



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Uso de microemulsiones para el decapado de pinturas usadas en
plataformas navales*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: AF Rodríguez García

DIRECTORES: Santiago Rafael Urréjola Mandriñán

CURSO ACADÉMICO: 2024-2025

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Uso de microemulsiones para el decapado de pinturas usadas en
plataformas navales*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo evaluar la eficacia de microemulsiones específicas como alternativa sostenible a los disolventes convencionales en el decapado de pinturas empleadas en plataformas navales. Se parte del contexto actual de la industria naval, donde el mantenimiento preventivo, y en particular la eliminación de capas de pintura deteriorada, es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de las embarcaciones. A través de un estudio experimental, se formularon veinte microemulsiones de un mismo tipo, con mismos compuestos, pero con distintas concentraciones de surfactante, cosurfactante, fase acuosa y fase oleosa. Estas fueron aplicadas sobre dos tipos de pinturas comunes en el ámbito naval: esmalte industrial y pintura antifouling en spray. Se evaluaron los tiempos de reacción y eficacia de eliminación, comparando también con microemulsiones elaboradas con disolventes convencionales. Los resultados evidencian que ciertas microemulsiones logran una elevada capacidad de decapado, con tiempos de actuación bajos, menor toxicidad y un impacto ambiental reducido. Se concluye que, a pesar de su mayor coste inicial, las microemulsiones representan una solución viable, segura y alineada con las normativas ambientales, lo que las convierte en una opción prometedora para su aplicación en la industria naval.

PALABRAS CLAVE

Microemulsión, Surfactante, Cosurfactante, Fase acuosa, Fase oleosa, Sostenibilidad

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dirigir mis agradecimientos a mi tutor D. Santiago Rafael Urréjola, por su orientación, paciencia y comprensión a lo largo del proyecto y a Ángel Sánchez Bermúdez, catedrático en ingeniería química.

Dirijo mis agradecimientos también a mis compañeros que han estado presentes en el laboratorio y me han ayudado con la fase experimental.

Agradezco a mi familia, mis amigos y a todas las personas que me han acompañado a lo largo de estos cinco años de paso por la Escuela Naval Militar. Estoy en deuda con cada uno de vosotros.

Gracias.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de ecuaciones.....	5
Índice de Tablas.....	6
1 Introducción y objetivos	8
1.1 Contexto y motivación	8
1.1.1 Tipos de pinturas en plataformas navales	9
1.1.2 Tipos de decapado	10
1.1.3 Limpieza de restos de pinturas mediante disolventes.....	10
1.1.4 Problemáticas ambientales y de seguridad y salud asociada a métodos convencionales .	11
1.2 Normativas ambientales (COV's).....	12
1.3 Objetivos	13
1.4 Estructura de la memoria	13
2 Estado del arte	14
2.1 Emulsiones	14
2.2 Comparativa entre las diferentes emulsiones.....	15
2.3 Microemulsiones	16
2.3.1 Antecedentes del uso de microemulsiones en decapado	16
2.3.2 Propiedades y ventajas de las microemulsiones	17
2.3.3 Clasificación de las microemulsiones.....	17
2.3.4 Composición de las microemulsiones	18
2.3.4.1 Disolventes	18
2.3.4.2 Surfactantes.....	19
2.3.4.3 Cosurfactantes o surfactantes secundarios.....	23
2.4 Factores que afectan a la eficiencia del decapado con microemulsiones	25
2.4.1 Composición de las microemulsiones	25
2.4.2 Tipo de pintura y espesor del recubrimiento	25
2.4.3 Temperatura de la microemulsión y pH	26
2.4.4 Tiempo de exposición.....	26
2.5 Aplicación de microemulsiones	26
2.5.1 En la industria naval	26
2.5.2 Aplicaciones en otras industrias	26
3 Desarrollo del TFG.....	28

3.1 Introducción a la investigación	28
3.1.1 Material necesario	29
3.2 Primera etapa. Preparación de las probetas	30
3.2.1 Proceso de pintado de las probetas	30
3.3 Segunda etapa. Formulación de las microemulsiones	31
3.3.1 Metodología preparación de la mezcla	35
3.4 Tercera etapa. Reacciones entre microemulsiones y pintura hasta su eliminación.....	37
3.5 Cuarta etapa. Elaboración de una microemulsión con un disolvente convencional.	38
4 Resultados/Validación/Prueba.....	42
4.1 Resultados observados durante la investigación.....	42
4.1.1 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (5%-5%).....	42
4.1.2 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (10%-10%).....	43
4.1.3 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (15%-15%).....	44
4.1.4 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (20%-20%).....	45
4.1.5 Observaciones generales.....	46
4.1.6 Resultados con pintura de spray innasa, marine Paint (5%-5%)	47
4.1.7 Resultados con pintura de spray innasa, marine paint (10%-10%)	48
4.1.8 Resultados con pintura de spray innasa, marine paint (15%-15%)	49
4.1.9 Resultados con pintura de spray innasa, marine paint (20%-20%)	50
4.1.10 Observaciones generales.....	51
4.1.11 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid para la microemulsión 20-80 (15%-15%) y 50-50 (10%-10) elaborada con disolvente convencional.....	52
4.1.12 Observaciones generales.....	53
4.1.13 Resultados con la pintura de spray innasa, marine paint para la microemulsión 35-65 y 50-50 (10%-10) elaborada con disolvente convencional.	54
5 Conclusiones y líneas futuras	56
5.1 Conclusiones	56
5.2 Líneas futuras	57
6 Bibliografía.....	58
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	62
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Simbología: nocivo-tóxico-peligro para el medioambiente [9].....	11
Figura 2-1 Emulsión química	14
Figura 2-2 Microemulsión y nanoemulsión [16]	15
Figura 2-3 Nanoemulsión y macroemulsión [16]	15
Figura 2-4 Esquema de la estructura de microemulsiones O/W y W/O [18].....	18
Figura 2-5 Transiciones estructurales desde microemulsiones W/O a microemulsiones	18
Figura 2-6 Estructura molecular del etanol y del benceno [26] [27].....	19
Figura 2-7 Estructura molecular del agua y del amoniaco [28] [29].....	19
Figura 2-8 Estructura básica de un surfactante [30].....	20
Figura 2-9 Estructura de una micela [32] [33].	22
Figura 2-10 Estructura química de un surfactante aniónico.....	22
Figura 2-11 Estructura química de un surfactante no iónico.....	23
Figura 2-12 Estructura química de un surfactante catiónico	23
Figura 2-13 Estructura química de un surfactante anfotérico	23
Figura 2-14 Estructura molecular del propanol (C ₃ H ₈ O) [35].....	24
Figura 2-15 Estructura molecular del pentanol (C ₅ H ₁₂ O) [36].....	24
Figura 2-16 Estructura molecular del ácido oleico (C ₁₈ H ₃₄ O ₂) [37]	25
Figura 3-1 Esquema de investigación.....	29
Figura 3-2 Material necesario en la investigación. (Elaboración propia)	29
Figura 3-3 placas metálicas a), pinturas empleadas b) (spray y esmalte)	30
Figura 3-4 Aplicador de pintura a) y medidor de espesores b)	30
Figura 3-5 Probetas pintadas	31
Figura 3-6 Esquema de la composición de las microemulsiones en esta investigación.....	31
Figura 3-7 Microemulsión realizada en la a Escuela de Ingeniería Forestal del Campus de Pontevedra de la Universidad de Vigo.....	32
Figura 3-8 Estructura del SLES. [47].....	32
Figura 3-9 Compuestos empleados para la elaboración de microemulsiones	33
Figura 3-10 Procedimiento necesario para crear las microemulsiones	35
Figura 3-11 Aplicación de 10 gotas de microemulsión sobre la pintura.....	37
Figura 3-12 Reacción entre la microemulsión y la pintura de esmalte a) y spray b) , momento de decapado.....	38
Figura 3-13 Esquema de la composición de la nueva microemulsión	38
Figura 3-14 Disolvente bicapa	39
Figura 3-15 Nuevas microemulsiones	41

Figura 3-16 Microemulsión sobre pintura de esmalte a) y sobre pintura de spray b).....	41
Figura 4-1 Representación gráfica de la Tabla 4-1	42
Figura 4-2 Representación gráfica de la Tabla 4-2	43
Figura 4-3 Representación gráfica de la Tabla 4-3	44
Figura 4-4 Representación gráfica de la Tabla 4-4	45
Figura 4-5 Decapado microemulsión 20-80 (15%-15%) (izquierda) y microemulsión 50-50 (10%-10%) (derecha).....	47
Figura 4-6 Representación gráfica de la Tabla 4-6 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura.	48
Figura 4-7 Representación gráfica de la Tabla 4-7 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura.	49
Figura 4-8 Representación gráfica de la Tabla 4-8 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura	50
Figura 4-9 Representación gráfica de la Tabla 4-9 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura	51
Figura 4-10 Decapado con la microemulsión 20-80 (15%-15%).....	52
Figura 4-11 Representación gráfica de la Tabla 4-11	52
Figura 4-12 Nueva microemulsión formulada con disolvente sobre pintura de esmalte	54
Figura 4-13 Representación gráfica de la Tabla 4-13	54

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1	20
--------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Diferencias entre los tipos de emulsiones	16
Tabla 2-2 Clasificación de surfactantes según su HLB.....	20
Tabla 3-1 Proporciones agua y aceite necesarios	33
Tabla 3-2 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 5% - 5% de surfactante y cosurfactante	34
Tabla 3-3 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 10% - 10% de surfactante y cosurfactante	34
Tabla 3-4 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 15% - 15% de surfactante y cosurfactante	34
Tabla 3-5 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 20% - 20% de surfactante y cosurfactante	34
Tabla 3-6 Pesos de los elementos para la proporción teórica 5% surfactante y 5% cosurfactante	36
Tabla 3-7 Pesos de los elementos para la proporción teórica 10% surfactante y 10% cosurfactante	36
Tabla 3-8 Pesos de los elementos para la proporción teórica 15% surfactante y 15% cosurfactante	36
Tabla 3-9 Pesos de los elementos para la proporción teórica 20% surfactante y 20% cosurfactante	37
Tabla 3-10 Pesos de los elementos para la nueva muestra a base de disolvente convencional 50-50 (10%10%)	39
Tabla 3-11 Pesos de los elementos para la nueva muestra a base de disolvente convencional 20-80 (15%15%)	40
Tabla 3-12 Pesos de los elementos para la nueva muestra a base de disolvente convencional 50-50 (20%-20%)	40
Tabla 4-1 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 5% surfactante y 5% cosurfactante	42
Tabla 4-2 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 10% surfactante y 10% cosurfactante	43
Tabla 4-3 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 15% surfactante y 15% cosurfactante	44
Tabla 4-4 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 20% surfactante y 20% cosurfactante	45
Tabla 4-5 Selección de las microemulsiones de menor tiempo	46
Tabla 4-6 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 5% surfactante y 5% cosurfactante	47
Tabla 4-7 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 10% surfactante y 10% cosurfactante	48
Tabla 4-8 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 15% surfactante y 15% cosurfactante	49

Tabla 4-9 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 20% surfactante y 20% cosurfactante	50
Tabla 4-10 Selección de las microemulsiones de menor tiempo	51
Tabla 4-11 Tiempos de reacción con la microemulsión a base de disolvente bicapa	52
Tabla 4-12 Comparativa entre microemulsiones según su tiempo medio.....	53
Tabla 4-13 Tiempos de reacción con la microemulsión a base de disolvente bicapa	54
Tabla 4-14 Comparativa entre microemulsiones según su tiempo medio.....	55

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contexto y motivación

Las plataformas navales están sujetas a variables que afectan significativamente su estructura. La exposición constante a la salinidad, las variaciones térmicas y los esfuerzos mecánicos contribuyen al deterioro, a la corrosión de la obra viva, parte sumergida del buque en el agua y de la obra muerta, parte del casco que está fuera del agua, y a la oxidación de los materiales, así como al desgaste de la pintura empleados en la construcción de los barcos. Estas condiciones hacen imprescindible una limpieza exhaustiva y regular de estas plataformas para garantizar su funcionalidad y prolongar su vida útil.

Un Plan de Mantenimiento para todo tipo de barco es fundamental para poder desempeñar de manera eficiente, segura y ordenada, las labores requeridas por su tripulación durante su ciclo de vida. Este plan de mantenimiento incluye todas las actividades necesarias, técnicas administrativas y de gestión, así como el decapado y la limpieza de la pintura en mal estado para poder reparar dicha zona, con el mínimo coste e impacto medioambiental, pero maximizando la operatividad del barco [1]. El plan de Mantenimiento debe incluir revisiones periódicas, una fase de especial trascendencia ya que de esta manera se amplía la vida útil del barco. Asimismo, permitirán encontrar problemas de manera temprana lo que permite evitar problemas de mayor envergadura siendo una muy buena inversión para el futuro.

Según las estadísticas realizadas por Salvamento Marítimo, la gran parte de rescates que han tenido que realizar han sido debido a problemas simples, problemas que podían haberse evitado si se hubiese realizado un correcto y previo mantenimiento del barco, ya que las revisiones antes de cada salida son igual de importantes que las que se realizan periódicamente. Además, estudios realizados entre 2002 y 2016 muestran un incremento de accidentes por un inapropiado mantenimiento lo que supone una cuarta parte de los accidentes [2].

Son varios los elementos a tener en cuenta para tener un buen mantenimiento del barco: el motor, las baterías, la electrónica, el casco y la pintura que lo recubre son de especial relevancia para que éste plan de mantenimiento tenga éxito. Este último elemento no solo sirve de estética o para indicar ciertas zonas como tuberías, bombas, sino que sirve como medida de protección de la plataforma naval contra la corrosión, oxidación y el desgaste provocados por las condiciones del entorno en el que operan.

La oxidación es un proceso que tiene lugar especialmente en los metales debido a las reacciones químicas que se producen con el oxígeno u otros agentes oxidantes, dando lugar a los óxidos y provocando un cambio en la apariencia del material. La oxidación es el primer paso de la corrosión, aunque no siempre conduce a ella, ya que los óxidos debilitan la superficie del metal dando lugar a superficies rugosas y ásperas. Esto conlleva la formación de agujeros, pérdida de brillo, cambio en la coloración y una degradación avanzada y peligrosa causando daños importantes en la estructura [3].

Para evitar que esto ocurra se deben emplear pinturas y recubrimientos especializados para así perseverar la integridad del casco que actúa de barrera frente los agentes corrosivos.

1.1.1 Tipos de pinturas en plataformas navales

El término de plataforma naval conlleva conceptos amplios que se usan para describir estructuras flotantes, tripuladas o no tripuladas, las cuales se diseñan para operar en el ámbito marítimo, por lo que las plataformas navales pueden ser buques militares (portaaviones, fragatas etc), embarcaciones auxiliares (remolcadores), estructuras flotantes y fijas (petrolíferas) y buques civiles especializados (oceanográficos, cargueros).

Perseverar la vida útil de las plataformas navales sigue siendo un reto continuo para cualquier empresa de éste ámbito. Los requisitos que las pinturas y recubrimientos deben cumplir son de los más exigentes para poder hacer frente a este reto y conseguir que ningún fenómeno afecte de manera negativa al casco de la plataforma, incluyendo la obligatoriedad actual de proteger al medio ambiente. A continuación, se plasman las pinturas empleadas en las plataformas navales para evitar la corrosión, oxidación e incrustación [4].

- **Pinturas antifouling o antiincrustantes** entre las que se distinguen pinturas con sustancias conocidas como biocidas o sin biocidas. Las biocidas son sustancias compuestas por sustancias activas cuya finalidad es destruir, neutralizar a otras sustancias que son dañinas para las estructuras. Pueden ser de origen químico, natural o microorganismos.
 - Con biocidas: usadas cuando los organismos se encuentran en estado de larvas por lo que se eliminarían de manera temprana. Su composición se basa principalmente en resinas blandas o duras. Una vez que dicha pintura se encuentra en contacto con el agua, la resina se disuelve liberando el tóxico que llevan. No obstante, estos biocidas no deben ser demasiado tóxicos ya que solo se quiere eliminar a los organismos sin afectar a la pintura del casco.

La diferencia entre resinas blandas y duras radica en la duración y en la mezcla con el agua. Las pinturas con biocidas compuestas por resinas blandas tienen menor duración que las resinas duras que no son usadas con agua. Otra diferencia es que la primera debe aplicarse 2 capas cada 12-15 meses y que no sobrepase las 80 micras, mientras la segunda necesita de 2-3 capas, con un espesor de 120-150 micras y pueden llegar a durar hasta 1 año.
 - Sin biocidas: formada por un hidrogel (polímero) la cual, al entrar en contacto con el agua, se hincha y forma una capa lisa en el casco del barco, evitando la unión de organismos. Debido a su vulnerabilidad y a que puede ser dañada durante el decapado, es necesario una aplicación cada dos años.
- **Pinturas anticorrosivas:** tienen la particularidad de que la mayor parte son antiincrustantes. Protegen al casco gracias a las capas de mínima rugosidad y resistentes a la erosión y a la humedad. Estas capas están formadas por resinas vinílicas, pigmentos de plomo, cinc o minio (mineral óxido).

No obstante, a pesar de emplear las pinturas más apropiadas, el plan de mantenimiento establece la obligatoriedad de realizar, como se ha mencionado anteriormente, revisiones periódicas para comprobar el estado del barco. En estas revisiones se realiza un exhaustivo decapado o limpieza de la pintura ante la necesidad de eliminar aquellas capas deterioradas, exponiendo así las zonas dañadas y preparar la superficie para aplicar una nueva capa de pintura protectora. Este proceso expone grietas de la estructura lo que facilita la inspección y reparación garantizando la integridad del barco. Un inadecuado decapado de la pintura puede llegar a exponer la propia estructura a los efectos mencionados anteriormente, disminuyendo la vida útil e incrementando los costes de reparación.

Llevar a cabo esta fase de forma íntegra exige la intervención de técnicos altamente cualificados debido a su complejidad, con el fin de minimizar el deterioro de las superficies. Se diferencian tres tipos de decapado en función de su superficie: decapado de pintura sobre madera, sobre metal y sobre piedra.

1.1.2 Tipos de decapado

Se diferencian tres tipos de decapado en función de su superficie: decapado de pintura sobre metal, sobre madera y sobre piedra [5].

- **DECAPADO DE PINTURA SOBRE METAL**
 - Decapado mecánico: a través de aire comprimido, se bombardea la superficie con material agresivo el cual puede ser un sólido granulado o granalla de acero. El material base de la pieza, el acabado deseado son algunos de los factores que van a determinar el tipo de material agresivo a emplear.
 - Decapado químico: la técnica más eficiente es administrar una capa lo bastante gruesa de decapante químico (disolventes) usando una brocha. El tiempo de actuación va a depender el fabricante por lo que se recomienda seguir las instrucciones del producto. Es importante aplicar la capa justa de disolvente de manera que solo se elimine la pintura deseada y no se dañe el metal base. Al finalizar, hay que limpiar con abundante agua y cuando se proceda de nuevo a pintar, proteger la superficie con un recubrimiento de antióxido.

Además del metal, el decapado de pintura también se aplica en otros materiales:

- **DECAPADO DE PINTURA SOBRE MADERA:** se usan métodos como el lijado, pistola de calor o inmersión en productos químicos [6].
- **DECAPADO DE PINTURA SOBRE PIEDRA:** se emplea decapado mecánico para remover la pintura y no dañar la superficie.

El decapado se requiere en determinados momentos donde es necesario eliminar la pintura, sin embargo, en otras ocasiones basta con realizar una limpieza de la misma. Estos procesos se usan empleando métodos como los mencionados anteriormente. No obstante, cabe destacar el uso de disolventes, aunque actualmente, las industrias están buscando alternativas debido a sus efectos tan negativos.

1.1.3 Limpieza de restos de pinturas mediante disolventes

Los disolventes son compuestos orgánicos volátiles, de composición química. La mayoría de ellos se evaporan dando lugar a concentraciones altas en lugares cerrados o pueden liberarse a otros espacios a través del aire.

Son utilizados en la industria metalúrgica y en la industria naval para la limpieza de piezas, en cosmética, en la industria farmacéutica y como agente de limpieza entre otros. A pesar de ser efectivos para disolver y eliminar pinturas muy resistentes, tienen importantes desventajas para el ser humano y para el medioambiente. Al ser compuestos orgánicos volátiles, esto hace que sean altamente tóxicos para los operarios, incluyendo, además que son inflamables para el medio ambiente.

La existencia de disolventes alternativos es una solución a los disolventes orgánicos ya que pertenecen a la química verde, filosofía que pretende eliminar los elementos nocivos para el medio ambiente. Estos disolventes tienen baja toxicidad, baja volatilidad relativa, y requieren menor temperatura para evaporarse. Se clasifican en tres grupos, los reactivos, los benignos y los neutéricos

Sin embargo, la existencia de disolventes alternativos no reduce notablemente los riesgos para la salud y para el medio ambiente. Esta situación, ha llevado a las industrias a buscar alternativas seguras y sostenibles. Una solución eficiente e innovadora son las microemulsiones ya que son una mezcla con las capacidades de los disolventes, pero tienen ventajas respecto a estos ya que no son tóxicas, y tienen un inferior impacto ambiental [7].

1.1.4 Problemáticas ambientales y de seguridad y salud asociada a métodos convencionales

En los últimos años, la industria del decapado ha avanzado hacia la sostenibilidad, enfocándose en métodos más seguros para los operarios y menos perjudiciales para el medio ambiente. La seguridad de los trabajadores es esencial, por lo que es necesario garantizar un entorno laboral adecuado, utilizando el equipo de protección personal (EPP) adecuado y cumpliendo con los protocolos de seguridad para prevenir problemas de salud, como irritaciones o enfermedades graves a largo plazo. Además, el espacio donde se realice el decapado debe contar con una ventilación adecuada y someterse a evaluaciones de riesgo regulares [8].

El decapado en astilleros ofrece ventajas, ya que permite un control adecuado de la ventilación y las sustancias tóxicas, aunque se liberaran compuestos al medio ambiente, especialmente si el decapado se realiza en situaciones de emergencia en el mar, donde el control es más limitado. El decapado y la limpieza en espacios cerrados y amplios es lo más recomendable, ya que facilita el control de la calidad del aire y la contención de sustancias peligrosas, en comparación con el decapado al aire libre, que incrementa la contaminación del aire, suelo y agua.

