better way to do it successfully, to the description of the preparation and painting process of the different parts of a boat. Furthermore, health and environment risks are identified by dissecting products and processes from the base.

Tabla de contenido

RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
TABLA DE CONTENIDO	V
<u>CAPÍTULO 1. NECESIDAD DE PROTECCIÓN PARA LAS EMBARCACIONES</u>	<u>1</u>
1.1. EMBARCACIONES DE ACERO	1
1.2. EMBARCACIONES DE ALUMINIO	2
1.3. EMBARCACIONES DE FIBRA DE VIDRIO	4
1.4. EMBARCACIONES DE MADERA	5
<u>CAPÍTULO 2. PINTURAS</u>	<u>7</u>
2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS PINTURAS	7
2.1.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FUNCIÓN QUE REALIZA LA PINTURA SOBRE EL SUSTRATO RECUBIERTO	7
2.1.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MODO DE SECADO Y ENDURECIMIENTO DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LA PINTURA	8
2.1.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL DILUYENTE QUE CONTIENE LA PINTURA	8
2.2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS PINTURAS	11
2.2.1. DISOLVENTES	11
2.2.2. LIGANTES O RESINAS	12
2.2.3. PIGMENTOS	12
2.2.4. ADITIVOS	13
<u>CAPÍTULO 3. ANTIINCRUSTANTES</u>	<u>14</u>
3.1. EL PROBLEMA DE LAS INCRUSTACIONES	14
3.2. LOS PRIMEROS ANTIINCRUSTANTES Y SUS PROBLEMAS CON EL MEDIO AMBIENTE	16

3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ANTIINCRUSTANTES	17
3.3.1. CON BIOCIDAS	17
3.3.2. SIN BIOCIDAS	19
3.4. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ANTIINCRUSTANTES EN HEMPEL	22
<u>CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE PINTURAS Y ANTIINCRUSTANTE</u>	<u>25</u>
4.1. EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN	26
4.1.1. PISTOLAS DE PULVERIZACIÓN AEROGRÁFICA CONVENCIONAL	26
4.1.2. PISTOLAS DE PULVERIZACIÓN AEROGRÁFICA HVLP	27
4.1.3. PISTOLA DE PULVERIZACIÓN AIRLESS	29
4.1.4. PISTOLA DE PULVERIZACIÓN MIXTA	31
4.1.5. RECOMENDACIONES DE USO PARA EL ASTILLERO	33
4.2. APLICACIÓN MANUAL POR EXTENSIÓN	35
4.2.1. BROCHA	35
4.2.2. RODILLO	37
4.2.3. PAINT PAD	39
<u>CAPÍTULO 5. PREPARACIÓN PARA EL PINTADO</u>	<u>41</u>
5.1. PUESTA A SECO DE LA EMBARCACIÓN	41
5.2. HERRAJES Y DESMONTABLES	43
5.3. ANDAMIAJE	43
5.4. CARPA PROTECTORA	44
5.5. VENTILACIÓN	45
5.6. CONDICIONES AMBIENTALES	45
5.6.1. ILUMINACIÓN	46
5.6.2. TEMPERATURA AMBIENTAL	46
5.6.3. PUNTO DE ROCÍO	47
5.7. ASPECTOS A TENER EN CUENTA DE LA PINTURA	47
5.7.1. CANTIDAD DE PINTURA	47
5.7.2. VIDA ÚTIL DE LA PINTURA	48
5.7.3. AGENTE DE CURADO	48
5.7.4. DILUYENTE	49
5.7.5. AGITACIÓN	49

5.7.6.	ESPESOR DE PELÍCULA HÚMEDA	49
5.7.7.	TEMPERATURA DE LA PINTURA	51
5.7.8.	CAPACIDAD DEL EQUIPO DE APLICACIÓN DE PINTURA	52

CAPÍTULO 6. PREPARACIÓN SUPERFICIAL Y PINTADO DE LA EMBARCACIÓN 53

6.1.	PREPARACIÓN Y PINTADO DE CASCOS DE ACERO	53
6.1.1.	CHORREO DE ARENA ABRASIVO	54
6.1.2.	ACERO IMPRIMADO DE FÁBRICA	55
6.1.3.	ABRASIÓN MECÁNICA	56
6.1.4.	INTERVALO DE IMPRIMACIÓN	56
6.1.5.	PINTADO	56
6.2.	PREPARACIÓN Y PINTADO DE CASCOS DE ALUMINIO	57
6.2.1.	DESENGRASADO	57
6.2.2.	CHORREO CON ABRASIVOS	58
6.2.3.	ABRASIÓN MECÁNICA	58
6.2.4.	IMPRIMACIONES DE AGARRE	58
6.2.5.	PINTADO	59
6.3.	PREPARACIÓN Y PINTADO DE CASCOS DE FIBRA DE VIDRIO	59
6.3.1.	TRATAMIENTO EN MOLDES HEMBRA	59
6.3.2.	TRATAMIENTO EN MOLDES MACHO	60
6.3.3.	LA ÓSMOSIS	61
6.3.4.	PINTADO	66
6.4.	PREPARACIÓN Y PINTADO DE CASCOS DE MADERA	66
6.4.1.	INSPECCIÓN DE LAS EMBARCACIONES DE MADERA EN USO	67
6.4.2.	PREPARACIÓN SUPERFICIAL DE LAS EMBARCACIONES DE MADERA EN USO	67
6.4.3.	PINTADO	68
6.4.4.	BARNIZADO	69
6.5.	PREPARACIÓN Y PINTADO DE CASCOS CON ESQUEMAS DE PINTURA EXISTENTES	70
6.5.1.	ASPECTOS PRINCIPALES DE LA PREPARACIÓN DE SUPERFICIES PINTADAS NO SUMERGIDAS	70
6.5.2.	ASPECTOS PRINCIPALES DE LA PREPARACIÓN DE SUPERFICIES PREVIAMENTE SUMERGIDAS Y PREPARADAS CON ANTIINCRUSTANTE CONVENCIONAL	71

CAPÍTULO 7. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE 72

7.1. LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL APLICABLE A LAS OPERACIONES DE PINTADO	73
7.2. LICENCIA DE ACTIVIDAD	74
7.3. RESIDUOS PELIGROSOS	75
7.4. RESIDUOS NO PELIGROSOS	75
7.5. VERTIDOS LÍQUIDOS (AGUAS)	76
<u>CAPÍTULO 8. ASPECTOS DE SALUD LABORAL EN LOS PROCESOS DE PINTADO</u>	<u>78</u>
8.1. RIESGOS TOXICOLÓGICOS	78
8.1.1. PIGMENTOS	79
8.1.2. LIGANTES O RESINAS	80
8.1.3. DISOLVENTES	80
8.1.4. CARGAS Y ADITIVOS	83
8.1.5. PLASTIFICANTES	83
8.1.6. ENDURECEDORES (PARA POLIURETANOS)	83
8.1.7. CATALIZADORES (PARA EPOXI)	84
8.2. PREVENCIÓN	85
8.2.1. ALMACENAMIENTO	85
8.2.2. ETIQUETADO	86
8.2.3. SUSTITUCIÓN DE LOS PRODUCTOS UTILIZADOS	86
8.2.4. PROCESO PRODUCTIVO	87
8.2.5. HIGIENE INDIVIDUAL	89
8.2.6. PROTECCIONES PERSONALES	89
8.3. CONTROL MÉDICO PREVENTIVO DE LOS TRABAJADORES	91
CONCLUSIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94

Capítulo 1. Necesidad de protección para las embarcaciones

El casco de una embarcación puede construirse de diferentes materiales por varios motivos, y la elección de uno u otro puede decantarse debido a aspectos económicos, tamaño del barco, finalidad para la que se construye, facilidad de obtención de los materiales de construcción, etc.

Según el material con el que esté construido, el casco se verá afectado por unos u otros problemas para asegurar la conservación y protección del mismo. Es por este motivo que las pinturas y técnicas de aplicación de las mismas pueden variar según el tipo de sustrato que se desee proteger.

También varía la forma en la que se ven afectados las diferentes partes de una embarcación, dependiendo de si está en contacto con el agua, con las inclemencias del tiempo o con la propia tripulación.

A continuación, se describe por qué es necesario proteger las embarcaciones según los materiales de construcción tradicionales.

1.1. Embarcaciones de acero

El acero es un material muy usado en la construcción de barcos gracias a la dureza y resistencia que proporciona, además de facilidad de producción, manejabilidad e impermeabilidad. En el ambiente marino este material necesita pintarse para proporcionar una protección anticorrosiva además del acabado estético deseado.

La corrosión del acero

El principal defecto del acero es su inestabilidad química en contacto con el aire y el agua debido a la corrosión. La corrosión puede definirse como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Generalmente, puede entenderse como la tendencia que tienen los materiales a buscar su forma más estable, o de menor energía interna.

La corrosión es una reacción química (oxidorreducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua. Este fenómeno también puede producirse por medio de una reacción electroquímica. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en gran parte de variables como la temperatura, de la salinidad de fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión, en este caso el acero.



Figura 1. Barco de acero varado afectado por la corrosión – www.cedinox.es

Es un problema industrial importante, pues puede causar accidentes (ruptura de una pieza) y, además, representa un costo importante. Sin embargo, se puede combatir la corrosión con una preparación de la superficie cuidadosa y la aplicación de un esquema de pintado que proporcione una barrera física a la humedad y el oxígeno, aislando el sustrato de agentes corrosivos.

1.2. Embarcaciones de aluminio

El aluminio es un metal muy adecuado para el ámbito marino. Además de ser uno de los metales más versátiles que se conoce, es barato, abundante, resistente a una amplia gama de productos químicos y temperaturas, mucho más liviano que el hierro, y extremadamente moldeable. Junto con todas estas ventajas, hay que añadir que no se oxida.

Pero esta afirmación no es del todo correcta. Resulta que, como la mayoría de metales comunes, el aluminio puro es altamente inestable en la presencia de oxígeno, mucho más que el hierro. Lo que sucede es que, al oxidarse, se produce óxido de aluminio, y se deposita en toda la parte exterior del material, en forma de capa microscópica. Esta capa es químicamente igual a otros minerales como el corindón, rubí o zafiro, los cuales son extremadamente resistentes, sólo superados por el diamante. Gracias a las propiedades de esta capa, el aluminio que se encuentra bajo ella no se ve afectado por los elementos del ambiente exterior.

A diferencia del hierro, en el cual la oxidación es lenta y dura años o décadas, el proceso de oxidación del aluminio es extremadamente rápido, y sucede en el preciso instante en el que el aluminio entra en contacto con el oxígeno que se encuentra en el aire, completando la capa de óxido transparente en segundos. En los casos en los que se necesita una protección aún mayor, existe un proceso llamado anodización, el cual obliga al aluminio a generar una capa de óxido más gruesa, ofreciendo una mayor protección.

Sin embargo, la capa de óxido de aluminio puede resultar dañada con relativa facilidad, y sin dicha capa el aluminio se descompondrá rápidamente produciéndose corrosión galvánica.

La corrosión galvánica

Éste es un proceso electroquímico en el que un metal se corroe cuando está en contacto eléctrico con un metal más noble y ambos se encuentran inmersos en un electrolito o medio húmedo.

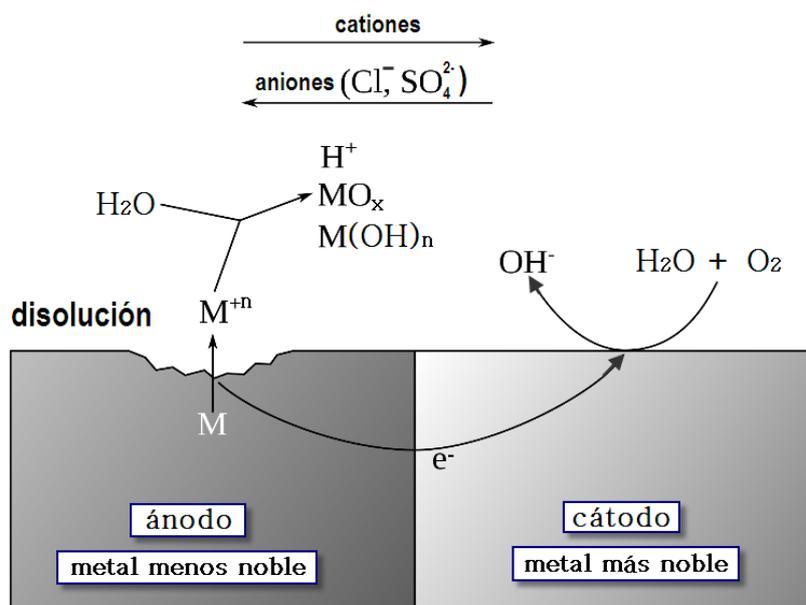


Figura 2. Principio de corrosión galvánica - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanic_corrosion--corrosion_galvanica---Corrosion_galvanique_principe.png

Es por esto que es muy importante proteger las superficies de aluminio con imprimaciones impermeables y/o tratamiento anódico. Además, las pinturas que se empleen no pueden contener compuestos metálicos tales como el óxido de cobre, el cual se encuentra en la mayor parte de los antiincrustantes, ya que podría reaccionar al contactar con el aluminio.

1.3. Embarcaciones de fibra de vidrio

El plástico reforzado con fibra de vidrio es un compuesto de varios materiales, principalmente fibras de vidrio y resina, dispuestos en capas alternas que se endurecen hasta formar un laminado compacto. Se puede comparar con la manera en la que las fibras de madera de un árbol se mantienen unidas debido a su adhesivo natural, la lignina. Tomando el mismo ejemplo, las capas de material de fibra de vidrio del PRFV se adhieren entre ellas con resina de poliéster. Tanto en los árboles como en el laminado de plástico reforzado con fibra de vidrio, las fibras confieren resistencia a la estructura, a la vez que la lignina y la resina mantienen las fibras unidas creando rigidez y distribuyendo la carga entre ellas. A mediados de la década de los 60, la fibra de vidrio se convirtió en el material de moda. Fue el primer material para construcción de barcos en el que se fabricaron químicamente los componentes en la fase de construcción. Si se monta correctamente, el laminado puede ser a la misma vez fuerte y rígido, así como tener buena resistencia a la fatiga y a los efectos del agua.



Figura 3. Laminado de cascos de fibra de vidrio - http://www.bavaria-mallorca.es/media/images/rumpf_lamin_05kl.jpg

No obstante, hasta mediados de los 70 no se hizo evidente que existía un factor mucho más grave que acortaba la vida del GRP. En pocas palabras, el GRP se deterioraba bajo el agua, llegando en algunos casos a acortar la vida del yate considerablemente. Este proceso de deterioro se conoce como “ósmosis”, por el mecanismo físico que provoca el deterioro en muchos casos, aunque no

sea verdaderamente “ósmosis”, en el sentido más estricto del término. La ósmosis es sin duda el principal enemigo de los cascos de fibra de vidrio. La ósmosis se da cuando el vapor de agua y la humedad traspasan la capa de Gelcoat y así, deterioran las láminas de fibra de vidrio y su resistencia estructural. Se dedicará un apartado dentro de la sección “Preparación superficial de la fibra de vidrio” para explicar, identificar, prevenir y reparar este fenómeno.

1.4. Embarcaciones de madera

Hasta mediados del siglo XIX la madera fue el único material empleado en la construcción de cascos y estructura de los buques. Era un material más ligero que el agua y muy resistente en relación con su peso específico. Sin embargo, las dimensiones de los mayores buques de la época estaban limitados entre los 60 y los 70 metros de eslora debido a que presentaban grandes dificultades de ensamblaje.

Hoy en día también se construyen cascos de madera, aunque su empleo está restringido a las embarcaciones menores como yates, pesqueros y lanchas, campos en los que ha de competir con el acero, el aluminio y la fibra de vidrio. Estas circunstancias unidas a la disminución de las reservas forestales, han hecho perder importancia a la construcción de buques de madera.

La madera es un material orgánico que en el ambiente marino puede sufrir diversos problemas. Siendo biodegradable, la madera constituye un alimento para varios organismos, desde los hongos que inducen la putrefacción hasta la carcoma y los crustáceos.

La madera absorbe también grandes cantidades de humedad que causan contracciones y dilataciones naturales, produciéndose problemas de adherencia en el esquema de pintura.



Figura 4. Primera tabla del forro y parte de la sobrequilla afectada por la podredumbre en una embarcación de madera - restaurarbarco.blogspot.com.es/

Para proteger la madera contra estos problemas y embellecerla, es necesario realizar una correcta preparación de la superficie y aplicar el esquema apropiado.

Capítulo 2. Pinturas

A grandes rasgos, el pintado de una embarcación consiste en cubrir el material con el que está construido con una película orgánica, de forma que se alcancen las propiedades mecánicas y de protección, de repelencia ante organismos extraños y estéticas deseadas.

La pintura es un producto fluido que, aplicado sobre una superficie en capas relativamente delgadas, se transforma al cabo del tiempo en una película sólida que se adhiere a dicha superficie, de tal forma que recubre, protege y decora el elemento sobre el que se ha aplicado.

2.1. Clasificación de las pinturas

Existen diferentes formas de clasificar las pinturas utilizadas en un astillero. Principalmente, se pueden clasificar según el modo que lleven a cabo el secado y el endurecimiento después de su aplicación, según la función encargada de realizar cada pintura sobre el sustrato recubierto, e incluso según el tipo de diluyente que contienen (debido a la diferente naturaleza de los impactos ambientales asociados a su utilización).

2.1.1. Clasificación según la función que realiza la pintura sobre el sustrato recubierto

- **Imprimaciones:** Son las primeras capas de pintura que se encuentran en contacto directo con el sustrato, altamente pigmentadas y con baja proporción de ligante. Su objetivo es servir de anclaje para las siguientes manos y evitar la oxidación en superficies metálicas mediante pigmentos con propiedades anticorrosivas.
- **Capas de fondo:** Se aplican sobre la imprimación con la intención de que el espesor del sistema de pintura aumente para evitar tener que aplicar varias capas de acabado. La relación pigmento/ligante es inferior a la de las imprimaciones, pero superior a las pinturas de terminación.
- **Pinturas de acabado:** Son aquellas que se aplican como capa última, y puede ser sobre la imprimación o sobre la capa intermedia. Se formulan con una relación pigmento - ligante baja para conseguir que las propiedades de permeabilidad y resistencia sean las mejores.
- **Barnices:** Son recubrimientos no opacos, es decir, compuestos por ligantes y disolventes. Pueden ir en ocasiones pigmentados con colorantes solubles o pigmentos transparentes.

2.1.2. Clasificación según el modo de secado y endurecimiento después de la aplicación de la pintura

- **Secado por evaporación de disolventes:** El ligante no sufre ninguna variación durante el proceso de secado. Son resinas duras que previamente se han disuelto en disolventes apropiados y que después de la evaporación vuelven a su estado original. A este grupo pertenecen las resinas nitrocelulósicas, resinas vinílicas, resinas de caucho, poliolefinas cloradas, resinas acrílicas termoplásticas, alquitranes y asfaltos, resinas naturales, etc.
- **Secado oxidativo por reacción con el oxígeno atmosférico:** Los ligantes se caracterizan por poseer ácidos grasos en su estructura. El secado se realiza por absorción del oxígeno del aire después de la evaporación de los disolventes. A este grupo pertenecen las pinturas a base de aceites vegetales, resinas alquídicas modificadas con aceites secantes, barnices fenólicos modificados con aceite.
- **Secado por la acción de la temperatura:** La polimerización del ligante se realiza por el calor externo aportado en hornos de convección, infrarrojos, etc. Las temperaturas oscilan entre 100 y 200°C en tiempos desde 5 hasta 30 minutos, por lo general. Destacan en este grupo las pinturas formuladas con resinas alquídicas o poliéster combinadas con amínicas, resinas acrílicas termoestables, resinas epoxídicas combinadas con fenólicas o amínicas, resinas de silicona, etc.
- **Secado por reacción química entre varios componentes:** En ellas debe producirse la reacción con un segundo componente denominado catalizador o endurecedor, añadido previamente a su aplicación. Las más conocidas son las resinas epoxi con endurecedores de tipo amidas o aminas, resinas de poliéster o hidroxiacrílicas endurecidas con isocianatos, resinas de poliéster catalizadas con peróxidos, resinas de silicato, resinas alquídicas catalizadas por ácido, etc.

2.1.3. Clasificación según el diluyente que contiene la pintura

Desde un punto de vista medioambiental, debido a la diferente naturaleza de los impactos ambientales asociados a su utilización, la clasificación más habitual de las pinturas se realiza atendiendo al diluyente que contienen. Las categorías principales utilizadas en un astillero son:

- Pinturas en base disolvente, que, en función de la proporción de compuestos orgánicos volátiles que contienen, se clasifican en:
 - ✓ Convencionales
 - ✓ Con alto contenido en sólidos

- Pinturas en base agua

Pinturas en base disolvente

Debido a sus propiedades de facilidad de aplicación, versatilidad para cambios de color, etc., han dado lugar a que este tipo de pinturas sea el más ampliamente utilizado dentro de la industria.

Las pinturas en base disolvente convencionales contienen en su composición una concentración variable de disolventes que puede oscilar entre el 40 y 60% de su peso. Existen una gran variedad de disolventes que se suelen emplear en la formulación de este tipo de pinturas, pero los más utilizados son el tolueno, xileno, nafta aromática, MEK, MIBK y acetato de butilo.

Desde una perspectiva medioambiental, uno de los aspectos más relevantes en la aplicación de pinturas es la emisión de compuestos orgánicos volátiles que se produce debido al contenido de disolventes que se emplean en su formulación. La exposición a estos vapores de disolvente supone riesgos para la salud de los trabajadores, que deben minimizar usando medios de protección adecuados (en el apartado capítulo 8.2 se amplían con más detalle este tipo de riesgos).

Pinturas con alto contenido en sólidos

Estos recubrimientos son, por lo general, similares a los convencionales con bajo contenido en sólidos en lo que se refiere a su aplicación (a veces requieren equipos de aplicación airless por su alta viscosidad), curado y propiedades finales de la película, aunque existen también algunas diferencias.

Este tipo de pinturas se puede aplicar a madera, fibra de vidrio o metal, pero los mejores resultados se obtienen en sustratos metálicos. El alto contenido en sólidos puede requerir en algunos casos equipos de pulverización especiales debido a su alta viscosidad. Una forma de solucionar este problema es añadir un calentador en la línea del equipo de aplicación que aumente la temperatura de la pintura, reduciendo de esta forma la viscosidad.

La utilización de pinturas con alto contenido en sólidos disminuye las emisiones de VOC's y compuestos peligrosos (hasta un 50% en algunos casos) asociadas con el proceso de pintado, pero deberá controlarse que esto no suponga un aumento en el uso de disolventes de limpieza adicionales.

Pinturas en base agua

El término “en base agua” se refiere a los sistemas de recubrimientos que utilizan agua como disolvente para dispersar la resina. Por lo general, contienen hasta un 80% de agua con pequeñas cantidades de otros disolventes, como éteres glicólicos, y el contenido en sólidos es similar al de las pinturas convencionales. En la siguiente figura, se compara el contenido en disolvente de las pinturas convencionales, las de alto contenido en sólidos y las de base acuosa.

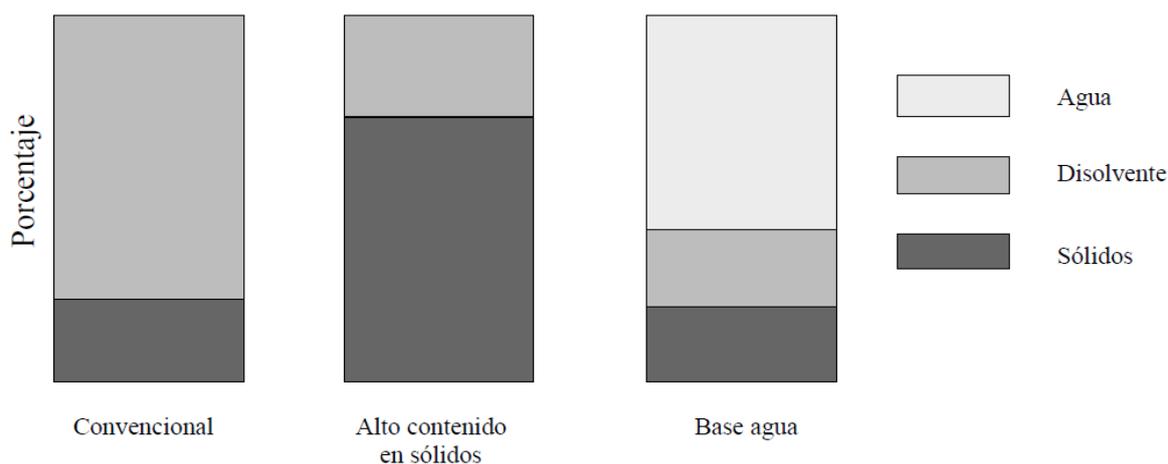


Figura 5. Contenido en disolvente de recubrimientos convencionales, con alto contenido en sólidos y en base agua

– Pintado Industrial, IHOBE

La aplicación de las pinturas en base agua puede ser difícil a bajas temperaturas y alta humedad relativa, ya que la viscosidad de la pintura aumenta a medida que desciende la temperatura. Este tipo de pinturas requieren un tiempo de secado mayor que las de base disolvente, y, además, es importante que la superficie del sustrato esté limpia de cualquier resto de grasa o polvo. Por ello, en algunos casos puede requerirse el uso de disolventes en el proceso previo de limpieza.

Los recubrimientos en base acuosa se han aplicado con éxito a superficies de metal, madera y plástico.

Asimismo, además de reducir las emisiones de VOC's durante la aplicación, los recubrimientos en base acuosa reducen el riesgo de incendio, son más sencillos de limpiar (generando menos residuos peligrosos) y existe una exposición reducida de los trabajadores a los vapores orgánicos. Sin embargo, puede requerirse de equipos especiales para su aplicación, ya que el agua puede causar problemas de corrosión, por lo que el equipo de aplicación deberá estar fabricado con material anticorrosivo. Además, deberá controlarse la humedad para mejorar la formación de la película.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de pinturas al agua:

- **Solubles en agua (solución):** Son pinturas cuyas moléculas de resinas se disuelven completamente en agua una vez neutralizadas con aminas. Contienen un co-disolvente de tipo alcohol, éteres de glicol u otros disolventes oxigenados que sean miscibles con el agua (contenido orgánico menor del 20%). Poseen entre un 30 y 50% de contenido en sólidos en peso. Se aplican mediante técnicas electroféricas principalmente, aunque también aerográficas, brocha o rodillo.
- **Dispersables en agua (dispersión):** Constituyen este grupo las pinturas a base de resinas insolubles en agua pero que quedan suspendidas en ésta. Se utilizan cantidades pequeñas de co-disolvente orgánico (menos de un 5% en peso) que se evaporará durante el secado. Estas dispersiones se utilizan mayormente para recubrir madera, plástico y metal.
- **Nuevos desarrollos en dos componentes:** De este tipo son las epoxi, acrílicas-isocianato, poliéster-iocianato y acrílicas-niso. Tienen un bajo contenido en disolvente orgánico y tiempos de curado más lentos que los convencionales. La aplicación suele realizarse con equipos aerográficos, mixtos y airless.

2.2. Componentes principales de las pinturas

Principalmente, la pintura líquida se compone a partir de: disolventes, ligantes (resinas), pigmentos y aditivos. La cantidad de cada componente puede variar con el tipo de pintura, color y brillantez, pero su participación siempre responde a una composición proporcional aproximada: los disolventes pueden estar en un 50-60%, los ligantes desde el 15 al 45%, los pigmentos pueden variar en función del tipo de pintura y color desde un 3% al 35% y los aditivos del 1 al 5 %.

2.2.1. Disolventes

Los disolventes son añadidos a los recubrimientos para dispersar el resto de constituyentes de la pintura y reducir su viscosidad, facilitando por lo tanto la aplicación del recubrimiento. Se utiliza una amplia gama de disolventes como:

- **Hidrocarburos alifáticos:** White-spirit
- **Hidrocarburos aromáticos:** xileno, tolueno y nafta aromática
- **Cetonas:** metil etil cetona (MEK), metil isobutil cetona (MIBK), ciclohexanona y diacetona alcohol
- **Alcoholes:** metanol, isopropanol, isobutanol, butanol
- **Ésteres:** acetato de etilo, acetato de isobutilo, acetato de metoxipropilo
- **Éteres glicólicos:** metoxipropanol, butilglicol, butilglicol

El disolvente se evapora durante el proceso de secado/curado del recubrimiento, por lo que suelen elegirse en función de su capacidad para disolver las resinas y de su velocidad de evaporación. Por lo general, en las formulaciones de pinturas se encuentran combinaciones de varios disolventes, siendo los más utilizados el tolueno, xileno, nafta aromática, MEK, MIBK y acetato de butilo.

2.2.2. Ligantes o resinas

Son los constituyentes con más peso en cuanto a importancia y se utilizan en los recubrimientos para unir los pigmentos y los aditivos, ayudar a la adhesión y se responsabilizan de formar de la película plástica final, proporcionando además las propiedades deseadas al recubrimiento y determinando el comportamiento de la película (brillo, elasticidad, flexibilidad, durabilidad, resistencia química, etc.).

Las resinas se eligen en base a las propiedades físicas y químicas deseadas para la película. Las resinas más comúnmente utilizadas son:

Alquídicas	Vinílicas
Acrílicas (base disolvente o base agua)	Caucho clorado
Epoxis	Termoplásticas y termoestables
Poliuretanos y poliésteres	Nitrocelulósica
Poliéster-urea	Pigmentos
Melanina	

Tabla 1. Resinas más comúnmente utilizadas

2.2.3. Pigmentos

Son sustancias insolubles de materiales orgánicos (naturales) o inorgánicos (sintéticos) que se dispersan en el recubrimiento con objeto de conferir color y opacidad a un sustrato o para mejorar su resistencia mecánica.

El tipo de pigmento de la pintura determina el color y la estabilidad de éste en la pintura, mientras que la cantidad de pigmento determina el brillo y la opacidad del recubrimiento. Los pigmentos inorgánicos tienen mayor estabilidad frente a la luz ultravioleta y a la temperatura.



Figura 6. Pigmentos coloreados para pintura - <http://definicion.de/wp-content/uploads/2013/03/pigmento.jpg>

Existen varias clases de pigmentos:

- **Pigmentos coloreados:** óxidos de hierro, ftalocianina, azoicos
- **Pigmentos blancos:** dióxido de titanio, litopón, óxido de zinc
- **Pigmentos metálicos:** escamas de aluminio (aumentan la impermeabilidad y aportan un acabado metálico), níquel y plata (se emplean como pigmentos en pinturas conductoras de la electricidad)
- **Pigmentos funcionales, de refuerzo, inertes o cargas** (minerales de color blanco o neutro que mejoran la dureza, matizado, opacidad, propiedades anticorrosivas, etc.): fosfato de zinc, cromato de zinc, carbonato cálcico, talco, barita, mica, sílice, caolín, etc.
- **Pigmentos perlescentes:** micas tratadas con óxidos metálicos

2.2.4. Aditivos

Los aditivos son materiales que mejoran las propiedades físicas y químicas del recubrimiento como el secado, brillo estabilización, etc. Dentro de este grupo se incluyen:

Surfactantes	Catalizadores
Espesantes	Antifloculantes
Biocidas y fungicidas	Antiposo
Estabilizadores	Secantes
Antiespumantes	Antipie

Tabla 2. Aditivos más comúnmente utilizados

Capítulo 3. Antiincrustantes

Cuando las embarcaciones permanecen inmóviles en el agua, es inevitable que acaben por "llenarse" de pequeños organismos marinos que afectarán notablemente la calidad de sus prestaciones. Gran parte de esta zona no la vemos y justamente puede llenarse de incrustaciones sin advertirlo. Mantenerla adecuadamente servirá para cosas tan importantes como ahorrar en combustible o aumentar la velocidad de la embarcación.

3.1. El problema de las incrustaciones

Las embarcaciones navegan más rápidamente y consumen menos combustible cuando sus cascos se encuentran limpios y lisos, libres de incrustaciones de organismos, tales como algas, moluscos, y otras especies marinas similares. Además, se mejora la maniobrabilidad, estabilidad y seguridad, le da un mejor aspecto estético, y puede suponer una disminución de otras tareas de reparación y mantenimiento relacionadas.

Tipos de incrustaciones y problemas que ocasionan

La incrustación es el crecimiento de organismos marinos sobre el área en inmersión del casco de la embarcación, y puede ocurrir con cualquier organismo capaz de adherirse a una embarcación. Existen seres marinos que necesitan adherirse a una superficie para poder sobrevivir en algunas fases de su proceso biológico. Cuando se adhieren a una embarcación construida por el hombre, reciben el nombre de incrustación.



Figura 7. Casco afectado por las incrustaciones - <http://magazineoceano.com>

Hay tres tipos de incrustaciones:

- Algas: de color verde, marrón, rojo o azul verdoso



Figura 8. Algas incrustadas verdes, marrones y rojas – La Ciencia de los Antifouling, International Yacht Paint

- Limos: barro, bacterias y algas microscópicas



Figura 9. Limo adherido a un casco - La Ciencia de los Antifouling, International Yacht Paint

- Orgánicas: pueden ser de dos tipos, no calcáreas (esponjas, briozoos, etc.) o calcáreas (con cáscara), moluscos, caracolillo, tubos de gusano, entre otros.



Figura 10. Tubos de gusano, moluscos y caracolillo adheridos a un casco - La Ciencia de los Antifouling, International Yacht Paint

Factores como la temperatura, la luz, la salinidad del agua, favorecerán la aparición de una u otra clase de incrustación, así como su desarrollo. Estas incrustaciones tienen efectos en la embarcación que debemos considerar:

- Pérdida de velocidad
- Aumento del consumo de combustible
- Dificultad para la realización de maniobras

3.2. Los primeros antiincrustantes y sus problemas con el medio ambiente

En los primeros días de la navegación, la cal, el arsénico y compuestos del mercurio, junto con pesticidas, se usaron para recubrir los cascos de los buques para que actúen como antiincrustantes. Durante la década de los '60, la industria de productos químicos desarrolló pinturas antiincrustantes eficaces y rentables que utilizan compuestos metálicos. En particular, dicho compuesto era el óxido de tributilestaño (TBT). En la década de los '70, la mayoría de los buques tenían sus cascos pintados con TBT.

Sin embargo, pronto se hizo evidente que había que pagar un precio (y no era económico) por el uso de las pinturas antiincrustantes que contenían TBT. Estudios ambientales demostraron que tales compuestos persisten en el agua y en sus sedimentos, matando la vida marina que no se había incrustado en los cascos de los barcos, con un elevado riesgo de afectar a la cadena alimenticia del ecosistema marino y, por supuesto, con una alta probabilidad de acabar siendo consumido por los humanos. Además, se comprobó que el TBT causaba deformaciones en ostras, cambios de sexo en caracoles de mar (imposex), y alteraciones en el sistema inmunológico y genético de otras especies marinas.

Entre los años 1970 y 1980, las altas concentraciones de TBT en las costas de Francia causaron el colapso de las pesquerías de moluscos, y esto llevó a muchos Estados a actuar e imponer algunas restricciones en el uso de TBT en pinturas antiincrustantes.



Figura 11. Greenpeace protestando en contra de los antiincrustantes basados en TBT - www.hullbot.com

En 1988, el problema fue traído a la atención del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) de la Organización Marítima Internacional (OMI), la agencia de Naciones Unidas que se ocupa de la seguridad de la navegación y la prevención de la contaminación marina.

Como resultado, la OMI adoptó en 1990 una resolución en la que recomendaba a los gobiernos la adopción de medidas para eliminar las pinturas antiincrustantes contenientes de TBT. En la década de los '90, el MEPC siguió examinando las cuestiones ambientales que provocaban los sistemas antiincrustantes, y, en noviembre de 1999, la OMI adoptó una resolución que pedía al MEPC el desarrollo de un instrumento jurídicamente vinculante en todo el mundo para hacer frente a los efectos nocivos de los sistemas antiincrustantes utilizados en los buques. Dicha resolución pidió la prohibición del uso de compuestos organoestánicos (orgánicos de estaño) que actuaban como biocidas en los barcos construidos a partir del 1 de enero de 2003, y una prohibición total a partir del 1 de enero de 2008.

3.3. Clasificación de los antiincrustantes

Dentro del mercado de antiincrustantes actualmente utilizados, se pueden diferenciar dos grandes grupos: aquellos que utilizan biocidas para eliminar y/o repeler los microorganismos que puedan quedarse adheridos al casco, y los que funcionan sin biocidas, cuyo funcionamiento se basa en impedir la adhesión y aparición de incrustaciones.

3.3.1. Con biocidas

A grandes rasgos, la composición de las pinturas antiincrustantes que se aplican en los cascos está formada por una combinación de pigmentos activos y biocidas dispersos en una matriz resinosa llamada "rosin". Los principales biocidas utilizados hoy en día están basados en el cobre, como el óxido de cobre y el tiocianato de cobre. También se utilizan biocidas de carácter orgánico como son los carnatos, piritonas e isotiazolonas.

3.3.1.1. Antiincrustantes de matriz soluble

Estos fueron los primeros antiincrustantes utilizados comercialmente, y contienen biocidas antiincrustantes en una matriz de aglutinantes poliméricos solubles en el agua salada. A medida que estos polímeros se diluyen, los tóxicos se van liberando impidiendo que aparezcan incrustaciones. Este proceso se puede apreciar en la figura 12.

La principal desventaja de los antiincrustantes de matriz soluble es la incapacidad de controlar esta disolución en el agua, requiriendo así que la pintura tenga que volver a ser aplicada tras 12-

15 meses de uso. Los aglutinantes utilizados son también sensibles a la oxidación, requiriendo que el tiempo necesario fuera del agua para su aplicación sea minimizado todo lo posible para evitar su reacción con el aire atmosférico.

Tipos de matrices de antiincrustantes

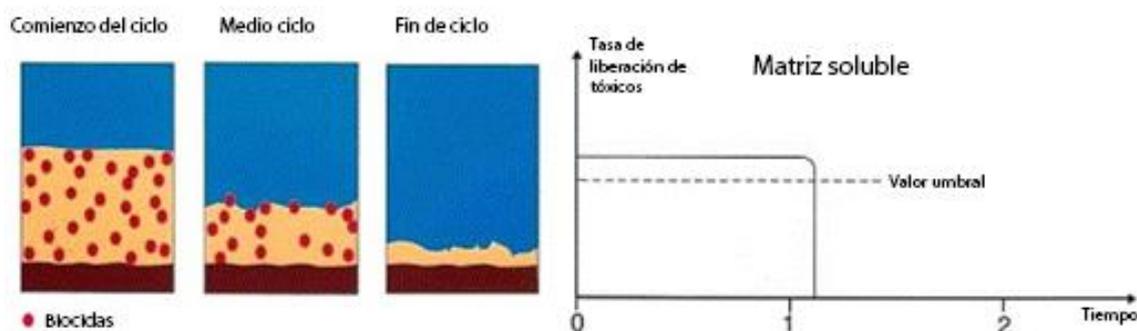


Figura 12. Antiincrustantes de matriz soluble -

<http://shipfoulingchem409group2.wikispaces.com/Solutions+to+Marine+Biofouling>

3.3.1.2. Antiincrustantes de matriz dura

Estos antiincrustantes fueron desarrollados para mejorar la disolución incontrolada de la pintura, así como de los biocidas que ésta contiene. Los aglutinantes poliméricos que estas pinturas contienen tienen un peso molecular mayor y son insolubles en el agua de mar. Estas propiedades minimizan la erosión de la pintura y permite al agua llenar los poros que han quedado vacíos de biocidas, tal y como se puede apreciar en la figura 13.

Sin la erosión y sin la descomposición de la resina, el grado de liberación de biocidas declina lentamente a medida que los tóxicos disponibles están localizados más profundamente en la capa de pintura. El repintado del casco con este tipo de antiincrustante varía entre 12-24 meses dependiendo de las condiciones ambientales sufridas y del grado de incrustaciones.

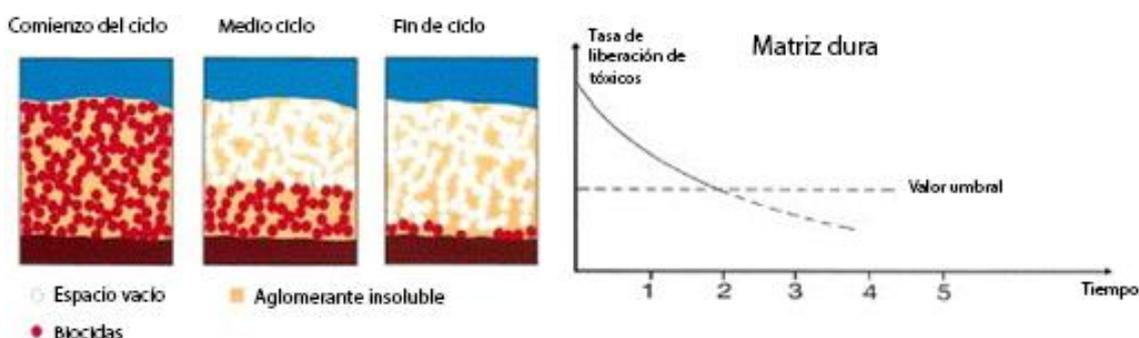


Figura 13. Antiincrustantes de matriz dura -

<http://shipfoulingchem409group2.wikispaces.com/Solutions+to+Marine+Biofouling>

3.3.1.3. Antiincrustantes de matriz autopulimentable

Junto con los biocidas y los compuestos poliméricos presentes en todas las pinturas antiincrustantes, las pinturas autopulimentables contienen además pigmentos tóxicos y copolímeros. Tanto la resina como los pigmentos son solubles en agua de mar, pero, a medida que se disuelven, los copolímeros evitan que el agua de mar se introduzca en los poros y disperse los biocidas contenidos más profundamente en la pintura. Esta capa de copolímeros permite al área en contacto con el agua crecer y liberar biocidas hasta el punto en que se libera y queda al descubierto la siguiente capa liberable. Este proceso se puede apreciar en la figura 14. La presencia de estos copolímeros permite la liberación constante y controlada de biocidas en base a las condiciones ambientales, alargando los tiempos de re aplicación de pintura un máximo de 5 años.

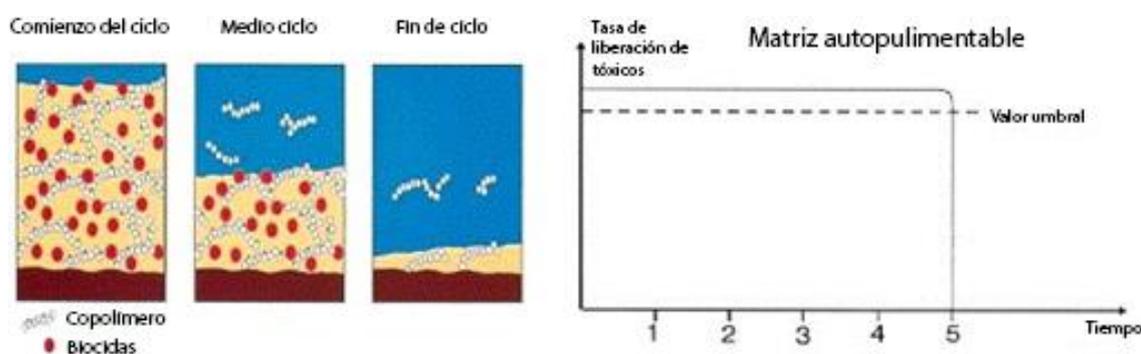


Figura 14. Antiincrustantes de matriz autopulimentable -

<http://shipfoulingchem409group2.wikispaces.com/Solutions+to+Marine+Biofouling>

3.3.2. Sin biocidas

Debido a las graves consecuencias sobre el entorno marino que se han podido observar a lo largo de la historia náutica por la liberación de biocidas, algunas marcas dedicadas a esta industria han estado desarrollando antiincrustantes cuyo método para evitar las incrustaciones es a partir de fenómenos físicos y no químicos.

3.3.2.1. Foulings release coatings

Compuestos a partir de polímeros llamados hidrogel, y lo más importante, libre de biocidas, esta tecnología está basada en la aplicación de un revestimiento que proporciona una superficie lisa, resbaladiza, con un bajo coeficiente de fricción en el cual los organismos incrustantes tienen dificultades para adherirse. Gracias a este sistema, una embarcación puede liberarse de las incrustaciones con facilidad al alcanzar una velocidad crítica aproximada entre 10 y 20 nudos.

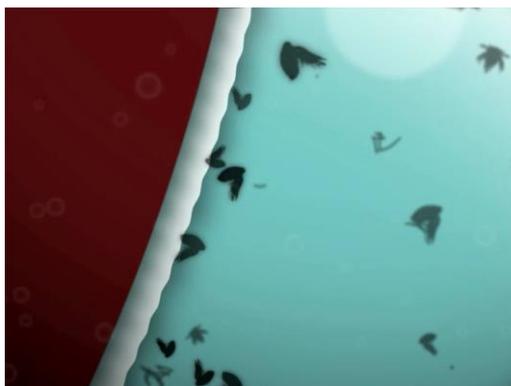


Figura 15. Capa de hidrogel - <http://www.hempel.com/en/marine/underwater-hull/fouling-release>

Estos revestimientos de hidrogel son hidrófilos, es decir, afines al agua. En contacto con ésta se hinchan, aumentando considerablemente su volumen, pero manteniendo la forma hasta alcanzar un equilibrio físico-químico. La eficacia de este sistema consiste, básicamente, en hacer creer a las incrustaciones marinas que intentan adherirse a un casco protegido con una capa de estas características que el casco es un líquido y no una superficie sólida, minimizando la proteína y adhesión bacteriana.

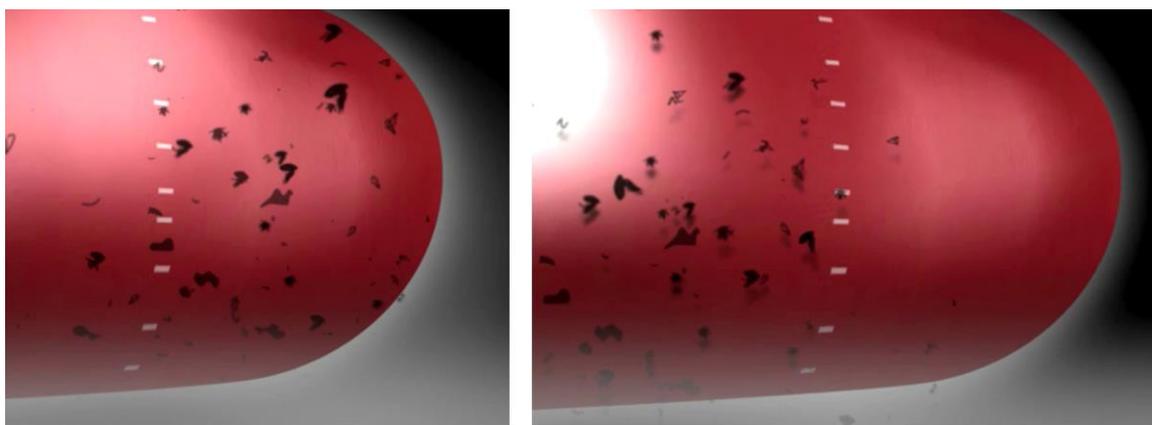


Figura 16. Liberación de las incrustaciones al alcanzar velocidad crítica - <http://www.hempel.com/en/marine/underwater-hull/fouling-release>

Existen algunos inconvenientes acerca de este método, siendo la desventaja más significativa que no ofrecen protección ante el crecimiento de incrustaciones mientras no se alcance la velocidad crítica. Mientras la embarcación se encuentra atracada, las incrustaciones tienen vía libre para adherirse y reproducirse sobre la obra viva, por lo que requiere un raspado periódico para proteger el casco.

Esta necesidad de limpieza física de las incrustaciones biológicas presenta el otro gran inconveniente de este sistema, la cual es la vulnerabilidad del recubrimiento a ser dañado por abrasión durante la navegación y la limpieza. La debilidad estructural de estos revestimientos requiere una mayor frecuencia de aplicación, que puede llegar a ser en algunos casos de dos años.

3.3.2.2. Ultrasonidos

Este sistema trabaja fundamentalmente emitiendo impulsos de baja potencia a una determinada frecuencia (generalmente entre 20-50 kHz) controlados desde una unidad de control digital, mediante transductores instalados en contacto directo con el interior del casco. El casco actúa como una caja de resonancia, transportando las ondas sonoras, creando un ambiente microscópico de moléculas de agua en constante agitación y movimiento a lo largo de toda la obra viva. Como resultado los microorganismos y microestructuras orgánicas se ven afectadas por ese ambiente y se hace imposible su adhesión al casco.