En este contexto, el uso de disolventes en el proceso de limpieza y decapado plantea riesgos tanto para los operarios como para el medio ambiente. Los disolventes orgánicos, como el metanol, etanol, acetona y cloroformo, son comúnmente utilizados debido a su capacidad para disolver eficientemente pinturas y otros recubrimientos. Sin embargo, estos compuestos tienen un alto poder de evaporación, lo que genera concentraciones peligrosas de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en espacios cerrados y contribuye a la degradación de la capa de ozono, afectando los problemas ambientales. Además, la exposición prolongada a estos disolventes puede causar graves efectos en la salud de los trabajadores, como irritación en la piel, alteraciones respiratorias y hormonales, e incluso cáncer [7]. La Figura 1-1 muestra las etiquetas encontradas en todos los disolventes convencionales, indicando sus efectos nocivos



Figura 1-1 Simbología: nocivo-tóxico-peligro para el medioambiente [9].

Los COV's son gases y vapores procedentes de la actividad humana, cuya peligrosidad va a depender de su naturaleza. Variedad de productos que están presentes en el ámbito de trabajo, en las viviendas, en las industrias, liberan estas sustancias contaminando el aire ambiente [10].

Según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), los compuestos orgánicos volátiles conocidos como CMR (cancerígenos, mutagénicos y tóxicos para la reproducción) son los más peligrosos debido a que son los responsables de problemas en la salud y causan contaminación como la degradación de la capa de ozono, lo que conlleva efectos negativos como la degradación de materiales, un menor rendimiento de los cultivos agrícolas [10].

Es crucial encontrar un balance entre la protección de los operarios y la preservación ambiental. Implementar tecnologías que reduzcan las emisiones contaminantes y adoptar un enfoque integral que combine seguridad laboral y sostenibilidad ambiental será fundamental para lograr un desarrollo más responsable y seguro en el proceso de decapado y limpieza.

La medida adoptada por las industrias son las microemulsiones, de las cuales se entra en profundidad más adelante, y es la principal solución ante este escenario. Estas soluciones, que pueden diluirse en agua y no requieren el uso de disolventes tóxicos, ofrecen una opción más segura y respetuosa con el medio ambiente. Su flexibilidad y eficacia están permitiendo a los formuladores de disolventes industriales reducir el impacto negativo sobre la salud humana y el ecosistema, proporcionando un camino más sostenible para los procesos de limpieza y decapado.

1.2 Normativas ambientales (COV's)

El empleo de disolventes en la industria naval y en mantenimiento de plataformas navales genera una gran cantidad de emisiones de compuesto orgánico volátiles (COV's) que afectan a la salud de los trabajadores y al medioambiente.

Las normativas implantadas, las cuales son de obligado cumplimiento desde el año 2007, buscan minimizar las emisiones de COV's debido a los efectos nocivos para la salud y la contaminación de la atmósfera. Las industrias y empresas que usen disolventes y pinturas deben cumplir con los decretos, implementando medidas de control y reducción de emisiones y asegurándose de que los productos empleados se ajusten a los límites establecidos de contenido en COV's.

- **Real Decreto 117/2003, de 31 de enero:** *"sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades"* [11].

Este decreto se centra en la limitación de emisiones de COV debidas al uso de disolventes en determinadas actividades e instalaciones industriales. Aquellas instalaciones que sobrepasen los límites deberá comunicarlo al órgano competente y llevar a cabo las medidas necesarias para cumplir con los límites.

De la misma manera que se suspenderá toda actividad que suponga un riesgo inminente para la salud de los trabajadores y se establecerá planes de gestión de disolventes para controlar y disminuir las emisiones de gases residuales.

- **Real Decreto 227/2006, de 24 de febrero:** *"por el que se complementa el régimen jurídico sobre la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de vehículos"* [12].

Tiene como objetivo principal reducir la contaminación atmosférica causada por los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) presentes en ciertas pinturas, barnices y productos utilizados en la reparación de vehículos. Estos compuestos contribuyen a la formación de ozono en la capa baja de la atmósfera, lo que puede ser perjudicial para la salud y el medio ambiente.

Para lograr esta reducción, el decreto establece límites específicos sobre la cantidad de COV que pueden contener estos productos. Estos límites varían según el tipo de producto y su aplicación. Por ejemplo, las pinturas para interiores pueden tener un límite diferente al de las pinturas para exteriores o los barnices.

Además, el decreto exige que los productos afectados incluyan en su etiquetado información clara sobre su contenido de COV, permitiendo a los consumidores tomar decisiones informadas y fomentando el uso de productos más respetuosos con el medio ambiente.

Es importante destacar que este decreto complementa al Real Decreto 117/2003, que se centra en limitar las emisiones de COV en actividades industriales que utilizan disolventes. Mientras que el Real Decreto 117/2003 se enfoca en las emisiones durante el proceso de uso, el Real Decreto 227/2006 se centra en reducir el contenido de COV en los productos comercializados, abarcando así una mayor variedad de aplicaciones y usuarios.

1.3 Objetivos

La presente investigación tiene como principal objetivo testear microemulsiones y evaluar su eficacia en el decapado de pinturas usadas en plataformas navales.

Para ello, se formularán microemulsiones específicas y se analizará su efectividad en dos tipos de pintura de calidad diferente entre ambas. Una vez que se haya comprobado su eficacia, se determinará el rango óptimo y se comparará con microemulsiones cuya composición incluye un disolvente comercial, que a diferencia de la microemulsiones propuestas, no cumple con los criterios ecológicos ni contribuye al bienestar de los trabajadores.

1.4 Estructura de la memoria

Una vez identificadas las inquietudes que la industria naval busca mitigar, así como los objetivos del presente proyecto, se detalla la estructura de la memoria. Su propósito es ofrecer una disposición clara y ordenada del contenido, facilitando la comprensión del desarrollo del trabajo.

De manera general, la memoria se compone de cinco capítulos, seguidos de la bibliografía utilizada y los anexos complementarios. A continuación, se describen los capítulos que conforman el documento:

- Capítulo 1: Introducción y objetivos. En este primer capítulo se contextualiza el trabajo, exponiendo las problemáticas que la industria naval busca resolver. Asimismo, se establecen los objetivos del proyecto y se justifica su relevancia. Finalmente, se presenta la estructura general de la memoria.
- Capítulo 2: Estado del arte: en este capítulo se presentan los conceptos teóricos que sustentan la investigación y permiten contextualizar la aplicación de las microemulsiones en el decapado de pinturas en plataformas navales.
- Capítulo 3: desarrollo del TFG. Este capítulo ofrece una visión de las etapas que componen el desarrollo de la investigación. Se detalla la metodología a seguir para la formación de las muestras, así como el estudio que se ha realizado de su efecto sobre la pintura empleada.
- Capítulo 4: obtención y análisis de resultados. Tras la fase experimental realizada en el laboratorio, se exponen y se analizan los resultados recopilados, con el fin de extraer conclusiones sobre la efectividad de las microemulsiones en el proceso de decapado.
- Capítulo 5: conclusiones y líneas futuras. Se completa el trabajo con una visión genérica del mismo, ofreciendo las líneas futuras de desarrollo e investigación.

Por último, la memoria incluye una sección de bibliografía, en la que se recopilan todas las fuentes utilizadas en la elaboración del trabajo, seguida de los anexos complementarios.

2 ESTADO DEL ARTE

Para abordar el desafío que representa la eliminación de restos de pintura mediante disolventes en la industria naval, empleando microemulsiones de manera eficiente en comparación con los métodos tradicionales, resulta fundamental contar con un conocimiento sólido sobre las microemulsiones. Dichos conceptos se exponen y analizan en los apartados que se presentan a continuación permitiendo comprender adecuadamente el contexto en el que se desarrolla este trabajo.

2.1 Emulsiones

Las emulsiones son mezclas heterogéneas, es decir, es la mezcla de dos líquidos no miscibles. La mayoría son emulsiones agua/aceite, pero existen otros ejemplos de emulsiones que se encuentran en la vida cotidiana, como la mantequilla, la mayonesa. Para que dos líquidos sean capaces de coexistir, se emplean surfactantes, compuestos que dan mayor estabilidad a la emulsión. La IUPAC define las emulsiones como “Sistema fluido en el cual las gotitas de líquido se encuentran dispersas en un líquido [13].

Las emulsiones tienen dos fases, una fase dispersa y otra fase continua y el límite que hay entre estas dos fases se denomina “interfaz”. La fase dispersa es la fase minoritaria frente a la otra, es decir, que el líquido se encuentra distribuido en pequeñas gotas dentro del otro líquido, mientras que, en la fase continua, el líquido rodea las gotas de la fase dispersa y las mantiene suspendidas, como se puede observar en la figura 2-1 [14].

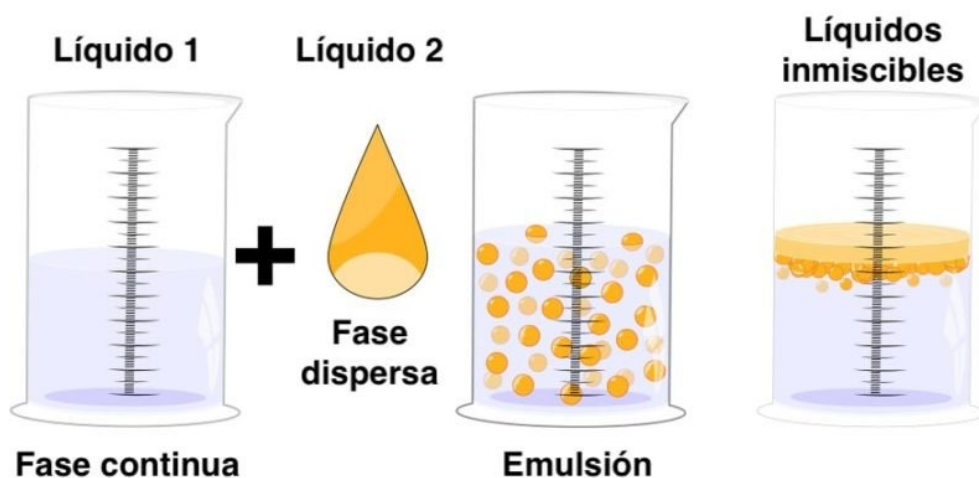


Figura 2-1 Emulsión química

Se diferencian tres clases de emulsiones, las macroemulsiones, las nanoemulsiones y las microemulsiones. Sin embargo, existen notables diferencias entre ellas [15].

- **Macroemulsiones y nanoemulsiones:** el tamaño de las gotas es mayor, el de las macroemulsiones es entre 1 y 100 micras y el de las nanoemulsiones son entre 20 y 500 nm. Termodinámicamente ambas son casi estables ya que pueden separarse con el tiempo, necesita de energía externa para su formación, son transparentes o ligeramente turbias y no requieren gran cantidad de surfactantes.
- **Microemulsiones:** las gotas tienen un tamaño de entre 1 y 100 nm, generalmente de 10 nm a 50 nm. No se separan ya que son termodinámicamente estables y se forman espontáneamente sin la necesidad de energía externa. Son transparentes y requieren de más surfactantes que las nanoemulsiones.

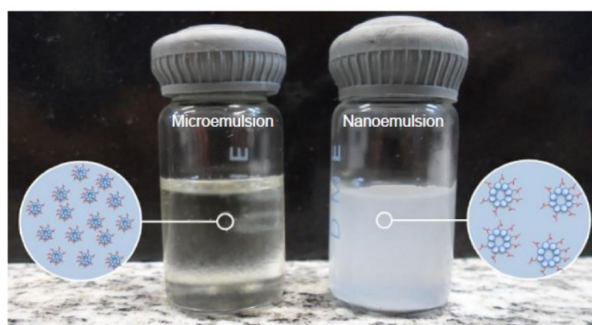


Figura 2-2 Microemulsión y nanoemulsión [16]



Figura 2-3 Nanoemulsión y macroemulsión [16]

2.2 Comparativa entre las diferentes emulsiones

La siguiente tabla presenta de manera clara y estructurada las principales diferencias entre los distintos tipos de emulsiones, permitiendo identificar cuál es la más adecuada según su aplicación específica [17] [18].

CARACTERÍSTICAS	EMULSIÓN (macroemulsión)	EMULSIÓN (nanoemulsión)	EMULSIÓN (microemulsión)
Tamaño de gotas	1-100 micra	20-500 nm	10-50 nm (< 100 nm)
Estabilidad	Inestable	Estable por largos períodos, termina separándose	Muy estable, no se separa
Formación	Requiere agitación fuerte o calor	Requiere energía externa	Formación espontánea sin necesidad de energía externa
Composición	Agua + aceite + poco surfactante	Agua + aceite + más cantidad de surfactante	Agua + aceite + alta cantidad surfactante + cosurfactante
Surfactante	Baja cantidad, no evita la separación	Mayor concentración que en macroemulsiones	Alta concentración=estabilidad

Cosurfactante	No necesario	No necesario	Necesario
Aspecto	Turbia	Levemente opaca o translúcida	Transparente
Aplicaciones	Mayonesa, leche, pinturas	Medicamentos y cosméticos	Medicamentos, cosméticos, recuperación de petróleo y limpieza industrial

Tabla 2-1. Diferencias entre los tipos de emulsiones

2.3 Microemulsiones

Son mezclas líquidas, sistemas dispersos, isotrópicos, transparentes y termodinámicamente estables que tienen una tensión superficial extremadamente baja. Están formadas por dos líquidos no miscibles (agua-aceite) y cantidades apropiadas de surfactante y/o cosurfactante.

Schulman definió en 1959 las microemulsiones como emulsiones compuestas por gotas de pequeño tamaño. No obstante, hay una diferencia entre emulsiones y microemulsiones a pesar de estar relacionadas. Mientras que para la formación de emulsiones se necesita energía mecánica y/o calorífica, las microemulsiones no requieren de agitación ya que son termodinámicamente estables [19].

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC-International Union of Pure and Applied Chemistry), fundada en 1919, es reconocida mundialmente siendo la máxima autoridad en decisiones relacionadas con la química. Define las microemulsiones: “Dispersión a base de agua, aceite y tensioactivos que es un sistema isotrópico y termodinámicamente estable con el diámetro del dominio disperso entre 1 y 100 nm, generalmente de 10 a 50 nm” [20].

2.3.1 Antecedentes del uso de microemulsiones en decapado

El decapado de pintura es un proceso crucial en la industria naval para mantener la integridad estructural de las embarcaciones y garantizar la correcta adherencia de nuevas capas de recubrimiento. Tradicionalmente, este proceso ha dependido de métodos mecánicos y químicos basados en disolventes orgánicos. Sin embargo, la creciente preocupación ambiental y las regulaciones sobre emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) han impulsado la búsqueda de alternativas más seguras y sostenibles, destacando las microemulsiones.

A finales del siglo XX, el uso de microemulsiones comenzó a estudiarse como una solución para los recubrimientos en sustitución de los disolventes orgánicos. En sus primeras aplicaciones, las microemulsiones se investigaron en el ámbito de la limpieza industrial y la eliminación de contaminantes en superficies metálicas y plásticas.

- **Investigación en la industria química:** estudios iniciales demostraron que las microemulsiones podían disolver recubrimientos y aceites en superficies metálicas con menor toxicidad que los disolventes convencionales [21].
- **Avances en la industria aeronáutica:** a principios de los años 2000, investigaciones realizadas por institutos de materiales avanzados exploraron microemulsiones para la eliminación de recubrimientos en aeronaves, destacando su baja agresividad sobre los sustratos metálicos y su eficiencia en la eliminación de pinturas poliméricas resistentes [22].
- **Aplicaciones en la industria automotriz:** algunas formulaciones de microemulsiones comenzaron a utilizarse para la limpieza de piezas y la remoción de residuos de pintura en procesos de manufactura, gracias a su capacidad de penetración y humectación superior [23].

2.3.2 Propiedades y ventajas de las microemulsiones

Las microemulsiones ofrecen un óptimo rendimiento, flexibilidad y beneficios ambientales y de seguridad para aplicaciones de limpieza y desengrase mediante agua, en situaciones en las que solo se podían utilizar disolventes orgánicos. Gracias al empleo de agua, de pH casi neutro, los disolventes obtenidos del petróleo pueden ser sustituidos por las microemulsiones.

Sus ingredientes pueden seleccionarse en función de distintos criterios: efectividad, perfil ambiental, de salud, biodegradabilidad etc. De esta manera se consiguen microemulsiones biodegradables, sin COV's, que no son inflamables y no son sustancias que dañan la capa de ozono.

Destacan, además, una serie de propiedades físico-químicas de gran interés teórico y tecnológico [18]:

- Viscosidades bajas similares a las del agua, es decir, fluye con mucha facilidad y rapidez, lo que permite que las microemulsiones sean fáciles de manejar y que de esta forma interactúen rápidamente con los residuos de la pintura.
- Al ser termodinámicamente estables, sin necesitar energía externa, su formación es espontánea, al estar en contacto sus componentes en condiciones de concentración y temperatura específicas.
- Homogeneidad macroscópica, transparencia e isotropía óptica, en otras palabras, a simple vista, las microemulsiones son uniformes y no tienen irregularidades, dejan pasar la luz sin dispersarla, ya que las partículas son pequeñas y tienen las mismas propiedades ópticas en todas las direcciones.
- Heterogeneidad microscópica, esto es, que a nivel microscópico la mezcla no es completamente uniforme, por lo que se pueden observar pequeñas gotas de una fase ya sea acuosa u orgánica, dispersas en otra. El surfactante forma una barrera entre las dos sustancias no miscibles permitiendo que ambas fases coexistan sin separarse, a la vez que permite distinguir la fase acuosa de la fase oleosa.
- Valores de tensión interfacial bajos entre las fases acuosa y oleosa. Si esta fuerza es baja, ambas fases pueden mezclarse fácilmente, pero si la es alta, las dos fases quedarían separadas. Los surfactantes son fundamentales ya que ayudan a disminuir esta tensión superficial. Además, al reducir la tensión superficial, el líquido se extiende mejor sobre la superficie en vez de formar gotas, como por ejemplo el agua ya que sus moléculas están unidas fuertemente por puentes de hidrógeno.

Las microemulsiones al diluirse con agua, mejoran el rendimiento y reducen la cantidad de disolventes que se transportan. La compatibilidad con disolventes comunes, su estabilidad durante un largo período de tiempo, la dilución acuosa fácil y segura, la posibilidad para su pH entorno al neutro y su olor poco intenso, son alguna de las ventajas que presentan estos compuestos.

2.3.3 Clasificación de las microemulsiones

Las microemulsiones se caracterizan por tener sus estructuras bien definidas a escala nanométrica (1-100 nm). Según la disposición de las fases y el tipo de componentes las microemulsiones se pueden clasificar en tres grupos [19] [24]:

- **Microemulsión O/W (Aceite en agua):** conocida como microemulsión directa, las pequeñas gotas de aceite se encuentran dispersas en el agua, lo que se conoce como fase continua. Gracias al surfactante las gotas de aceite se estabilizan y así evita su coalescencia, es decir, que se fusionen para formar gotas más grandes.
- **Microemulsión W/O (Agua en Aceite):** microemulsión inversa, las gotas de agua están dispersas en el aceite. Son más viscosas que las anteriores y más lipofílicas, es decir, que tienen

más afinidad por grasas, aceites (apolares). No obstante, el surfactante actúa de puente entre el agua y el aceite de manera que puedan coexistir.

- **Microemulsión bicontinua:** es una mezcla equilibrada donde el agua y el aceite coexisten como si fuesen dos redes entrelazadas, es decir, que no están separadas en capas ni gotas, sino que están mezcladas de manera continua.

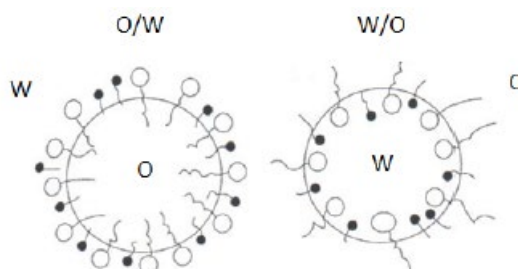


Figura 2-4 Esquema de la estructura de microemulsiones O/W y W/O [18]

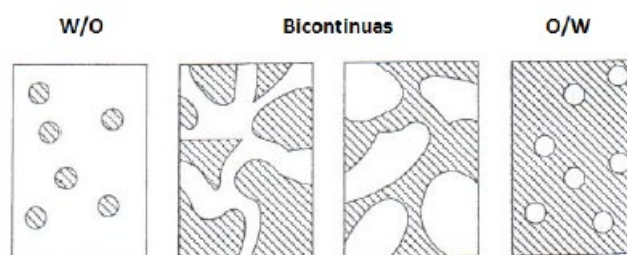


Figura 2-5 Transiciones estructurales desde microemulsiones W/O a microemulsiones O/W, a través de microemulsiones bicontinuas [18]

2.3.4 Composición de las microemulsiones

Las microemulsiones son sistemas homogéneos compuestos por la concentración de una fase acuosa y otra fase oleosa (agua y aceite), surfactante y surfactante secundario (cosurfactante). La principal diferencia con respecto a las emulsiones radica en la presencia de un surfactante secundario o cosurfactante, proporcionándolas una mayor estabilidad, además, de que las emulsiones son translúcidas y las microemulsiones son transparentes [19]:

- **Fase acuosa:** contiene sustancias solubles en agua, es decir, está compuesta principalmente por agua purificada, aunque en ocasiones puede contener surfactantes y cosurfactantes. La importancia de esta fase es clave para la solubilización de compuestos hidrofílicos y en la regulación del pH.
- **Fase oleosa:** fase compuesta por grasas y aceites denominadas sustancias lipofílicas, para disolver sustancias insolubles en agua.

En las microemulsiones, ambas fases pueden coexistir gracias a existencia de los surfactantes facilitando la dispersión de una fase en la otra y reduciendo la tensión interfacial entre ellas.

2.3.4.1 Disolventes

Los disolventes son sustancias capaces de disolver otras sustancias. Se distinguen dos tipos de disolventes, orgánicos e inorgánicos, los cuales, en función de su polaridad y afinidad con otros compuestos, pueden ser polares o apolares. Respecto a la composición de las microemulsiones, algunos disolventes orgánicos pueden ser usados como surfactantes secundarios proporcionando estabilidad y solubilidad la microemulsión, por ejemplo, el etanol [25] :

- **Disolventes orgánicos:** son compuestos orgánicos volátiles a base de carbono, cuya estructura química no sufre cambios y se usan solos o en combinación con otras sustancias, normalmente encontrados en estado líquido. Se distinguen los disolventes orgánicos polares y apolares.
 - Disolventes orgánicos polares: tiene afinidad con el agua por ejemplo el etanol, la acetona.
 - Disolventes orgánicos apolares: solubilizan grasas y aceites, es decir, compuestos no polares, por ejemplo, el benceno.