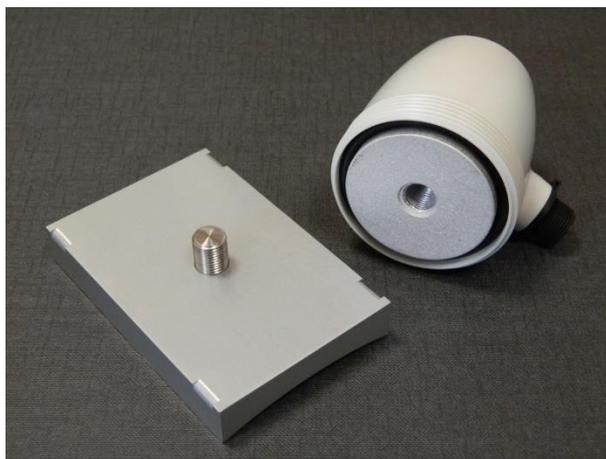


Figura 17. Transductor emisor de ultrasonidos - www.ultrasonic-anti-fouling.com

La vibración de los ultrasonidos se ha adecuado para no dañar en absoluto a ningún elemento de la embarcación ni tampoco a la fauna marina, ya que los transductores trabajan con amplitudes de micras (milésimas de milímetro), siendo suficiente para impedir la adhesión y desarrollo de los seres vivos microscópicos.

Se han ido desarrollando varios modelos en función de la eslora de las embarcaciones, y a mayor superficie a cubrir se colocan más transductores para conseguir una mejor distribución de los ultrasonidos.

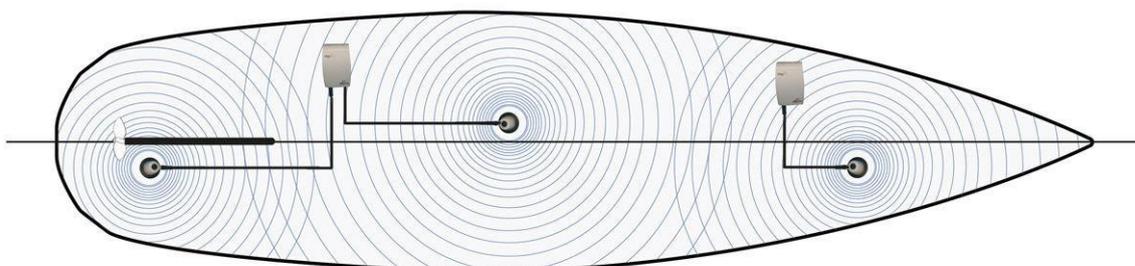


Figura 18. Ejemplo sistema anti-fouling de ultrasonidos para velero < 20 m, doble suministro AC/DC -

www.nauticexpo.es

3.4. Investigación y desarrollo de antiincrustantes en Hempel

Hempel es una de las empresas líderes mundiales en pinturas y recubrimientos para uso náutico, industrial y decorativo, y dispone en su sede de Polinyà (Cataluña) de un importante complejo de investigación en el cual se estudian y desarrollan diferentes clases de pintura antiincrustante.



Figura 19. Instalaciones de I+D de Hempel en Polinyà, Cataluña - <http://www.copegam.com>

Tras la ampliación de su departamento de I+D en 2010, Hempel dedica parte los 2.000 m² de sus instalaciones en realizar diferentes tipos de ensayos experimentales. Además, cuentan con zonas de “fabricación piloto”, en las cuales se desarrollan y personalizan productos con gran rapidez, hecho que permite responder a las necesidades de los clientes de una forma más eficaz.



Figura 20. Laboratorios de I+D en Hempel, Polinyà, Cataluña - <http://www.industriaspesqueras.com/>

Los trabajos realizados en estas instalaciones desde 1980 se han especializado en la investigación sobre pinturas antiincrustantes. Las visitas guiadas que Hempel organiza permiten adentrarse en el seno de la zona de investigación y desarrollo de forma que se pueden observar los procedimientos, sistemas y elementos mediante los cuales van formulando los antiincrustantes que más puedan interesar al mercado.



Figura 21. “Lab rotors” para el ensayo acelerado de pinturas antiincrustantes en agua salada artificial

Antiincrustante Hempaguard

Lanzado al mercado en 2013, este concepto innovador de revestimiento antiincrustante orientado al transporte marítimo, ofrece una extraordinaria resistencia a las incrustaciones durante largos períodos de inactividad. Hasta la fecha, se ha aplicado como recubrimiento completo a más de 500 barcos, y el éxito es innegable.

A diferencia de los antiincrustantes convencionales que, en general, se especifican de acuerdo a la actividad y velocidad operativa de una embarcación, Hempaguard conserva su eficacia a velocidades bajas e irregulares, incluso cuando está parado. Ésta ha sido una de las razones de su éxito, junto con el ahorro de combustible de cerca del 6%.

Hempaguard es el primer producto en utilizar la tecnología Actiguard patentada por Hempel, la cual integra hidrogel y silicona, junto con la difusión completa de control de biocidas en una sola capa.

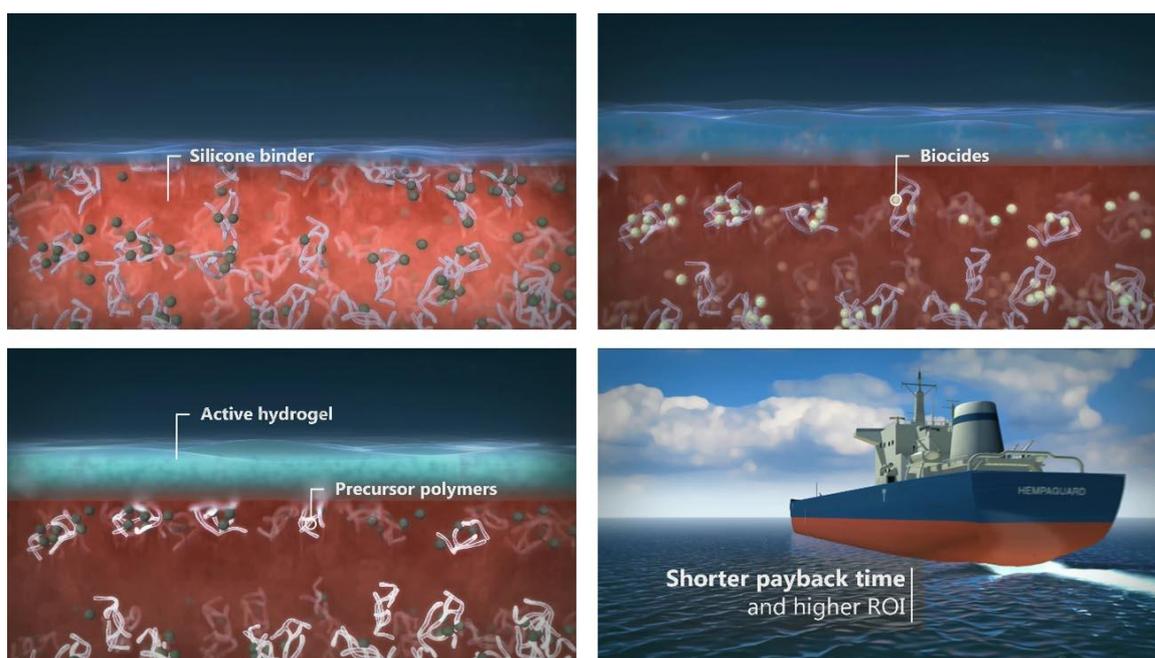


Figura 22. Imágenes del vídeo promocional de Hempaguard - <http://www.hempel.com/en/about-hempel/news/2013/hempel-launches-hempaguard#>

Se comercializa en dos fórmulas de diferentes duraciones, la menor de 36 meses, y la mayor, de 90, garantizando:

- Prevención eficiente de incrustaciones durante todo el intervalo de servicio
- Tecnología de fusión Actiguard de baja fricción patentado por Hempel
- Combinación óptima de las propiedades de la silicona hidrogel y biocidas antiincrustantes
- Resistencia a las incrustaciones en condiciones de inactividad hasta un máximo de 120 días

Capítulo 4. Técnicas de aplicación de pinturas y antiincrustante

Existen numerosos procesos disponibles para aplicar una capa de recubrimiento orgánico sobre una superficie. Cuando se considera la posibilidad de cambiar a una técnica de aplicación diferente, es importante para las empresas definir sus objetivos a la hora de realizar el cambio y luego priorizarlos.

Esta priorización debería compararse frente a las técnicas de aplicación disponibles para determinar la mejor opción. Entre los objetivos, se pueden incluir:

- Reducción de los costes de aplicación del recubrimiento
- Reducción del consumo de materiales de recubrimiento
- Reducción de las emisiones de disolventes
- Mejora de la capacidad de producción a través de una reducción del tiempo de proceso
- Mantenimiento o mejora de la calidad final
- Asegurar que el espesor requerido del recubrimiento se alcanza de forma sencilla
- Cumplimiento de la legislación relacionada

Los métodos más comunes de aplicación de recubrimientos en las superficies de una embarcación son el pintado por pulverización aerográfica y por extensión manual.

Dentro de los sistemas de pulverización más utilizados en este ámbito se encuentran los siguientes métodos:

- Pulverización aerográfica convencional y HVLP
- Pulverización airless
- Pulverización mixta

Por el lado de la aplicación manual por extensión destaca el uso de:

- Brocha
- Rodillo

- Paint pad

4.1. Equipos de pulverización

La pulverización consiste en aplicar el material sobre el recubrimiento a una distancia determinada valiéndonos de la atomización de las partículas de pintura por efecto de la presión, la alimentación del aire o bien una influencia sinérgica de ambos factores.

Dependiendo de si para atomizar el material se utiliza aire o se aumenta la presión, la pulverización puede variar, diferenciándose:

- Pulverización aerográfica: convencional o HVLP
- Pulverización airless
- Pulverización mixta

Generalmente, los sistemas de pulverización utilizan pistolas especialmente diseñadas para atomizar la pintura. Para aplicaciones industriales, la pintura suele estar en un recipiente a presión y se alimenta la pistola utilizando aire comprimido. Tradicionalmente se han utilizado pistolas manuales o automáticas para aplicar las pinturas líquidas sobre los sustratos metálicos.

Los principales factores que afectan a la eficacia de transferencia de una pistola de pulverización son los mecanismos mediante los cuales:

- Se atomiza el material de recubrimiento
- El material atomizado se proyecta o es atraído por la pieza

4.1.1. Pistolas de pulverización aerográfica convencional

Esta tecnología, que ha sido la más utilizada en los últimos cuarenta años, utiliza una pistola especialmente diseñada y aire a altas presiones (3 a 6 bar) para atomizar una corriente líquida de pintura. Esta tecnología se conoce como de bajo-volumen/alta-presión, pero normalmente se denomina pulverización aerográfica convencional. El aire se alimenta a la pistola mediante un compresor de aire y la pintura se alimenta por medio de un sistema de alimentación a presión (también se utilizan sistemas por succión y por gravedad).

El sistema convencional produce un acabado uniforme y se puede utilizar en multitud de superficies. Ofrece un buen control de la pulverización y el mejor grado de atomización. Sin embargo, esta tecnología produce un alto porcentaje de niebla (pulverizado sobrante), obteniendo bajas eficiencias de transferencia y utilizando grandes cantidades de aire comprimido. Además, como el disolvente de la pintura está muy atomizado junto con los sólidos de la pintura, las emisiones

de VOCs son altas. Los recubrimientos más utilizados son los de base disolvente (pinturas convencionales).

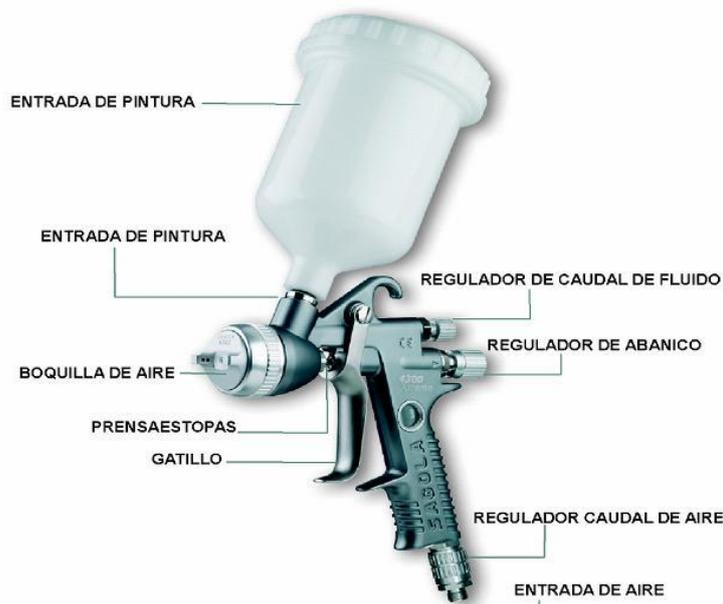


Figura 23. Elementos de una pistola aerográfica convencional y HVLP - proyectofrisoalmagro.blogspot.com

Fuera de la pistola, el aire comprimido se mezcla con la corriente líquida e inmediatamente atomiza el material de recubrimiento. Cuando el producto pulverizado a alta velocidad alcanza la pieza, tiende a “rebotar”, arrastrando gotas del material de recubrimiento. Esta es la causa de la niebla característica asociada con las pistolas convencionales.

Los operarios deben llevar respiradores para prevenir la inhalación de la niebla y vapores peligrosos. Asimismo, dependiendo del nivel de ruido en la cabina de pulverización, también puede ser necesario el uso de un protector auditivo.

4.1.2. Pistolas de pulverización aerográfica HVLP

El proceso de aplicación HVLP (gran volumen/baja presión) es similar al proceso convencional, con la diferencia de que utiliza un gran volumen de aire a baja presión para atomizar la corriente de pintura. Las pistolas HVLP operan con una presión de pulverización del aire máxima de 0.7 bar. Con esta técnica se aumenta la eficacia de transferencia del recubrimiento hasta el 30-45%, reduciendo la niebla gracias a la baja velocidad de las partículas.

El producto que sale por la boquilla es pulverizado uniformemente gracias a la fuerza ejercida por un flujo de aire que sale del cabezal con un caudal elevado (entre 300 y 600 l/min) y con una presión baja (entre 0.2 y 0.7 kg/cm²). Por tanto, y en relación con el sistema convencional estamos

sustituyendo la alta velocidad del flujo de aire en los agujeros del cabezal por una baja velocidad, pero con un aumento de caudal-volumen de aire. Esta baja velocidad hace que el producto pulverizado llegue al objeto suavemente, sin apenas rebote y por tanto con una considerable reducción de niebla.

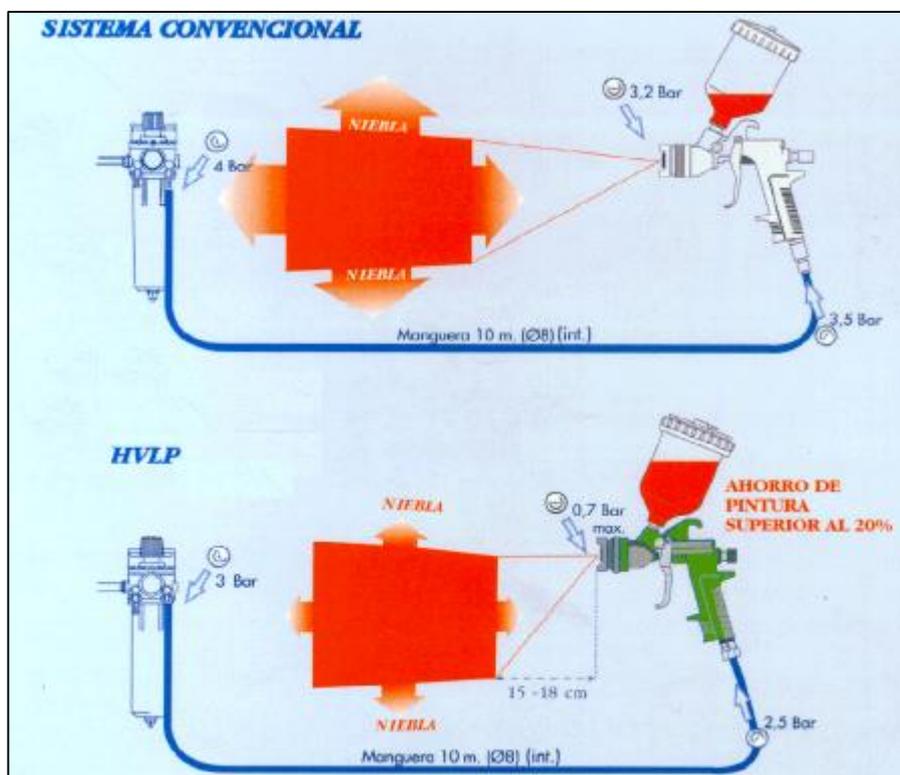


Figura 24. Comparación de los sistemas de aplicación aerográfico convencional y HVL P – Pintado industrial, IHOBE

El sistema HVL P no sólo reduce la niebla (overspray o pulverizado sobrante), sino que también reduce los residuos de pintura, los costes de limpieza, los costes de cambio de filtro, las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y la exposición de los trabajadores a éstos.

La desventaja de las pistolas HVL P es que la calidad final sufre cuando la velocidad de aplicación es alta por los peligros de descuelgue, así como que únicamente se pueden utilizar con pinturas de baja viscosidad, debido a una mayor dificultad para atomizar la pintura.

Existen varios tipos de sistemas de alimentación para las pistolas aerográficas, entre ellos los más utilizados son los siguientes:

- Los sistemas de alimentación por gravedad están bien adaptados a pinturas con altas viscosidades, pinturas en base agua y pinturas con alto contenido en sólidos, debido al diseño del sistema. El depósito de pintura, localizado en lo alto de la pistola, permite aprovechar al máximo la pintura, minimizando los residuos.

- El sistema por presión utiliza un depósito que se encuentra por debajo de la pistola, con un regulador de la línea de aire separado para alimentar la pintura a la pistola. Este diseño aumenta la eficacia de transferencia y hace posible que el operario pulverice incluso con la pistola invertida, ofreciendo la máxima flexibilidad en las técnicas de aplicación.
- En el sistema de alimentación por succión, la presión de aire al pulverizador se utiliza para empujar la pintura desde el recipiente, localizado debajo de la pistola.

4.1.3. Pistola de pulverización airless

La pulverización airless no utiliza aire comprimido, sino que la pintura se bombea a presiones crecientes de fluido (34 a 450 bar) a través de una pequeña abertura en el extremo de la pistola de pulverización para llevar a cabo la atomización. La presión se alimenta a la pistola mediante una bomba, y cuando la pintura presurizada entra en la región de baja presión en frente de la pistola, la súbita caída de presión hace que la pintura se atomice (rompiendo la corriente de pintura en gotas pequeñas).

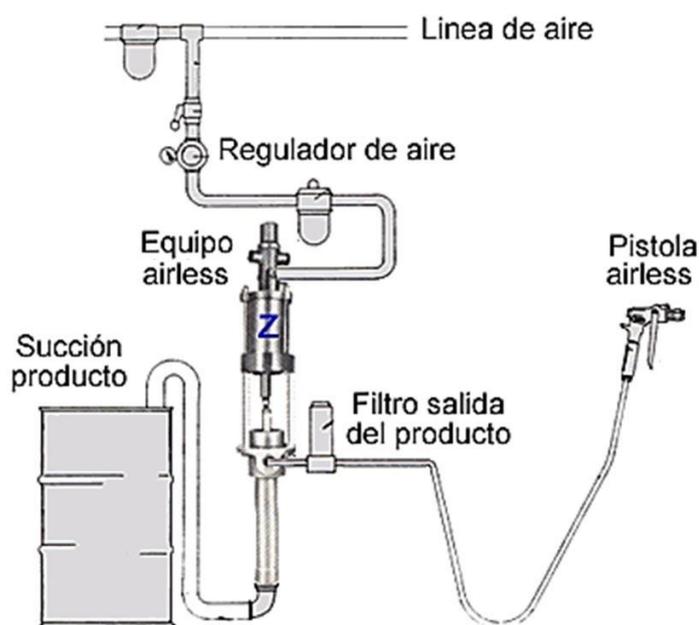


Figura 25. Esquema de pulverización airless - www.equipozanetta.com.ar

Mientras los métodos convencionales utilizan aire comprimido para atomizar la pintura, en los equipos airless la atomización hidráulica sustituye la atomización de aire. Las bombas pueden ser hidráulicas, neumáticas y eléctricas. Las bombas hidráulicas de presión más comunes tienen una relación de cilindro de aire a cilindro hidráulico entre 1:8 y 1:68 (una relación de 1:8 significa que una presión de aire de 200 psi sobre el cilindro entrega 1600 psi al cilindro hidráulico).

La pulverización airless tiene eficacias de transferencia superiores al 50%, además se reduce en gran medida el “rebote” y la niebla (overspray) con respecto a la pulverización convencional. Otro

de los beneficios de este tipo de pulverización es la mayor velocidad de producción, pudiéndose considerar como el método más rápido de aplicación.



Figura 26. Elementos de una pistola airless – www.graco.com

Sin embargo, su principal desventaja es el acabado, ya que, debido a la limitada atomización de las gotas, éste tiene una apariencia un poco tosca debido a la posible aparición de piel de naranja, burbujas y “pinholes”.

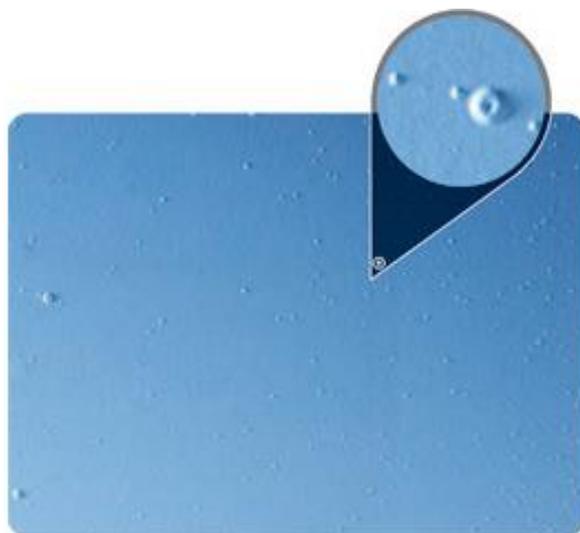


Figura 27. La aparición de “pinholes” es uno de los aspectos a tener en cuenta al pulverizar con equipos airless - www.bernardoecenarro.com

Asimismo, dentro de las ventajas sobre los métodos de pulverización convencionales está que la pulverización airless es más suave y menos turbulenta. Las gotas formadas son, por lo general, más grandes que las de las pistolas de pulverización convencionales, produciendo una capa de

pintura de mayor espesor de una sola pasada. Otras ventajas incluyen la posibilidad de utilizar recubrimientos de altos sólidos con viscosidad alta, sin necesidad de diluirlas con disolventes.

El mantenimiento del equipo es mayor, debido a las altas presiones utilizadas. Los operarios no deberían permitir nunca que ninguna parte del cuerpo se ponga en contacto con el material de alta presión. Además, la niebla es menor que en los sistemas convencionales.

En resumen, la pulverización airless es una buena alternativa al pintado convencional, aunque la calidad del acabado sea inferior. Sin embargo, la mayor eficacia de transferencia la hace una opción deseable, siendo además el principal beneficio la velocidad de aplicación.

4.1.4. Pistola de pulverización mixta

La pulverización mixta combina las mejores características de la pulverización convencional y de la airless. Se podría decir que es como un sistema airless que utiliza aire comprimido para ayudar a conseguir un alto grado de atomización. El recubrimiento es parcialmente atomizado mediante un sistema similar al utilizado en la pulverización airless, pero a presiones más bajas. El aire comprimido a una presión de 0.3 a 2 bar también se alimenta al pulverizador y se utiliza para mejorar la atomización.

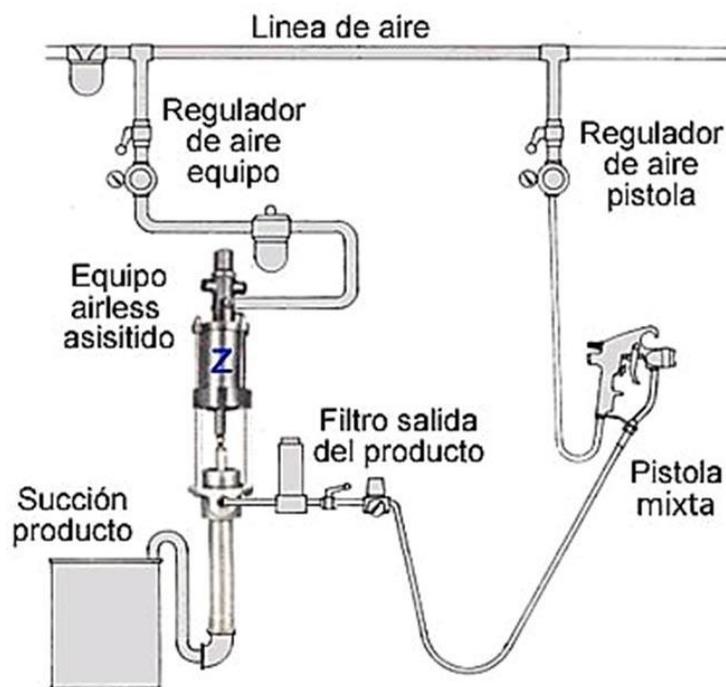


Figura 28. Esquema de pulverización mixta - www.equipozanetta.com.ar

Los sistemas de pulverización mixtos atomizan bien la pintura, aunque no tan bien como los métodos de pulverización aerográficos. La utilización de estos sistemas mejora la calidad del acabado, presumiblemente debido a que se forman partículas más finas de pintura.

El principal beneficio de la pulverización mixta es que se aumenta la eficacia de transferencia alrededor del 30% por encima de la del sistema convencional. Además, la baja presión de aire utilizada ayuda a reducir la niebla y el “rebote”. Sin embargo, aparecen dos desventajas a la hora de utilizar la pulverización mixta, no tiene la velocidad de aplicación de un sistema de pulverización airless y no produce un acabado de tan alta calidad como el del sistema de pulverización convencional. Asimismo, por parte de los operarios hay más posibilidades de cometer un error debido a los controles adicionales de la presión del fluido y de la presión del aire; por lo general, se tiene a utilizar una presión excesiva provocando descuelgues y aparición de burbujas.

Existen fundamentalmente dos riesgos para la salud asociados con la pulverización mixta:

- El primero es la niebla (overspray), que, aunque es menor que en la pulverización convencional y la eficacia de transferencia es mayor, la cantidad de niebla sigue siendo considerable, por lo que deberán utilizarse cabinas de pulverización.
- El segundo riesgo es la alta velocidad del fluido que sale directamente del pulverizador, los operarios no deben ponerse en contacto con este fluido a alta presión, pues puede causar serias heridas.

A continuación, se recoge una tabla resumen de las principales características de las técnicas de aplicación por pulverización:

Características	Aerográfica		Airless	Mixto
	Convencional	HVLP		
Presión de trabajo	3-3.5 bar	0.5-0.7 bar	100-400 bar	40-90 bar
Calidad de aplicación	Alta calidad	Alta calidad	Media calidad	Buena calidad
Nivel de producción	Baja producción	Gran producción	Gran producción	Media producción
Niebla	Alta	Baja	Baja	Baja/Media
Velocidad de aplicación	Alta	Baja	Alta	Media
Velocidad (comparando con el sistema convencional)	--	1-2 veces más lento	2-3 veces más rápido	1-2 veces más rápido
Ahorro de pintura (comparando con el sistema convencional)	--	30%	20-30%	15-25%
Coste de operación	Bajo	Bajo	Medio/Alto	Alto
Poder cubriente	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Residuos y emisiones	Alto	Medio/Alto	Medio/Alto	Medio/Alto
Eficacia de transferencia	30-50%	65-80%	55-85%	60-65%

Tabla 1. Resumen de las principales características de las técnicas de aplicación por pulverización

4.1.5. Recomendaciones de uso para el astillero

En comparación con el sistema convencional de pulverización, se obtienen las siguientes ventajas y desventajas dependiendo del sistema escogido:

Sistema HVLP

El sistema de pulverización HVLP presenta las siguientes ventajas:

- Aumenta la eficacia de transferencia y reduce el pulverizado
- Reduce el residuo de pintura
- Menores costes de limpieza de la cabina de pintado
- Reduce los costes de sustitución de los filtros
- Reduce los costes del tratamiento de las aguas de lavado
- Reduce las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y otros compuestos peligrosos
- Es portátil y fácil de limpiar
- Reduce el riesgo de exposición del trabajador
- Pulveriza bien en agujeros, huecos y cavidades
- Permite al operario regular y variar la presión del aire, volumen del aire y presión de pintura

Como desventajas se encuentran las siguientes:

- La atomización puede no ser suficiente para acabados finos si las instalaciones no están perfectamente dimensionadas
- No es un sistema adecuado cuando se requieran altos caudales de pintura con viscosidad de pintura media-alta
- Necesita cierta formación del operario por el cambio de técnica de aplicación

Sistema airless

Tal y como se ha comentado anteriormente, la pistola airless no utiliza aire comprimido, bombeándose la pintura a través de un pequeño orificio en el extremo para llevar a cabo la atomización. Las ventajas que presenta este sistema son las siguientes:

- Altos caudales de pintura
- Eficacia de transferencia relativamente alta

- Posibilidad de aplicar pinturas de alta viscosidad y altos sólidos con bajo contenido en VOCs
- Velocidades de aplicación más altas
- Posibilidad de conseguir espesores de pintura de mayor grosor y más compactos

Las desventajas de este sistema son las siguientes:

- Atomización relativamente pobre cuando el factor de calidad que prima es el brillo
- Boquilla cara
- Tiene tendencia a obturar el extremo del orificio
- El inyector exterior puede llegar a ser peligroso debido a la alta velocidad y altas presiones del fluido, por lo que deberá mantenerse alejado del cuerpo
- Requiere una mayor formación del operario
- Requiere un mayor mantenimiento
- No se recomienda para productos abrasivos y/o con cargas sólidas en suspensión

Sistema mixto

Este tipo de pistola tiene las siguientes ventajas:

- Buena atomización, superior a la del sistema airless, pero no tan buena como la del sistema HVLP
- La velocidad de flujo de pintura puede variar
- Alta eficacia de transferencia de la pintura y reducción del pulverizado sobrante
- Mayor poder cubriente, con un mayor espesor de la película
- Requiere una menor formación del operario
- Velocidades de aplicación más altas

Las principales desventajas son las siguientes:

- Tiene los mismos peligros que el sistema airless
- Mayor coste inicial que el sistema airless
- La limpieza del equipo y el filtrado de la pintura debe ser minuciosa debido a la alta tenencia de obturación del extremo del orificio de salida

La aplicación a pistola puede proporcionar un acabado perfecto, pero requiere habilidad y práctica.

Consejos prácticos:

- ✓ Donde sea posible, trabajar en el interior para asegurar una temperatura constante con baja humedad
- ✓ Llevar siempre la protección adecuada cuando se realice la aplicación a pistola de los productos de dos componentes
- ✓ Si no se dispone de la habilidad y el equipo necesario, es preferible que un profesional se encargue de la aplicación a pistola de la pintura y del barniz

4.2. Aplicación manual por extensión

En un astillero se conoce como aplicación manual por extensión a la aplicación de una película líquida de pintura sobre un soporte, mediante la utilización de brocha, rodillo o paint pad.



Figura 29. Pintado de un casco mediante brocha y rodillo – www.yachtpaint.com

4.2.1. Brocha

Una brocha es un instrumento que consiste en un conjunto de cerdas unidas a un mango que se utiliza, mayormente, para pintar. Es una escobilla que recoge reteniendo entre sus fibras un determinado material para luego distribuirlo uniformemente sobre una superficie. Una brocha estándar se compone de tres partes:



Figura 30. Tipos de brochas convencionales - <http://www.suministrosherbi.com>

- El mango, de diferentes longitudes y materiales dependiendo la ergonomía necesaria
- Las cerdas, consistentes en pelos de animal (jabalí, cerdo, caballo, etc.) aunque también existen de nylon y otros materiales sintéticos
- La virola o pieza metálica que separa las cerdas del mando y las mantiene unidas

Se pueden distinguir dos tipos de brochas: las planas y las redondas. Las primeras se utilizan para cubrir superficies grandes y lisas imprimiendo brochazos largos. Cuanto más ancha es la brocha mayor superficie es capaz de abarcar. Las brochas redondas se utilizan para pintar superficies estrechas o irregulares o para realizar labores delicadas como lacado o barnizado.

Recomendaciones de uso para el astillero

Adaptable, de bajo coste y muchas veces el método más adecuado para el pintado de objetos complicados. En las superficies rugosas, una brocha es la herramienta más eficaz para que la pintura penetre bien en el sustrato.

Una buena brocha debe tener las cerdas compactas para dar un tratamiento uniforme a la superficie y suficientemente flexibles como para no formar estrías. Las brochas de cerdas sintéticas son más bastas por lo que no se recomiendan para trabajos de detalle.¹ Para que una brocha sea considerada de buena calidad, es necesario que las cerdas hayan sido adheridas en su fabricación con pegamento epóxico, de lo contrario las cerdas se desprenderán durante el pintado.

Si se desea emplear pinturas látex o al agua, lo mejor son las brochas de cerdas sintéticas. Para trabajar con lacas, esmaltes o pinturas epóxicas son recomendables las brochas de cerdas naturales: las de porcino o las de caballo ofrecen buenos resultados.

Utilizar para pintar zonas pequeñas o retoques. También debe ser resistente a los disolventes. Es importante utilizar solo brochas de buena calidad ya que una de mala calidad podría perder cerdas que quedarían pegadas en la película de pintura.



Figura 31. La brocha ofrece buenos resultados en el pintado y barnizado de piezas pequeñas y retoques –

www.yatchpaint.com

Consejos prácticos:

- ✓ Utilizar una brocha de buena calidad y de un tamaño adecuado
- ✓ Evitar el uso de una brocha nueva para la aplicación de las últimas capas de esmalte, porque tienden a desprender cerdas
- ✓ Para obtener mejores resultados, trabajar en zonas manejables, de izquierda a derecha y al revés, seguido de brochazos de abajo hacia arriba
- ✓ Continuar hasta que la pintura esté distribuida uniformemente sobre la zona, teniendo cuidado que los últimos brochazos sean muy ligeros y en dirección vertical. Alternativamente se puede emplear el paint pad (explicado en el punto 5.2.3)
- ✓ La brocha debe mantenerse en un ángulo de 45° respecto al sustrato para minimizar las marcas
- ✓ Limpiar la brocha aproximadamente cada 30 minutos para eliminar la pintura seca

4.2.2. Rodillo

Un rodillo es una herramienta para la aplicación de pintura sobre superficies grandes y planas, principalmente. Consiste básicamente en un rulo de material absorbente que gira sobre un eje, absorbiendo la pintura y transfiriéndola a una superficie.

Existen diferentes tipos de rodillos de pintura:



Figura 32. Tipos de rodillos convencionales - <http://www.suministrosherbi.com>

- De espuma, aconsejados para acabados brillantes
- De pelo largo, apropiados para pinturas vinílicas
- De pelo corto, recomendados para superficies lisas
- De mohair, idóneos para la aplicación de lacas

Recomendaciones de uso para el astillero

Es una herramienta adaptable de bajo coste, con ventajas parecidas a las de la aplicación con brocha. El rodillo es particularmente bueno en superficies amplias y planas, donde es más rápido que la brocha y utilizando un modelo adecuado puede dar unos resultados excelentes.

Es recomendable usar un rodillo de mohair mediano o pequeño, resistente a los disolventes. También puede utilizarse un rodillo de espuma, pero este tipo de rodillo retiene más el aire, por lo que harán falta más pasadas para eliminarlo.



Figura 33. El uso del rodillo es particularmente útil en el pintado de superficies amplias y planas – www.yatchpaint.com

Consejos prácticos:

- ✓ Si la rapidez es más importante que el acabado, usar un rodillo de pelo corto de mohair
- ✓ El acabado más estético se obtiene por medio de un rodillo de pelo corto, de espuma, de velour o rodillo flocado

- ✓ En cualquier caso, aplicar la capa con movimientos cruzados para distribuir la pintura de una manera uniforme
- ✓ A menudo se aplican las capas de pintura con rodillo y luego se emplea una brocha o paint pad ejerciendo poca presión para alisar el acabado dando excelentes resultados
- ✓ Antes de utilizar un rodillo nuevo, es recomendable envolverlo con cinta adhesiva y luego quitarla. Esto eliminará cualquier fibra suelta

4.2.3. Paint pad

Un paint pad es, generalmente, un aplicador de pintura de forma rectangular y de superficie plana. Dispone de un mango en la parte posterior, y la parte frontal es de espuma cubierta de cerdas muy cortas y muy densamente repartidas.

Existen paint pads de diferentes tamaños, por lo que se puede escoger el más adecuado según el trabajo de pintura que se desee realizar. También existen diferentes tipos y tamaños de mango, facilitando su ergonomía.

Los paint pads son fáciles de utilizar, siempre que se disponga del material adecuado. Proporcionan una buena cobertura y un acabado listo y uniforme. Son mucho más limpios de usar que los rodillos, y, aunque necesitan recargarse de pintura más frecuentemente, hacen el trabajo igual de rápido.



Figura 34. Paint pad - www.powertooldirect.co.uk

Recomendaciones de uso para el astillero

Aunque se puede pintar desde el principio con un paint pad, es una herramienta eficaz para obtener un acabado liso de la pintura que haya sido aplicada previamente con brocha o rodillo. De esta manera se eliminarán casi todas las marcas de la aplicación, y se conseguirá un acabado excelente.

Consejos prácticos:

- ✓ Utilizar el paint pad inmediatamente después de haber aplicado la pintura
- ✓ Usar el paint pad solamente en una dirección, dando pinceladas verticales para evitar así una acumulación de pintura, que podría causar descuelgues

Capítulo 5. Preparación para el pintado

5.1. Puesta a seco de la embarcación

Para poder trabajar adecuadamente la embarcación y acceder al carenado, es necesario sacar a la embarcación del agua y mantenerla de forma estable.

Dependiendo del sistema empleado para poner en seco el barco, se puede distinguir en:

- **Varadero:** es el sistema más antiguo, utilizado en la actualidad para embarcaciones de pequeño tamaño y peso. Consiste en un plano inclinado sobre el cual se desplaza el objeto a levantar.



Figura 35. Varadero - www.marinadunas.es

- **Dique seco:** está formado por una esclusa en la que se introduce el barco y, una vez cerrada por un portón impermeable, se bombea el agua del interior hacia el exterior vaciándolo hasta dejarlo apoyado sobre una cama o picadero.



Figura 36. Dique seco - www.defensa.com

- **Dique flotante:** se trata de un artefacto naval que se hunde mediante la inundación de los tanques que incorpora. De esta forma, el barco puede colocarse en su seno. Posteriormente, se achican los tanques provocando la elevación del conjunto, logrando así la puesta en seco.



Figura 37. Dique flotante - www.cernaival.com

- **Sincroelevador o sincrolift:** está formado por un sistema de vigas con articulaciones entre ellas izadas por cabestrantes en sus extremos. Este conjunto permite operar sincrónicamente de forma que se genera una plataforma de elevación de gran porte.



Figura 38. Sincrolift - www.motorship.com

5.2. Herrajes y desmontables

Dependiendo del tipo de tratados superficiales y pintado que van a efectuarse en una embarcación, probablemente muchos de los elementos que se encuentran instalados a bordo no se ven afectados por estas labores. Sin embargo, es posible que algunos de éstos puedan interferir y dificultar el trabajo de los operarios. Esto podría requerir más precisión, tiempo e incluso coste.

Por este motivo, es importante desmontar y almacenar correctamente todos aquellos elementos que no vayan a someterse al mantenimiento, tales como herrajes, mástiles, portones, domos, radares, y demás componentes.

5.3. Andamiaje

Dependiendo del tamaño de la embarcación, es necesario construir diversos módulos alrededor de su perímetro para poder acceder a todos los espacios que requieren tratamiento. Para ello se instalan andamios, que consisten básicamente en estructuras auxiliares fabricadas principalmente de metal (acero o aluminio), madera e incluso materiales plásticos como la fibra de vidrio.

Estas estructuras se utilizan, principalmente, para facilitar el acceso a los operarios y al abastecimiento del material a todos los puntos que necesitan tareas específicas.

COMPONENTES

- 1 Husillo con placa
- 2 Tubo con disco
- 3 Pie vertical
- 4 Brazo
- 5 Diagonal
- 6 Plataforma metálica
- 7 Barandilla
- 8 Barandilla esquinual
- 9 Rodapiés

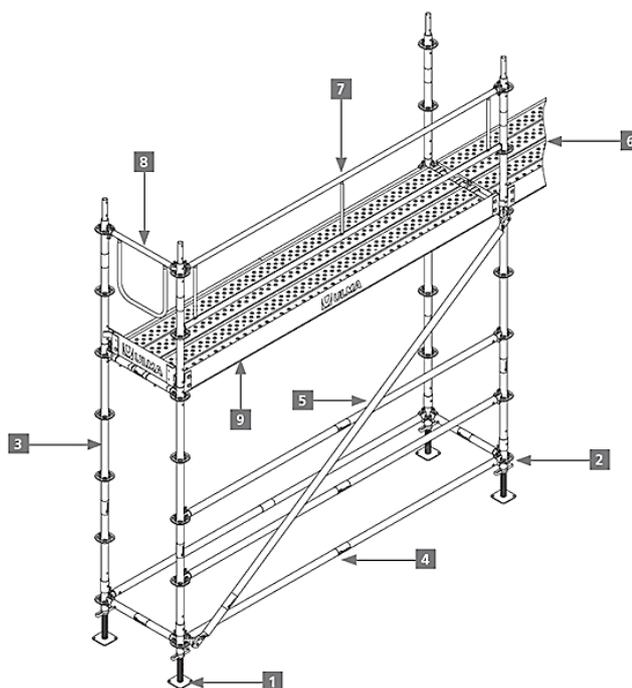


Figura 39. Elementos que forman un andamio - <http://www.ulmaconstruction.com/es/andamios>

En el caso del mantenimiento de embarcaciones, el andamio no debe fijarse directamente sobre el casco o superestructura, sino que se utilizan módulos auto estables que eviten el vuelco. Según el tipo de estructura, es necesario el uso de soportes ajustables que se montarán en la cubierta, de forma que el andamio pueda elevarse temporalmente en caso de tener que trabajar en las zonas en las que éste se apoya. También pueden instalarse elementos como elevadores, de forma que se facilite el abastecimiento y deshecho de material.

5.4. Carpa protectora

La finalidad de la carpa es aislar el entorno de trabajo del exterior para evitar la contaminación del medio ambiente y la posible intoxicación de la gente que transita alrededor de la zona de trabajo, además de facilitar las condiciones ambientales y evitar efectos adversos producidos por la climatología.



Figura 40. Embarcaciones con la carpa protectora instalada - www.fondear.org

El espacio cerrado formado por la carpa creará una atmósfera contaminada por las partículas que se liberen al realizar las labores. Para asegurar el bienestar de los operarios, ésta debe disponer de una correcta ventilación, de manera que el aire se renueve adecuadamente. Dependiendo de la zona geográfica y de la época del año, la carpa puede equiparse con diferentes elementos tales como calefactores y equipos de iluminación que aseguren unas condiciones óptimas de trabajo.

5.5. Ventilación

Debido al aislamiento producido por la carpa, la habitabilidad en el interior de la embarcación se puede ver afectada por el ambiente contaminado en el que se encuentra. Dependiendo del tipo de trabajo, el sistema original de ventilación del barco podría absorber gases que afecten a miembros de la tripulación que deban permanecer a bordo en alguna fase del mantenimiento, así como trabajadores propios del astillero.

El principal método utilizado para solucionar este problema es instalar equipos de renovación de aire, tales como los equipos de aire acondicionado, en las tomas de aire de la embarcación. De esta manera, se puede controlar la calidad del aire que entra en el barco, así como asegurar otros parámetros como la temperatura y la humedad del aire introducido.

5.6. Condiciones ambientales

Para obtener un resultado óptimo, también es importante tener en cuenta las condiciones del lugar en el que se va a realizar el trabajo. De esta forma, aparte de asegurar el correcto funcionamiento del producto, se facilita la aplicación del mismo.

5.6.1. Iluminación

Una iluminación poco apropiada hace que sea imposible para el operario ver bien la zona y la superficie que va a tratarse y, por tanto, hacer el trabajo correctamente. Además, la persona que lo inspeccione no podrá comprobar bien el resultado.

El principal problema será una preparación de superficie y/o formación de película insuficientes, con lo que el espesor de película seca del sistema de recubrimiento será muy variable y dará lugar a residuos de óxido y calamina, rugosidad localmente insuficiente del sustrato, poros en la película de pintura en algunos sitios y retención de disolventes y descolgamientos en otros.

La consecuencia última será una prematura aparición de oxidación o incrustaciones, baja resistencia química y apariencia estética deficiente.

Para que la iluminación sea adecuada, tiene que poderse leer la letra de un periódico normal en cualquier zona que se vaya a tratar. Deben evitarse sombras localizadas.

Las fuentes de luz deben cubrirse con protectores reemplazables, ej., hoja plástica transparente para proteger contra el pulverizado. En espacios confinados deben utilizarse lámparas de baja tensión.

5.6.2. Temperatura ambiental

Una temperatura del aire demasiado alta durante la aplicación puede dar lugar a pulverización seca y, a su vez, a una formación deficiente de la película de recubrimiento, con la consiguiente oxidación prematura.

Si la temperatura es 10°C superior a los 20°C que se indican en las instrucciones, el tiempo de secado y curado se reducirá a la mitad. En estos casos, las pinturas de dos componentes no deberían de mezclarse en grandes cantidades, pues podría quedar inservible antes de haberla aplicado por completo.

La temperatura del aire no debe necesariamente ser de 20°C, pero por cada 10°C que descienda, el tiempo de secado y curado se duplica. Generalmente para los productos de dos componentes, el límite más bajo es de 5°C día y noche. Todas las pinturas se espesan con temperaturas bajas, lo que dificulta el trabajo y puede inducir a diluir la pintura en exceso.

Una temperatura demasiado baja normalmente afectará a la temperatura del sustrato, dando lugar a un secado lento, riesgo de retención de disolventes y descolgamientos, y en el caso de

pinturas de dos componentes, a un curado insuficiente con el consiguiente riesgo de reacciones secundarias y transpiración/exudación de uno o varios componentes del material de la pintura, por ejemplo, agente de curado, dispersante, etc.

El resultado puede ser una resistencia insuficiente a la corrosión, mala resistencia química, adherencia deficiente de capas posteriores y, en el caso de antiincrustantes, “flujo en frío”.

5.6.3. Punto de rocío

El punto de rocío del aire informa de la humedad y del riesgo de condensación. Si el punto de rocío del aire es superior a la temperatura del sustrato, en el mismo aparecerá condensación.

La pintura aplicada a sustratos con condensación no ganará adherencia, a menos que se utilice una pintura de formulación especial. La consecuencia de aplicar pintura a un sustrato con condensación será una adherencia deficiente y posteriores desprendimientos, provocando corrosión y/o incrustaciones prematuras.

El punto de rocío no se cambia calentando el aire, sino sólo deshumidificando. Otra opción es aumentar la temperatura del sustrato, por ejemplo, planificando la aplicación para hacerla con luz diurna, ya que la condensación suele producirse a menudo por la tarde y la noche. En el caso del acero, también hay que tener cuidado con las variaciones en la temperatura del material.

5.7. Aspectos a tener en cuenta de la pintura

En el mundo de la náutica existen multitud de tipos y clases de pinturas. Dependiendo del trabajo que se desee realizar, es conveniente conocer las características de cada producto y las especificaciones del fabricante para obtener el mejor resultado.

5.7.1. Cantidad de pintura

Es importante saber la cantidad disponible de pinturas por dos motivos:

- Si la cantidad de cualquier pintura de la especificación no es suficiente, el espesor de película de esa capa no podrá conseguirse y, por tanto, la especificación, esto es, el acuerdo, no podrá mantenerse
- Para establecer el consumo de pintura del trabajo y así poder acordar el consumo requerido, hace falta saber la cantidad de pintura disponible desde el principio

En determinados casos las estimaciones de área definitivas no pueden hacerse hasta que el barco está en el dique seco. Los requisitos definitivos en cuanto a cantidades de pintura no pueden calcularse sin antes estimar las áreas.

5.7.2. Vida útil de la pintura

Las pinturas son materiales orgánicos, y, como muchos de estos productos, tiene fecha de caducidad. Cuando envejecen en la lata, pueden pasar varias cosas. Algunas físicas, como por ejemplo la sedimentación;

Otras químicas, provocando reacciones de carácter químico en la lata, lo que modifica las propiedades pretendidas, como por ejemplo la gelificación.

Normalmente, los cambios físicos pueden remediarse agitando fuertemente la pintura, mientras que los cambios químicos no tienen remedio.

Por lo general, la vida útil de las pinturas está indicada sólo si ésta es de 1 año o menos a una temperatura media de 25 °C, cuando se almacena a cubierto en las latas originales sin abrir. Si no se dan limitaciones específicas, las pinturas de un solo componente no deben guardarse durante más de 5 años (a 25 °C de temperatura media). Igualmente, las pinturas de dos componentes no deben tenerse almacenadas más de 3 años desde la fecha de producción.