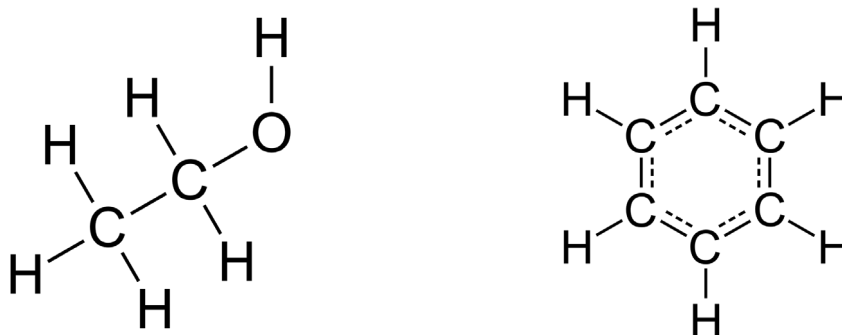


Figura 2-6 Estructura molecular del etanol y del benceno [26] [27]

- **Disolventes inorgánicos:** la estructura de estos disolventes no contiene carbono y son más simples que los orgánicos. Al ser la mayoría disolventes polares, son usados principalmente, para disolver compuestos polares. En este grupo destacan el agua, disolvente universal, y el amoníaco, utilizado para eliminar grasas y suciedad.

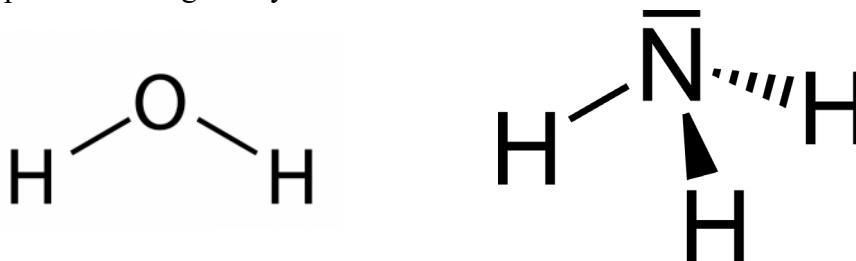


Figura 2-7 Estructura molecular del agua y del amoníaco [28] [29]

2.3.4.2 Surfactantes

Es en el año 3000 a.C. cuando los jabones, los surfactantes más difundidos por el mundo, empiezan a cobrar importancia entre la población debido a las propiedades curativas. Más tarde, los árabes (siglos VII y VIII) introdujeron el jabón en Europa lo que despertó mayor interés en los pueblos y ciudades [19].

Los jabones, a parte, de servir para el lavado del algodón y el lino, permiten tratar enfermedades de la piel, como, por ejemplo, el azufre jabonoso. Desde el siglo XVIII la higiene mejoró gracias a este artículo el cual era consumido por todas las clases sociales. No solo mejoró la higiene, sino que, durante los siglos posteriores, el índice de mortalidad disminuyó considerablemente. Es a partir del siglo XIX, cuando la demanda de los jabones aumentó notablemente y la industria comenzó a desarrollar distintos productos, en barra, polvo.

En 1917, los investigadores y científicos norteamericanos, Harkins y Langmuir, descubrieron unas sustancias con propiedades muy similares a la de los jabones. Demostraron que su estructura estaba

formada por una parte polar y otra apolar el, por lo que recibieron el nombre de agentes de superficie y más tarde el nombre de surfactantes, como se conoce hoy en día.

• DEFINICIÓN

Conocidos también como tensoactivos, son agentes activos de superficie, es decir, actúan en la superficie donde dos líquidos que no se mezclan, se encuentran, cambiando su tensión superficial. Los surfactantes están considerados moléculas anfifílicas, tienen una parte hidrófoba, la cual repele el agua y otra parte hidrófila la cual es soluble en agua [19].

El término anfifílico se describió por primera vez hace más de cuarenta años. El prefijo “anfi” significa “doble” y “filo” significa afinidad, de manera, que hace referencia a la doble afinidad de las sustancias. Esta dualidad implica que los surfactantes combinan una parte polar y una parte apolar [19].



Figura 2-8 Estructura básica de un surfactante [30]

• Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB)

Estos conceptos son fundamentales para la elaboración de microemulsiones y aquellos sistemas que involucran agua, aceite y surfactantes. El HLB permite clasificar los surfactantes en función de su afinidad por el agua o el aceite, mientras que el HLD es un concepto más avanzado con la incorporación de factores fisicoquímicos para describir la estabilidad y comportamiento de un sistema agua-aceite-surfactante [31].

El Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB) es un sistema numérico, oscila entre 0 y 20, que se utiliza para clasificar los surfactantes según su afinidad por el agua o el aceite. Este balance es fundamental para determinar cómo se comportará un surfactante en un sistema de emulsión o microemulsión [19]. Se calcula en función de su parte hidrofílica y lipofílica, usando la Ecuación 2-1:

$$HLB = 20 \times \frac{\text{Masa molecular de la parte hidrofílica}}{\text{Masa molecular total del surfactante}} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Los surfactantes con mayor parte hidrofílica (polar) tienen un HLB alto, entre 10 y 20, favoreciendo la formación de microemulsiones O/W (aceite en agua), mientras que los surfactantes con mayor parte hidrofóbica (apolar) tienen un nivel de HBL bajo, entre 3 y 6, permitiendo la formación de microemulsiones W/O (agua en aceite) [31]. La siguiente Tabla 2-2 muestra la clasificación según el HLB:

HLB	FUNCIÓN
0-3	Agentes antiespumantes
4-6	Emulsionantes W/O
7-9	Humectantes
10-12	Emulsionantes O/W
13-15	Detergentes
16-20	Solubilizantes

Tabla 2-2 Clasificación de surfactantes según su HLB

La parte polar o parte hidrófila/hidrofílica, como su propio nombre indica, tiene afinidad por los solventes polares, especialmente el agua. La parte polar es un grupo iónico que contiene átomos que se encuentran en los grupos de alcoholes, ácidos, sulfatos, fosfatos etc., como el oxígeno (O), azufre (S), fósforo (O) o nitrógeno (N) [19]. Los surfactantes con un grupo hidrofílico grande (sulfatos, fosfatos) tenderán a ser más solubles en agua y tendrán un HLB alto [31].

Por el contrario, su parte apolar denominada parte hidrófoba, hidrofóbica o lipofílica tiene afinidad por grasas y aceites. Es una cadena hidrocarbonada lineal de tipo aquil o aquil benceno y que en ocasiones puede contener átomos de halógeno u oxígeno. Es un grupo hidrocarbonado por lo que su estructura está formado principalmente por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H). Éstos átomos pueden estar organizados en una cadena simple (aquil) y recta o en estructuras complejas de dobles enlaces (aquil benceno) [19]. Un surfactante con una cadena hidrocarbonada más larga y apolar (tipo aquil benceno) será más soluble en aceites y tendrá un HLB bajo [31].

Estas sustancias anfílicas pueden modificar las interacciones interfaciales promoviendo fenómenos de adsorción, es decir, que estas sustancias facilitan la mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera que interactúen entre ambos y las moléculas de una sustancia se adhieran a la superficie de otra. Es por ello que todos los surfactantes son compuestos anfílicos, pero no todos los compuestos anfílicos son surfactantes, por ejemplo, el alcohol etílico ya que carece de afinidad interfacial, región donde dos fases, agua-aceite, entran en contacto.

De tal manera que para que un compuesto anfílico sea considerado surfactante, la molécula no debe ser demasiado hidrófila ni hidrófoba, debe tener ciertas propiedades equilibradas. La parte hidrófoba debe tener al menos una longitud mínima, generalmente de ocho átomos de carbono, lo que asegura su capacidad para interactuar con sustancias grasas o aceitosas. Además, para que estos compuestos puedan ser considerados completamente surfactantes, deben constituir agregados micelares, estructuras cuya forma va a depender del surfactante.

• AGREGADOS MICELARES

Las micelas son moléculas que permiten atrapar las grasas que son insolubles en agua, mantenerlas rodeadas y transportarlas por el agua facilitando su eliminación. La parte polar de los surfactantes están en la superficie y la parte apolar queda sumergida en el interior de la micela [19].

Los surfactantes deben tener un HLB ajustado para formar micelas y promover fenómenos de adsorción. Cuando el HLB es adecuado, los surfactantes se organizan en micelas, atrapando aceites o grasas en su interior y permitiendo su dispersión en agua. Si el HLB no es correcto, el surfactante no será eficiente y la emulsión o microemulsión será inestable [31].

En disoluciones acuosas, puede ocurrir que las moléculas de surfactante alcancen una cantidad suficiente para empezar a formar micelas, esta cantidad se conoce como la concentración micelar crítica e indica la cantidad mínima de surfactante necesaria para la formación de micelas y así estabilizar las microemulsiones. Del mismo modo, permite conocer la eficiencia del surfactante, ya que una baja concentración micelar crítica significa que se necesita menos cantidad de surfactantes para la formación de micelas [19].

El tamaño de las micelas está entre 2 y 100 nm, aunque hay moléculas que pueden llegar a los 900 nm. La geometría y las dimensiones de las mismas varían según la estructura del surfactante, de la temperatura (temperatura de Krafft) y del ambiente físico-químico [19].

La temperatura de Krafft es la temperatura a la que la concentración de surfactantes es suficiente como para formar micelas en una solución acuosa. Es clave en formulaciones industriales ya que, si esta temperatura es muy baja, el surfactante no funcionará correctamente [19].

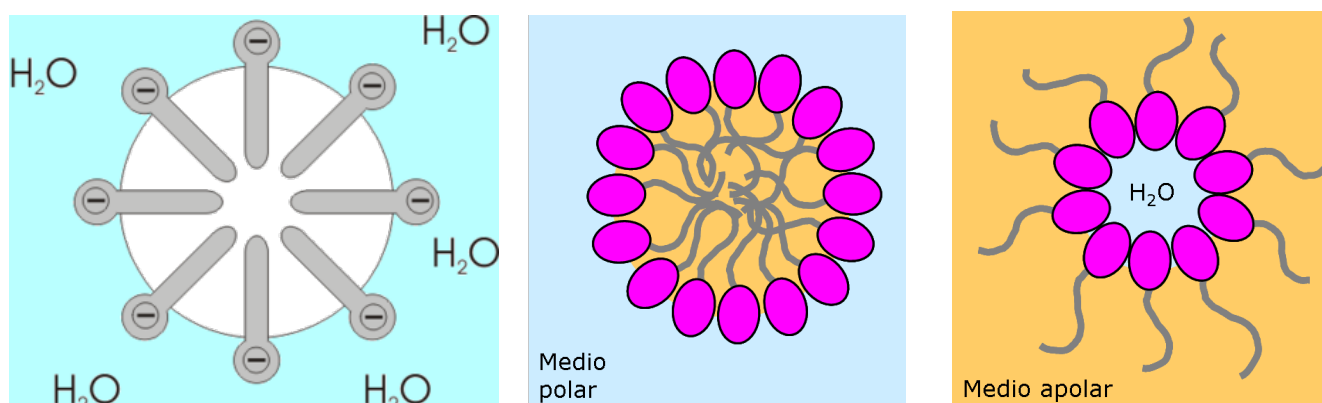


Figura 2-9 Estructura de una micela [32] [33].

• PROPIEDADES SURFACTANTES

Los surfactantes destacan por sus propiedades únicas para sus diversas aplicaciones [19] [30]:

-Son emulsionantes, ya que permiten la formación de emulsiones y microemulsiones entre líquidos no miscibles.

-Humectantes: los surfactantes mejoran el mojado de líquidos sobre sólidos permitiendo que penetren en los poros con mayor facilidad debido a la disminución de la tensión superficial, favoreciendo la limpieza de las superficies.

-Detergentes: su carácter anfílico permite rodear las moléculas de grasa y eliminar así la suciedad deseada, incluso de la piel y tejidos.

-Espumantes: la formación de espuma ayuda a desplazar las impurezas y de esta manera limpiar.

• CLASIFICACIÓN DE LOS SURFACTANTES

Los surfactantes se clasifican en función de la estructura de su molécula. Se distinguen así cuatro grupos, aniónicos, no iónicos, catiónicos y anfotéricos [19] [30] [34]:

- **Surfactantes aniónicos (de carga negativa)**: al disolverse en agua, estos compuestos se disocian en dos partes, un ion orgánico graso de carga negativa responsable de la reducción tensión superficial y otro ion con carga positiva que permite que el compuesto se disuelva en el agua. Se caracterizan por su bajo costo de producción, baja toxicidad y alta biodegradabilidad. Sin embargo, pueden ser irritantes para la piel y los ojos, lo que representa un riesgo para la salud.

Aunque el jabón es el surfactante aniónico más antiguo, a este grupo pertenecen los agentes espumantes utilizados en productos de limpieza, como el lauril sulfato (Sodium Laureth Sulfate, SLES).

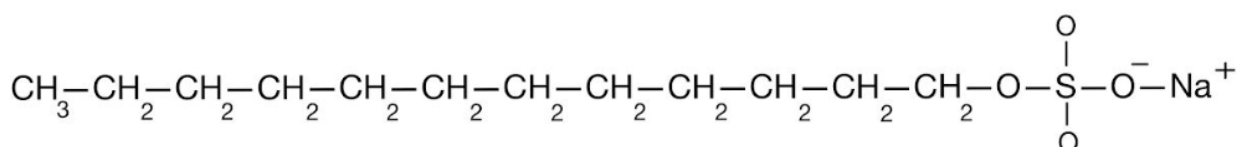


Figura 2-10 Estructura química de un surfactante aniónico

- **Surfactantes no iónicos:** carecen de carga eléctrica en una solución acuosa. Presentan menor poder espumante que los aniónicos y son viscosos. Una de sus principales ventajas es su compatibilidad tanto con los aniónicos como con los catiónicos. A este grupo pertenecen los agentes humectantes, es decir, que permiten que el líquido se extienda y penetre mejor en una superficie sólida o en materiales porosos. El Laureth-10, Laureth-23, Sorbitol son algunos ejemplos de surfactantes no iónicos.

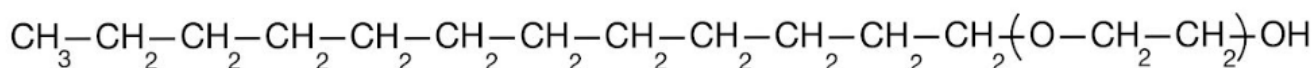


Figura 2-11 Estructura química de un surfactante no iónico

- **Surfactantes catiónicos (carga positiva):** son compuestos nitrogenados compatibles con los surfactantes no iónicos y anfotéricos, aunque no con los aniónicos. Su síntesis requiere un mayor número de reacciones químicas, lo que incrementa su costo de producción en comparación con otros surfactantes. Tienen varias aplicaciones debido a sus propiedades suavizantes y desinfectantes, lo que permite su uso tanto en la industria como en el ámbito doméstico. Algunos ejemplos son: Laurtrimonium Chloride, Quaternium-22, Tricetyldimonium Chloride.

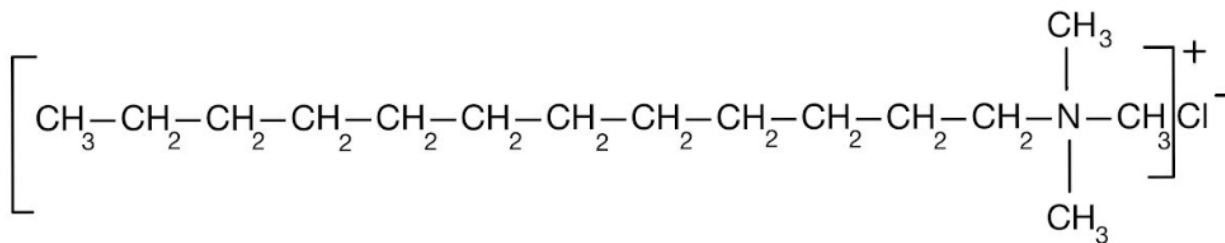


Figura 2-12 Estructura química de un surfactante catiónico

- **Surfactantes anfotéricos:** en una misma molécula combinan carga negativa y positiva. En soluciones ácidas (pH menor que 7) se comportan como catiónicos y en soluciones básicas (pH mayor que 7) como aniónicos. A pesar de que la variedad de este grupo es muy grande, su coste y la complejidad de sus reacciones hacen que el número sea inferior a otros grupos. Su compatibilidad con todos los grupos de surfactantes y su bajo riesgo de irritación en la piel y los ojos, hacen que sean usados en artículos de baño, ya que algunos tienen un alto poder espumante. Coco Betaine, Disodium Cocoamphodipropionate son ejemplos de los más usados de este grupo.

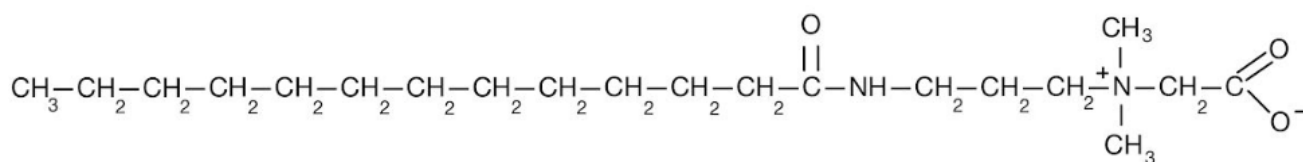


Figura 2-13 Estructura química de un surfactante anfotérico

2.3.4.3 Cosurfactantes o surfactantes secundarios

Los cosurfactantes son sustancias que se emplean con surfactantes principales para mejorar la estabilidad, la solubilización y el rendimiento de las microemulsiones. Estos compuestos son alcoholes alifáticos de cadena corta o media que se intercalan en la micela del surfactante para hinchar la micela y eliminar la interfase agua-aceite [31].

Los alcoholes alifáticos son compuestos químicos orgánicos, compuestos por un grupo de hidroxilo (-OH) y por un átomo de carbono (C-OH) y su estructura no contiene anillos aromáticos, es decir, su estructura es lineal con enlaces simples, dobles y triples [19].

Entre sus funciones destacan: reducir notablemente la tensión interfacial entre el agua y el aceite y permiten una distribución más uniforme de sus moléculas [31].

- **PROPIEDADES COSURFACTANTES**

Estos compuestos son esenciales para crear microemulsiones óptimas. Las propiedades de los cosurfactantes son semejantes a las de los surfactantes[31] [18]:

- **Reducción adicional de la tensión interfacial:** su presencia mejora la capacidad de los surfactantes primarios para reducir la tensión interfacial, facilitando la estabilidad del sistema.

- **Control del HLB:** el HLB (Balance Hidrofílico-Lipofílico) puede ajustarse mediante la adición de cosurfactantes, lo que influye en la estabilidad de las microemulsiones.

- **Compatibilidad con diferentes surfactantes:** esto permite formular microemulsiones con mayor estabilidad en diferentes condiciones de temperatura.

- **CLASIFICACIÓN SURFACTANTES SECUNDARIOS**

Se diferencian cuatro grupos de surfactantes secundarios o cosurfactantes [31]:

- **Alcoholes de cadena corta** (etanol, propanol, butanol): compuestos solubles en agua, formados por un grupo hidroxilo (-OH) y una cadena de carbono corta, entre 1 a 4 átomos.

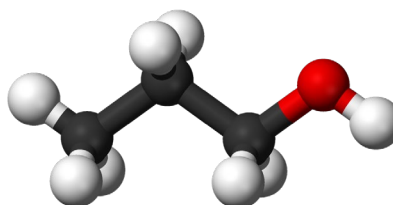
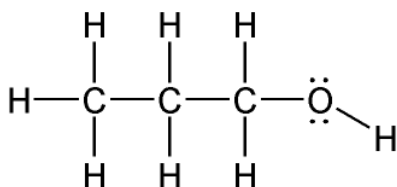


Figura 2-14 Estructura molecular del propanol (C_3H_8O) [35]

- **Alcoholes de cadena larga** (pentanol, hexanol): son más lipofílicos, es decir son sustancias que se disuelven mejor en aceites y grasas que en agua, mejorando la compatibilidad con aceites.

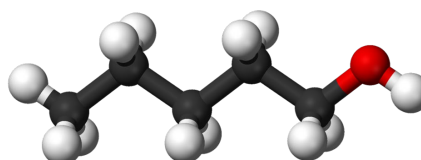
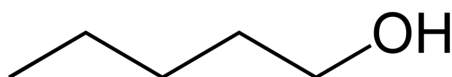


Figura 2-15 Estructura molecular del pentanol ($C_5H_{12}O$) [36]

- **Ácidos grasos** (ácido láurico, ácido oleico): formados por una cadena hidrocarbonada (átomos de carbono e hidrógeno) y un grupo carboxilo (-COOH). Mejoran la solubilización de aceites.

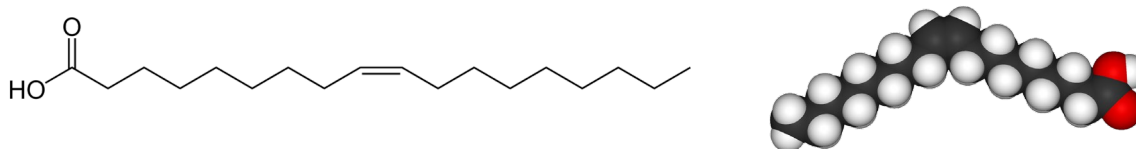


Figura 2-16 Estructura molecular del ácido oleico ($C_{18}H_{34}O_2$) [37]

- **Ésteres de polietilenglicol** (PEG-40, PEG-60): su estructura está formada por un éster de ácido graso y un polietilenglicol, polímero soluble en agua. Los polímeros son moléculas de gran tamaño principalmente de carbono unidas a elementos como el hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, formadas por unas más pequeñas denominadas monómeros, los cuales constituyen cadenas largas gracias a los enlaces químicos. El éster de ácido graso es el resultado de unir el polietilenglicol con ácidos grasos. Se utilizan para mejorar la compatibilidad entre fases acuosas y oleosas.

2.4 Factores que afectan a la eficiencia del decapado con microemulsiones

A pesar de la elevada eficiencia de las microemulsiones en comparación con los disolventes convencionales, existen factores que pueden llegar a influir en su rendimiento. Dicha eficiencia del va a depender de una combinación de factores químicos, físicos y operativos. La selección adecuada de surfactantes, cosurfactantes y fase oleosa es clave para lograr una buena disolución de la pintura y no dañar la superficie pintada.