5.7.3. Agente de curado

El agente de curado (también conocido como catalizador), junto a la base en pinturas de dos componentes, reacciona químicamente para formar la película de pintura y conferirle sus propiedades prediseñadas.

El agente de curado, por lo tanto, debe ser el adecuado, y añadirse en la proporción correcta, sin olvidarse de mezclarlo uniformemente con la pintura. Si se selecciona, añade o mezcla de manera incorrecta, la pintura no curará total o parcialmente.

En consecuencia, se reducirá o incluso perderá su resistencia a la abrasión/impacto mecánico, su resistencia tanto al agua como a productos químicos, con lo que las capas posteriores acabarán desprendiéndose, ablandándose y desgastándose, disolviéndose en sustancias químicas a las que se supone que debían resistir, y descomponiéndose de manera prematura dando lugar a corrosión e incrustaciones.

5.7.4. Diluyente

Cuando se suministra, la pintura ya contiene los tipos y cantidad de disolventes que garantizan una evaporación adecuada y la formación de película al aplicarse a 20 °C y de acuerdo con la Ficha técnica. Si se requiere mayor dilución, un diluyente incorrecto (si la pintura es aplicada) puede dar lugar a secado lento, retención de disolventes, separación de fases o cristalización de la capa aplicada durante el secado/curado. También puede provocar gelación o coagulación de la pintura que se vaya a aplicar.

En el caso de que se produjera gelación, la pintura perderá sus propiedades de aplicación u obstruirá filtros y boquillas al pulverizar.

Si el diluyente aplicado fuera el incorrecto, el defecto no se notará de inmediato, pero es posible que la pintura seque lentamente o no se endurezca. La separación de fases y la cristalización dificultarán la formación de la película y reducirá la adherencia de las capas adicionales que se vayan a aplicar y/o provocará la aparición prematura de oxidación/incrustaciones.

5.7.5. Agitación

Antes de aplicarse, la pintura debe estar completamente uniforme en toda la lata. De lo contrario, la película de pintura no tendrá la composición correcta en la superficie y pueden surgir problemas de obstrucción de las boquillas.

Una composición incorrecta de la pintura dará lugar a un curado insuficiente, un aspecto visual pobre y corrosión e incrustaciones prematuras.

Particularmente, las pinturas con partículas pesadas (como las ricas en cinc y antiincrustantes), así como las pinturas sin o con menos disolvente, tienen que agitarse para garantizar una mezcla uniforme.

5.7.6. Espesor de película húmeda

Cuando se está considerando la posibilidad de cambiar de sistema de pintado, un aspecto al que se debería prestar especial atención es el espesor de la película aplicada.

Si el resto de parámetros se mantienen iguales, como, por ejemplo, la calidad del recubrimiento aplicado, su durabilidad, dureza y adhesión, la elección entre sistemas de recubrimiento alternativos dependerá de la velocidad de aplicación y de la emisión de disolventes de los diferentes sistemas de recubrimiento disponibles.

Los diferentes sistemas de pintado empleados para aplicar un espesor similar de película:

- Se aplicarán a diferentes velocidades, dependiendo en gran medida del contenido de sólidos
- Emitirán diferentes cantidades de disolventes

La siguiente figura muestra la comparación de las emisiones de disolvente, y por lo tanto de compuestos orgánicos volátiles VOC's, procedentes de diferentes sistemas de pintado. Para aplicar la misma cantidad de sólidos sobre una pieza, se requieren diferentes cantidades de pintura que conducen a la emisión de diferentes cantidades de disolvente.

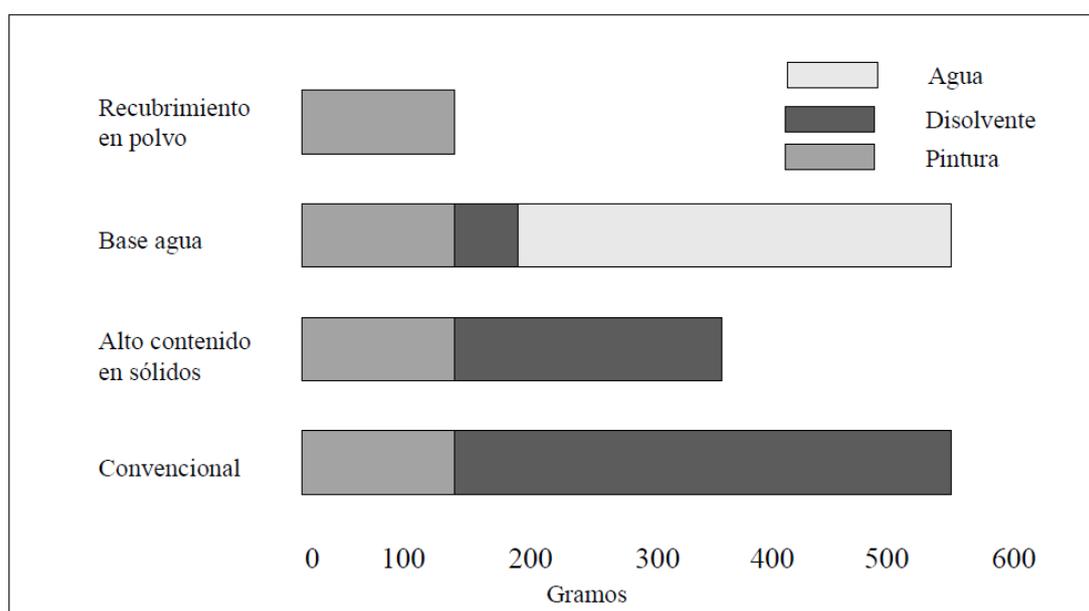


Figura 41. Emisión de disolventes de recubrimientos típicos aplicados con un espesor de película idéntico

Cuando decimos espesor de película podemos referirnos a dos tipos: el espesor de película húmeda o al de película seca (wft y dft respectivamente). El espesor de una capa de pintura se mide en micras, y 1 micra equivale a una milésima de milímetro (1/1000 mm). El contenido de volumen de sólidos varía entre diferentes productos y, por lo tanto, una pintura aplicada a 100 micras de película húmeda puede dejar una película seca de 35-65 micras según la cantidad de disolvente que contenga. En la mayoría de productos utilizados, aparece indicado el rendimiento teórico por m² al espesor deseado por capa.

Con pocas excepciones, el espesor de película seca debería ser de 30-60 micras por capa. Así, si se precisa un espesor de capa final de 120 micras, sería necesario aplicar entre 2 y 4 capas de pintura. Si se aplica demasiada pintura de una sola vez, existe el riesgo de que descuelgue, se arrugue o se ampolle.

El espesor de película de pintura de cada capa depende de, por ejemplo:

- La rugosidad de la superficie (una superficie rugosa retiene más pintura que una lisa)
- La porosidad de la superficie
- La temperatura (con tiempo frío la pintura se espesa, y es por tanto más difícil de extender adecuadamente)
- La adición de disolvente
- El método de aplicación. La experiencia práctica demuestra que los distintos métodos de aplicación producen los siguientes promedios de espesor de película seca por capa:

Método de aplicación	Promedio de espesor de película seca por capa
Rodillo de espuma poroso	20-40 micras
Rodillo de pelo corto	40-60 micras
Paint pad	30-60 micras
Brocha	40-60 micras
Pistola aerográfica (convencional y HVLP)	30-100 micras
Pistola airless	50-200 micras

Tabla 3. Espesor de película seca según la técnica de aplicación

5.7.7. Temperatura de la pintura

Una temperatura demasiado alta durante la aplicación puede provocar pulverización seca, una formación deficiente de la película de recubrimiento y la consiguiente oxidación prematura. Una temperatura alta también reducirá drásticamente la vida de la mezcla en pinturas de dos componentes.

Una temperatura demasiado baja dará lugar a una alta viscosidad, lo que dificultará la adecuada agitación de la pintura e imposibilitará su correcta atomización. Un exceso de dilución podría ser la solución de los pintores, lo que ralentizaría el secado y empeoraría la resistencia al descolgamiento, y, por consiguiente, el espesor de película seca sería muy bajo y aparecerían de forma prematura oxidación e incrustaciones.

Hay que tener en cuenta que las pinturas sin disolvente ya tienen de por sí una vida de mezcla muy corta. A temperaturas altas superiores a 25 °C, tal vez sea necesario enfriar la pintura en un contenedor refrigerado antes del proceso de aplicación.

5.7.8. Capacidad del equipo de aplicación de pintura

En el caso de los sistemas de aplicación de pintura por pulverización, es importante trabajar con un equipo de un tamaño, presión y capacidad adecuados. Una capacidad insuficiente o tipo incorrecto de equipo de aplicación formará una película de pintura desigual y/o insuficiente.

Si la capacidad es demasiado baja, es posible que no se pueda atomizar la pintura correctamente, lo que dará lugar al “fingering”, secado lento, descolgamientos y una dilución excesiva de la pintura.

Un equipo de aplicación incorrecto puede dar lugar a un espesor de película húmeda demasiado bajo al trabajar con pinturas de alta viscosidad o sin disolvente, y también a una humectación deficiente del sustrato y los poros.

Todo el equipo debe funcionar a la perfección y estar en buen estado de mantenimiento, incluyendo filtros limpios y boquillas no desgastadas para evitar interrupciones una vez iniciado el trabajo y prevenir demoras por averías.

Capítulo 6. Preparación superficial y pintado de la embarcación

Una buena preparación de la superficie a pintar es indispensable para el correcto funcionamiento del esquema de pintura que se vaya a aplicar. Dependiendo del sustrato a pintar, el tratamiento que recibirá variará debido a las diferentes propiedades de los materiales con los que se construyen las embarcaciones.

Cabe mencionar que todos los revestimientos sufren una degradación a lo largo del tiempo, independientemente del tipo de exposición al que estén sujetos. Las anomalías que surgen pueden ser las más diversas, tales como ampollamiento, agrietamiento, pulverencia, descamación del revestimiento u oxidación del acero pintado. La evaluación del tipo y magnitud de estos defectos debe realizarse de forma lo más universalmente posible, para que cualquier entidad implicada se pueda entender convenientemente con todas las demás interesadas. La norma ISO 4628 fue creada con este propósito y permite evaluar y cuantificar los principales defectos de los revestimientos.

6.1. Preparación y pintado de cascos de acero

Para preparar una superficie de acero sin tratar, el chorro de arena es el procedimiento preferible. Sin embargo, también se pueden usar discos abrasivos para preparar soldaduras y áreas limitadas cuando no se puede practicar el chorreado. La utilización de cepillos metálicos es ineficaz y no es recomendable su uso en estos esquemas de pintura.

En toda la fase del tratamiento de superficies de acero se atenderá a la prescripción del esquema de pintado en lo concerniente a los grados de preparación según la norma ISO 8501-, la cual prevé diferentes grados con denominaciones St, St-2, St-3. Sa1, Sa2, Sa2 (1/2) y Sa3. Deberán cumplirse los criterios de calidad establecidos por esta norma en el momento de la aplicación de la pintura.

La parte 5 de la norma EN ISO 12944 describe los diferentes tipos de pintura, los sistemas más utilizados en la protección de estructuras de acero frente a la corrosión, los espesores

recomendados y el número de capas a aplicar, por lo que también será necesario seguir las indicaciones de esta norma durante el proceso.

6.1.1. Chorreo de arena abrasivo

Éste método es, en la mayoría de los casos, el más eficaz para eliminar el óxido de hierro de la laminación, y los revestimientos viejos. Los grados más habitualmente utilizados para la limpieza del acero mediante chorreado de arena y los equivalentes aproximados son, según las especificaciones de EEUU, el SSPC-SP.5 para el metal blanco, SSPC-SP.10 para el metal casi blanco, y el SSPC-SP.6 para el chorreo comercial.

Son varios los factores de los que depende la preparación estándar necesaria para cada revestimiento en particular, siendo el más importante el tipo de sistema de revestimiento elegido.

Antes de proceder al chorreo, es necesario desengrasar el acero con un desengrasante utilizando un trapo limpio, cambiándolo con regularidad, y eliminando las salpicaduras de soldadura. En el caso que exista aceite o grasa en la superficie a tratar, y aunque parezca que ha sido eliminada durante el proceso del chorreado, es recomendable su eliminación específica. Eso es porque, aunque no sea visible a simple vista, sigue habiendo contaminación en forma de capa fina, que afectará a la adhesión de las siguientes capas de revestimiento. También hay que lijar las juntas de soldadura y los extremos que sobresalgan, ya que la pintura tiende a deslizarse dando lugar a capas más finas y por tanto ofreciendo una menor protección. Las salpicaduras producidas por el soldado suelen ser una causa frecuente de deterioro prematuro. Es muy difícil aplicar uniformemente la pintura sobre ellas, ya que existe una falta de adherencia.



Figura 42. Chorreado de arena a embarcación de acero - <https://www.cjspray.com/products/ecoquip/ecoquip-eq600s-vapor-blast-equipment.html>

El perfil que se consiga mediante el chorreo es importante, y el resultado final dependerá del abrasivo utilizado, de la técnica de chorreo y de la presión del aire. Una mala elección del perfil no proporcionará una buena adherencia en las capas de revestimiento. Si se obtiene un perfil excesivo, puede dar lugar a un recubrimiento irregular de los puntos elevados y sobresalientes, produciendo un deterioro, especialmente cuando se utilizan revestimientos delgados. Una vez finalizado el chorreo, es indispensable eliminar todos los restos mediante aspirado o soplado antes de iniciar los trabajos de pintura.

6.1.2. Acero imprimado de fábrica

En la mayoría de casos, el acero de suministra ya chorreado e imprimado (las cuales se suelen denominar “pre-tratadas” o “shop primers”). Durante la construcción de la embarcación es necesario prestar atención y tener cuidado de no dañar estas imprimaciones. Las propias imprimaciones pueden proteger el acero incluso en entornos industriales agresivos o marinos hasta 6 meses. No hay que aplicar capas adicionales a este tipo de imprimaciones puesto que podría verse comprometida la integridad del esquema de pintura.

En algunos casos también es posible el repintado de estas imprimaciones sin la necesidad de chorrearlas primero. Esto se deberá de consultar al proveedor para saber en qué casos esto es posible.

6.1.3. Abrasión mecánica

Para preparar el acero mediante la utilización de un disco abrasivo, la superficie debe haber sido desengrasada previamente con un trapo limpio y seco. El tratamiento del acero se recomienda que se realice con un disco abrasivo de 24 a 36 hasta conseguir una superficie uniforme, limpia y brillante con un patrón de 50 a 75 micras.

6.1.4. Intervalo de imprimación

Una vez preparada la superficie según el estándar correcto, es necesario su revestimiento antes de que empiece a formarse óxido. En el caso de que no se pretenda aplicar el esquema de revestimiento de forma inmediata tras el procedimiento de preparación, habrá que aplicar una imprimación de fijación a fin de evitar la formación de óxido, preferiblemente dentro de las 6-8 horas siguientes. Si el esquema se va a aplicar inmediatamente después de la preparación, la imprimación inicial se puede aplicar de forma diluida para que penetre en los poros superficiales.

6.1.5. Pintado

6.1.5.1. Obra viva

El recubrimiento escogido para esta parte debe ser inhibido de la corrosión, antiincrustante, resistente a la abrasión y compatible con la protección catódica que pueda disponer la embarcación, proporcionando protección de larga duración. El sistema utilizado para el pintado suele ser un conjunto de pintura anticorrosiva y pintura antiincrustante aplicada sobre la primera.

La parte de pintura anticorrosiva debe estar formada por varias capas de resina epoxi de dos componentes. Éstas pueden estar reforzadas con escamas de vidrio para ayudar a resistir la abrasión. La parte de pintura antiincrustante puede estar compuesta por una o dos capas. En conjunto, todas las capas pueden llegar a comprender entre 400 y 600 micrómetros.

6.1.5.2. Obra muerta

La obra muerta debe protegerse con imprimaciones de altas prestaciones, como las epoxi. Los acabados, en cambio, pueden ser resinas acrílicas o alquídicas, caracterizadas por su brillantez.

En la actualidad, están cambiándose los acabados a resinas de poliuretano de dos componentes, ya que proporcionan un alto nivel de brillo y es la única pintura capaz de mantenerla durante un tiempo razonable, entre dos y cuatro años.

Las cubiertas son las zonas en las que más movimiento humano se puede encontrar, y son susceptibles de sufrir golpes de herramientas y rozamientos. Por este motivo, las pinturas utilizadas deben ser altamente resistentes contra la fricción, el desgaste mecánico y las condiciones climatológicas adversas. Por suerte, las cubiertas son fáciles de mantener gracias a su accesibilidad. Los sistemas de protección pueden estar basados en imprimaciones de silicato de zinc y resinas epóxicas en dos o tres capas.

La aplicación de las capas puede realizarse tanto con pistola como con pincel, rodillo o paint pad, dependiendo de las posibilidades del astillero y tamaño de la embarcación.

6.2. Preparación y pintado de cascos de aluminio

El aluminio, aunque en la industria marina se alea con magnesio, es un material reactivo, cuya superficie reaccionará con el oxígeno atmosférico formando una capa microscópica de óxido. Esto tiene lugar de forma instantánea en las zonas de corte, de abrasión y, en entornos marinos húmedos, una parte del óxido se verá convertido en hidróxido, más ligero y visible.

Además, este material es propenso a corroerse en entornos marítimos, especialmente en espacios confinados como las grietas y detrás de las películas de pintura mal adheridas. Por lo tanto, una buena protección de la superficie es primordial.

El aluminio puede sufrir una corrosión galvánica grave salvo que se seleccionen cuidadosamente los accesorios sumergidos, las hélices, etc. De la misma manera, es necesario evitar el uso de antiincrustantes o láminas metálicas que contengan óxido de cobre, el cual ataca la capa de óxido protectora del aluminio.

6.2.1. Desengrasado

Es necesario desengrasar totalmente la superficie de aluminio previamente a iniciar cualquier otra preparación, a fin de eliminar aceites y demás contaminantes.

La limpieza con disolventes mediante la utilización de trapos puede ser eficaz para desengrasar pequeñas áreas, pero es recomendable reemplazarlos con frecuencia para evitar la propagación de los contaminantes. Las áreas de mayor tamaño es recomendado desengrasarlas con un detergente o disolvente apropiado aplicado sin diluir mediante un trapo y dejándolo actuar durante 15-20 minutos antes de proceder a su eliminación con agua abundante. Puede que en algunas zonas sea necesario repetir esta operación, además de frotar fuertemente con el trapo para lograr eliminar toda la contaminación.

Una vez se haya desengrasado correctamente, no se debe tocar la superficie con la mano hasta que vaya a pintarse para evitar posibles puntos de grasa y el consiguiente desprendimiento de la pintura.

6.2.2. Chorreo con abrasivos

El chorreo con abrasivos es el método más recomendado de preparación, ya que proporciona un perfil ideal para que la pintura se adhiera correctamente y además elimina la corrosión de la superficie.

Para un resultado óptimo, el más adecuado es el chorro de óxido de aluminio, y además que sea de una calidad adecuada para garantizar un perfil de superficie de 50-75 micras. Normalmente, los abrasivos de óxido de aluminio pueden volver a ser usados sin perjudicar el perfil de la superficie. De todas formas, existen otros abrasivos inertes adecuados con los que obtener un buen resultado.

En este caso, no es recomendado utilizar arena en el chorreo puesto que no es lo suficientemente abrasiva para proporcionar el perfil de superficie necesario, además de que es perjudicial para la salud. Cabe destacar la necesidad de evitar el uso de abrasivos de granallado con cobre (los cuales se usan frecuentemente en el acero), ya que sus efectos son altamente corrosivos en el aluminio.

Una vez finalizada la tarea de chorreo con abrasivos, es necesario eliminar todos los restos y continuar con la aplicación de la imprimación inicial o de fijación, preferiblemente dentro de las 6 horas siguientes al tratamiento.

6.2.3. Abrasión mecánica

Como alternativa, el aluminio puede ser preparado con discos abrasivos que proporcionarán el perfil de superficie necesario para una buena adhesión de la pintura. Aunque este método es menos eficaz que el chorreo con abrasivos, se ha utilizado en muchos astilleros exitosamente. Para ello, es necesario utilizar un disco abrasivo grueso (óxido de aluminio de tamaño 24-36) para conseguir el perfil de superficie deseado de entre 50 y 75 micras. Tras la abrasión mecánica, la superficie debe ser limpiada mediante aspiración, y aplicada la imprimación inicial o de fijación dentro de las 6-8 horas siguientes al tratamiento.

6.2.4. Imprimaciones de agarre

Estas imprimaciones consiguen la adhesión al sustrato mediante reacción química, y se pueden aplicar directamente sobre una superficie desengrasada. Sin embargo, para obtener unos buenos resultados, el aluminio tiene que estar ligeramente lijado para ofrecer cierta adhesión mecánica. En el caso de aplicar una imprimación de este tipo sobre una superficie chorreada o lijada, es importante controlar el grosor de la película. Es importante evitar la aplicación excesiva sobre una superficie ya que impediría la absorción del disolvente o la rotura de la película de imprimación. La temperatura a la que se aplica también es importante, y la superficie debe mantener una temperatura mínima de 10°C. Después de su aplicación, las imprimaciones de agarre tienen que ser revestidas con una imprimación adecuada y con un grosor de película correcto dentro del periodo de revestimiento recomendado.

6.2.5. Pintado

6.2.5.1. Obra viva

Tras aplicar la imprimación, se podrá aplicar el esquema de pintura deseado únicamente con el fin de dar apariencia estética a la embarcación.

6.2.5.2. Obra muerta

De la misma manera que en la obra viva, se podrá aplicar el esquema de pintura deseado únicamente con el fin de dar apariencia estética a la embarcación.

La aplicación de las capas puede realizarse tanto con pistola como con pincel, rodillo o paint pad, dependiendo de las posibilidades del astillero y tamaño de la embarcación.

6.3. Preparación y pintado de cascos de fibra de vidrio

A mediados de los años 60, el nuevo material de moda para la construcción de embarcaciones de recreo fue la fibra de vidrio. Era el primer material para construir barcos en el que se fabricaban químicamente los componentes en la fase de construcción. La comodidad y popularidad de este método de construcción queda reflejado en la rapidez con la que la fibra de vidrio se convirtió en el principal material para la construcción de embarcaciones.

6.3.1. Tratamiento en moldes hembra

Los cascos y componentes de fibra de vidrio se suelen hacer en un molde hembra, y para poder separarlo de éste se utilizan distintos agentes de desmoldado. Estos agentes pueden ser ceras de silicona modificada, ceras puras duras y agentes de desmoldado de alcohol de polivinilo miscibles

en agua, entre otros. En el caso de algunas fibras y composites, el molde utilizado es el macho y el agente de desmoldado se encuentra en el interior de la estructura en lugar de en el exterior. Es necesario eliminar completamente cualquier resto de estos agentes, y es recomendable emulsionarlos mediante un emulsionante adecuado. Un indicador clave de la eliminación total del agente de desmoldado es que, si se ha logrado eliminar totalmente, la superficie queda completamente mojada por el agua. En cambio, si queda algún resto, el agua forma gotas en la superficie. En este caso, será necesario repetir el proceso.



Figura 43. Molde hembra - <http://www.asfibe.com/es/disenio/moldes>

6.3.2. Tratamiento en moldes macho

En muchos casos y concretamente en las construcciones de composites de alto rendimiento, las estructuras de mayor tamaño no se construyen usando un molde hembra, sino que se ensamblan sobre armazones que luego se invierten antes de proceder al pintado. En estos casos la superficie más externa de poliéster no quedará recubierta con el agente de desmoldado, pero sí que tendrá una capa rica en poliéster que puede afectar al resultado final de la pintura. Para ello, es recomendable utilizar un detergente o emulsionante adecuado.

Estas superficies son más dificultosas de preparar que aquellos cascos vaciados a partir de un molde hembra, y es posible que sean necesarias varias aplicaciones y abrasiones para que la superficie pueda ser pintada. Al igual que en el apartado anterior, la prueba del agua es un buen indicador de que la superficie está preparada para ser pintada. Si no lo estuviera, se formarían gotas de agua en la superficie. Si se ha utilizado “peel ply” de nylon para realizar el acabado de

estas capas externas, la simple eliminación de esta capa presentará una superficie químicamente limpia y de buena adherencia mecánica sobre la que poder aplicar una imprimación epoxi. Es recomendable dejar un cierto tiempo entre la laminación y la aplicación de la imprimación para asegurar que el poliéster o la resina de éster de vinilo (no aplicable en laminados epoxi) se han endurecido lo suficiente para evitar que el estireno no reactivo inhiba el endurecimiento del epoxi.

Será necesario comprobar cuidadosamente la superficie en busca de perforaciones, las cuales habrá que rellenar antes de aplicar la pintura. De no hacerlo, el acabado resultante no será satisfactorio. También es aconsejable comprobar las oclusiones de aire en la superficie de laminado, eliminarlas y rellenarlas después de desengrasar el casco, antes de aplicar la pintura. Aunque en un principio no afecta al aspecto del acabado, las oclusiones de aire dan paso a burbujas y/o grietas una vez que el barco está en el agua, y finalmente la ósmosis.

6.3.3. La ósmosis

En el contexto concreto de los cascos de fibra de vidrio, el término “ósmosis” se ha aplicado a todo el espectro de defectos en el gelcoat y el laminado, que suele manifestarse en forma de ampollas en el gelcoat.



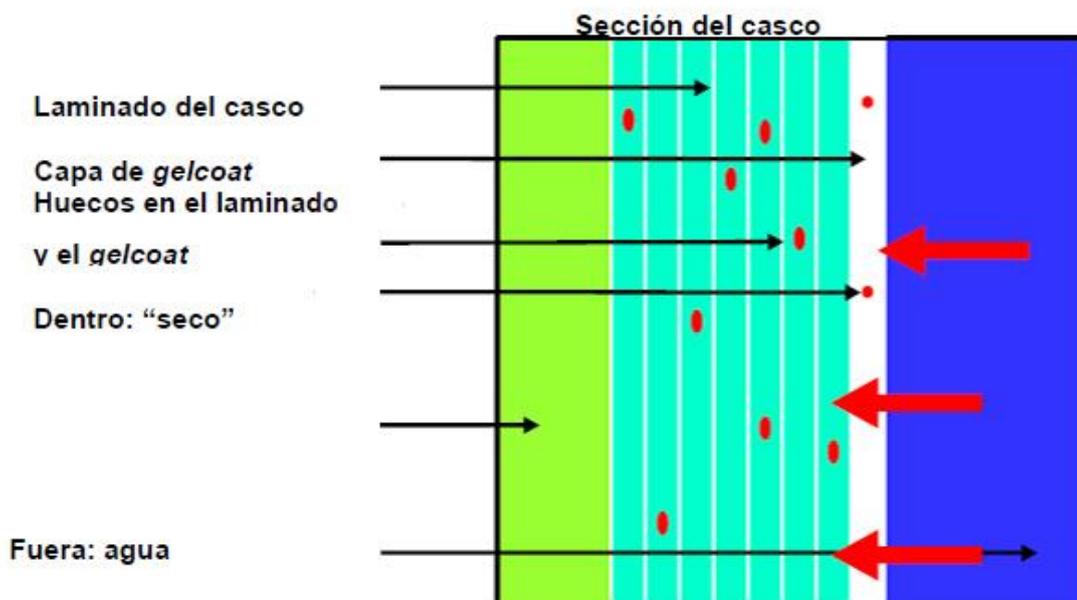
Figura 44. Casco afectado por la ósmosis – Manual de pintado, HEMPEL

En un principio, la aparición de estas ampollas en el casco de las embarcaciones de fibra de vidrio, se pensó que el problema estaba en la pintura. Sin embargo, pronto quedó de manifiesto que la presión destructora no actuaba sobre la pintura, sino tras ella, en la propia fibra, y que era la presión interna la causante de esas ampollas.

6.3.3.1. Fases de la ósmosis

El problema de la ósmosis suele revelarse por sí misma en los dos o tres primeros años de vida del casco. El aspecto que pueden presentar es muy variado, y no siempre es posible detener la reacción. Por este motivo, a veces no es posible aplicar ningún tipo de tratamiento y, en cualquier caso, no se podrá considerar que el tratamiento ha resultado eficaz al 100% aunque pueda haber ayudado a prolongar significativa la vida del casco.

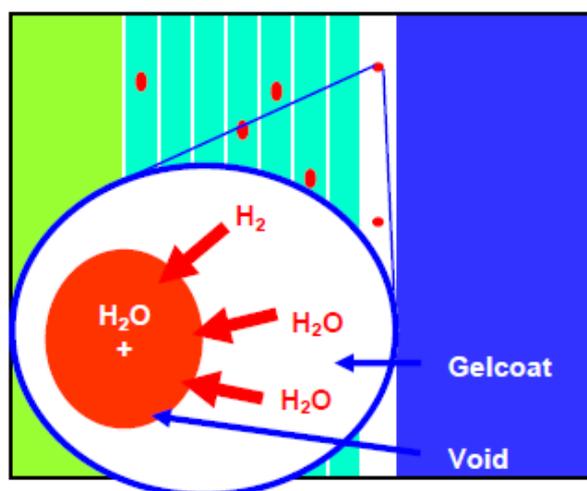
Fase 1 – Penetración del agua



Fase 2 – Se forman disoluciones en los huecos

Inicialmente en el *gelcoat*, donde hay mayor contenido en humedad. A continuación, profundiza en el laminado a medida que avanza la condición.

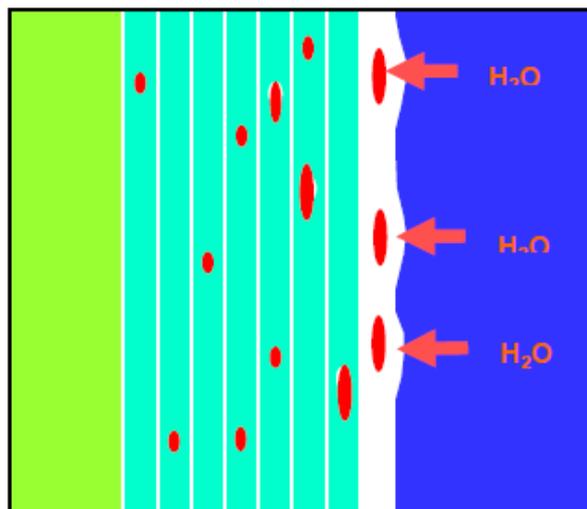
La humedad presente comienza a descomponer la resina por hidrólisis.



Fase 3 – Formación de ampollas

Las celdas de concentración que se han formado atraen más humedad, lo que provoca la aparición de ampollas e hinchazón.

El aumento de la presión tiende a acelerar la descomposición de la resina del laminado.



Fase 4 – Derrumbe del laminado

Si la resina sigue descomponiéndose y la presión en el interior de las ampollas sigue aumentando, algunas ampollas explotarán.

A mayor profundidad, dentro del laminado, otras ampollas más grandes provocarán la descomposición del laminado y el consiguiente derrumbe.

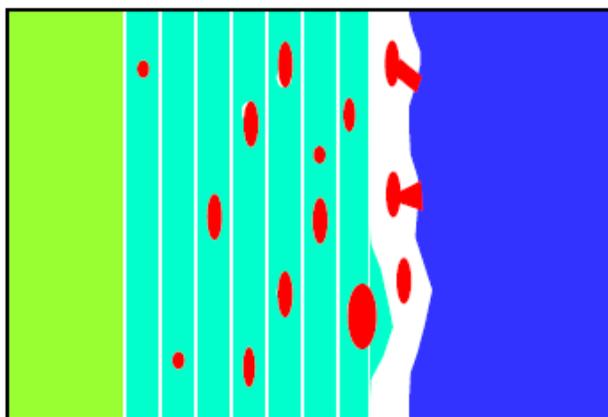


Figura 45. Fases de la ósmosis - Manual de aplicación Gelshield Plus. International Coatings Limited

6.3.3.2. Identificación de la ósmosis en fases tempranas

Inspeccionando el casco con ayuda de una lente de aumento potente, es posible observar en la superficie de un casco de fibra de vidrio signos que indicarán si será propenso a absorber agua. Este examen puede realizarse en la propia obra muerta, aunque no esté en contacto con el agua, ya que, si en esa zona se dan esos defectos, lo más probable es que también se den en la obra viva.

- **Agrietamiento en estrella:** Este fenómeno indica que el gelcoat es quebradizo y posiblemente sufrió la reacción demasiado rápidamente. Esto provocará que el agua se filtre a través de las grietas.
- **Micro-grietas:** Todas las micro-grietas que puedan aparecer en el gelcoat, tendrán tendencia a absorber agua.

- **Cabezas de alfiler:** Se trata de pequeñas burbujas del tamaño de una cabeza de alfiler. Estas burbujas pueden formar pequeños huecos tras haber estallado, e indica que el gelcoat presenta un espesor efectivo menor del que debería. Este síntoma permitirá al agua penetrar en el casco con mucha facilidad y, cuanto más fina sea la capa de gelcoat, más rápidamente se producirá este efecto.



Figura 46. Superficie de fibra de vidrio aumentada 32 veces. Presenta “cabezas de alfiler” en la superficie pigmentada. Manual de aplicación Gelshield Plus. International Coatings Limited

- **Fibras prominentes:** En ocasiones es posible observar fibras sobresaliendo por debajo o a través del gelcoat. Éstas permiten que el agua se filtre, cuyo proceso se define como filtrado por acción capilar.

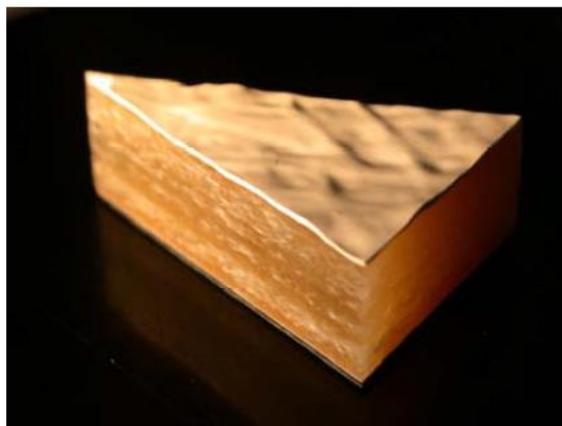


Figura 47. Superficie de fibra de vidrio aumentada 32 veces mostrando fibras prominentes - Manual de aplicación Gelshield Plus. International Coatings Limited

- **Ampollas:** En la mayoría de casos se sitúan en la obra viva, y suelen adoptar forma de burbujas. Para determinar la gravedad y el origen del problema será necesario retirar cualquier antiincrustante aplicado en el casco.



Figura 48. Ampollas presentes en un casco de fibra de vidrio. Manual de aplicación Gelshield Plus. International Coatings Limited

6.3.3.3. Opciones de tratamiento y protección

Tras examinar el estado del casco de fibra de vidrio, puede haber tres resultados:

- **Resultado 1:** El gelcoat está en buenas condiciones, no hay evidencia de ósmosis.
Recomendación: Aplicar un sistema de protección. Incluso si no parece haber ósmosis, cualquier casco construido con fibra de vidrio está expuesto al problema. Para minimizar riesgos, es recomendable aplicar una capa epóxica sobre la superficie del casco para crear una barrera separadora entre el gelcoat y el agua. Este método retrasará la aparición de cualquier posible ósmosis.
- **Resultado 2:** Hay evidencia de ósmosis, con aparición de ampollas en el gelcoat.
Recomendación: Aplicar un sistema de tratamiento. Lo más probable es que sea necesario retirar todo el gelcoat mediante peladora y/o chorreado abrasivo y sustituirlo por una barrera epóxica, tras una profunda limpieza y un buen secado.
- **Resultado 3:** Ampollas generalizadas y cráteres en el gelcoat y en el laminado subyacente.
Recomendación: Eliminar el gelcoat y todas las áreas del laminado afectadas mediante peladora y/o chorreado abrasivo. Sanear aquellas zonas y fibras secas donde se encontraban las ampollas. Posteriormente, proporcionar rugosidad a la superficie del laminado expuesto para facilitar el secado, y lavar durante las próximas semanas con agua dulce con el fin de disolver las sustancias químicas que contengan las fibras, ya que su evaporado es complicado. Cuando esté seco, volver a laminar con un sistema de resina epóxica, y añadir finalmente un sistema de barrera del mismo compuesto.

6.3.4. Pintado

6.3.4.1. Obra viva

Si el gelcoat se encuentra en buen estado, se realizará una última limpieza de la superficie con agua a presión, se dejará secar y a continuación se aplicarán dos capas nuevas de antiincrustante, hasta conseguir un grosor idóneo entre 150 y 200 micrómetros.

6.3.4.2. Obra muerta

Para pintar esta zona se pueden obtener muy buenos resultados simplemente aplicando una capa de imprimación y dos capas de pintura de poliuretano acrílicas.

Las cubiertas de este tipo de embarcaciones pueden ser de fibra de vidrio o de madera. Si se trata de una cubierta de fibra de vidrio, se puede obtener un buen resultado aplicando una capa de imprimación y dos capas de pintura, aunque es aconsejable añadir aditivos en forma de granulados para minimizar el riesgo de resbalar en caso de que la superficie esté mojada.

En este tipo de embarcaciones, habitualmente de esloras pequeñas, es más habitual aplicar todas las capas de pintura con pinceles y rodillos, básicamente por la brevedad del trabajo. El pintado con pistola, sin embargo, también puede ofrecer muy buenos resultados.

6.4. Preparación y pintado de cascos de madera

En la construcción naval solamente se utilizan maderas con una gran resistencia a la pudrición. Se trata de maderas con altos contenidos en aceites naturales: la afrormosia, la teca birmana y la utile son las variedades más utilizadas. Además, hay que tener en cuenta que la madera se dilata y se contrae al absorber la humedad y luego secarse y, en consecuencia, su movimiento es mucho mayor al de otros materiales de construcción.

Hoy en día, las pinturas permiten aplicar una membrana prácticamente impermeable sobre un casco de madera. Los composites de madera/epoxi son un claro ejemplo de ello, pero las embarcaciones antiguas necesitan absorber una pequeña cantidad de humedad para que la madera se hinche y así mantener las juntas estancas. Es por esta diferencia en la construcción que la pintura a utilizar también debe ser diferente.

6.4.1. Inspección de las embarcaciones de madera en uso

La madera vieja al desnudo deberá ser inspeccionada por si hubiera indicios de putrefacción, crustáceos isópodos, signos de reacción con metales o lugares donde pueda haber penetrado el agua.

La putrefacción aparece si el contenido en humedad de la madera supera el 30% y se ve afectada por hongos microscópicos. Esta madera presentará un color más oscuro y, aunque sigue húmeda, se comprime ante la presión y se desmenuza con relativa facilidad al secarse. El agua salada tiene a retrasar este efecto, pero como muchas embarcaciones amarran en puertos que presentan estratos de agua dulce, el riesgo existe.

Los crustáceos isópodos y los gusanos viven en agua salada y perforan la madera, ingiriéndola a medida que avanzan a lo largo de las vetas. Sin embargo, no pueden atravesar superficies correctamente pintadas.

Cualquier hendidura o grieta en la madera necesita ser examinada minuciosamente a fin de establecer la verdadera causa y efecto antes de proceder al pintado.

6.4.2. Preparación superficial de las embarcaciones de madera en uso

En algunos casos, es posible que sea necesario eliminar todas las capas antiguas. La forma más habitual de hacerlo es decapando con soplete. Se trata de un método muy eficaz, pero es conveniente realizar esta técnica al aire libre o en un taller muy bien ventilado. Aunque los sopletes de gas modernos son más controlables que las antiguas lámparas de quemar pintura, las áreas que van a ser barnizadas necesitan especial atención a fin de evitar el antiestético quemado de la madera.

Hay que tener precaución con el material quemado que caiga al suelo y se mantenga incandescente y mantener la zona limpia de materiales combustibles. No se debe quemar o lijar en seco las capas de antiincrustante, ya que el polvo y el producto degradado son irritantes y tóxicos.

Antes de quemar una pintura, es recomendable consultar las fichas de seguridad y salud de los fabricantes de las mismas. También existen alternativas para eliminar la pintura de la madera, como el chorreo con perlas de vidrio microscópicas a baja presión y el hidro-blasting.

Todas las maderas desgastadas se tienen que lijar, ya sea a mano o mediante métodos mecánicos. Siempre hay que lijar en dirección de las vetas para eliminar los restos de pintura que haya en ellas. Lijar cruzando las vetas provocará grietas, que incluso en nueva construcción dejará marcas antiestéticas especialmente al barnizar. Los restos del lijado deben ser eliminados, ya que de lo contrario se perjudicaría la adhesión y produciría un acabado granulado. Con maderas grasas, como la teca, hay que limpiar la superficie con un desengrasante adecuado y pasar un trapo limpio sin pelusa, y humedecerlo después del lijado. De esta manera se elimina el aceite residual que podría perjudicar la adhesión de la pintura y el barniz.

Grado del papel	Uso normal
P80-120	Utilizarlo en dirección de la veta para eliminar los restos de pintura vieja quemados o arrancados. Utilizado fundamentalmente para el lijado de masillas muy gruesas y acumulaciones de muchas capas de pintura viejas. La madera quedará rayada.
P180-220	Normalmente se utiliza en madera nueva quemada al soplete. No es recomendable su uso en madera virgen sin barnizar por su excesivo grosor. Utilizado fundamentalmente para el lijado de masillas de acabado y compuestos de superficie finos, acumulación de imprimaciones, etc.
P240	Es uno de los papeles más utilizados. Se usa mayormente en el lijado final de imprimaciones, así como para pulir el esmalte viejo antes de volver a aplicar la capa de base o los acabados.
P280-320	Se utiliza para lijar la madera virgen antes de barnizas y para pulir la capa de imprimación aplicada antes del barniz.
P320	Pulimentado, capas de base, barnices y esmaltes.
P400	Utilizado mayormente para el pulimentado del esmalte recién aplicado.
P400, 500 o 600	Principalmente usado para eliminar defectos en las capas de pintura antes de la aplicación de la capa final.
P800 o superiores	Usado mayormente para el pulido final.

Tabla 4. Tamaño de grado recomendado para el lijado de la madera

6.4.3. Pintado

6.4.3.1. Obra viva

Una vez que la madera de la embarcación presenta un buen aspecto, y si se desea ocultar el aspecto de la madera, se podrán aplicar pinturas de uno o dos componentes, y finalmente otras dos capas de antiincrustante hasta conseguir un grosor de entre 150 y 200 micrómetros.

Si por el contrario se desea mantener la estética de la madera, se deberá aplicar un barniz adecuado, tal y como se detalla en el apartado 6.4.4 de este capítulo.

6.4.3.2. Obra muerta

Al igual que en la obra viva, se podrá aplicar pintura o barniz dependiendo de si se desea mantener o no el aspecto de la madera.

En este tipo de embarcaciones, habitualmente de esloras pequeñas, es más habitual aplicar todas las capas de pintura con pinceles y rodillos, básicamente por la brevedad del trabajo. El pintado con pistola, sin embargo, también puede ofrecer muy buenos resultados.

6.4.4. Barnizado

Barnizar una embarcación de madera puede suponer una mejora en el aspecto estético. Sin embargo, también aporta problemas y trabajo extra en el mantenimiento. La madera tiene que enfrentarse al sol y al mar a menudo, con productos químicos agresivos como los tratamientos de las cubiertas de tecla que puede verterse o salpicar la superficie. Las maderas con el barniz escamado, ennegrecidas o decoloradas son problemas típicos si no se preparan cuidadosamente y se aplican correctamente las pinturas y barnices.



Figura 49. Barnizado de la madera – Guía para el pintado de embarcaciones de recreo, International Yacht Paint

- Para el barnizado, una vez eliminado el polvo, es recomendable aplicar la primera capa de barniz normalmente diluida al 25%, sellando así la madera antes de seguir barnizando. Algunos tipos de madera pueden requerir varias capas de barniz diluido antes de poder aplicar las capas de barniz sin diluir.
- Para las superficies pintadas, hay que utilizar el mismo sistema. Las capas diluidas de la imprimación inicial ayudarán a la penetración de la madera y la posterior adhesión de la

pintura. Hay que usar las especificaciones de cada pintura a modo de guía, ya que algunos tipos de madera es probable que requieran más capas de imprimación, sobre todo en maderas más porosas.

- Las maderas menos grasas pueden necesitar de la aplicación de un conservante de madera antes de la imprimación.
- Al lijar en húmedo la imprimación, hay que tener cuidado de no erosionar la madera desgastada. Este tipo de lijado sólo se debe realizar cuando haya un grosor adecuado de imprimación en la superficie.

6.5. Preparación y pintado de cascos con esquemas de pintura existentes

Generalmente, las superficies con esquemas de pintura existentes requieren un procedimiento relativamente simple. Sin embargo, algunas veces este esquema incluye algún tipo de fallo. En estas situaciones, es imprescindible conocer la causa del fallo a fin de utilizar los revestimientos y la preparación correctos para minimizar o evitar su repetición.

6.5.1. Aspectos principales de la preparación de superficies pintadas no sumergidas

Una vez que un barco ha estado en el mar, la superficie a pintar está contaminada por varias cosas a parte de los cristales de sal:

- Es necesario desengrasar por completo las superficies utilizando un detergente adecuado. En algunos casos, sobre todo si existen restos de grasa o silicona, puede ser necesario un desengrasado adicional con un producto más específico que dependerá de la superficie que se esté tratando. Para ayudar a determinar si la superficie está limpia de contaminación, un método es mojarla con agua y esperar la formación de gotitas, como se explicó anteriormente con los sustratos de fibra de vidrio. Si aparece un mojado desigual de la superficie, entonces hará falta volver a desengrasar.
- Posteriormente, se debe lijar inicialmente con papel húmedo o seco de tamaño 180 y después con papel de 280. Ello proporciona una superficie mecánicamente estriada que permite la máxima adhesión de la imprimación, la capa de base o el acabado. En caso de realizarse a mano, es recomendable usar un papel más fino, como por ejemplo de tamaño 320, húmedo o seco.
- A continuación, es necesario eliminar los residuos producidos en el lijado con una línea de aire limpia y barrer con un cepillo o una escoba limpios. La limpieza al vacío proporciona los mejores resultados.

- Cuando se haya asegurado la eliminación de los contaminantes, hay que realizar una serie de acciones:
 - ✓ Examinar cuidadosamente la superficie, buscando posibles burbujas alrededor de los pernos y cavidades de las puertas.
 - ✓ Buscar roturas en el compuesto del calafateado que pueda permitir el paso de agua por debajo de las superficies, normalmente alrededor de las ventanas.
 - ✓ Buscar grietas en la pintura o posibles acciones catódicas debido a combinaciones metálicas desiguales, lo cual suele producirse alrededor de los tornillos de las bisagras y otros accesorios del forro.
 - ✓ Examinar el compuesto de cimentación alrededor de todos los accesorios del forro.
 - ✓ Comprobar la posible formación de burbujas.

Realizar esta serie de tareas puede revelar una serie de defectos normalmente generados por desgarros, desgaste y filtraciones de agua a través de pequeños poros, entre otros. Estas superficies requieren una nueva preparación. Si tras el examen, la superficie tiene buen aspecto, se podrá proceder al revestimiento.

6.5.2. Aspectos principales de la preparación de superficies previamente sumergidas y preparadas con antiincrustante convencional

Antes de realizar ningún trabajo, hay que tener presente que las superficies con antiincrustante, incluso tras una inmersión prolongada, son tóxicas. Por este motivo hay que ir con cuidado cuando se realizan los trabajos de preparación de este tipo de superficies y tomar las medidas descritas en el segundo apartado del capítulo 8.

Las superficies antiincrustantes convencionales tienen características diferentes al esmaltado. La capa de lixiviado que poseen podría perjudicar la posterior adhesión del revestimiento si no se elimina mientras está todavía húmeda. Por este motivo es importante lavar y limpiar el barco inmediatamente después de sacarlo del agua y no dejar que la capa de lixiviado se seque. Una forma de identificar esta capa lixiviada es observando que ha perdido color y brillo, y su consecuente pérdida proporcional de actividad biocida; una vez lavado, el color del antiincrustante se reaviva indicando que se ha eliminado la capa dañada.

Capítulo 7. Protección del medio ambiente

Las emisiones procedentes de la aplicación de pinturas y la limpieza de los equipos de trabajo se caracterizan por su contenido en compuestos orgánicos volátiles, comúnmente conocidos por las siglas VOCs, procedentes del propio contenido en estos compuestos de las pinturas empleadas.

Para conseguir la protección del medio ambiente atmosférico existen una serie de obligaciones derivadas de la Ley 38/1972 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico, el decreto 833/1975 por el que se desarrolla la ley y la Orden de 18 de octubre de 1976 de prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial.