2.4.1 Composición de las microemulsiones

Las microemulsiones están compuestas por una fase oleosa y acuosa, surfactantes y cosurfactantes. La proporción de cada uno de ellos influye directamente en su capacidad para la eliminación de pintura, por lo que encontrar la concentración óptima de cada uno de ellos es fundamental [38].

- Concentración de los surfactantes: la solubilización de la pintura se consigue gracias a los surfactantes, por lo que aquellos que tienen un balance hidrofílico-lipofílico (HLB) bajo favorecen la solubilización de sustancias oleosas y aquellos con un balance hidrofílico-lipofílico (HLB) alto son más efectivos en la dispersión de partículas en fase acuosa [39].
- Uso de cosurfactantes: al igual que los surfactantes, la concentración de los cosurfactantes debe ser óptima, aportando de esta manera, mayor estabilidad de la microemulsión y evitando la separación de la fase acuosa y oleosa [40].
- Relación W/O: si hay más agua, se favorecen microemulsiones O/W (aceite en agua) por lo que son más útiles en sistemas acuosos; si hay más aceite se favorecen microemulsiones W/O (agua en aceite) las cuales son más efectivas en pinturas con base oleosa [31].

2.4.2 Tipo de pintura y espesor del recubrimiento

La composición química de la pintura y su espesor puede afectar a la efectividad de las microemulsiones. Las capas gruesas de pintura provocan que el tiempo de actuación de las microemulsiones aumente, lo que conlleva que los agentes nocivos de las plataformas permanezcan en ellas dificultando su eliminación.

Un ejemplo es el empleo de pinturas hechas a base de resinas acrílicas. Estas resinas tienen una alta capacidad de adherencia a distintos sustratos, como el metal, poseen una gran durabilidad y resistencia. Sin embargo, para realizar el decapado de pinturas hechas a base de resinas acrílicas, se necesita una

cantidad suficiente de surfactantes y cosurfactantes, incluso ajustar el pH para romper la estructura del polímero de la pintura. [41]

2.4.3 Temperatura de la microemulsión y pH

- **Efecto del pH:** un pH ácido, menor de siete, es más efectivo para disolver pinturas con base metálica y un pH alcalino, mayor a 7, permite la eliminación de recubrimientos con alta resistencia química. Las microemulsiones con pH neutro minimizan el daño del sustrato metálico y mejoran la compatibilidad con diferentes tipos de pintura. [31]
- **Efecto de la temperatura:** al aumentar la temperatura se reduce la tensión superficial, temperaturas elevadas de entre 40°C y 60°C aceleran la difusión de la microemulsión en la pintura, mejorando así la eficiencia del decapado y temperaturas menores de 10°C provoca un aumento de la viscosidad de la microemulsión y por lo tanto disminuye la capacidad de penetración en la pintura. [31]

2.4.4 Tiempo de exposición

Un mayor tiempo de contacto permite una mayor penetración en la pintura y por tanto una mejor eliminación [31].

2.5 Aplicación de microemulsiones

2.5.1 En la industria naval

El uso de microemulsiones en el mantenimiento de plataformas navales es más reciente, pero ha demostrado ser una alternativa viable y eficiente para el decapado de pinturas en cascos de embarcaciones y otras estructuras metálicas expuestas a condiciones extremas.

- **Investigaciones en astilleros:** En los últimos años, varios astilleros han explorado el uso de microemulsiones como alternativa a los disolventes tóxicos, logrando una reducción significativa en las emisiones de COV's y mejorando la seguridad de los operarios [42]. Además son muy útiles para la eliminación de pinturas antifouling permitiendo disolver la pintura sin dañar la superficie [43].
- **Comparación con métodos convencionales:** se ha demostrado que las microemulsiones pueden lograr una eficiencia de eliminación de pintura superior a los disolventes tradicionales, con la ventaja de que su impacto medioambiental es inferior y una mayor seguridad para los operarios. [44]. Su baja tensión superficial permite una mejor penetración en la película de la pintura dando lugar a su eliminación completa [43].
- **Optimización de formulaciones:** investigaciones recientes han buscado mejorar la estabilidad y rendimiento de las microemulsiones en condiciones marinas, incluyendo la incorporación de surfactantes biodegradables y la optimización del balance hidrofílico-lipofílico (HLB) para mejorar la solubilización de las capas de pintura [44].

La eficacia de las microemulsiones en el decapado de pintura en plataformas navales muestra una tendencia creciente hacia la adopción de estas sustancias por parte de las industrias, debido a su baja toxicidad y menor impacto medioambiental. De esta manera, las microemulsiones suponen una solución revolucionaria e innovadora en la industria naval con un gran potencial para sustituir los disolventes convencionales y con una gran capacidad de adaptación a diversas condiciones operativas.

2.5.2 Aplicaciones en otras industrias

Diversas industrias han optado por las microemulsiones gracias a sus propiedades, entre las que destacan las de los surfactantes, y a su composición.

- En la industria del petróleo se emplean para disminuir la tensión superficial entre el petróleo del yacimiento y el agua que se emplea para drenar el petróleo. Con el agua se consigue solo una

acumulación del 30% del petróleo. El uso de microemulsiones permite extraer el petróleo atrapado en las rocas del yacimiento, lo que supone hasta un 70 % [31].

- Descontaminación de suelos. El uso de las microemulsiones permite limpiar derrames de hidrocarburos (gasolina) que no se disuelven con agua. De esta manera, las microemulsiones rodean las moléculas del contaminante, las separan del suelo y permiten su extracción [31].
- En la industria cosmética para la formulación de cremas y lociones del cuidado de la piel, ya que mejoran la eficacia y estabilidad de los productos [18].
- En la industria farmacéutica. Algunos medicamentos no son absorbidos correctamente por el cuerpo humano ya que tienen una baja solubilidad en agua. Las microemulsiones permiten disolver estos fármacos en pequeñas gotas de aceite rodeadas de agua y surfactantes, facilitando su absorción en el organismo. De esta manera, mejoran la biodisponibilidad del fármaco, distribuyendo más medicamento a la sangre y de forma más rápida y permiten aumentar la estabilidad del medicamento, evitando que se degrade rápidamente.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Introducción a la investigación

Con el desarrollo de esta investigación se quiere conseguir los objetivos mencionados en el apartado 1.3, de manera que se obtengan microemulsiones biodegradables, no inflamables, libre de compuestos orgánicos volátiles (COV's) con el fin de sustituir a los disolventes tradicionales utilizados por las industrias. Actualmente, estos disolventes siguen siendo empleados debido a su bajo costo, a pesar de sus efectos adversos sobre la salud y el medioambiente incluyendo su impacto negativo en la capa de ozono. Para poder abordar la investigación con éxito, se ha diseñado una estrategia dividida en cuatro etapas.

- La primera etapa consiste en la aplicación de pintura sobre las placas de metal, probetas, (que simulan el material de las plataformas navales). Para ello se han seleccionado dos tipos de pinturas, ambas usadas en plataformas navales, la primera de la marca PROA (esmalte industrial naval de secado rápido, alta resistencia y brillante) y la segunda de la marca IMNASA (pintura antifouling en spray negro). Tras la aplicación de ambas pinturas, las placas se dejan secar para su posterior uso en las siguientes etapas.
- En la segunda etapa se lleva a cabo la elaboración de las microemulsiones, veinte mezclas con distintas concentraciones de agua, aceite, surfactante y cosurfactante. Para ello se proyectan unas tablas en las que se plasman los datos de las mediciones, es decir, se lleva a cabo mediciones en peso de las mezclas para conocer las cantidades necesarias una vez que se determina cuál es la óptima.
- La tercera etapa consiste en verter las microemulsiones en la pintura de esmalte de espesor de 30 micrómetros y de entre 10 y 15 micrómetros en la pintura de spray, dejándolas actuar el tiempo suficiente, el cual se registra para comprar los resultados. Esta etapa permite evaluar la efectividad del proceso de eliminación del recubrimiento, asegurando que la pintura se elimine completamente sin dejar residuos en la superficie metálica.
- La cuarta etapa consiste en la comparación entre microemulsiones. Para ello se selecciona aquellas que son óptimas y se elabora otra microemulsión cuya composición es diferente pero solo difiere en un componente con el resto.

A través de este estudio experimental, se pretende evaluar su eficacia y determinar la formulación más adecuada, contribuyendo así a una alternativa más sostenible para la industria naval.

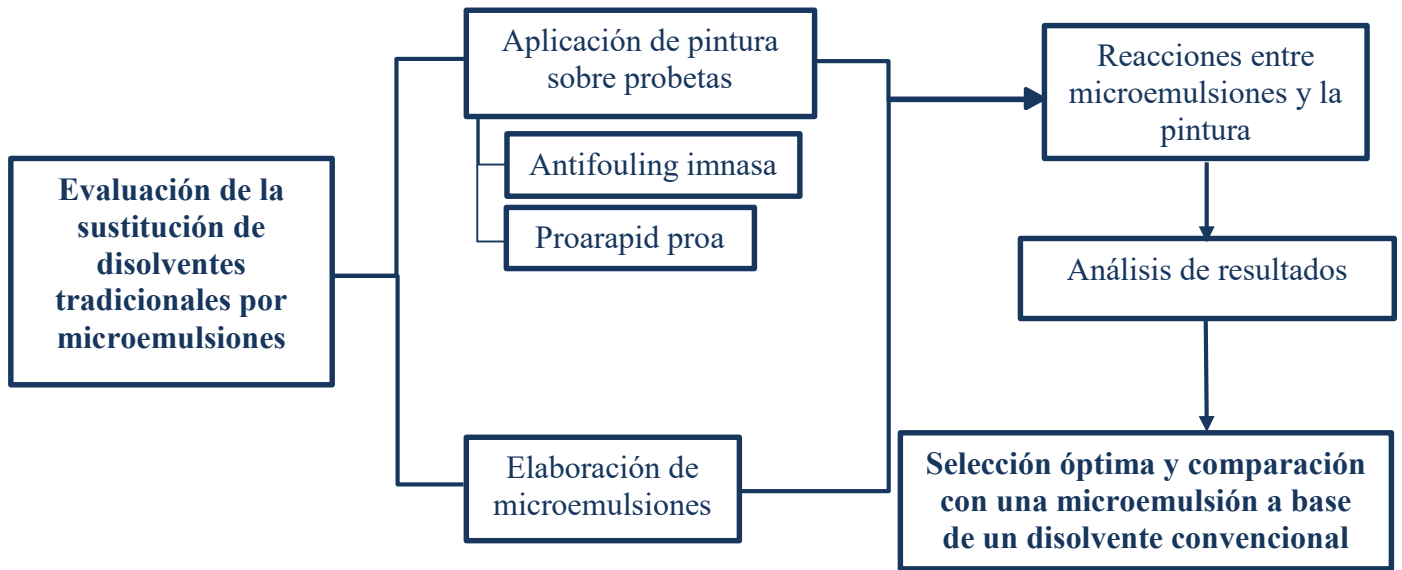


Figura 3-1 Esquema de investigación

3.1.1 Material necesario

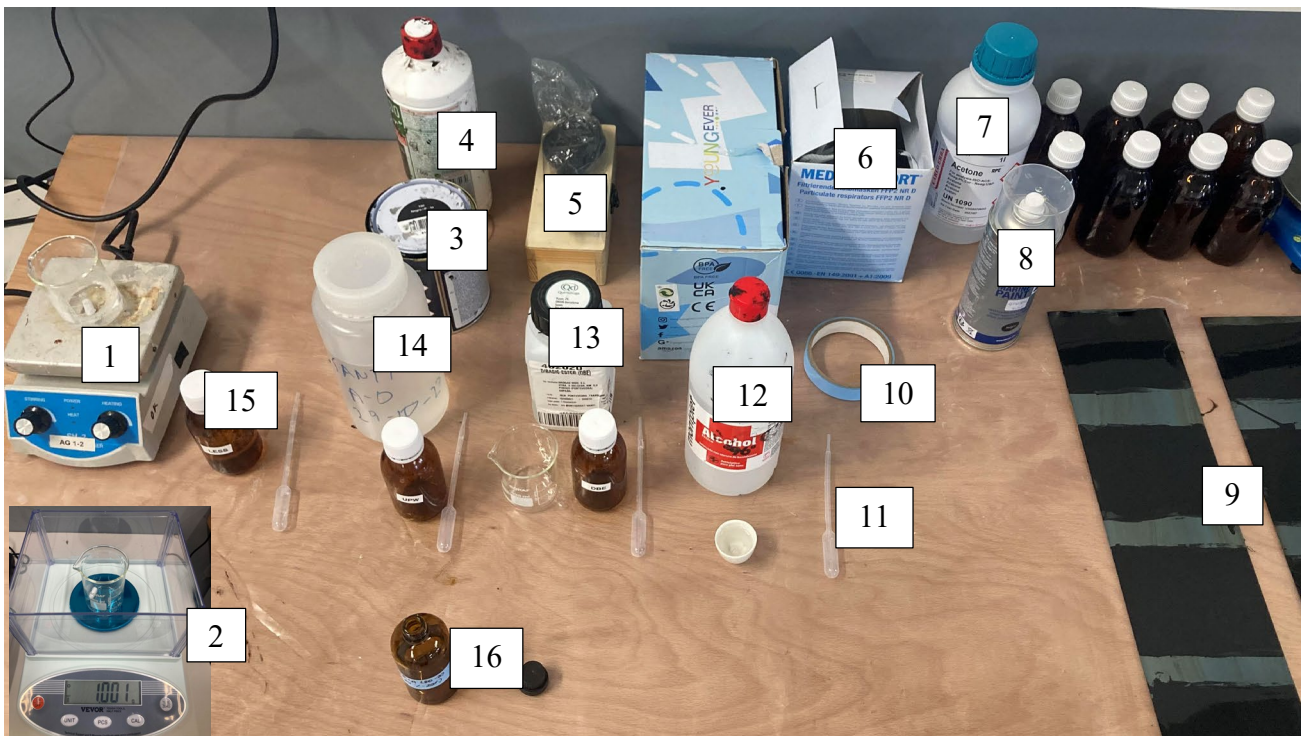


Figura 3-2 Material necesario en la investigación. (Elaboración propia)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Vaso de precipitado y agitador | 9. Placas metálicas |
| 2. Báscula | 10. Cinta |
| 3. Pintura Proarapid Proa | 11. Pipetas |
| 4. Disolvente | 12. Cosurfactante (Alcohol 96%) |
| 5. Aplicador de pintura | 13. Aceite (éster dibásico-DBE) |
| 6. Mascarilla, guantes y gafas | 14. Agua desionizada |
| 7. Acetona | 15. Surfactante (Lauril éster sulfato sódico-SLES) |
| 8. Pintura antifouling | 16. Recipiente para las mezclas |

3.2 Primera etapa. Preparación de las probetas

Esta etapa consiste en pintar las probetas con pinturas empleadas en plataformas navales de manera que simulen el metal de éstas estructuras. Para esta investigación hemos seleccionado dos pinturas, esmalte industrial naval proarapid y otra en spray de la marca Imnasa, marine paint.

- **ESMALTE INDUSTRIAL NAVAL PROARAPID:** basada en resinas alcídicas, una resina sintética que se endurece al exponerse al oxígeno del aire, formando una película dura y protectora, de alta calidad y resistente a la pérdida de brillo. Entre sus características destacan el secado rápido, aproximadamente dos horas y el acabado brillante. Ideal para plataformas navales expuestas a condiciones climáticas severas [45].
- **SPRAY IMNASE, MARINE PAINT:** esta pintura de alta resistencia, se emplea como acabado superficial, permitiendo que el casco quede libre de flora marina gracias a las sustancias químicas que libera denominadas biocidas. Además, minimiza el rozamiento y reduce el consumo de combustible [46].



Figura 3-3 placas metálicas a), pinturas empleadas b) (spray y esmalte)

3.2.1 Proceso de pintado de las probetas

Se han pintado dos probetas con la pintura de esmalte y otras dos con la pintura de spray. Para llevar a cabo con éxito el pintado de las probetas con la pintura de esmalte, es necesario de un aplicador. Se ha seleccionado un espesor de 30 micrómetros para esta investigación por lo que se coloca el aplicador en la probeta de manera que la marca de 30 micrómetros quede mirando hacia uno mismo, se echa la pintura dentro del mismo y se arrastra. De este modo queda una capa de 30 micrómetros sobre la probeta y se deja secar como mínimo dos horas.



Figura 3-4 Aplicador de pintura a) y medidor de espesores b)

Con la pintura de spray se realizan 4 o 5 pasadas sobre las probetas quedando un espesor entre 10 y 15 micrómetros medido con el medidor de espesores. Al ser una pintura con mejores propiedades, según los técnicos del sector, por lo que no es necesario aplicar el espesor de la pintura de esmalte. Gracias a su secado rápido, en 30 minutos se puede proceder a la tercera etapa.

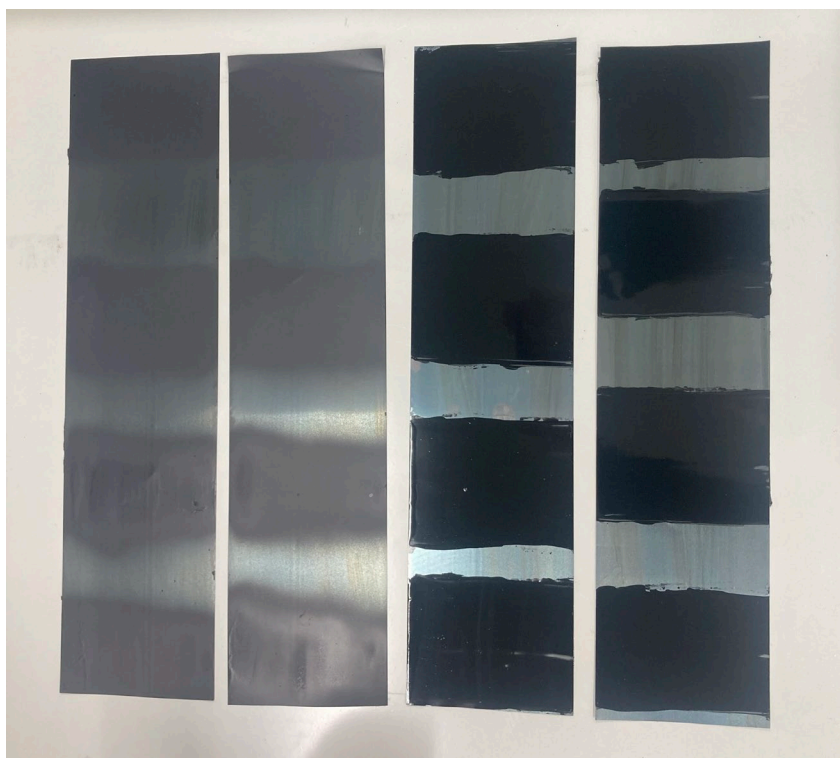


Figura 3-5 Probetas pintadas

3.3 Segunda etapa. Formulación de las microemulsiones

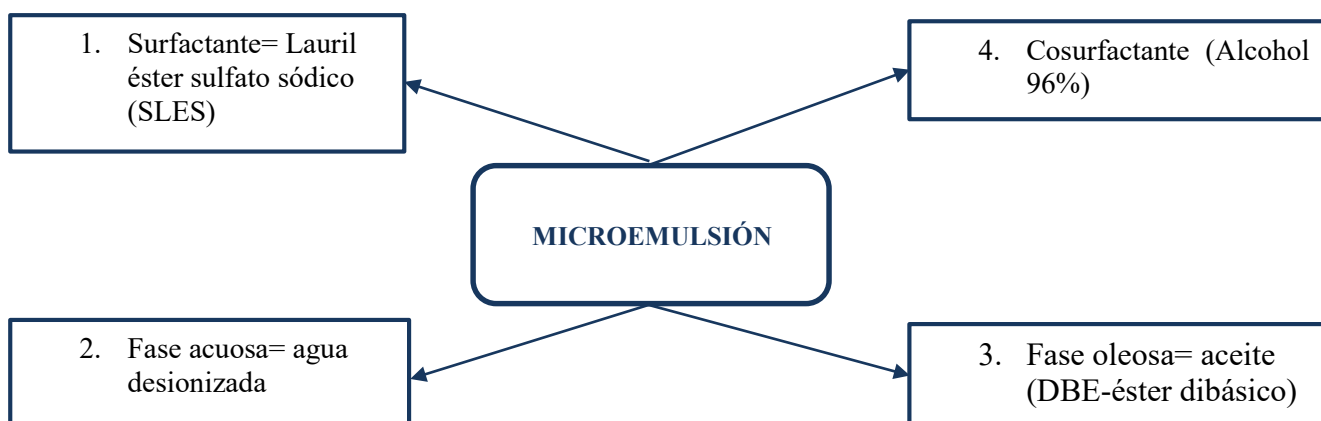


Figura 3-6 Esquema de la composición de las microemulsiones en esta investigación

El pasado 4 de febrero se realizó una visita a la Escuela de Ingeniería Forestal del Campus de Pontevedra de la Universidad de Vigo donde tuvo lugar la primera fase experimental del trabajo. Durante una reunión con Ángel Sánchez Bermúdez, catedrático en ingeniería química se abordaron los aspectos clave relacionados con la metodología, la composición y los beneficios que las microemulsiones presentan. A partir de entonces, el resto de la investigación se llevó a cabo en el laboratorio de investigación de la Escuela Naval Militar.



Figura 3-7 Microemulsión realizada en la Escuela de Ingeniería Forestal del Campus de Pontevedra de la Universidad de Vigo

La composición de las microemulsiones para este trabajo, consta de cuatro elementos, surfactante, agua desionizada (fase acuosa), aceite (fase oleosa) y cosurfactante. Los compuestos empleados en esta investigación son los que anteriormente se mencionan en el esquema:

- **Surfactante: SLES, Lauril éster sulfato sódico:** es un surfactante aniónico, soluble en agua, reduce la tensión superficial del agua y es utilizado por su capacidad de generar espuma, limpiar y emulsionar grasas y aceites. Se encuentra en productos de cuidado personal como jabones, pasta de dientes ya que además de ser surfactante, también es detergente. Es muy económico, tiene un olor muy ligero y es considerado un producto seguro por la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) y no cancerígeno por la Agencia Internacional contra el cáncer (IARC). Se concluye que no es un compuesto nocivo para la salud ni para el medioambiente, al ser biodegradable, adecuado para la formulación de microemulsiones [47].