Estas leyes clasifican estas actividades en función del potencial contaminante dentro de las mismas en los siguientes grupos:

- Grupo A
- Grupo B
- Grupo C

Las actividades de pintado estarían enclavadas en los siguientes grupos:

Sector	Grupo B	Grupo C
Industrias Fabriles y Actividades diversas	Aplicación en frío de barnices no grasos, pinturas y tintas de impresión sobre cualquier soporte y cocción o secado de los mismos, cuando la cantidad almacenada en el taller es superior a 1.000 litros.	Aplicación en frío de barnices no grasos, pinturas y tintas de impresión sobre cualquier soporte y cocción o secado de los mismos, cuando la cantidad almacenada en el taller es inferior a 1.000 litros.
	Instalaciones de chorreado de arena, gravilla u otro abrasivo	Actividades que tengan focos de emisión cuya suma de emisiones totalice 36 toneladas de emisión continua o más por año, de uno cualquiera de los contaminantes principales: SO ₂ , CO ₂ , NO _x , hidrocarburos, polvos y humos.

Tabla 5. Resumen de Actividades Potencialmente Contaminadoras de la Atmósfera

Principales obligaciones

- Cumplir con los límites de emisión. En caso de discordancia entre los límites fijados en el Decreto 833/1975 y los establecidos en la licencia de actividad u otra normativa de aplicación, se deberán cumplir los límites de emisión más restrictivos.
- Controles periódicos por parte de Organismos de Control Autorizados (OCAs)
 - Foco emisor Grupo B: Cada 3 años
 - Foco emisor Grupo C: Cada 5 años
- Autocontroles de las emisiones: Foco emisor Grupo B: según indique la Administración competente.
- En el caso de las instalaciones industriales del Grupo C, deben presentar un certificado emitido por un técnico (el modelo se puede solicitar en el organismo competente).
- Llevar un libro registro sobre: emisiones, incidentes, etc. Este libro debe estar debidamente sellado por el organismo competente.

7.1. Legislación medioambiental aplicable a las operaciones de pintado

A continuación, se reflejan los aspectos legales más relevantes que afectan a los astilleros que apliquen las distintas variantes de procesos de pintado.

- **Licencia de actividad clasificada:** Toda actividad necesita para su funcionamiento contar con las debidas licencias y autorizaciones administrativas.
- **Residuos peligrosos:** Debido a la utilización de pinturas y disolventes en las operaciones de pintado se generan un importante número de diferentes tipos de residuos que pueden estar clasificados como Residuos Peligrosos.
- **Residuos no peligrosos:** En las operaciones de pintado, la mayor parte de los residuos industriales no peligrosos se generan, aunque no exclusivamente, en las operaciones de preparación de la superficie.
- **Vertidos líquidos:** A pesar de su naturaleza acuosa algunos tipos de desechos líquidos que se pueden generar en los procesos de pintado están considerados por la legislación actual como residuos peligrosos y se tratarán en el apartado correspondiente.
- **Atmósfera:** Las emisiones a la atmósfera se producen principalmente por evaporación a la atmósfera de los compuestos orgánicos volátiles (disolventes y diluyentes) en las distintas operaciones que se dan en el proceso (limpieza, pintado, etc.).

Legislación	Principales procesos afectados	Principales residuos y emisiones
Licencia de actividad clasificada	Todas las empresas.	
Residuos peligrosos	Aplicación de pinturas y limpieza de equipos de aplicación de pinturas.	Residuos de disolventes (y residuos acuosos no tratados) de la limpieza de los equipos, restos de pinturas, botes vacíos con restos de pintura, lodos de destilación de disolventes, lodos y aguas de las cabinas de pintado.
Residuos no peligrosos	Preparación de la superficie.	Polvo de lijado, lijas y abrasivos, granalla usada.
Vertidos líquidos	Limpieza de equipos cuando se han aplicado pinturas al agua.	Aguas de la limpieza de los equipos cuando se han utilizado pinturas al agua si éstas han sido debidamente tratadas.
	Pretratamiento de las piezas.	Aguas de los lavados previos de piezas.
Atmósfera	Aplicación de pintura y limpieza de equipos, fugas y derrames, etc.	VOCs.
	Empleo de combustibles.	Partículas, CO ₃ , SO ₂ , etc.

Tabla 6. Resumen de legislación y efectos ambientales en las operaciones de pintado

7.2. Licencia de actividad

Toda actividad necesita para su funcionamiento contar con las debidas autorizaciones y licencias administrativas, entre ellas la Licencia de Actividad Clasificada y Licencia de Apertura.

Las licencias de actividad y apertura las concede el Ayuntamiento de la Licencia de Actividad, para lo cual se incluyen el impreso de solicitud y el Proyecto de Actividad firmado y visado por el Colegio Oficial. En este proyecto se debe recoger una descripción de la actividad, materias primas, productos químicos y combustibles utilizados. Además, se deben detallar todas las afecciones ambientales: vertidos, residuos (asimilables a urbanos, inertes y peligrosos), emisiones a la atmósfera y ruidos, describiendo las medidas correctoras para cada una de ellas, así como las medidas de protección contra incendios.

Es necesario recalcar que, para determinadas actividades, también es obligatoria la realización de la correspondiente Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.) que depende de la Viceconsejería de Medio Ambiente.

Esta licencia tiene vigencia mientras no se llevan a cabo ampliaciones, reformas o traslados que puedan alterar las condiciones iniciales para las cuales se realizó la solicitud de la licencia.

Principales obligaciones

1. Solicitar las Licencias de Actividad clasificada y Apertura mediante la presentación de la Memoria y Proyecto Técnico al Ayuntamiento donde se ubique la actividad. El Ayuntamiento lo tramitará ante el resto de organismos competentes.

2. Solicitar la Evaluación de Impacto Ambiental mediante la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, junto a la Memoria y Proyecto de Licencia de Actividad al Ayuntamiento, quien lo remitirá a la Viceconsejería de Medio Ambiente.

7.3. Residuos peligrosos

En las empresas con sistemas de pintado se generan en el desarrollo de su actividad una serie de residuos que por sus constituyentes y características pueden estar clasificados como Residuos Peligrosos (RPs).

Estos residuos son los que se especifican a continuación:

- Residuos de disolventes procedentes de la limpieza de los equipos
- Residuos acuosos procedentes de la limpieza de los equipos
- Residuos de pintura (pinturas preparadas y no usadas o caducadas)
- Envases de pintura y disolventes
- Lodos de destilación de disolventes
- Filtros secos de cabinas de pintado/secado
- Lodos y aguas de las cabinas de pintado con sistema de retención/recogida del pulverizado sobrante por vía húmeda (por ejemplo, cortinas de agua)

En el caso de los recipientes vacíos con restos de pintura o con restos de disolventes, existen posibilidades para gestionarlos como residuos no peligrosos si se realiza alguna de las siguientes prácticas:

- Secado de los botes de pintura en los hornos de polimerización de pintura del propio astillero
- Limpieza de los botes con disolvente, gestionando los restos del lavado (lodos de pintura con disolvente) como Residuo Peligroso.

7.4. Residuos no peligrosos

Los residuos inertes se definen como los residuos sólidos o pastosos que no experimentan transformaciones significativas (por ejemplo, no contienen materia orgánica degradable), que no son Residuos Peligrosos (RPs), y que se generan en:

- Determinadas actividades o procesos de fabricación o industriales. Los residuos de estas actividades se denominan Residuos Industriales Inertes (ver tabla 7)

- Actividades de construcción, demolición, excavación o movimientos de tierras. Los residuos de estas actividades se denominan Residuos de Construcción Inertes. Determinados tipos de Residuos de Construcción Inertes se pueden utilizar para rellenos o acondicionamiento de terrenos.

Tipo I	Tipo II
Cenizas de combustión de combustibles sólidos y líquidos	Chatarras metálicas
Abrasivos	Vidrio
Catalizadores	Envases de plástico vacíos
Arenas de filtros	Otros plásticos
Lodos inorgánicos	Fibra de vidrio
Carbón activo no contaminado	Caucho y elastómeros
Polvos metálicos	Neumáticos
Polvos no metálicos	Envases metálicos vacíos
Cenizas de combustión de combustibles para calefacción	Poliésteres en forma de productos acabados, o no conformados, o desechos de producción
Otros residuos de carácter interte	Plásticos o polímeros en forma de productos acabados, o no conformados, o desechos de producción

Tabla 7. Resumen de Residuos Industriales Inertes

7.5. Vertidos líquidos (Aguas)

Las operaciones generadoras de aguas residuales dentro de los procesos de pintado son:

- Los vaciados de los circuitos de agua de las cabinas de separación por vía húmeda. A pesar de su naturaleza acuosa, este tipo de desechos está considerado por la legislación actual como residuo peligroso, por lo que su procedimiento de gestión tendrá que ser el indicado en su correspondiente apartado.
- Las aguas de limpieza de los equipos utilizados con pinturas al agua. De acuerdo con la legislación, en caso de que o sean tratados previamente, e incluso en algunas ocasiones después de haber recibido un tratamiento, están considerados como residuos peligrosos por lo que también han sido incluidos en dicho apartado.

Las aguas residuales generadas en las cabinas de pintura que disponen de sistema húmedo para la retención/separación del pulverizado sobrante, normalmente reciben un tratamiento para el alargamiento de la vida del agua que posibilita el funcionamiento del sistema en circuito cerrado, y, por tanto, minimiza los costes y consumos.

Este tratamiento consiste en la adición al agua de un agente coagulante que favorece el agrupamiento de las partículas de pintura, y, por tanto, su extracción. Los coagulantes se utilizan para reciclar los restos de pintura y los residuos sobrantes de la limpieza de pistolas y utensilios

utilizados en el proceso de pintado, actuando de la siguiente forma: coagula los sólidos separando el agua de los residuos de pintura, quedando los sólidos en forma de lodos en el fondo. La retirada de estos lodos se realiza de forma periódica (o en continuo) y deben gestionarse como Residuos Peligrosos. Es conveniente deshidratar los lodos para reducir el volumen, y, por consiguiente, los costes de gestión (el contenido del agua puede variar entre un 25 y un 35%).

Con este sistema se alarga la vida del agua que, no obstante, deberá ser renovada periódicamente (2-4 veces/año). Al agua “agotada” también suele ser necesario realizarle un pretratamiento antes de ser vertida al medio receptor final, que suele consistir en la separación de los lodos y fangos de pintura de acuerdo a las siguientes etapas: coagulación, floculación, decantación, espesado de lodos y deshidratación/secado de lodos.

Las empresas pequeñas que normalmente no disponen de una instalación de tratamiento de aguas residuales, deben gestionar las aguas “agotadas” como Residuos Peligrosos a través de un gestor autorizado.

En el apartado de Residuos Peligrosos se concreta cómo debe realizarse la gestión de estos residuos de forma correcta.

Capítulo 8. Aspectos de salud laboral en los procesos de pintado

La utilización de compuestos tóxicos en los procesos de pintado provoca no sólo efectos negativos medioambientales, sino también riesgos para la salud laboral de los operarios.

Aunque a simple vista parezca el factor menos influyente a la hora de escoger un producto, la elección de las pinturas y disolventes según su riesgo toxicológico debe ser determinante. Por una parte, la constante exposición a productos que emiten tóxicos produce unos efectos que se manifiestan en una patología laboral específica, y de otra, son muchas las empresas con procesos de pintado que son de tan reducido tamaño que necesitan el apoyo técnico para poner en práctica el proceso preventivo reglamentario.

No se puede dejar de señalar que la consecución de condiciones ambientales más saludables en los centros de trabajo redundando indirectamente en la mejora del medio ambiente general, y directamente de la calidad de vida de los operarios que están expuestos a estos compuestos.

8.1. Riesgos toxicológicos

Las pinturas en general llevan en su composición una serie de sustancias que sirven para mejorar distintas características de las mismas (extensibilidad, flexibilidad, acabado superficial, resistencia al agua salada, etc.).

Todos estos compuestos siguen procesos similares de introducción y eliminación del cuerpo humano de cualquier sustancia tóxica:

- Absorción
- Distribución
- Eliminación
- Acumulación

Naturalmente, los riesgos toxicológicos dependen de la concentración de los compuestos a los que se está expuesto y del tiempo de exposición, por lo que los riesgos mencionados son referidos al pintor o aplicador del producto.

La vía de entrada principal para todos los componentes de la pintura es la respiratoria. Sin embargo, también es necesario tener en cuenta la vía dérmica, pues algunos disolventes poseen una gran capacidad de penetración sobre la piel desnuda. También hay que resaltar que la vía digestiva es una vía importantísima de entrada al organismo en el caso de los pigmentos de plomo.

Los riesgos para la salud están recogidos en la información que da el suministrador, bien en la etiqueta del producto (según RD 2216/1985) o bien en la Hoja de Seguridad (según RD 1078/1993).

Al final cada uno de los siguientes apartados se adjuntan unas tablas donde aparecen los compuestos tóxicos más habituales en las pinturas normalmente utilizadas en los astilleros, junto con sus efectos sobre la salud y los dispositivos de higiene necesarios para evitarlos.

8.1.1. Pigmentos

La toxicidad de los pigmentos depende fundamentalmente de los materiales que forman parte de su composición.

Aunque la utilización en la formulación de las pinturas modernas los compuestos de mayor toxicidad (como el plomo y cromo) se ha reducido notablemente, los riesgos toxicológicos asociados aún pueden persistir debido, por ejemplo, al lijado de pinturas antiguas que sí contengan dichas sustancias.

Pigmentos	Riesgos		Prevención	
	Acción de contacto vías de penetración	Efectos	Colectivos	Individual
Molibdeno	Vías respiratorias	Tos, edema pulmonar, lesiones renales, anemia, vómitos, diarreas	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Equipo protección vías respiratorias
Zinc	Contacto piel	Eczemas papulo-postulosos	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Equipo protección vías respiratorias
	Vías respiratorias	Irritación mucosas respiratorias y gastrointestinales		
Plomo	Vía digestiva	Cólico saturnino	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Equipo protección vías respiratorias
	Vía respiratoria	Parálisis en manos, encefalopatía aguda, nefritis		
Níquel	Contacto piel	Dermatitis alérgica	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Equipo protección vías respiratorias
	Vías respiratorias	Eczema crónico, asma alérgica		
Cobalto	Contacto piel	Dermatitis alérgica	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos	Equipo protección vías respiratorias
	Vías respiratorias	Irritación ocular, tos, dificultad respiratoria, neumoconiosis		
Cromo	Contacto piel	Dermatitis, ulceraciones, tos, disnea, bronquitis, asma, cáncer de pulmón, perforación tabique nasal	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos	Equipo protección vías respiratorias

Tabla 8. Riesgo y medios preventivos para evitar o reducir afecciones derivadas de la exposición a los pigmentos que contienen las pinturas utilizadas en los procesos de pintado

8.1.2. Ligantes o resinas

Los ligantes o resinas mayoritariamente utilizadas en la actualidad (generalmente en solución en disolventes) son de tipo acrílicas (termoplásticas y termoendurecibles), alquídicas, poliéster-melaminas, acrílicas-isocianato y epoxi-amina/amida.

Estas resinas, una vez curadas (es decir, una vez terminada la reacción de polimerización o endurecimiento, no producen efectos perjudiciales en el hombre. Sin embargo, mientras dura dicho proceso, todas presentan en mayor o menor grado un poder irritante sobre la piel y mucosas cuando entran en contacto con ellas y unos efectos dependientes de sus componentes base (catalizador, endurecedor, etc.), y que se indican en sus correspondientes apartados en este capítulo.

8.1.3. Disolventes

8.1.3.1. Hidrocarburos alifáticos

Este tipo de hidrocarburos forma parte de los disolventes de la pintura “sintética” y de las colas de contacto.

Los hidrocarburos alifáticos más comunes son: n-heptano e isómeros, octano, nonano, decano y white-spirit.

Todos ellos son irritantes de la piel en caso de contacto prolongado, llegando a producir dermatosis de contacto. Asimismo, su inhalación produce efectos narcóticos, provocando incluso

cefaleas, náuseas y vértigos según la concentración e intensidad de la exposición. Además, el n-hexano, debido a su metabolización por el organismo, se oxida dando lugar a sustancias neurotóxicas que afectan a los nervios periféricos, ocasionando polineuropatías.

8.1.3.2. Hidrocarburos aromáticos

En estos compuestos es necesario establecer una clara distinción entre el benceno y el resto: tolueno, xileno, naftas aromáticas, estireno, etc., puesto que, aunque sus características físicas y químicas son similares, los efectos que el benceno produce en el organismo son mucho más graves. Sin embargo, por fortuna, el benceno ha desaparecido de las formulaciones de los disolventes de pintura.

A ciertas concentraciones, estos hidrocarburos pueden provocar irritaciones y efectos ebriofarmacológicos e incluso depresivos. En general son productores de irritaciones de piel, pudiendo provocar necrosis superficiales, siendo su penetración cutánea variable. También son susceptibles de producir irritaciones oculares, con abundante lagrimeo. Sin embargo, si la exposición es continua, pueden ser intolerables y el propio contacto ocular puede producir quemaduras graves.

8.1.3.3. Alcoholes

De manera general son solubles en agua y volátiles. Una vez absorbidos por el organismo se distribuyen rápidamente fijándose en los tejidos de mayor contenido en agua y sobre todo en la sangre, orina y humor acuoso. Se oxidan lentamente en el hígado y la fracción no metabolizada se elimina por la orina.

El metanol produce efectos depresores sobre el sistema nervioso central e irritación de las mucosas, y en casos graves su acción sobre el nervio óptico produce ceguera bilateral.

El isobutanol y butanol en soluciones acuosas diluidas son menos tóxicos: no penetran fácilmente en la epidermis ni la irrita. En cuanto a su toxicidad es relativamente baja, con efectos comparables a los del etanol.

8.1.3.4. Ésteres

Son compuestos que presentan baja toxicidad. Sus patologías y toxicologías también presentan similitud: sus vapores son irritantes para las mucosas oculares y vías respiratorias superiores. Producen acción narcotizante moderada que causa somnolencia, embotamiento, cansancio y falta de apetito.

Por contacto cutáneo prolongado estos líquidos pueden destruir la capa lipoácida provocando grietas con peligro de infección.

8.1.3.5. Éter-alcoholes

Este grupo engloba el metilglicol, etilglicol, metoxipropanol, butilglicol, butildiglicol, etc. Todos ellos son líquidos miscibles en agua y en la mayoría de los disolventes orgánicos, y se absorben fácilmente por la piel. Sus vapores son irritantes de las mucosas respiratorias y de la piel.

Una vez absorbidos por el organismo, ejercen su acción tóxica sobre el sistema nervioso central, pulmón, hígado y riñón.

En cuanto al éter monoetílico del etilenglicol es fácilmente absorbido, ya que en el organismo y en proceso metabólico experimenta una hidrólisis y como consecuencia genera alcohol metílico y etilenglicol, sumándose los efectos tóxicos de ambos.

8.1.3.6. Cetonas

Son compuestos orgánicos que poseen el grupo carbonilo como la metiletilcetona, metilciclohexanona y acetona alcohol. Son solubles en agua y disolventes orgánicos. Penetran en el organismo por inhalación de sus vapores en su fase líquida y vapor. Se metabolizan rápidamente en el organismo y son eliminados por el riñón y el aire expirado. Sin embargo, hay que considerar sus procesos de oxidación, destacando la acetona que, si se oxida, se divide en ácido acético y anhídrido carbónico, incrementando la acumulación del tóxico en sangre y órganos.

Toxicológicamente destacaremos que son irritantes para las mucosas oculares y respiratorias. Además, producen tos, estornudos y trastornos nerviosos además de digestivos.

En la piel se produce dermatosis y destrucción de la capa cutánea lipo-ácida. Como solución de tipo médica está el lavarse inmediatamente con agua abundante en las proyecciones oculares y cutáneas.

Disolventes	Riesgos		Prevención	
	Acción de contacto vías de penetración	Efectos	Colectivos	Individual
Hidrocarburos alifáticos	Contacto piel	Irritación piel, dermatitis	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos, eliminación del n-hexano de las composiciones	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Narcosis, cefaleas, náuseas, vómitos, polineuropatías (n-hexano)		Gafas, equipo protección vías respiratorias
Hidrocarburos aromáticos	Contacto piel	Irritación, quemaduras, dermatitis	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Ulceración de la córnea, fatiga, debilidad, confusión, dolor de cabeza		Gafas, equipo protección vías respiratorias
Alcoholes	Contacto piel	Agrietamiento piel	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Irritación nariz, garganta y ojos, dolor de cabeza, somnolencia, vértigos		Gafas, equipo protección vías respiratorias
Eter-alcoholes	Contacto piel	Irritación piel, ojos	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Irritación mucosas respiratorias, lesiones de hígado, riñones y pulmones, narcosis, hemolisis		Gafas, equipo protección vías respiratorias
Cetonas	Contacto piel	Dermatitis	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Irritación ocular y respiratoria, cefaleas, náuseas		Gafas, equipo protección vías respiratorias
Esteres	Contacto piel	Irritación piel, dermatitis	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Irritación ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, somnolencia		Gafas, equipo protección vías respiratorias

Tabla 9. Riesgo y medios preventivos para evitar o reducir afecciones derivadas de la exposición a los disolventes que contienen las pinturas utilizadas en los procesos de pintado

8.1.4. Cargas y aditivos

Exceptuando algunos compuestos ocasionalmente utilizados en tiempos anteriores como el amianto y la sílice, los demás presentan una toxicidad escasa o nula.

	Riesgos		Prevención	
	Acción de contacto vías de penetración	Efectos	Colectivos	Individual
Cargas	Vía respiratoria	Neumoconiosis (sílice y amianto), insuficiencia respiratoria	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios reducidos	Equipo protección vías respiratorias

Tabla 10. Riesgo y medios preventivos para evitar o reducir afecciones derivadas de la exposición a las cargas que contienen las pinturas utilizadas en los procesos de pintado

8.1.5. Plastificantes

La débil volatilidad de estos productos disminuye notablemente la acción nociva de algunos de ellos. Esto, unido a que en las pinturas se utilizan plastificantes de muy baja toxicidad, hace que en la práctica estos compuestos no produzcan riesgo higiénico.

8.1.6. Endurecedores (para poliuretanos)

El diisocianato de toluideno (TDI) es la molécula más peligrosa debido a su gran volatilidad, pero otros como el diisocianato de difenilmetano (MDI), el diisocianato de hexametileno (HDI) y el diisocianato de isozolona (IPDI), también son susceptibles de provocar afecciones pulmonares.

En la actualidad los isocianatos se utilizan en forma de prepolímero, como endurecedores de pinturas, imprimaciones y productos de dos componentes.

Pueden sintetizarse en una acción irritativa que se manifiesta sobre las mucosas oculares, tejido pulmonar y vía digestiva. Normalmente aparecen entre 4 y 8 horas después del comienzo de la exposición y desaparecen de forma espontánea de 3 a 7 días después de finalizada la exposición. Esta acción también se manifiesta sobre la piel en caso de contacto, que, si es frecuente, puede provocar dermatitis.

También pueden provocar asma que aparecen en cierto número de sujetos expuestos tras un periodo de latencia que puede ir de varias semanas a varios años, durante el cual se produce la sensibilización. Desaparecen en los períodos en los cuales no se está expuesto.

Finalmente, varios estudios epidemiológicos realizados parecen demostrar que los isocianatos pueden generar el desarrollo de obstrucciones crónicas de las vías aéreas (B.P.C.O.), como respuesta a débiles niveles de exposición, aunque existen discusiones al respecto.

	Riesgos		Prevención	
	Acción de contacto vías de penetración	Efectos	Colectivos	Individual
Endurecedores	Contacto con la piel	Quemaduras	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Acción irritante y sensibilizante sobre la piel (eczema y mucosas oculares y vías respiratorias), asma, bronquitis asmático		Gafas, equipo protección vías respiratorias

Tabla 11. Riesgo y medios preventivos para evitar o reducir afecciones derivadas de la exposición a los endurecedores que contienen las pinturas utilizadas en los procesos de pintado

8.1.7. Catalizadores (para epoxi)

Las sustancias que se utilizan normalmente en las pinturas actuales son las aminas, generalmente terciarias. Estas aminas son irritantes para las mucosas oculares (conjuntivitis con edema corneal que produce visión confusa con impresión de halo luminoso) y respiratorias (rinitis, tos, bronquitis).

El contacto directo con la piel provoca irritación de la misma llegando a producirse incluso quemadura. Por ello, las proyecciones oculares son particularmente peligrosas.

Algunos investigadores han apuntado sobre la acción hepato y nefrotóxica de estas aminas, aunque no han sido verificadas en el hombre.