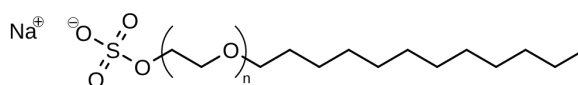


Figura 3-8 Estructura del SLES. [47]

- **Agua desionizada:** es un agua libre de impurezas (cloro, microorganismos, bacterias etc.) la cual se obtiene de procesos de purificación avanzada. De esta manera se elimina cualquier sustancia que pueda interferir en aplicaciones industriales, científicas o farmacéuticas. [48]
- **Aceite, éster dibásico, DBE:** es un disolvente orgánico formado por tres compuestos, succinato de dimetilo, glutarato de dimetilo y adipato de dimetilo. Es un disolvente incoloro, biodegradable, lo que le convierte en un disolvente respetuoso con el medioambiente. Destaca por su seguridad debido a que tiene propiedades no tóxicas, por su alta solubilidad con el agua, baja volatilidad y su ligero olor [49] [50].

- **Cosurfactante, Alcohol 96%:** compuesto inflamable y de olor fuerte, es incoloro y volátil. Es un solvente universal ya que disuelve grasas, aceites y compuestos orgánicos. Elimina bacterias de la piel y apenas deja humedad residual, es decir, tiene una evaporación rápida [51].

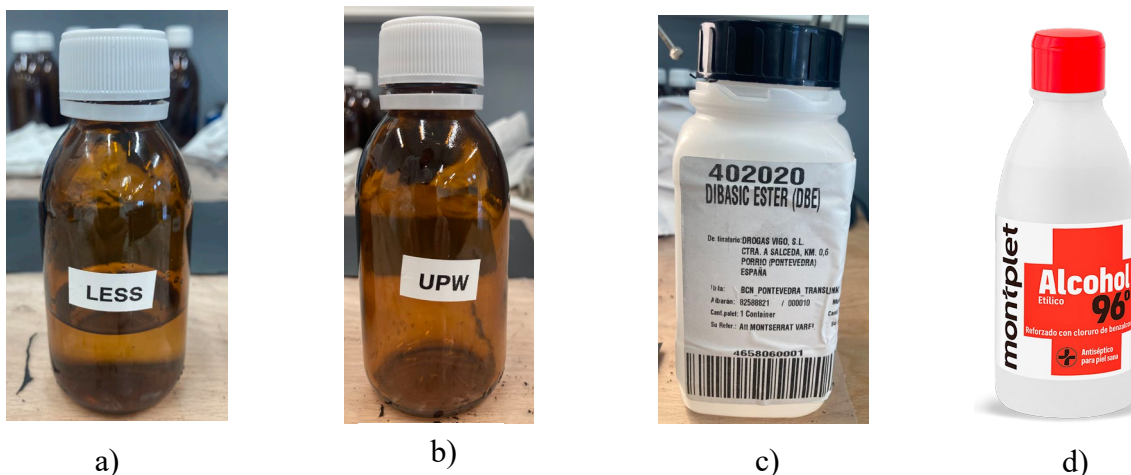


Figura 3-9 Compuestos empleados para la elaboración de microemulsiones

Una vez recopilados todos los ingredientes, se procede a la realización de los cálculos correspondientes, determinando las cantidades exactas de cada compuesto en función de la cantidad total de microemulsión que se empleará en la investigación. Para ello se establece una cantidad total de la mezcla, la cual para esta investigación se han seleccionado 20 gramos. Sin embargo, es una cantidad aproximada ya que dependerá de la cantidad de cosurfactante necesario para estabilizar la mezcla y garantizar su transparencia, lo cual se analizará más adelante.

Se han realizado 20 microemulsiones con distintas cantidades en gramos de agua, aceite, surfactante y cosurfactante ajustando las proporciones a la cantidad total establecida de 20 gramos. Por ejemplo, la cantidad de surfactante se define inicialmente como un 5% de 20 gramos, al igual que la de cosurfactante. Sin embargo, dado que la cantidad de cosurfactante requerida varía en función de la estabilidad de la mezcla, es posible que se necesite una proporción mayor para lograr una microemulsión estable y transparente. No obstante, para realizar los cálculos teóricos, la cantidad de cosurfactante se considera equivalente a la de surfactante (5% de 20 gramos).

• DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES

Las microemulsiones se han formulado con distintas concentraciones de surfactante y cosurfactante, estableciendo las siguientes proporciones teóricas: 5%, 10%, 15% y 20%. Del mismo modo, se determinan las proporciones de agua y aceite (W/A), las cuales se ajustan a partir de la cantidad restante tras definir la fracción de surfactante y cosurfactante.

PROPORCIÓN AGUA (W) / ACEITE (A)	DISTRIBUCIÓN
20% W- 80% A	Mayor cantidad de aceite
35% W- 65% A	Moderada cantidad de aceite
50% W – 50% A	Equilibrio de cantidades de agua y aceite
65% W – 35% A	Mayor cantidad de agua
80% W – 20% A	Abundancia de agua

Tabla 3-1 Proporciones agua y aceite necesarios

A continuación, se adjuntas las proporciones necesarias para cada una de las 20 muestras.

W/A	CANTIDAD TOTAL	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SUBTO-TAL	W	A	W	A
	g	%	%	g	g	g	%	%	g	g
20-80	20	5	5	1	1	18	20	80	3,6	14,4
35/65	20	5	5	1	1	18	35	65	6,3	11,7
50/50	20	5	5	1	1	18	50	50	9	9
65/35	20	5	5	1	1	18	65	35	11,7	6,3
80/20	20	5	5	1	1	18	80	20	14,4	3,6

Tabla 3-2 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 5% - 5% de surfactante y cosurfactante

W/A(%)	CANTIDAD TOTAL	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SUBTO-TAL	W	A	W	A
	g	%	%	g	g	g	%	%	g	g
20-80	20	10	10	2	2	18	20	80	3,2	12,8
35/65	20	10	10	2	2	18	35	65	5,6	10,4
50/50	20	10	10	2	2	18	50	50	8	8
65/35	20	10	10	2	2	18	65	35	10,4	5,6
80/20	20	10	10	2	2	18	80	20	12,8	3,2

Tabla 3-3 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 10% - 10% de surfactante y cosurfactante

W/A(%)	CANTIDAD TOTAL	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SUBTOTAL	W	A	W	A
	g	%	%	g	g	g	%	%	g	g
20-80	20	15	15	3	3	18	20	80	2,8	11,2
35/65	20	15	15	3	3	18	35	65	4,9	9,1
50/50	20	15	15	3	3	18	50	50	7	7
65/35	20	15	15	3	3	18	65	35	9,1	4,9
80/20	20	15	15	3	3	18	80	20	11,2	2,8

Tabla 3-4 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 15% - 15% de surfactante y cosurfactante

W/A(%)	CANTIDAD TOTAL	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SURFACTAN-TE	COSURFACTAN-TE	SUBTOTAL	W	A	W	A
	g	%	%	g	G	g	%	%	g	g
20-80	20	20	20	4	4	18	20	80	2,4	9,6
35/65	20	20	20	4	4	18	35	65	4,2	7,8
50/50	20	20	20	4	4	18	50	50	6	6
65/35	20	20	20	4	4	18	65	35	7,8	4,2
80/20	20	20	20	4	4	18	80	20	9,6	2,4

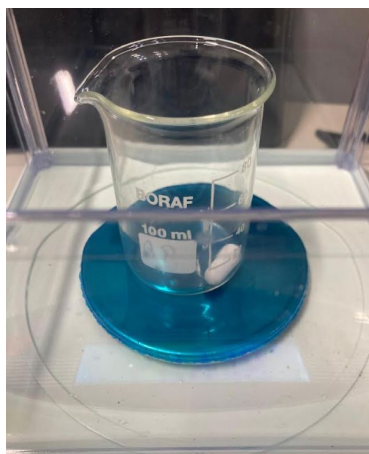
Tabla 3-5 Cantidades de agua y aceite para unas cantidades de 20% - 20% de surfactante y cosurfactante

De esta manera, se evalúan diferentes composiciones de las microemulsiones comprobando su estabilidad y efectividad en el proceso de decapado.

3.3.1 Metodología preparación de la mezcla

Una vez recopilados todos los compuestos necesarios y con sus respectivas cantidades, se procede a la elaboración de las diferentes microemulsiones:

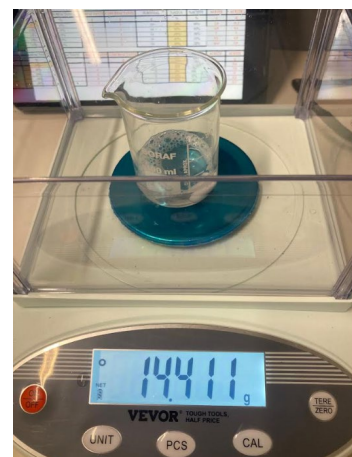
1. Se pesa el vaso de precipitado junto con el agitador
2. Se procede a echar la cantidad de surfactante (SLES) establecida, las cuales están plasmadas en las tablas que anteriormente se adjuntan y se anotan los pesos.
3. A continuación, se echa el agua pura (UPW) y se vuelve a pesar.
4. La cantidad de éster dibásico (DBE) se pesa a parte en otro vaso de precipitado.
5. Poco a poco se echa el éster dibásico a la mezcla anterior y se anota el peso. De esta manera se crea una emulsión turbia. La mezcla comienza a agitarse.
6. Se empieza a echar cosurfactante a la emulsión hasta que se vuelva transparente. Añadimos más cosurfactante para asegurar que la microemulsión es estable.
7. Por último, se pesa la microemulsión para saber la cantidad de cosurfactante (Alcohol 96%) que ha sido necesario añadir y se pasa la microemulsión a un recipiente.



1)



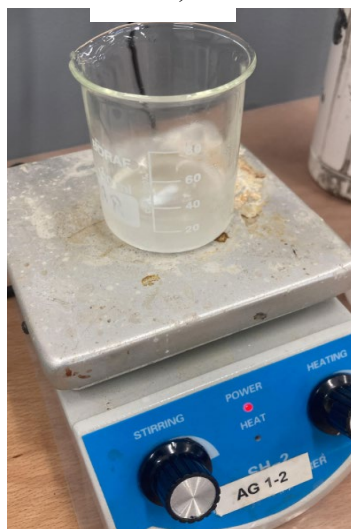
2)



3)



4)



5)



6)

Figura 3-10 Procedimiento necesario para crear las microemulsiones

Como se menciona anteriormente, se anotan todos los datos de los pesos necesarios para así determinar qué cantidad de cosurfactante será finalmente la necesaria. Las tablas que a continuación se adjuntan muestran dichos datos.

PESO (GRAMOS)	1 MEZCLA 20-80 (5%-5%)	2 MEZCLA 35-65 (5%-5%)	3 MEZCLA 50-50 (5%-5%)	4 MEZCLA 65-35 (5%-5%)	5 MEZCLA 80-20 (5%-5%)
Vaso precipitado	52,558	52,558	52,558	52,558	52,558
Vaso precipitado +agitador (2,438)	54,996	54,996	54,996	54,996	54,996
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	55,999	55,996	55,997	56,001	56,009
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	59,618	62,297	64,997	67,701	70,44
DBE (aceite dibásico)	14,422	11,699	9	6	3,599
TORAL SIN COSURFACTANTE	74,04	73,996	73,997	73,701	74,039
TOTAL CON COSURFACTANTE	76,787	86,023	77,846	82,402	76,909
COSURFACTANTE	2,747	12,027	3,849	8,701	2,87

Tabla 3-6 Pesos de los elementos para la proporción teórica 5% surfactante y 5% cosurfactante

PESO (GRAMOS)	1 MEZCLA 20-80 (10%-10%)	2 MEZCLA 35-65 (10%-10%)	3 MEZCLA 50-50 (10%-10%)	4 MEZCLA 65-35 (10%-10%)	5 MEZCLA 80-20 (10%-10%)
Vaso precipitado	52,558	52,558	52,558	52,558	52,558
Vaso precipitado +agitador (2,438)	54,996	54,996	54,996	54,996	54,996
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	56,993	57,002	57,001	57,011	56,999
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	60,231	62,641	65,042	67,415	69,789
DBE (aceite dibásico)	12,801	10,402	8	5,60	3,207
TORAL SIN COSURFACTANTE	73,11	73,043	73,042	73,015	72,996
TOTAL CON COSURFACTANTE	77,13	76,971	76,822	78,167	80,019
COSURFACTANTE	4,02	3,928	3,78	5,152	7,023

Tabla 3-7 Pesos de los elementos para la proporción teórica 10% surfactante y 10% cosurfactante

PESO (GRAMOS)	1 MEZCLA 20-80 (15%-15%)	2 MEZCLA 35-65 (15%-15%)	3 MEZCLA 50-50 (15%-15%)	4 MEZCLA 65-35 (15%-15%)	5 MEZCLA 80-20 (15%-15%)
Vaso precipitado	52,558	52,558	52,558	52,558	52,558
Vaso precipitado +agitador (2,438)	54,996	54,996	54,996	54,996	54,996
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	57,998	57,996	58,024	58,066	57,998
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	60,829	62,899	65,066	67,184	69,208
DBE (aceite dibásico)	11,206	9,106	7,005	4,91	2,795
TORAL SIN COSURFACTANTE	72,035	72,005	72	72,084	72,003
TOTAL CON COSURFACTANTE	74,192	76,292	76,669	75,842	80,914
COSURFACTANTE	2,157	4,287	4,669	3,758	8,911

Tabla 3-8 Pesos de los elementos para la proporción teórica 15% surfactante y 15% cosurfactante

PESO (GRAMOS)	1 MEZCLA 20-80 (20%-20%)	2 MEZCLA 35-65 (20%-20%)	3 MEZCLA 50-50 (20%-20%)	4 MEZCLA 65-35 (20%-20%)	5 MEZCLA 80-20 (20%-20%)
Vaso precipitado	52,558	52,558	52,558	52,558	52,558
Vaso precipitado +agitador (2,438)	54,996	54,996	54,996	54,996	54,996
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	58,995	59,017	58,991	59,007	58,996
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	61,396	63,235	65,004	66,841	68,606
DBE (aceite dibasico)	9,605	7,799	6,011	4,20	2,401
TORAL SIN COSURFACTANTE	70,996	71,034	71,015	71,045	71,007
TOTAL CON COSURFACTANTE	75,177	74,082	74,591	74,531	79,664
COSURFACTANTE	4,181	3,048	3,576	3,486	8,657

Tabla 3-9 Pesos de los elementos para la proporción teórica 20% surfactante y 20% cosurfactante

Una vez finalizado el proceso de pintura de las placas y preparadas las muestras correspondientes, se procede a la tercera etapa de la investigación, la cual consiste en aplicar las microemulsiones sobre las dos pinturas con el objetivo de analizar las interacciones entre las microemulsiones y los recubrimientos. A partir de estas observaciones, se determinará cuál o cuáles de las microemulsiones son óptimas para el proceso de decapado.

3.4 Tercera etapa. Reacciones entre microemulsiones y pintura hasta su eliminación

El propósito de esta etapa, es observar y examinar las reacciones que ocurren tras la aplicación de las microemulsiones sobre los dos tipos de pintura seleccionados. Para garantizar la precisión del experimento y evitar la contaminación de las muestras, se emplea una pipeta individual para cada microemulsión, asegurando que no haya interferencias que puedan afectar su a efectividad.

En esta investigación se han aplicado 10 gotas sobre la superficie pintada, permitiendo un tiempo de reacción suficiente para que el proceso sea completo y efectivo, asegurando la eliminación total de la pintura.

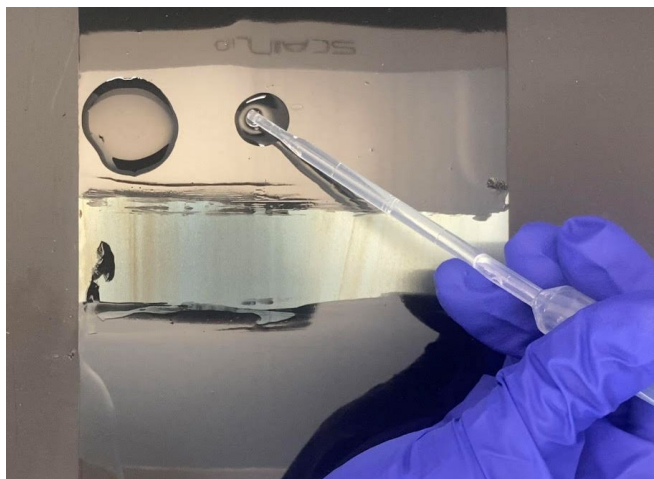


Figura 3-11 Aplicación de 10 gotas de microemulsión sobre la pintura

Durante la interacción, se observa cómo las microemulsiones generan una reacción visible sobre la pintura, provocando un efecto de arrugamiento en la superficie tratada, al contrario que en la pintura de spray que dicho efecto no se puede observar. Esto se debe a una reacción química entre el disolvente y la pintura, debilitándola de manera que rompe los enlaces químicos y hace que la pintura pierda su estructura original.

Una vez que la reacción ha finalizado, lo que se identifica cuando el área aplicada presenta un arrugamiento uniforme en toda su extensión, se procede al decapado de la pintura con papel o un trapo.

Este procedimiento se repite de manera sistemática con las 20 microemulsiones en tres experimentos, es decir, que se aplica la misma muestra tres veces para tomar tres tiempos, aplicándolas en ambos tipos de pintura para evaluar su rendimiento y determinar cuál de ellas resulta más efectiva en la eliminación del recubrimiento.

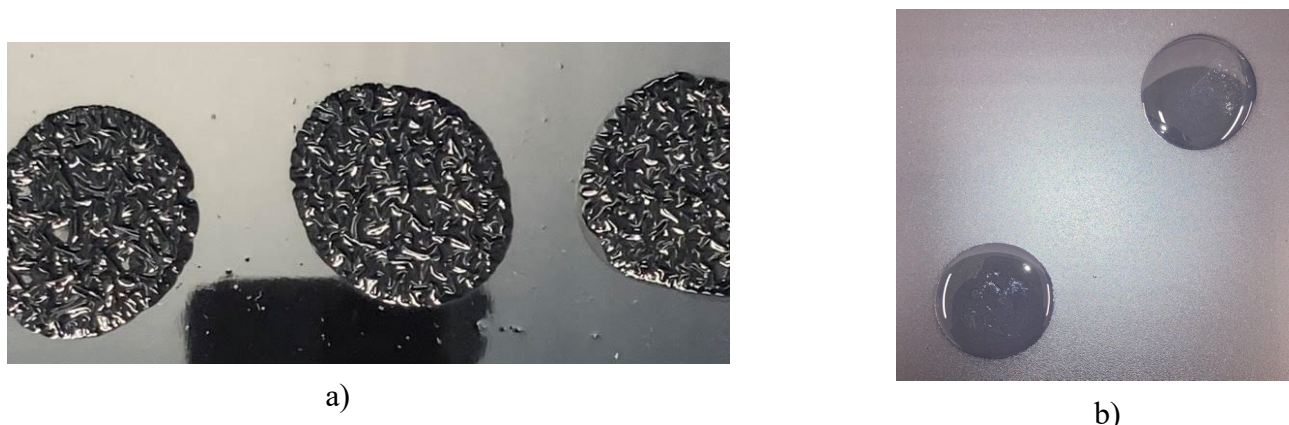


Figura 3-12 Reacción entre la microemulsión y la pintura de esmalte a) y spray b) , momento de decapado

Tanto el disolvente como la acetona se emplean para limpiar las placas metálicas una vez que ya no se pueden seguir usando y es necesario volver a pintarlas para continuar con la investigación.

3.5 Cuarta etapa. Elaboración de una microemulsión con un disolvente convencional.

Esta microemulsión se elabora siguiendo los mismos pasos que las anteriores. La diferencia radica en la sustitución del aceite, el éster dibásico, por un disolvente bicapa, es decir un disolvente convencional inflamable, nocivo para la salud y para el medioambiente el cual se usa en limpieza y separación de sustancias.

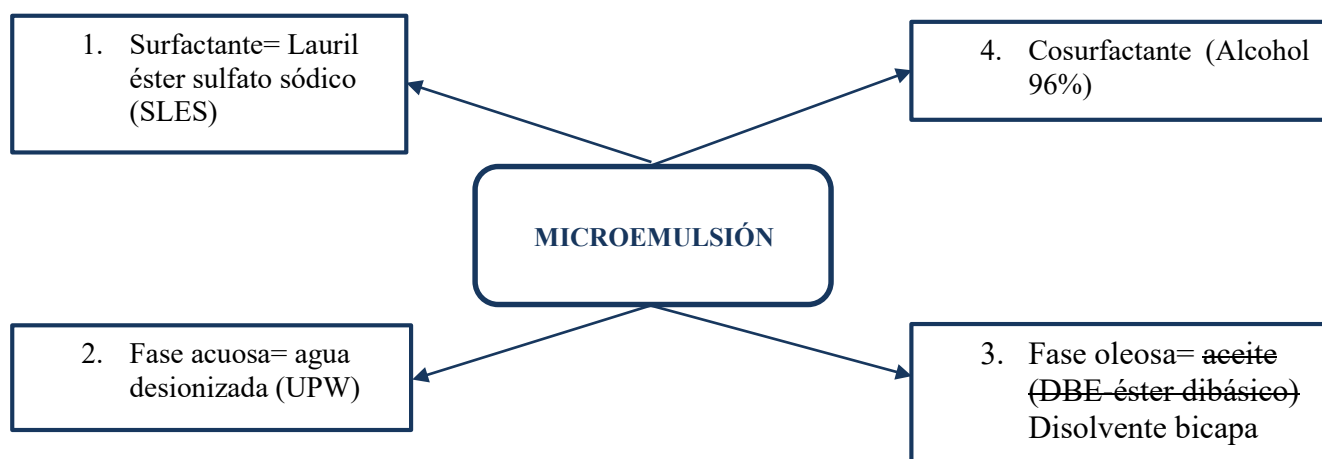


Figura 3-13 Esquema de la composición de la nueva microemulsión



Figura 3-14 Disolvente bicapa

Se ha seleccionado la microemulsión óptima a partir de los resultados obtenidos con las dos pinturas, siendo para la pintura de esmalte las microemulsiones 50-50 (10%-10%) y 20-80 (15%-15%) y para la pintura de spray 20-80 (15%-15%) y la de 50-50 (20%-20%) y se ha sustituido el éster dibásico por este nuevo compuesto, usando las mismas cantidades para el resto de componentes. Los datos obtenidos en peso son los siguientes:

MICROEMULSIÓN 50-50 (10%-10)	PESO EN GRAMOS
Vaso precipitado	58,159
Vaso precipitado + agitador	60,592
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	62,616
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	70,636
Disolvente bicapa	8,056
TORAL SIN COSURFACTANTE	80,152
TORAL CON COSURFACTANTE	99,254
COSURFACTANTE	19,102

Tabla 3-10 Pesos de los elementos para la nueva muestra a base de disolvente convencional 50-50 (10%10%)

MICROEMULSIÓN 20-80 (15%-15)	PESO EN GRAMOS
Vaso precipitado	58,159
Vaso precipitado + agitador	60,592
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	62,592
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	66,475
Disolvente bicapa	11,222
TOTAL SIN COSURFACTANTE	67,864
TOTAL CON COSURFACTANTE	87,37
COSURFACTANTE	19,506

Tabla 3-11 Pesos de los elementos para la nueva muestra a base de disolvente convencional 20-80 (15%15%)

MICROEMULSIÓN 50-50 (20%-20)	PESO EN GRAMOS
Vaso precipitado	58,159
Vaso precipitado + agitador	60,592
Vaso precipitado +agitador +surfactante (LESS)	64,592
Vaso precipitado + agitador + surfactante +agua	70,608
Disolvente bicapa	6,013
TOTAL SIN COSURFACTANTE	67,058
TOTAL CON COSURFACTANTE	91,554
COSURFACTANTE	24,496

Tabla 3-12 Pesos de los elementos para la nueva muestra a base de disolvente convencional 50-50 (20%-20%)



Figura 3-15 Nuevas microemulsiones

Del mismo modo que con las anteriores microemulsiones se procede a la aplicación de 10 gotas de las microemulsiones sobre las probetas. Se puede observar que ocurre lo mismo con la pintura de spray, es decir, que no tiene lugar el efecto de arrugamiento como en la pintura de esmalte, ni con la pintura de spray para ninguna de las microemulsiones.

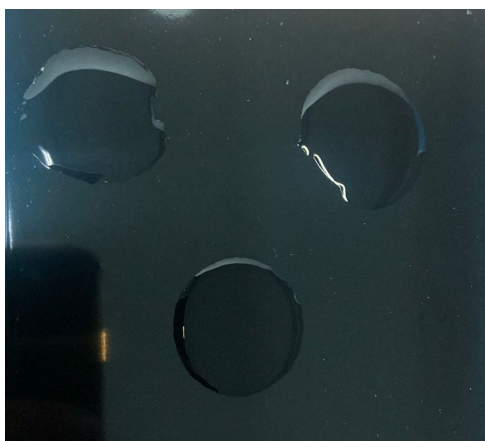


Figura 3-16 Microemulsión sobre pintura de esmalte a) y sobre pintura de spray b)

Se realizan tres experimentos por muestra para comprobar que los tiempos de reacción son semejantes y estables entre ellos para cada una de las microemulsiones y se apuntan los datos para proceder a la evaluación de los resultados.

4 RESULTADOS/VALIDACIÓN/PRUEBA

4.1 Resultados observados durante la investigación

4.1.1 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (5%-5%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la primera pintura para las proporciones 5%-5%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, los tiempos de reacción, desde el inicio hasta que la microemulsión elimina la pintura por completo.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	INICIO 1 (s)	COMPLETA 1 (s)	INICIO 2 (s)	COMPLETA 2 (s)	INICIO 3 (s)	COMPLETA 3 (s)
20-80 (5%-5%)	230	281	214	289	192	269
35-65 (5%-5%)	270	382	298	489	257	532
50-50 (5%-5%)	189	304	196	316	199	286
65-35 (5%-5%)	205	249	213	317	231	388
80-20 (5%-5%)	272	371	300	600	330	547

Tabla 4-1 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 5% surfactante y 5% cosurfactante

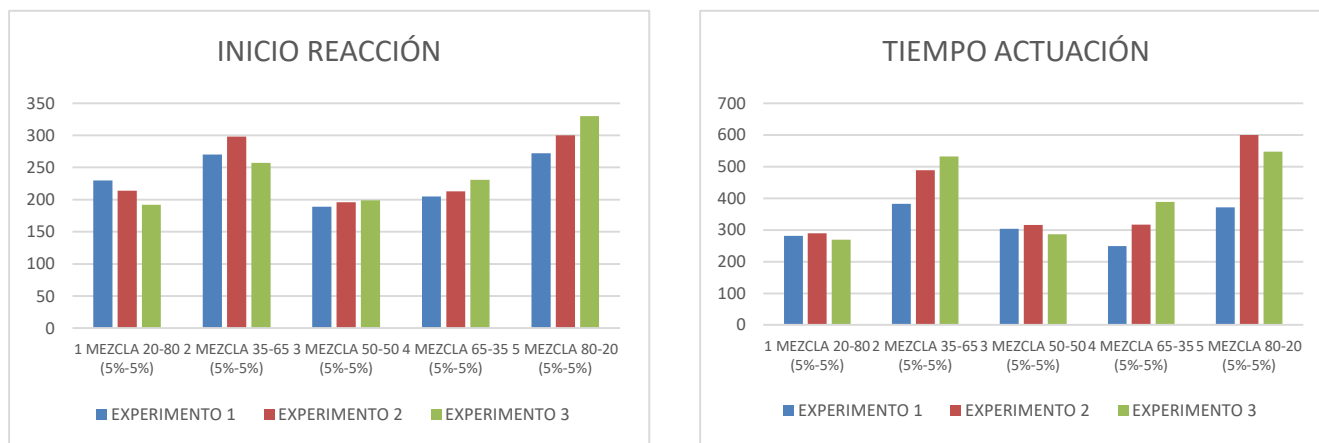


Figura 4-1 Representación gráfica de la Tabla 4-1

El gráfico visualiza los datos de la tabla, de manera que muestra los tiempos de inicio y los tiempos de la reacción completa para cada mezcla en los distintos experimentos.

- **Tiempos de inicio:** se observan valores similares entre las distintas muestras. Sin embargo, hay diferencias notables entre algunas.
 - La microemulsión 80-20 tiene un mayor tiempo de inicio de reacción en los tres experimentos realizado con dicha muestra (272-300-330), lo que indica que esta mezcla tarda más en comenzar la reacción.
 - La microemulsión 65-35 y la de 50-50 tienen tiempos de inicio más bajos y por tanto más estables.
- **Tiempos de reacción completa:** son significativamente mayores que los tiempos de inicio, reflejando la duración total del proceso.
 - Al igual que en el tiempo de inicio, la microemulsión 80-20 presenta los valores más altos, especialmente en el experimento dos con un tiempo de más de 600 s y en el experimento tres con un tiempo de 547 s, por lo que se confirma que esta muestra es la que tarda más en completar la reacción.
 - La microemulsión 35-65 tiene valores elevados, pero sin superar a la de 80-20.
 - La muestra 20-80 tiene valores intermedios, con una duración total de reacción más controlada.

4.1.2 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (10%-10%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la primera pintura para las proporciones 10%-10%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, los tiempos de reacción, desde el inicio hasta que la microemulsión elimina la pintura por completo.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	INICIO 1 (s)	COMPLETA 1 (s)	INICIO 2 (s)	COMPLETA 2 (s)	INICIO 3 (s)	COMPLETA 3 (s)
20-80 (10%-10%)	217	249	231	270	202	256
35-65 (10%-10%)	159	208	191	283	198	276
50-50 (10%-10%)	119	174	157	237	177	232
65-35 (10%-10%)	174	264	219	330	214	316
80-20 (10%-10%)	285	496	326	840	334	676

Tabla 4-2 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 10% surfactante y 10% cosurfactante

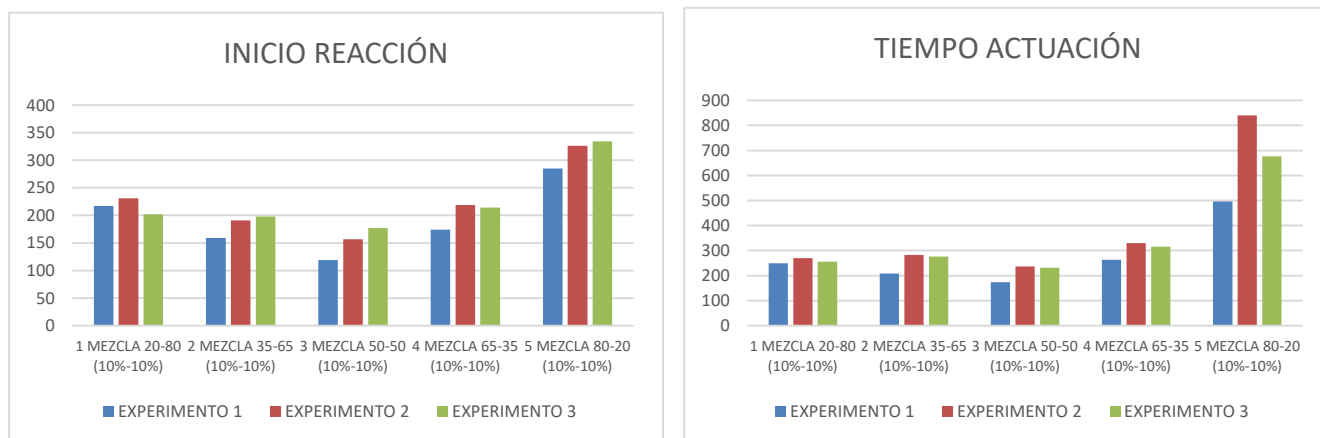


Figura 4-2 Representación gráfica de la Tabla 4-2

El gráfico visualiza los datos de la tabla, de manera que muestra los tiempos de inicio y los tiempos de la reacción completa para cada mezcla en los distintos experimentos.

- **Tiempos de inicio:**
 - Las muestras más rápidas en iniciar la reacción son 50-50 (119-177 s) y 35-65 (159-198 s).
 - La mezcla más lenta en iniciar es 80-20, con valores significativamente altos en todos los experimentos (285-334 s).
 - La mezcla 65-35 tiene tiempos de inicio intermedios.
 - La mezcla 20-80 muestra una variabilidad media, con tiempos más cortos que 80-20 pero más largos que 50-50.
- **Tiempos de reacción completa**
 - La mezcla 80-20 tarda mucho más en completar la reacción, especialmente en los experimentos 2 y 3 (840 s y 676 s).
 - La mezcla 50-50 es la más eficiente en términos de tiempos de reacción completa, con valores menores en todos los experimentos.
 - Las mezclas 20-80 y 65-35 tienen tiempos intermedios, pero la 65-35 tiende a tardar más.
 - La mezcla 35-65 tiene tiempos de reacción total relativamente controlados.

4.1.3 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (15%-15%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la primera pintura para las proporciones 15%-15%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, los tiempos de reacción, desde el inicio hasta que la microemulsión elimina la pintura por completo.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	INICIO 1 (s)	COMPLETA 1 (s)	INICIO 2 (s)	COMPLETA 2 (s)	INICIO 3 (s)	COMPLETA 3 (s)
20-80 (15%-15%)	101	186	148	243	210	274
35-65 (15%-15%)	272	352	255	334	237	312
50-50 (15%-15%)	140	347	222	339	257	363
65-35 (15%-15%)	274	345	226	316	274	377
80-20 (15%-15%)	521	780	544	772	511	804

Tabla 4-3 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 15% surfactante y 15% cosurfactante

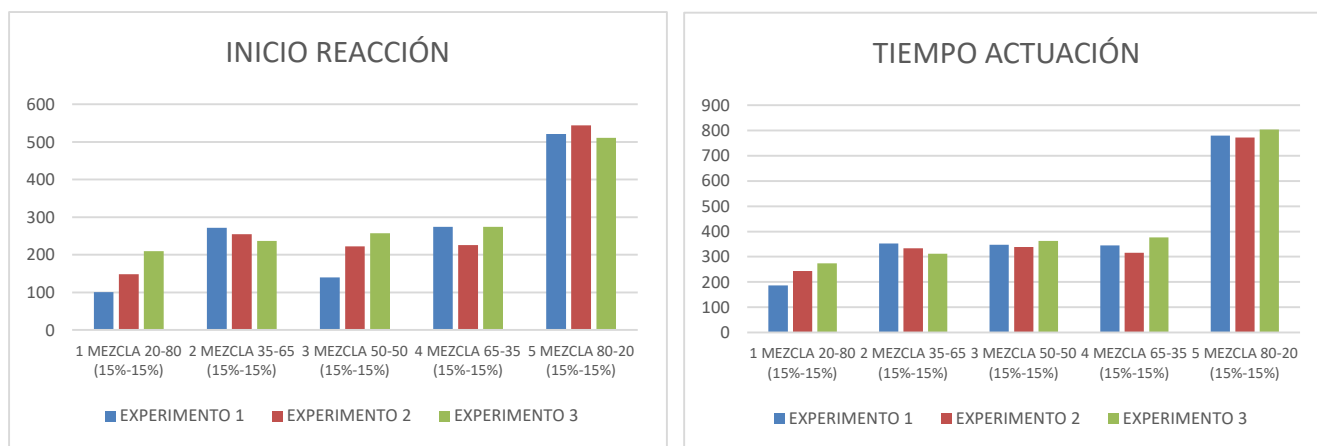


Figura 4-3 Representación gráfica de la Tabla 4-3

El gráfico visualiza los datos de la tabla, de manera que muestra los tiempos de inicio y los tiempos de la reacción completa para cada mezcla en los distintos experimentos.

- **Tiempos de inicio:**
 - La mezcla 20-80 es la más rápida en iniciar, con tiempos de 101-210 s.
 - Las mezclas 35-65, 50-50 y 65-35 tienen tiempos de inicio intermedios, entre 222-274 s.
 - La mezcla 80-20 es la más lenta en iniciar, con tiempos significativamente más altos (521-544 s), lo que indica que su reacción tarda mucho en empezar.
- **Tiempos de reacción completa:**
 - La mezcla 20-80 es la más rápida en completar la reacción, con tiempos de 186-243-274 s.
 - Las mezclas 35-65, 50-50 y 65-35 tienen tiempos de reacción similares, entre 312-377 s.
 - La mezcla 80-20 tiene tiempos de reacción extremadamente altos (772-804 s), lo que indica que su reacción es significativamente más lenta.

4.1.4 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid (20%-20%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la primera pintura para las proporciones 20%-20%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, los tiempos de reacción, desde el inicio hasta que la microemulsión elimina la pintura por completo.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	INICIO 1 (s)	COMPLETA 1 (s)	INICIO 2 (s)	COMPLETA 2 (s)	INICIO 3 (s)	COMPLETA 3 (s)
20-80 (20%-20%)	271	357	270	390	270	356
35-65 (20%-20%)	140	208	150	273	172	241
50-50 (20%-20%)	220	349	236	347	224	351
65-35 (20%-20%)	263	382	250	322	264	371
80-20 (20%-20%)	>600	>600	>600	>600	>600	>600

Tabla 4-4 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 20% surfactante y 20% cosurfactante

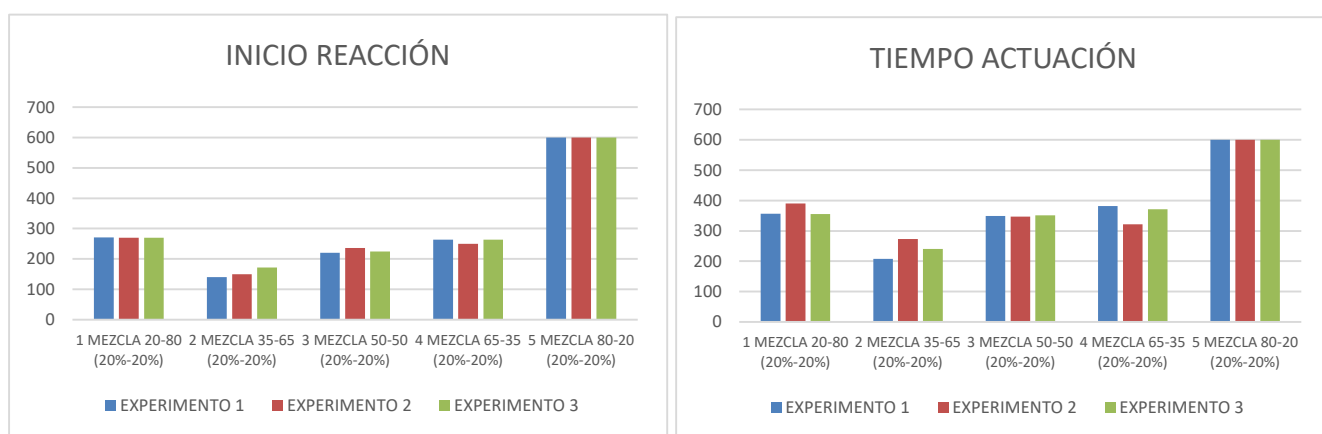


Figura 4-4 Representación gráfica de la Tabla 4-4

El gráfico visualiza los datos de la tabla, de manera que muestra los tiempos de inicio y los tiempos de la reacción completa para cada mezcla en los distintos experimentos.

- **Tiempos de inicio:**
 - La microemulsión 80-20 tiene los tiempos de inicio más amplios y constantes (>600 segundos en todos los casos), lo que indica un retardo mayor en el comienzo de la reacción.
 - La microemulsión 35-65 es la más rápida en iniciar la reacción con tiempos de 140-150-172 segundos para los tres experimentos.
 - Las microemulsiones 50-50 y 65-35 tienen tiempos de inicio intermedios.
 - Al igual que la de 80-20, la microemulsión 20-80 tiene tiempos de inicio elevados, aunque menos que la primera.
- **Tiempos de reacción completa:**
 - La mezcla 80-20 sigue mostrando el peor rendimiento, con un tiempo de reacción completa de 600 s en todos los casos.
 - La mezcla 35-65 es la más rápida en completar la reacción
 - Las mezclas 50-50 y 65-35 tienen tiempos similares.

4.1.5 Observaciones generales

Para poder analizar los datos obtenidos anteriormente y determinar la microemulsión óptima, en la siguiente tabla se recopilan los tiempos más cortos para cada concentración teórica de surfactante y cosurfactante. No se ha establecido un número exacto para determinar que mezcla es la mejor, sino que el criterio empleado está basado en que los tres tiempos tomados para cada muestra sean los menores y estables entre ellos, es decir, que no haya picos de diferencias entre unos y otros y que todos tengan un tiempo parecido de reacción.

CONCENTRACIÓN	MICROEMULSION MÁS RÁPIDA	TIEMPO (s)
5%-5%	20-80	269-281
10%-10%	50-50	174-237
15%-15%	20-80	186-274
20%-20%	35-65	208-273

Tabla 4-5 Selección de las microemulsiones de menor tiempo

A mayor concentración de surfactante y cosurfactante, los tiempos de reacción aumentan, por lo que las microemulsiones de mayor concentración de dichos compuestos (20%-20%) son las que presentan tiempos largos llegando a sobrepasar los 10 minutos. Sin embargo, la Tabla 4-5 muestra aquellas microemulsiones que tardan menos en reaccionar, concluyendo que aquellas con mayor concentración de éster dibásico, tardan menos.

Proporción agua y aceite: el equilibrio entre el agua y el aceite influye en la velocidad de la reacción. Los datos analizados muestran que las microemulsiones con mayor cantidad de agua, tardan más en completar la eliminación de la pintura.

En general, aquellas microemulsiones con mayor concentración de aceite tienen tiempo de reacción menores, lo que demuestra que el éster dibásico, juega un papel fundamental. Esto se debe a que éste compuesto disuelve las resinas y polímeros de la pintura. La pintura de esmalte está formada por materiales plásticos y el éster dibásico, al ser un disolvente orgánico derivado de ácidos y alcoholes y al tener buena compatibilidad química, es decir, afinidad lipofílica por las resinas y polímeros (plásticos),

interactúa con ellos debilitándola, por lo que una mayor cantidad de éster dibásico favorece la rapidez en la eliminación de la pintura.

Proporción surfactante y cosurfactante: estos compuestos ayudan a reducir la tensión interfacial y facilitar la penetración de la microemulsión en la pintura. Al ser una pintura con peores propiedades que la de spray, no es necesario cantidades excesivas de surfactante y cosurfactante. Se observa que aquellas microemulsiones con menor cantidad de ambos compuestos (5%-5% y 10%-10%) tardan menos en eliminar la pintura y aquellas con mayor concentración, ralentizan la eliminación.

El espesor de la pintura también afecta a la velocidad del decapado de la pintura, de manera que, para cualquier microemulsión, a mayor espesor, mayor tiempo de actuación.

En función del resultado de las tablas, la composición más eficiente para eliminar la pintura de espesor 30 micrómetros es la microemulsión 50-50 con una concentración teórica de surfactante y cosurfactante de 10%-10%, o la microemulsión 20-80 con una concentración teórica de surfactante y cosurfactante de 15%-15%, debido a que tiene tiempos de actuación cortos.



Figura 4-5 Decapado microemulsión 20-80 (15%-15%) (izquierda) y microemulsión 50-50 (10%-10%) (derecha)

4.1.6 Resultados con pintura de spray innasa, marine Paint (5%-5%)

Cabe destacar que las microemulsiones y la pintura spray innasa marine paint reaccionan de manera diferente en comparación con la pintura de esmalte, de manera que no se ha podido tomar un tiempo de inicio de la reacción. Esto se observa en que en esta pintura no aparece el efecto de arrugamiento, por lo que hay que prestar especial atención a la microemulsión en el momento que ésta crea el efecto de romper la pintura. Además, durante los experimentos realizados con esta pintura, a pesar de no aparecer el efecto de arrugamiento, la eliminación de la pintura en comparación con la de esmalte, ha resultado ser más eficiente y más limpia.