	Riesgos		Prevención	
	Acción de contacto vías de penetración	Efectos	Colectivos	Individual
Catalizadores	Contacto con la piel	Irritación de la piel y ojos	Aspiración localizada, ventilación forzada en espacios interiores	Guantes e higiene individual
	Vía respiratoria	Irritación de las vías respiratorias, conjuntivitis con edema corneal, rinitis, tos, bronquitis		Gafas, equipo protección vías respiratorias

Tabla 12. Riesgo y medios preventivos para evitar o reducir afecciones derivadas de la exposición a los catalizadores que contienen las pinturas utilizadas en los procesos de pintado

8.2. Prevención

El astillero debe esclarecer un programa de control de la contaminación existente en los puestos de trabajo, solicitando, si fuera necesario, la colaboración de organismos externos, tal y como lo establece la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 del 8 de noviembre, que básicamente debe contener los siguientes puntos:

- Identificación de los puestos con posible riesgo higiénico
- Realización de tomas de muestra en dichos puntos
- Valoración del riesgo existente
- Establecimiento de medidas de prevención con tendencia a eliminar el riesgo
- Establecimiento de reconocimientos médicos periódicos a los trabajadores. Estos reconocimientos serán específicos siempre que sea posible

En cuanto se sobrepasen los límites de exposición deben aplicarse inmediatamente las medidas correctoras pertinentes, informando a los trabajadores del problema y de las medidas de protección a tomar.

8.2.1. Almacenamiento

Los botes, bidones, etc., deben encontrarse en perfecto estado, con cierre hermético y mantenidos cerrados siempre que no se utilicen.

Zona de almacenamiento

- Debe habilitarse un cuarto especial para el almacenamiento de las diferentes pinturas, masillas, disolventes y demás productos utilizados en los procesos industriales de pintado
- El local debe estar bien ventilado con salida al exterior del inmueble
- De este local se debe retirar a diario el material necesario para su consumo en el día y, si no se gastara en su totalidad, se devuelve al mismo

8.2.2. Etiquetado

Todos los recipientes que contengan pinturas, disolventes, etc. deben indicar de forma clara los nombres químicos de los componentes junto con los pictogramas e indicaciones de peligro previstos en el capítulo 2º, artículo 3º del (R.D. 2.216/1985, de 23 de octubre). Asimismo, deben llevar impresas las frases de riesgos especificados en dicho Reglamento y que correspondan al preparado.

Pictograma	Significado
	Corrosivo Puede producir quemaduras en contacto con los ojos o la piel.
	Tóxico Es tóxico para organismos acuáticos. Puede provocar efectos negativos en el ambiente acuático a largo plazo.
	Nocivo; Irritante Puede perjudicar la salud; Puede causar inflamación en la piel ó en otras membranas mucosas
	Fácilmente inflamable; Extremadamente inflamable Puede provocar un incendio si se aproxima a una llama, chispas o cualquier objeto incandescente
	Nocivo; Irritante (Vías respiratorias) Puede perjudicar la salud; Puede causar irritación y afectar las vías respiratorias.

Tabla 13. Pictogramas e indicaciones de peligro. Capítulo 2º, artículo 3º del (R.D. 2.216/1985, de 23 de octubre)

8.2.3. Sustitución de los productos utilizados

Debido a que los riesgos toxicológicos derivados de la utilización de pinturas y disolventes están provocados por la propia composición de dichos productos, se aconseja solicitar a los fabricantes información sobre los componentes que contienen y evitar en la medida de lo posible el empleo de aquellos de mayor toxicidad.

Por ejemplo: en el caso de las imprimaciones fosfocromatantes, el uso de pigmentos de Cr y de ácido fosfórico tiende a desaparecer sustituyéndose por pigmentos menos tóxicos.

También han aparecido pinturas en base acuosa que constituyen un significativo avance desde el punto de vista de salud laboral. Sin embargo, el grado de desarrollo actual de este tipo de

productos no permite su utilización generalizada para todo tipo de recubrimientos en función de las especificaciones del mismo.

Otra tendencia alternativa que también han desarrollado los fabricantes de pinturas para reducir su peligrosidad es la reducción del contenido en disolventes orgánicos, y finalmente han obtenido una serie de productos que contienen una proporción de disolventes significativamente menor al de las pinturas convencionales, como por ejemplo las pinturas HS (pinturas con alto contenido en sólidos).

También en cuanto a las pinturas de 2 componentes, la presunta peligrosidad de los poliisocianatos está siendo constantemente reducida por la producción de productos cada vez más limpios y exentos de isocianatos monómeros libres.

En el caso del llamado disolvente de limpieza y otros diluyentes también existe la posibilidad de solicitar la composición de los mismos y la sustitución de los componentes muy tóxicos como el metanol, metilglicol, etilglicol, etc., por otros.

8.2.4. Proceso productivo

8.2.4.1. Equipos

Máquinas lijadoras

El lijado en seco de masillas y pinturas mediante máquinas lijadoras portátiles origina concentraciones ambientales de polvo, a veces con contenidos metálicos importantes, superiores a los límites higiénicos recomendados, por lo que es necesario utilizar durante estas operaciones exclusivamente máquinas que dispongan de dispositivos de aspiración incorporados.

Los elementos filtrantes de estos dispositivos, sacos, bolsas, etc., deben revisarse frecuentemente, procediendo a su vaciado, o incluso su sustitución, antes de que alcancen colmataciones excesivas.

Pistolas de pulverización

Los fenómenos de rebote del pulverizado de pintura durante las aplicaciones a pistola provocan elevadas concentraciones ambientales de contaminantes ambientales de contaminantes en la zona próxima a las vías respiratorias del pintor que repercuten directamente en la calidad del aire inhalado. Es en este aspecto, reducción del rebote de pulverizaciones en la superficie pintada

durante la aplicación, en el que mayores beneficios reporta la utilización de pistolas de alta eficacia de transferencia desde el punto de vista de salud laboral.

Por estas razones es recomendable:

- La utilización preferente de pistolas de alta eficacia de transferencia frente a las aerográficas convencionales
- Controlar la presión de utilización, procurando seguir las indicaciones técnicas de los fabricantes de las pistolas y de las pinturas
- En el pintado de zonas problemáticas, se reduce drásticamente la eficacia de la ventilación de la cabina, por lo que puede resultar de interés la utilización de pistolas con sobrepresión incorporada al propio depósito de pintura, ya que producen una menor dispersión de pulverizados durante la aplicación

8.2.4.2. Instalaciones de ventilación auxiliares

- Las operaciones de limpieza de pistolas y utensilios con disolvente y las de preparación de pinturas, mezclas y disoluciones, deben realizarse bajo la acción de un dispositivo de aspiración, normalmente frente a campanas verticales o en pequeñas cabinas abiertas
- Las operaciones de preparación de la superficie previas al pintado es conveniente que se realicen sobre mesas dotadas de rejillas y de aspiración frontal e inferior

Métodos operativos

Frecuentemente, a pesar de disponer de instalaciones y equipos en condiciones adecuadas, y debido a hábitos de trabajo desafortunados, se producen situaciones de riesgo higiénico fácilmente evitables. Por este motivo es conveniente recordar la necesidad de:

- Efectuar todas las operaciones de pintado a pistola en la cabina de pintura
- Mantener la ventilación conectada siempre que exista concentración en el ambiente de VOC's
- Mantener siempre tapados los recipientes con disolventes utilizados en la limpieza de pistolas y utensilios
- Los trapos y desperdicios impregnados de pinturas deben ser recogidos en recipientes metálicos cerrados
- Utilizar prendas de protección personal cuando no sea posible reducir la concentración ambiental del medio de trabajo por otros medios (aspiraciones localizadas, ventilación, cerramientos, etc.)

- Informar a los trabajadores sobre la toxicidad de las pinturas, disolventes, etc., así como la forma de manipularlos, e instruirles sobre los métodos de trabajo tendentes a la prevención del riesgo

8.2.5. Higiene individual

- Evitar comer, beber o fumar sin lavarse antes las manos, ya que eso puede conducir a la ingestión de contaminantes activos por vía digestiva, tales como el plomo
- Al finalizar el trabajo, los operarios deberán cambiarse la ropa usada guardándola en una taquilla separada de la ropa limpia
- Usar siempre que sea posible ropa de trabajo impermeable
- Mantener la ropa de trabajo en buenas condiciones de limpieza
- Cambiarse inmediatamente de ropa de trabajo en caso de impregnación accidental con disolventes o cualquier otra sustancia tóxica
- Utilizar jabones neutros para la limpieza de las manos y nunca disolventes orgánicos, ya que provocan la destrucción de los mecanismos de autoprotección de la piel

8.2.6. Protecciones personales

Distintas causas pueden hacer aconsejable la utilización de prendas de protección personal en los procesos de pintado. Entre ellas se pueden citar:

- Dispositivos de ventilación insuficientes o inexistentes
- Operaciones de difícil solución técnica, como por ejemplo el pintado de interiores de grandes piezas
- Propiedades sensibilizantes de algunos contaminantes por vía dérmica, como los disolventes

En estos casos es conveniente tener en cuenta las siguientes normas:

8.2.6.1. Protección de las vías respiratorias

- Las mascarillas a utilizar durante las aplicaciones a pistola deben constar de filtros mixtos para la retención tanto de partículas como de vapores orgánicos, y según homologación EN141 serán del tipo A, P y clase 1, 2 o 3 en función de la concentración ambiental medida. El adaptador facial al que se acoplen debe ser con certificación CE, según la norma EN140. Cuando este adaptador presente defectos de ajuste por deterioro o envejecimiento del material debe desecharse inmediatamente.

- Durante las operaciones con desprendimiento intenso de polvo, tales como los lijados en seco sin dispositivos de aspiración, se deben utilizar filtros mecánicos con homologación EN143, acoplados a los adaptadores faciales referidos anteriormente, o mascarillas autofiltrantes homologadas según Norma EN149.

La eficacia de las mascarillas de filtros intercambiables depende decisivamente del grado de saturación de los mismos. A este respecto se señala que:

- El filtro mecánico para la retención de partículas debe sustituirse siempre que se aprecien signos de colmatación, bien visualmente o bien por aumento de la resistencia en la aspiración.
- La predicción de la duración de los filtros de carbón activo, utilizados para la retención de vapores orgánicos es difícil, ya que depende de múltiples factores, entre los que destaca la concentración de contaminantes a la que deben enfrentarse. No obstante, se estima que, para las concentraciones habitualmente encontradas, entre el 50 y el 200% de los límites máximos permisibles, su vida útil puede estar comprendida entre 3 y 10 horas de servicio.
- Cuando se utilizan equipos de protección semiautónomos con aporte de aire del compresor, debe prestarse especial atención a las instrucciones dadas por el fabricante para el mantenimiento correcto de los filtros depuradores del aire dirigido a la máscara o pantalla facial del pintor. Estos equipos pueden resultar especialmente útiles en los casos de locales con ventilación muy deficiente, así como para pintores con síntomas de sensibilización a los isocianatos.

8.2.6.2. Protección ocular, de cuerpo y manos

- Utilizar gafas de protección ocular para evitar:
 - ✓ La proyección sobre los ojos de pinturas y disolventes durante su manipulación y aplicación
 - ✓ La proyección de partículas sólidas en los procesos de lijado
 - ✓ La proyección cuando se emplee aire comprimido para soplado de polvos y secado de disolventes en operaciones de desengrasado
- Utilizar una gorra de fibra artificial que proteja el cuero cabelludo de las sustancias contaminantes
- Utilizar guantes impermeables a los disolventes orgánicos durante las operaciones de preparación y aplicación de masillas, pinturas y colas, lo que evitará la necesidad de

utilizar disolventes orgánicos para la posterior limpieza de las manos. Es igualmente recomendable su uso durante las operaciones de lijado, con objeto de evitar el contacto directo con productos que puedan contener plomo, cromo o restos de catalizadores

8.3. Control médico preventivo de los trabajadores

El control médico preventivo se consigue en principio mediante el **reconocimiento médico previo** encaminado a detectar y a excluir aquellos sujetos susceptibles a la exposición de los contaminantes utilizados en los procesos de pintado.

Es importante identificar en estos reconocimientos a las personas que tengan un estado de sensibilización ya adquirido, con reacción positiva a los alérgenos en cuestión. Igualmente será importante detectar a aquellos que tengan enfermedades o alteraciones de la función renal, hepática o del sistema nervioso central y periférico.

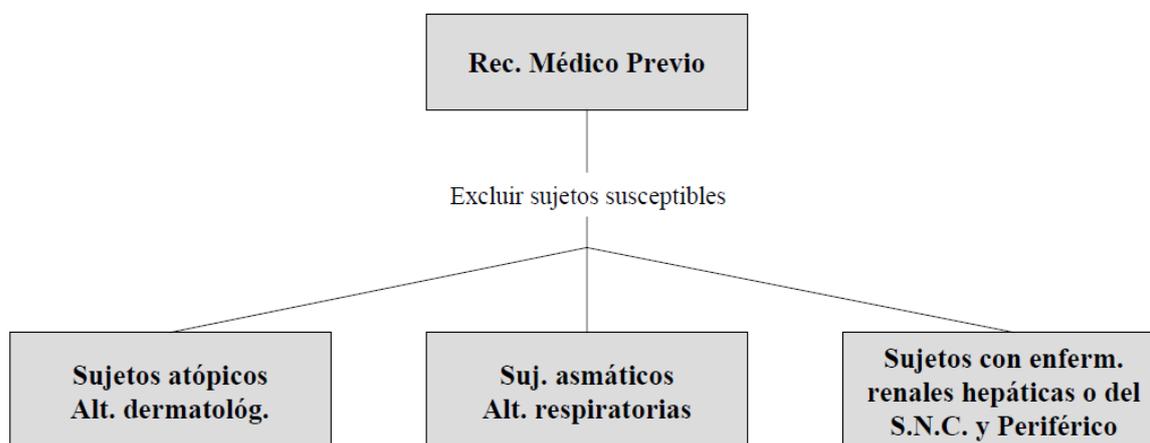


Figura 50. Reconocimiento médico previo dirigido a detectar y excluir sujetos susceptibles a la exposición de los contaminantes utilizados en procesos de pintado

El **reconocimiento médico periódico** se encarga de la detección precoz de las alteraciones que puedan sufrir los trabajadores expuestos y su prevención.

La exploración clínica debe ir encaminada hacia:

- Una inspección detallada de la piel, observando posibles alteraciones irritativas o eczemas alérgicos de contacto a las diferentes sustancias utilizadas.
- Un estudio de la función respiratoria mediante una espirometría, con el fin de observar y prevenir un posible daño a este aparato.
- Una exploración del sistema nervioso central y periférico valorando la aparición de polineuritis.

El control biológico de estos trabajadores se realiza mediante diversos test.

Es importante prestar especial atención a la función renal, ya que el riñón es el órgano diana de los diferentes metales pesados utilizados como pigmentos en las pinturas. Para ello, se cuenta con la determinación de la creatinina sérica o el BUN (nitrógeno ureico) cuyas cifras permiten valorar la función renal. En caso de alteración de estas cifras, una vez descartada la patología no laboral, se realizarían determinaciones de los niveles séricos de los metales utilizados como pigmentos.

Por último, se cuenta con unos índices biológicos de exposición (BEI) para los disolventes, que representan niveles de aviso de respuesta biológica a estas sustancias químicas, independientemente de su vía de absorción en el organismo.

Estos reconocimientos médicos preventivos deben tener una periodicidad mínima anual, acortando los periodos en dependencia de las condiciones ambientales y los valores biológicos y bioquímicos hallados.

Conclusiones

Es innegable que la mayoría de las personas, cuando piensan en el mundo de la náutica, no piensan en pinturas, recubrimientos, tratamientos superficiales o incrustaciones. Es debido a que el mantenimiento de una embarcación puede no resultar lo más llamativo o atractivo a primera vista para la gente que no se dedica a ello, pero es innegable la importancia de proteger y mantener adecuadamente algo que posee tanto valor, teniendo en cuenta, además, que se encuentra en un medio complicado: el mar.

Debido a su importancia, el mercado de pinturas y recubrimientos es muy amplio y se encuentra en continua expansión, lo cual supone un reto para las marcas y los laboratorios de investigación para seguir superándose día a día. De esta forma se consigue facilitar el mantenimiento y mejorar las prestaciones de barcos que pueden ser usados como herramientas de trabajo, o simplemente como un medio en el que disfrutar navegando.

De la misma manera sucede con los tratamientos superficiales aplicables a los cascos y las técnicas de aplicación de los productos, ya que suponen una variable con mucho peso dentro de la ecuación a partir de la cual se obtiene un rendimiento óptimo asegurando el mínimo gasto en función de cada necesidad.

Es necesario recordar que la mayoría de productos y procedimientos mediante los cuales se protegen las embarcaciones deben realizarse con unos conocimientos mínimos previos, así como contar con las protecciones adecuadas dependiendo de los componentes con los que haya que trabajar. También es conveniente leer las recomendaciones del fabricante para cada producto, y solicitar asistencia a profesionales, si fuera necesario.

Personalmente, la realización de este trabajo ha modificado mi perspectiva acerca de las labores de mantenimiento, cuidado y protección de las embarcaciones realizados en los astilleros mediante la aplicación de esquemas de pintura y sus respectivos tratamientos superficiales. Además, he podido profundizar en los secretos de la elaboración de cada producto según su finalidad, así como en la evolución e investigación del pasado, presente y futuro de las pinturas antiincrustantes. Todo ello, por supuesto, sin olvidar las medidas y consideraciones aplicables para preservar la salud de los trabajadores y la del medio ambiente.

Bibliografía

- [1] J. R. Thornton, «Construcción y Reparación de Buques y Embarcaciones de Recreo».
- [2] HEMPEL, «Manual de referencia de pinturas y recubrimientos,» [En línea].
- [3] IHOBE, «Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones,» [En línea].
- [4] IHOBE, «Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire,» [En línea].
- [5] HEMPEL, «Fouling Control Technologies,» [En línea].
- [6] HEMPEL, «Manual de Pintura,» [En línea].
- [7] IMO, «Anti-fouling Systems,» [En línea].
- [8] International Yacht Paint, «Aplicación de Antiincrustante Profesional,» [En línea].
- [9] International Coatings Limited, «Guía para el pintado de embarcaciones de recreo,» [En línea].
- [10] A. Rodríguez, «La Ciencia de los Antifouling».
- [11] International Coatings Limited, «Manual de aplicación Gelshield Plus».
- [12] International Coatings Limited, «Preparación de Superficie - Acero,» [En línea].
- [13] International Coatings Limited, «Preparación de Superficie - Aluminio,» [En línea].
- [14] International Coatings Limited, «Preparación de Superficie - Esquemas de Pintura Existentes,» [En línea].
- [15] International Coatings Limited, «Preparación de Superficie - GRP/FRP/Composites,» [En línea].

- [16] International Coatings Limited, «Preparación de Superficie - Madera,» [En línea].
- [17] JOTUN Yachting, «Manual de Mantenimiento,» [En línea].
- [18] JOTUN Yachting, «Manual de Pintado. Obra Viva / Obra Muerta,» [En línea].
- [19] MARYLAND, Clean Marina, «Clean Boating Tip Sheet».
- [20] J. Robert F. Brady, «Composition and Performance of Fouling Release Coatings».
- [21] Norglass Paints, «Understanding Anti-Fouling,» [En línea].
- [22] TITAN, «Guía de Pintado,» [En línea].
- [23] R. M. Puertas, «Estudi i anàlisi dels sistemes d'aplicació dels tractaments superficials de revestiment (pintures) en l'indústria naval».
- [24] «Ultrasonic Antifouling,» [En línea]. Available: <http://www.ultrasonic-antifouling.com/>.
- [25] Wikipedia, «Antifouling,» [En línea]. Available: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Antifouling>.
- [26] Promonautica, «El Mejor Antifouling,» [En línea]. Available: <https://promonautica.wordpress.com/2015/01/05/el-mejor-antifouling/>.
- [27] University of Calgary, «Solutions to Marine Biofouling,» [En línea]. Available: <http://shipfoulingchem409group2.wikispaces.com/Solutions+to+Marine+Biofouling>.
- [28] DEPINTURAS, «Hempel revoluciona el mercado con "SilicOne",» [En línea]. Available: <http://www.depinturas.com/blog/hempel-revoluciona-el-mercado-del-antifouling-con-silicone/>.
- [29] Don Color, «Pintura Industrial,» [En línea]. Available: <http://www.doncolor.es/web/productos-don-color/pintura-industrial/>.
- [30] Hellenic Shipping News, «Hempel launches new, top-line fouling release coating to deliver optimal fuel savings,» [En línea]. Available: <http://www.hellenicshippingnews.com/hempel-launches-new-top-line-fouling-release-coating-to-deliver-optimal-fuel-savings/>.

- [31] HEMPEL, «Fouling Release,» [En línea]. Available: <http://www.hempel.com/en/marine/underwater-hull/fouling-release>.
- [32] MGAR, «La madera en la construcción naval,» [En línea]. Available: <http://www.mgar.net/mar/tecnica.htm>.
- [33] Wikipedia, «Corrosión,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>.
- [34] Wallenius Lines, «Antifouling,» [En línea]. Available: <http://www.walleniuslines.com/Environment/Solutions/Antifouling/>.
- [35] Diario de Náutica, «Láser y Silicona. La nano tecnología llega a los antifoulings,» [En línea]. Available: <http://www.diariodenautica.com/laser-y-silicona-la-nano-tecnologia-llega-los-antifoulings/>.
- [36] «Cómo pintar un barco,» [En línea]. Available: <http://es.boats.com/consejos/como-pintar-un-barco/>.
- [37] «Mantenimiento del casco: Antifouling,» [En línea]. Available: <http://blog.cosasdebarcos.com/consejos/mantenimiento-del-casco-antifouling>.
- [38] International Yacht Paint, «Boletines técnicos,» [En línea]. Available: <http://www.yachtpaint.com/esp/diy/centro-de-prensa/boletines-t%C3%A9cnicos.aspx>.
- [39] HullBot, «Automated Hull Cleaning,» [En línea]. Available: <http://www.hullbot.com>.
- [40] CJ SPRAY, «EQ 600S - EcoQuip,» [En línea]. Available: <https://www.cjspray.com/products/ecoquip/ecoquip-eq600s-vapor-blast-equipment.html>.
- [41] ASFIBE, «Moldes,» [En línea]. Available: <http://www.asfibe.com/es/disenio/moldes>.
- [42] OMI, «Informe de Comité de Protección del Medio Marino».
- [43] Bavaria Mallorca, «Laminado de cascos de fibra de vidrio,» [En línea]. Available: http://www.bavaria-mallorca.es/media/images/rumpf_lamin_05kl.jpg.
- [44] HERBI, «Suministros HERBI,» [En línea]. Available: <http://www.suministrosherbi.com>.
- [45] «Primera tabla del forro y parte de la sobrequilla afectada por la podredumbre en una embarcación de madera,» [En línea].

- [46] «Restaurar barco de madera,» [En línea]. Available: <http://restaurarbarco.blogspot.com.es/>.
- [47] «Proyecto de investigación. Almagreños II,» [En línea]. Available: proyectofrisoalmagro.blogspot.com.
- [48] «Elementos de una pistola airless,» [En línea]. Available: www.graco.com.
- [49] «Esquema de pulverización mixto,» [En línea]. Available: www.equipozanetta.com.ar.
- [50] Wikipedia, «Andamio,» [En línea].
- [51] BenYMar Yachtpaint, [En línea].
- [52] ULMA Construction, [En línea]. Available: <http://www.ulmaconstruction.com/es/andamios/andamio-multidireccional-brio/>.
- [53] Wikipedia, «Dique seco,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Dique_seco.
- [54] Navalia, «Hempel muestra en Navalia el novedoso recubrimiento antiincrustante Hempaguard,» [En línea]. Available: <http://www.navalia.es/es/noticias/ultima-hora/1610-hempel-muestra-en-navalia-el-novedoso-recubrimiento-antiincrustante-hempaguard.html>.
- [55] Industrias Pesqueras, «Hempel amplía su centro de I+D en España,» [En línea]. Available: http://www.industriaspesqueras.com/noticias/empresas/366/hempel_amplia_su_centro_de_id_en_espana_.html.
- [56] Wikipedia, «Corrosión galvánica,» [En línea]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanic_corrosion.
- [57] HEMPEL, «Hempel launches HEMPAGUARD,» [En línea]. Available: <http://www.hempel.com/en/about-hempel/news/2013/hempel-launches-hempaguard#>.
- [58] CIN Protective, «Norma NP EN ISO 4628,» [En línea]. Available: www.cin-protective.com.
- [59] CIN Protective, «NORMA EN ISO 8501,» [En línea]. Available: www.cin-protective.com.
- [60] CIN Protective, «PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE A LA CORROSIÓN,» [En línea]. Available: www.cin-protective.com.