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la segunda pintura para las proporciones 5%-5%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, muestran los tiempos de reacción hasta la eliminación total de la pintura.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO 3 (s)
1 muestra 20-80 (5%-5%)	1260	1200	1200
2 muestra 35-65 (5%-5%)	900	840	860
3 muestra 50-50 (5%-5%)	480	450	445
4 muestra 65-35 (5%-5%)	330	310	325
5 muestra 80-20 (5%-5%)	180	180	190

Tabla 4-6 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 5% surfactante y 5% cosurfactante

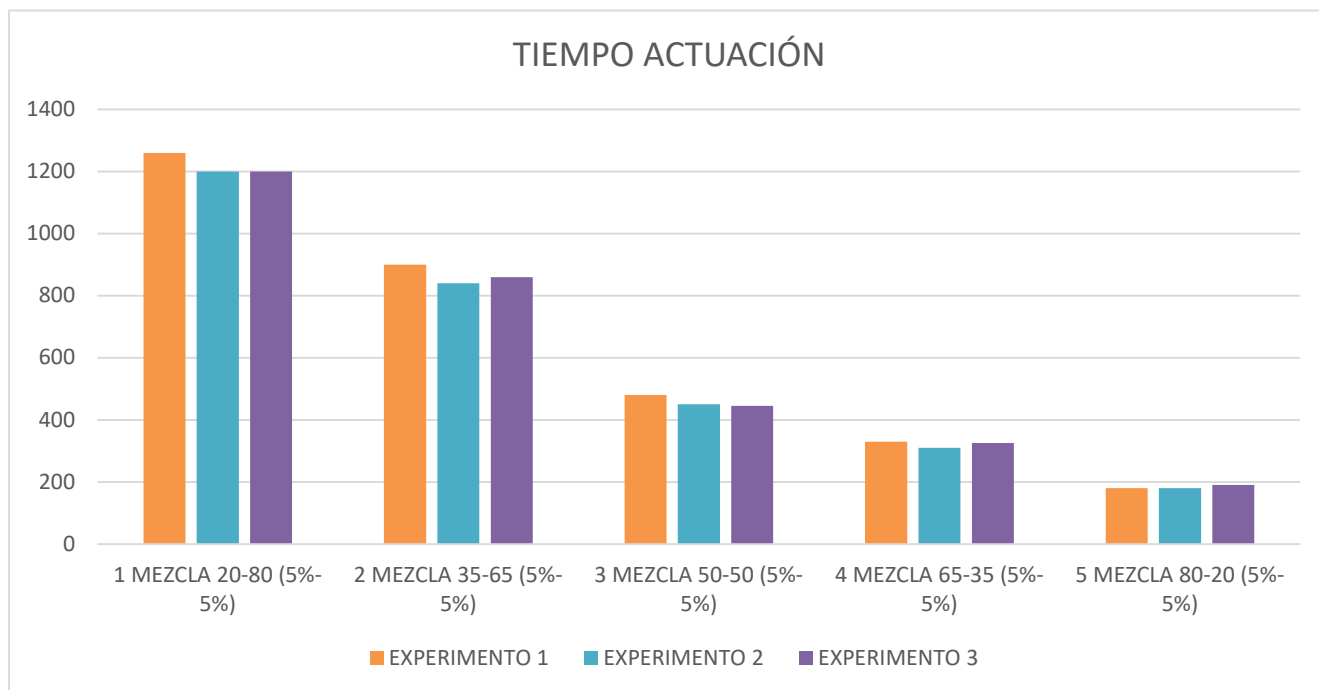


Figura 4-6 Representación gráfica de la Tabla 4-6 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura.

La microemulsión 20-80 muestra claramente en todos sus experimentos, los valores más largos, entre 1200 y 1260 segundos.

La microemulsión 35-65 presenta tiempos de reacción altos, aunque bastante menores que la microemulsión 20-80.

La microemulsión 80-20 es la más rápida en completarse, con tiempos de 180 y 190 segundos.

4.1.7 Resultados con pintura de spray innasa, marine paint (10%-10%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la segunda pintura para las proporciones 10%-10%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, muestran los tiempos de reacción hasta la eliminación total de la pintura.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO 3 (s)
1 muestra 20-80 (10%-10%)	540	575	568
2 muestra 35-65 (10%-10%)	360	308	304
3 muestra 50-50 (10%-10%)	390	327	320
4 muestra 65-35 (10%-10%)	240	210	230
5 muestra 80-20 (10%-10%)	420	390	407

Tabla 4-7 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 10% surfactante y 10% cosurfactante

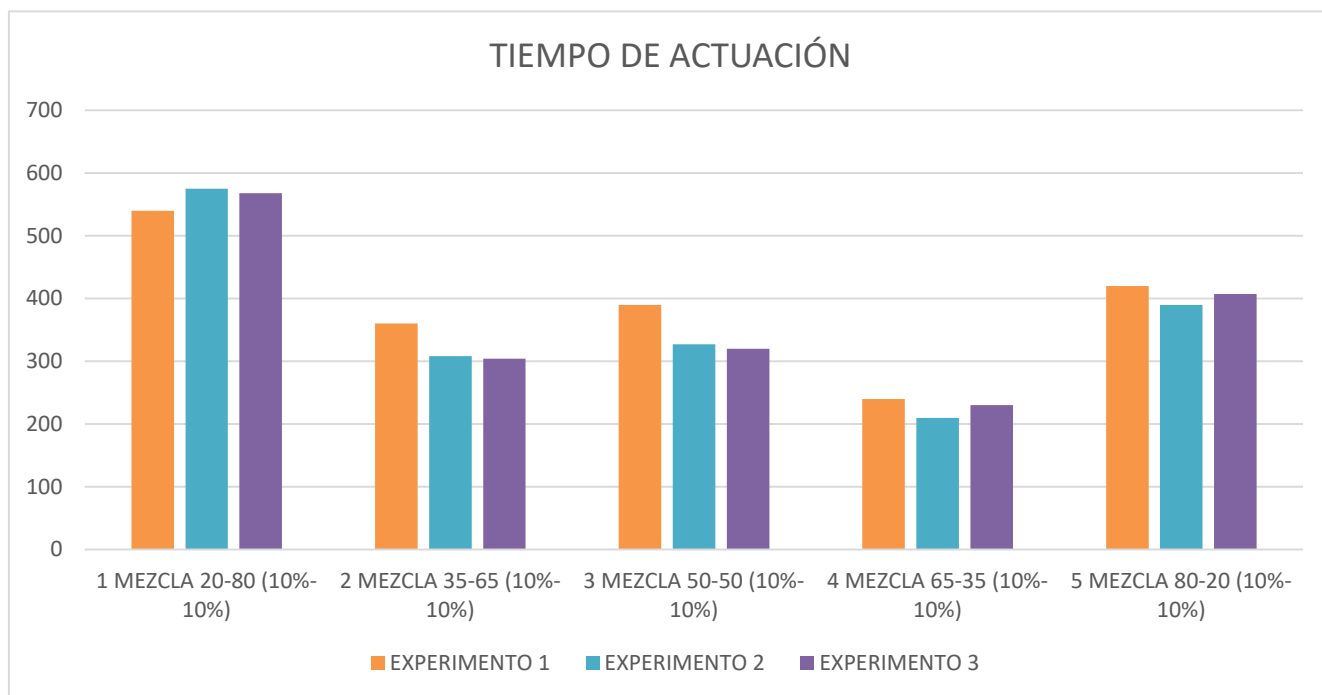


Figura 4-7 Representación gráfica de la Tabla 4-7 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura.

La microemulsión 20-80, presenta tiempos de actuación mayores en todos los experimentos respecto al resto de microemulsiones.

La microemulsión 65-35 tiene los tiempos más cortos con valores de 240, 210 y 230 segundos.

4.1.8 Resultados con pintura de spray innasa, marine paint (15%-15%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la segunda pintura para las proporciones 15%-15%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, muestran los tiempos de reacción hasta la eliminación total de la pintura.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO 3 (s)
1 muestra 20-80 (15%-15%)	150	135	142
2 muestra 35-65 (15%-15%)	194	187	200
3 muestra 50-50 (15%-15%)	360	392	400
4 muestra 65-35 (15%-15%)	180	180	175
5 muestra 80-20 (15%-12%)	1200	1200	1200

Tabla 4-8 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 15% surfactante y 15% cosurfactante

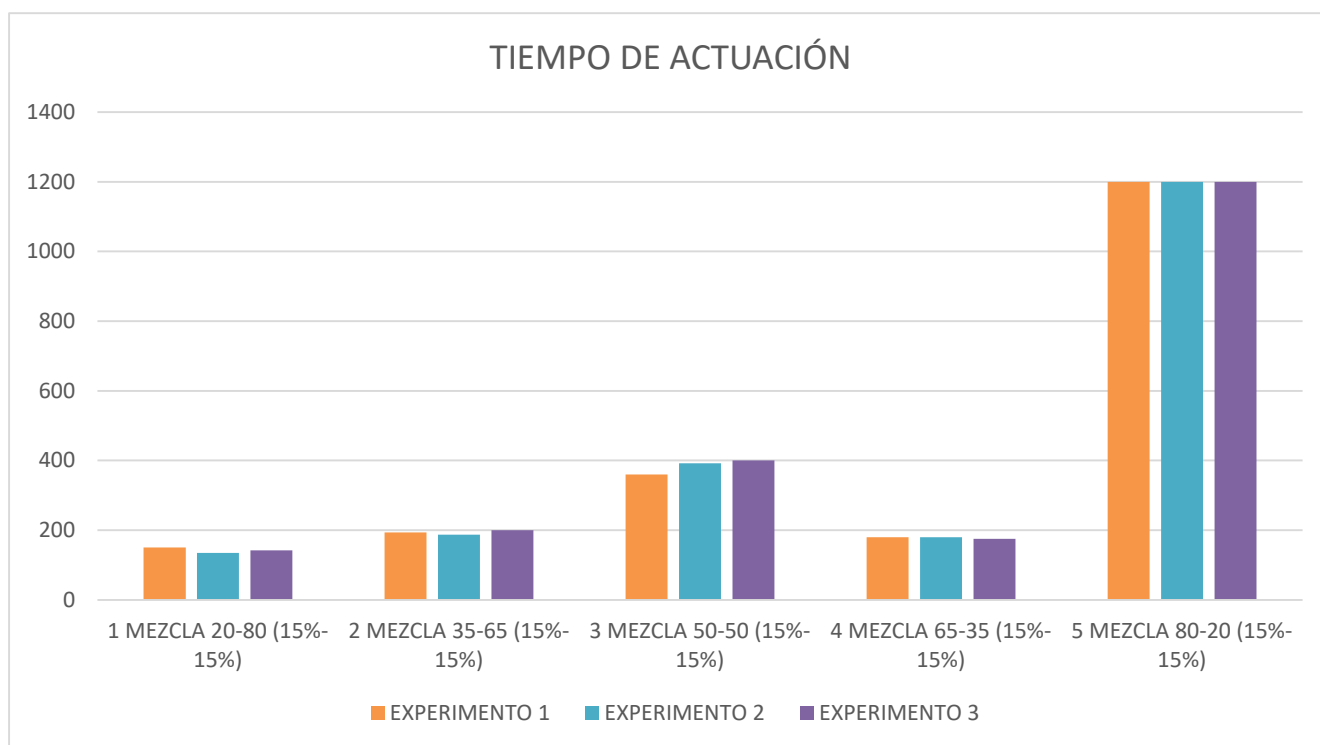


Figura 4-8 Representación gráfica de la Tabla 4-8 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura

La microemulsión 20-80 es la que presenta tiempos de actuación menores y la que presenta tiempos mayores es la muestra 80-20 con tiempos de más de 20 minutos.

4.1.9 Resultados con pintura de spray innasa, marine paint (20%-20%)

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las primeras 20 muestras reaccionando con la segunda pintura para las proporciones 20%-20%. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, muestran los tiempos de reacción hasta la eliminación total de la pintura.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO 3 (s)
1 muestra 20-80 (20%-20%)	600	660	780
2 muestra 35-65 (20%-20%)	180	185	180
3 muestra 50-50 (20%-20%)	150	150	160
4 muestra 65-35 (20%-20%)	240	240	235
5 muestra 80-20 (20%-20%)	1500	1500	1500

Tabla 4-9 Resultados de las reacciones para una concentración teórica de 20% surfactante y 20% cosurfactante

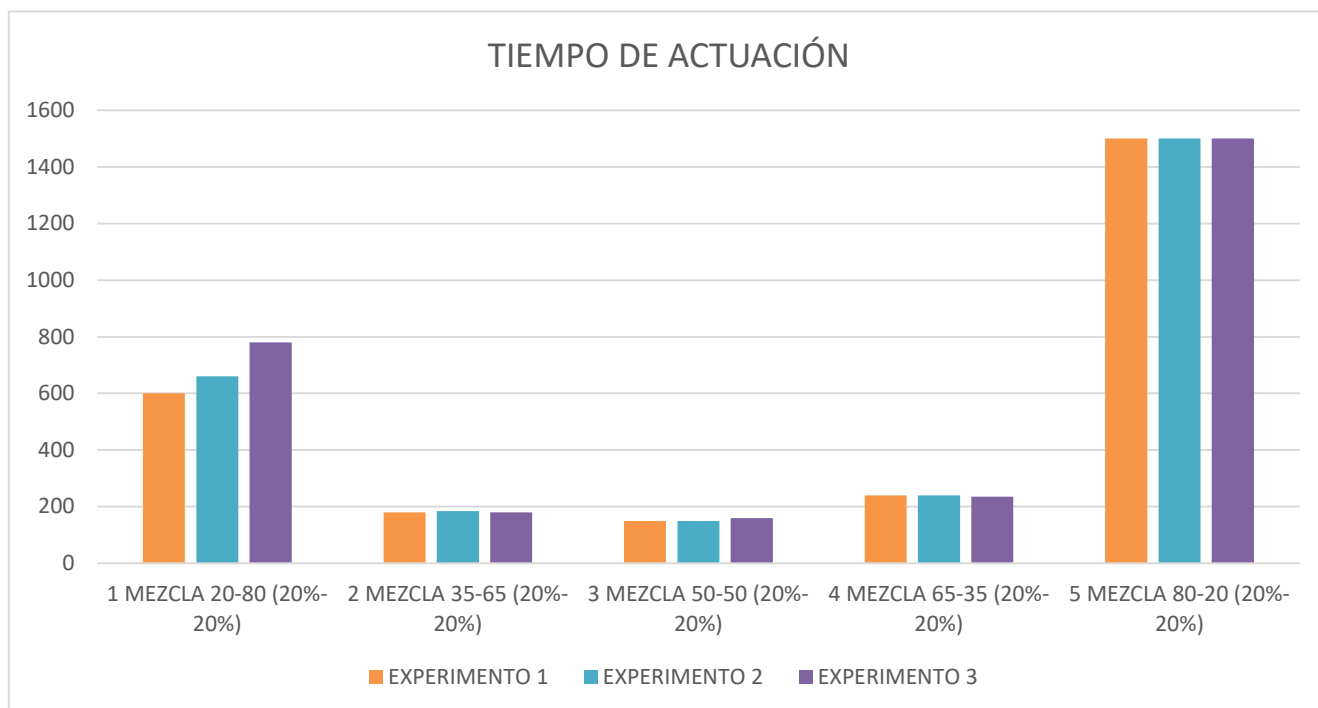


Figura 4-9 Representación gráfica de la Tabla 4-9 del tiempo de reacción entre la microemulsión y la pintura

Aquella que presenta un menor tiempo es la de 50-50 seguida de la microemulsión 35-65. Por el contrario, destaca la de 80-20 por tener un tiempo de más de 25 minutos.

4.1.10 Observaciones generales

Los gráficos y tablas anteriores muestran el tiempo de reacción de diferentes microemulsiones con distintas concentraciones de agua, aceite, surfactante y cosurfactante. Los tiempos más bajos se representan en la siguiente tabla.

CONCENTRACIÓN	MICROEMULSION MÁS RÁPIDA	TIEMPO (s)
5%-5%	80-20	180-190
10%-10%	65-35	210-240
15%-15%	20-80	135-150
20%-20%	50-50	150-160

Tabla 4-10 Selección de las microemulsiones de menor tiempo

Las microemulsiones con concentraciones 5%-5% los tiempos de reacción son menores para aquellas que tienen mayor cantidad de agua en la muestra. Lo contrario ocurre con las microemulsiones cuyas cantidades de surfactante y cosurfactante son mayores, 15%-15% y 20%-20%, las de menor tiempo son las de mayor concentración de aceite o las que tienen concentraciones de agua y aceite equilibradas.

Los gráficos muestran para este tipo de pintura, que a mayor concentración de surfactante y cosurfactante, 15%-15% y 20%-20%, los tiempos de reacción son menores que para los de 5%-5% y 10%-10%. Esto se debe a que la pintura de spray tiene mejores propiedades que la de esmalte, según los expertos de este sector.

Estudiados los datos, se ha determinado como microemulsión óptima la microemulsión 20-80 de 15%-15% debido a que tiene el menor tiempo de reacción, además de que presenta mayor concentración de aceite el cual atrapa mejor las resinas y polímeros de las pinturas. También se ha seleccionado la microemulsión 50-50 de 20%-20% por tener tiempos bajos. Como se ha dicho anteriormente, se necesita mayores proporciones de surfactante y cosurfactante para eliminar esta pintura la cual posee mejores características en comparación con la de esmalte industrial naval Proarapid



Figura 4-10 Decapado con la microemulsión 20-80 (15%-15%)

4.1.11 Resultados con esmalte industrial naval Proarapid para la microemulsión 20-80 (15%-15%) y 50-50 (10%-10%) elaborada con disolvente convencional.

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las muestras 20-80 (15%-15%) y 50-50 (10%-10%). Al ser seleccionadas como las óptimas para la pintura de esmalte, se procedió a realizar el mismo experimento, pero esta vez sustituyendo el éster dibásico por un disolvente bicapa convencional. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, muestran los tiempos de reacción hasta la eliminación total de la pintura.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO 3 (s)
20-80 (15%-15%)	197	229	223
50-50 (10%-10%)	230	255	240

Tabla 4-11 Tiempos de reacción con la microemulsión a base de disolvente bicapa

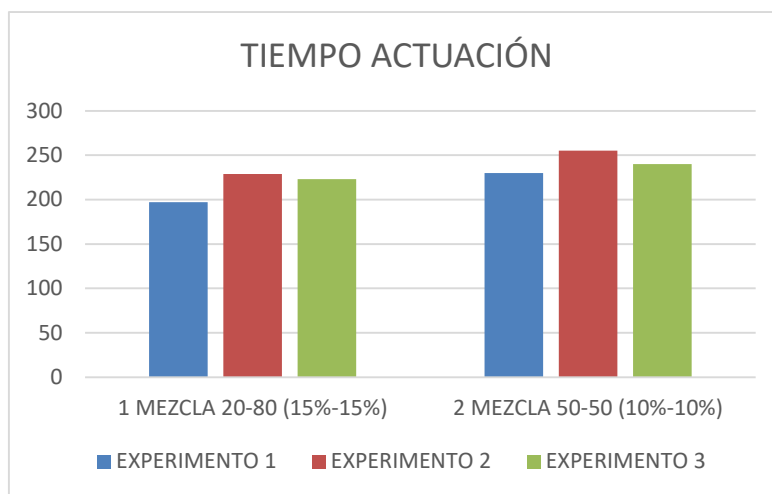


Figura 4-11 Representación gráfica de la Tabla 4-11

4.1.12 Observaciones generales

La finalidad de crear las microemulsiones seleccionadas como óptimas, pero sustituyendo el éster dibásico por un disolvente convencionales, es poder hacer una comparativa entre unas y otras y determinar las ventajas que ofrece aquellas en cuya composición poseen éster dibásico.

En cuanto a la microemulsión 20-80 (15%-15%) tiene tiempos muy similares entre los tres experimentos realizados y comparándola con la misma muestra a base de éster dibásico, muestra tiempo de actuación prácticamente iguales, por lo que su efectividad es semejante.

La microemulsión 50-50 (10%-10%) al igual que la anterior, tienen tiempos parecidos entre los tres tiempos tomados y no presenta prácticamente ninguna diferencia con la microemulsión óptima formulada con éster dibásico.

Esmalte (éster dibásico)	Tiempo medio (s)	Esmalte (disolvente)	Tiempo medio (s)
50-50 (10%-10%)	234	50-50 (10%-10%)	241
20-80 (15%-15%)	214	20-80 (15%-15%)	216

Tabla 4-12 Comparativa entre microemulsiones según su tiempo medio

En lo que respecta a la concentración de cosurfactante es importante señalar que se requiere una cantidad considerablemente mayor para estabilizar la microemulsión, por lo menos el doble que aquella compuesta por éster dibásico. Esta diferencia se debe a las interacciones moleculares entre los compuestos del sistema, que varían en función de la estructura química del disolvente, su polaridad y el tipo de surfactante empleado. La necesidad de una mayor proporción de cosurfactante responde al equilibrio que debe alcanzarse para formar microemulsiones estables y transparente, lo cual depende en su gran medida de las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los componentes de la mezcla.

Que ambas muestran tengan esos tiempos de actuación demuestra que aquellas con mayor concentración de disolvente son más eficaces que aquellas con mayor cantidad de agua, debido a que la pintura se disuelve con compuestos orgánicos oleosos debido a sus propiedades y al estar formadas por resinas y polímeros, por lo que las moléculas de los disolventes penetran en las cadenas de los polímeros debilitándolas, rompiendo la interacción interna y por consiguiente disolviendo la pintura.

Se concluye que las microemulsiones formuladas con éster dibásico y aquellas formuladas con disolvente convencional actúan en tiempos semejantes. Sin embargo, las diferencias radican en la toxicidad, la contaminación y en lo económico. Mientras que aquellas compuestas por el disolvente tradicional son más económicas, su toxicidad provoca efectos nocivos para la salud como dificultades respiratorias, irritación en la piel. Esto incluido a su alta contaminación por la transmisión de COV's y

generando una reducción de la capa de ozono, además de que no son biodegradables, hacen que estas microemulsiones no sean aptas para el decapado de pinturas usadas en plataformas navales.

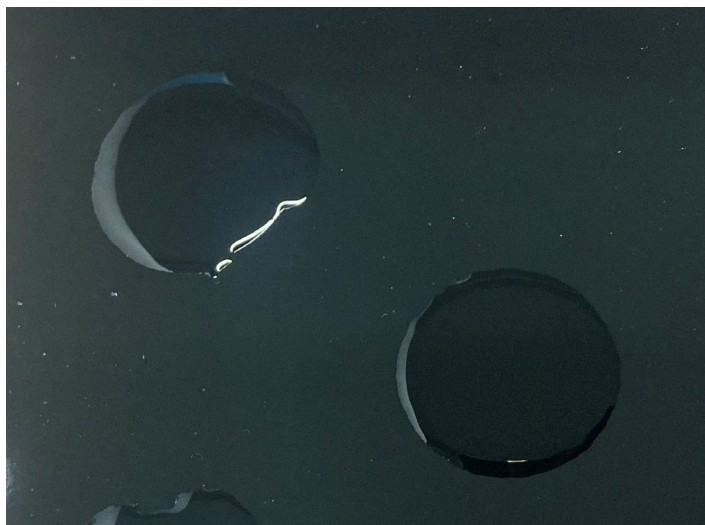


Figura 4-12 Nueva microemulsión formulada con disolvente sobre pintura de esmalte

4.1.13 Resultados con la pintura de spray innasa, marine paint para la microemulsión 35-65 y 50-50 (10%-10) elaborada con disolvente convencional.

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por las muestras 20-80 con la segunda pintura para las proporciones 15%-15% y la de 50-50 para las proporciones 20%-20%. Al ser éstas las seleccionadas como las óptimas para la pintura de spray, se procedió a realizar el mismo experimento, pero esta vez sustituyendo el éster dibásico por un disolvente bicapa convencional. Las tablas y gráficos que a continuación se adjuntan, muestran los tiempos de reacción hasta la eliminación total de la pintura.

MICROEMULSIÓN (W) / (A)	TIEMPO 1 (s)	TIEMPO 2 (s)	TIEMPO 3 (s)
20-80 (15%-15%)	110	116	112

Tabla 4-13 Tiempos de reacción con la microemulsión a base de disolvente bicapa

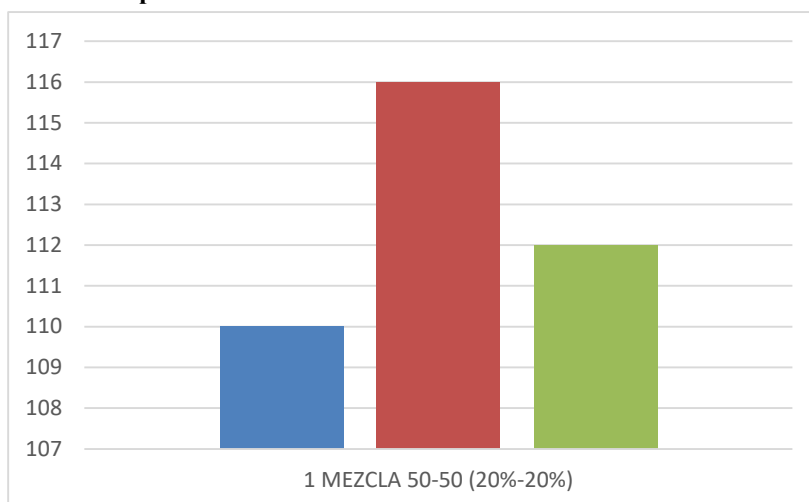


Figura 4-13 Representación gráfica de la Tabla 4-13

Se observa que la microemulsión 20-80 (15%-15%) tiene tiempos bastante bajos, incluso más bajos que a microemulsión formulada a base de éster dibásico, no obstante, apenas hay diferencia entre una y otra.

Hay que reseñar que la muestra 50-50 (20%-20%) no funcionó en un tiempo razonable. A pesar de haberse aplicado sobre la superficie durante un período prolongado de 20 minutos, esta microemulsión no logró eliminar la pintura de spray. Esto demuestra, que un decapado eficaz depende de las propiedades de las pinturas y de la composición y afinidad de los compuestos utilizados para la elaboración de las microemulsiones y que en algunos casos las microemulsiones ecológicas pueden funcionar incluso mejor que las tradicionales

Esmalte (éster dibásico)	Tiempo medio (s)	Esmalte (disolvente)	Tiempo medio (s)
50-50 (20%-20%)	153	50-50 (20%-20%)	-
20-80 (15%-15%)	142	20-80 (15%-15%)	112

Tabla 4-14 Comparativa entre microemulsiones según su tiempo medio

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones obtenidas según el estudio realizado y de los resultados obtenidos. El principal propósito consiste en la evaluación del cumplimiento de los objetivos establecidos al comienzo del trabajo.

Las plataformas navales requieren de un plan de mantenimiento eficiente para desempeñar sus funciones de manera segura y aprovechar al máximo su operatividad, lo que incluye una correcta limpieza de la pintura del casco tanto en las revisiones rutinarias, como en situaciones donde el deterioro de la pintura, debido a un desgaste acelerado, deriva en problemas de mayor envergadura como por ejemplo la formación de corrosión, aumento de incrustaciones en el casco y la liberación de partículas contaminantes al medioambiente incumpliendo las normativas ambientales. Un buen decapado de la pintura en situaciones que requieran de la reparación de las zonas afectadas es de especial relevancia para aumentar la vida útil del barco y asegurar navegaciones seguras.

En la actualidad, el empleo de disolventes convencionales para el decapado de pinturas usadas en plataformas navales es muy frecuente debido a sus bajos costes. Sin embargo, las industrias están a favor de soluciones más sostenibles y sin riesgos dañinos para sus operarios que cumplan con las normativas, el planteamiento de este trabajo trata de profundizar en este tipo de soluciones, siendo las conclusiones del mismo las siguientes:

- Se ha conseguido el objetivo principal, desarrollar y evaluar la eficacia de las microemulsiones en el decapado de pintura. Con los ensayos realizados, la evaluación y comparación de datos en las diferentes etapas de este estudio, se han ido adquiriendo evidencias que demuestran de la eficacia de las microemulsiones.

Esta conclusión principal se sustenta en las siguientes conclusiones obtenidas durante el desarrollo del trabajo

- En cuanto a las microemulsiones óptimas, es decir, aquellas cuyos tiempos de actuación son menores y estables,
 - **Para la pintura de esmalte** son las microemulsiones óptimas aquellas cuyas proporciones de agua y aceite son 50-50 y con una proporción teórica de surfactante y cosurfactante de 10%-10% y la microemulsión con proporción de agua y aceite 20-80 y proporciones teóricas de surfactante y cosurfactante de 15%-15%.
 - **Para la pintura en spray** son las microemulsiones óptimas aquellas cuyas proporciones de agua y aceite son aceite 20-80 y proporciones teóricas de surfactante

y cosurfactante de 15%-15% y aquella cuya proporción de agua y aceite es 50-50 con proporciones teóricas de surfactante y cosurfactante de 20%-20%.

- Visto lo anterior, es necesario personalizar las microemulsiones para cada tipo de pintura las cantidades de los compuestos y la selección de los mismos para la creación de microemulsiones, va a depender de las características y propiedades de las pinturas que las plataformas navales emplean. Se ha comprobado que para los distintos tipos de pintura es más eficaz una microemulsión u otra ya que una pintura es de mejor calidad que la otra, en este caso es mejor la pintura de spray que de esmalte ya que necesita más cantidad de surfactante y cosurfactante para estabilizar la muestra y eliminar por completo la pintura.
- Las microemulsiones son óptimas para el decapado de los dos tipos de pintura las cuales son usadas en plataformas navales. Cabe destacar que, todas las muestras realizadas con diferentes proporciones de los compuestos son válidas, sin embargo, dependiendo de las propiedades de las pinturas, unas microemulsiones reaccionan más deprisa y son más eficaces que otras.
- En definitiva, se concluye que es necesario personalizar las microemulsiones para cada pintura.
- En cuanto a la elaboración con las microemulsiones formuladas con disolvente bicapa,
 - Se ha necesitado una mayor cantidad de cosurfactante para estabilizar la mezcla. Esto permite demostrar que no solo es el tipo de pintura lo va a determinar la microemulsión óptima, sino que los compuestos usados, van desempeñan un papel importante para establecer las proporciones necesarias de surfactante y cosurfactante.
 - El tiempo de actuación es en todos los casos similar a las microemulsiones preparadas con éster dibásico, teniendo estas un carácter más ecológico, lo que permite sustituir a los reactivos convencionales, como el disolvente bicapa, facilitando su empleo en espacios abiertos, sin la necesidad de trabajar con las microemulsiones en espacios cerrados

Se puede concluir que el uso de microemulsiones asegura el paso hacia una industria más sostenible. El presente trabajo trata de sentar las bases para futuras investigaciones que optimicen el empleo de microemulsiones en la industria naval.

5.2 Líneas futuras

El presente TFG abre nuevas vías de investigación orientadas a perfeccionar el uso de microemulsiones en aplicaciones industriales. Entre las líneas futuras más relevantes se proponen:

- Optimización de formulaciones. Profundizar en la investigación de nuevas combinaciones de surfactantes y cosurfactantes, especialmente aquellos con menor impacto ambiental, que permitan mejorar la eficacia del decapado en diferentes tipos de pintura.
- Ampliación del estudio de pinturas. Sería conveniente analizar el comportamiento de las microemulsiones frente a una mayor variedad de pinturas utilizadas en plataformas navales, incluyendo aquellas con formulaciones más complejas o con aditivos específicos.
- Evaluación del ciclo de vida y análisis económico. Incorporar estudios de sostenibilidad que incluyan análisis de ciclo de vida y comparativas económicas detalladas permitirá justificar aún más su viabilidad como sustituto de los disolventes tradicionales.
- Estudio de la estabilidad y vida útil de las microemulsiones almacenadas. Evaluar cómo se comportan las microemulsiones a lo largo del tiempo, bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad o exposición al aire, permitirá optimizar su conservación.

6 BIBLIOGRAFÍA

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

- [1] P. C. González, «Gestión del mantenimiento: caso de éxito en el sector naval – Software GMAO». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://software.aeromarine.es/gestion-del-mantenimiento-caso-de-exito-en-el-sector-naval/>
- [2] Webadmin, «La importancia de un correcto mantenimiento de tu embarcación», Club Náutico Campello. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cncampello.com/2021/02/11/la-importancia-de-un-correcto-mantenimiento-de-tu-embarcacion/>
- [3] J. A. Salazar-Jiménez, «Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales», *Rev. Tecnol. En Marcha*, vol. 28, n.º 3, pp. 127-136, sep. 2015.
- [4] B. V. Stanisavljevic y B. A. Díaz, «Pinturas y sus aplicaciones en el ámbito marítimo».
- [5] «Décubrir los mejores métodos de decapado y sus aplicaciones». Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aerocap.es/pagina/167-tecnicas-decapado-eficaces>
- [6] Alfonso, «Decapantes Industriales: Tipos, Ventajas y Aplicaciones», BLOG DALMAR PROTECCIONES Y PINTURAS. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.proteccionesypinturas.com/comparativa-decapantes-industriales/>
- [7] «Sustancias disolventes peligrosas.pdf». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://istas.net/descargas/Sustancias%20disolventes%20peligrosas.pdf>
- [8] Alfonso, «Decapante que es y Aplicaciones En Entornos Industriales», BLOG DALMAR PROTECCIONES Y PINTURAS. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.proteccionesypinturas.com/decapante-que-es-y-aplicaciones-en-entornos-industriales/>
- [9] «"Danger related vector signs for your design, website or..."», iStock. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.istockphoto.com/es/vector/se%C3%B1ales-de-peligro-gm164389791-12512351>
- [10] «Todo sobre los componentes orgánicos volátiles de la pintura (COV)». Accedido: 8 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.manomano.es/consejos/todo-sobre-los-componentes-organicos-volaticos-de-la-pintura-cov-9293>
- [11] «Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.».
- [12] Ministerio de la Presidencia, *Real Decreto 227/2006, de 24 de febrero, por el que se complementa el régimen jurídico sobre la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de*

- vehículos*, vol. BOE-A-2006-3377. 2006, pp. 7776-7781. Accedido: 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/02/24/227>
- [13] «IUPAC Gold Book - emulsion». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20120310221658/http://goldbook.iupac.org/E02065.html>
- [14] «Emulsión Química - Concepto, fases, tipos y ejemplos», <https://concepto.de/>. Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/emulsion-quimica/>
- [15] «Wayback Machine». Accedido: 19 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://web.archive.org/web/20170112080749/http://www.firp.ula.ve/archivos/pdf/06_JPCM_Mas on.pdf
- [16] farmaceuticosocial, «Microemulsión-Nanoemulsión y Transporte Lipídico Nanoestructurado», Boticariosociocomun. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://farmaceuticosocial.wixsite.com/boticariosociocomun/post/microemulsión-nanoemulsión-y-transporte-lipídico-nanoestructurado>
- [17] «Salager et al. - 2015 - Formulación de Microemulsiones por el Método del H.pdf». Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S211T.pdf>
- [18] «Practica_9.-_Elaboracion_de_microemulsiones.pdf». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47667/mod_resource/content/1/10122015_practicas/Practica_9._Elaboracion_de_microemulsiones.pdf
- [19] «16432988.pdf». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1306/16432988.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [20] «IUPAC definition», surfactantsandmicroemulsions. Accedido: 19 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://surfactantsandmicroemulsions.wordpress.com/microemulsion/iupac-definition/>
- [21] K. Holmberg, B. Jönsson, B. Kronberg, y B. Lindman, *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*, 1.^a ed. Wiley, 2002. doi: 10.1002/0470856424.
- [22] B. H. Lipshutz y S. Ghorai, «“Designer”-Surfactant-Enabled Cross-Couplings in Water at Room Temperature», *Aldrichimica Acta*, vol. 45, n.º 1, pp. 3-16, ene. 2012.
- [23] Department of Chemistry UI, Indonesia. She is now with Material and Chemical Research, Research Technology Centre of PT Pertamina, Indonesia, A. P. Gustianthy, Y. K. Krisnandi, Departement of Chemistry UI, Indonesia, U. Usman, y Chemical and Petrochemical Research, Research and Technology Centre of PT Pertamina, Indonesia, «Application of Non Ionic Surfactant – Alkylpolyglucoside as Chemical Flooding», *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, vol. 10, n.º 4, pp. 121-125, ago. 2019, doi: 10.18178/ijcea.2019.10.4.753.
- [24] «Microemulsión», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 21 de octubre de 2024. Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Microemulsi%C3%B3n&oldid=163144402>
- [25] J. R. Cubero, «Disolventes - Qué son, tipos, usos, comparativas, clasificación», <https://www.raipintores.com/>. Accedido: 10 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.raipintores.com/blog/disolventes-tipos-usos/>
- [26] «Etanol», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 14 de febrero de 2025. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Etanol&oldid=165418913>
- [27] «Benceno», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 8 de febrero de 2025. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Benceno&oldid=165276634>
- [28] «Agua - Concepto, propiedades y características», <https://concepto.de/>. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/agua/>

- [29] «Amoníaco», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 11 de febrero de 2025. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Amon%C3%ADaco&oldid=165333860>
- [30] I. Nature, «¿Qué son los tensioactivos?», Idun Nature. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.idun-nature.com/blog/archivos/que-son-los-tensioactivos/>
- [31] J.-L. Salager, R. Antón, y J. Anderez, «Formulación de Microemulsiones por el Método del HLD», n.º 2, 2015.
- [32] «Micela», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 19 de febrero de 2025. Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Micela&oldid=165533467>
- [33] «Micelas». Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://biomodel.uah.es/model2/lip/micelas.htm>
- [34] «Tensoactivo», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 20 de marzo de 2024. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tensoactivo&oldid=158925045>
- [35] «Propan1ol.png (409×232)». Accedido: 24 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Propan1ol.png>
- [36] «1-Pentanol», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 10 de agosto de 2023. Accedido: 24 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=1-Pentanol&oldid=152985072>
- [37] «Ácido láurico», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 31 de julio de 2024. Accedido: 24 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%81cido_1%C3%A1urico&oldid=161602524
- [38] T. F. Tadros, *Applied Surfactants: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, 2006.
- [39] K. Holmberg, B. Jönsson, B. Kronberg, y B. Lindman, *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*, 1.^a ed. Wiley, 2002. doi: 10.1002/0470856424.
- [40] «Arthur W. Adamson, Alice P. Gast - Physical chemistry of surfaces-Wiley (1997).pdf». Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/Arthur%20W.%20Adamson,%20Alice%20P.%20Gast%20-%20Physical%20chemistry%20of%20surfaces-Wiley%20\(1997\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/Arthur%20W.%20Adamson,%20Alice%20P.%20Gast%20-%20Physical%20chemistry%20of%20surfaces-Wiley%20(1997).pdf)
- [41] «Todo sobre resinas acrílicas: Guía y ventajas de su uso en tus pavimentos.», Blog de Microcementos Online. Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://microcementosonline.com/blog/guia-resinas-acrilicas/>
- [42] «Industrial cleaners | Formulations for industrial and workshop applications», ESTI CHEM A/S. Accedido: 5 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://estichem.com/applications/industrial-cleaners>
- [43] L. L. Schramm, «Further Titles of Interest».
- [44] C. Solans y H. Kunieda, *Industrial Applications of Microemulsions*. CRC Press, 1996.
- [45] «Esmalte sintético industrial naval. brillante. proarapid. - S1 | Pinturas Proa». Accedido: 4 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pinturasproa.com/es/p/esmalte-proarapid>
- [46] «¿Qué es Antifouling y cómo debo elegirlo? – PERCHAN SA». Accedido: 4 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://perchan.com/que-es-antifouling-y-como-debo-elegirlo/>
- [47] «Conoce Que Es El Lauril Sulfato De Sodio». Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.globalcomposites.es/glossary/lauril-sulfato-de-sodio-sodium-lauryl-sulfate/>
- [48] «Agua ultrapura | Las diferentes variedades y sus usos | ELGA LabWater». Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.elgalabwater.com/ultrapure-water>
- [49] H. Wang, «Éster dibásico (DBE) N° CAS 95481-62-2 También conocido como éster dibásico DBE o éster dibásico (DBE)», Weifang Integratechem Co., Ltd. Accedido: 3 de marzo de 2025. [En

línea]. Disponible en: <https://integratechem.com/es/dibasic-ester-cas-no-95481-62-2-also-known-as-dbe-dibasic-ester/>

[50]

«snowwhitechem.com/es/Productsinfo.aspx?ProductsID=108&ProductsCateId=125&CurrCateID=113&CateID=125#:~:text=El Éster Dibásico Mixto (DBEs,ebullición y solvencia extra fuerte.»
Accedido: 3 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en:
<http://snowwhitechem.com/es/Productsinfo.aspx?ProductsID=108&ProductsCateId=125&CurrCateID=113&CateID=125>

[51] «alcohol YBK etílico 96° 1000 ml», PARAFARMIC. Accedido: 3 de marzo de 2025. [En línea].
Disponible en: <https://www.parafarmic.com/alcohol-etilico-96-grados-1000ml?srsltid=AfmBOor44omvfyoEhMSIS8uFxRMrGwh8p-rZYm03EZ5yqh3PJeFvWQ6Q>

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

El uso de microemulsiones en el decapado de pinturas en plataformas navales tiene importantes beneficios sociales en términos de seguridad laboral, condiciones de trabajo, impacto en comunidades cercanas a industrias navales y cumplimiento de normativas, consolidando a los astilleros que las adoptan como referentes en tecnologías limpias y seguras.

- Impacto en la seguridad y salud de los trabajadores: las microemulsiones reducen la exposición a vapores tóxicos en comparación con los disolventes tradicionales, reducen el riesgo de irritación respiratoria y enfermedades a largo plazo. Destacan por no ser inflamables y por ser más seguras en espacios confinados en comparación con los disolventes convencionales (tanques o interiores de los buques).
- Mejoras en las condiciones laborales en el sector naval: disminuyen la necesidad de equipos de protección personal especializados, al eliminar fuertes olores y vapores irritantes. Además, facilitan el cumplimiento de normativas de seguridad y reducen la generación de residuos peligrosos.
- Beneficios para comunidades cercanas a industrias navales: al no emitir COV's se mejora la calidad del aire en zona próximas a astilleros, reduciendo el impacto ambiental. Esta reducción de impacto ambiental genera una mejora de aceptación social. Por otra parte, impulsan la formación y cualificación profesional en el sector, creando nuevas oportunidades laborales.
- Cumplimiento de normativas: facilitan el cumplimiento de regulaciones como la Directiva 98/24/CE de la UE en relación a la relativa protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante su jornada laboral.

Por otra parte, el uso de microemulsiones en el decapado de pinturas navales tiene repercusiones económicas, como costos, impacto ambiental y necesidades de inversión. A pesar de que su inversión inicial es más costosa, a largo plazo reduce costos operativos y logísticos.

- Costos en comparación con disolventes tradicionales: a pesar de que su costo puede ser mayor que el de algunos disolventes tradicionales, su alto contenido de agua reduce el costo real del producto. Los métodos tradicionales implican gastos adicionales en equipos de protección, ventilación y gestión de residuos peligrosos. De esta manera, las microemulsiones disminuyen estos costos, reduciendo la inversión en seguridad y tratamientos de residuos.
- Beneficios económicos derivados de la sostenibilidad: el empleo de microemulsiones evita la emisión de COV's y la generación de residuos peligrosos lo que reduce las sanciones ambientales a las industrias.
- Inversión y mantenimiento: su aplicación se realiza de manera sencilla para reducir los costos operativos. Requieren de un mantenimiento básico de equipos y un almacenamiento sencillo ya que no son inflamables.

Este nuevo método conlleva importantes beneficios medioambientales, en comparación con los métodos tradicionales de decapado basados en disolventes orgánicos. Las microemulsiones representan una alternativa ecológica y sostenible reforzando el compromiso del sector naval con la sostenibilidad.

- Reducción de emisiones contaminantes y COV's: son biodegradables y menos tóxicas, disminuyen la emisión de compuestos orgánicos volátiles, de manera que reducen la contaminación atmosférica y los efectos sobre la salud. No contienen compuestos halogenados ni metales pesados, lo que facilita el cumplimiento de normativas ambientales como las Directivas 1999/13/CE, la cual regula las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) en la industria y 2004/42/CE que limita el contenido de COV's en pinturas y barnices
- Comparación con métodos tradicionales: menor impacto ambiental en su producción al requerir de menos derivados del petróleo que otros disolventes. Además, tienen una menor huella de carbono por lo que consumen menos energía al no requerir sistemas de extracción de vapores.
- Beneficios en la protección de ecosistemas marinos: facilitan la contención y la gestión segura de los residuos de pintura, protegiendo la fauna y flora marina, reduciendo así la contaminación química y alineándose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14 (ODS 14) de la ONU, es decir, proteger y conservar los ecosistemas marinos para garantizar su uso sostenible.
- Cumplimiento de normativas ambientales: se alinean con regulaciones como el Convenio MARPOL y el Convenio Internacional AFS 2001, que exigen métodos de limpieza menos contaminantes en la industria naval. Cumplen con las directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre la gestión de residuos.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El empleo de microemulsiones para el decapado de plataformas navales ofrece importantes avances con implicaciones éticas y sociales clave que van más allá de la mejora técnica. Las microemulsiones son mezclas estables de agua, aceite, surfactante y cosurfactante que se proponen como alternativas más limpias en procesos de mantenimiento. Es un enfoque que tiene impactos positivos en la sostenibilidad ambiental, la seguridad laboral y la responsabilidad social.

- **Ética y sostenibilidad:** la industria naval es una parte significativa de la contaminación global, por lo que tiene la obligación ética de reducir su huella ambiental. La alternativa de las microemulsiones en procesos de limpieza contribuye a disminuir la emisión de contaminantes atmosféricos, como gases nocivos, sin la necesidad de sacrificar la operatividad y eficiencia de los trabajos a realizar. Esto ayuda a mitigar problemas como el cambio climático y la contaminación del ecosistema marino. Las microemulsiones presentan una ética preventiva ya que permiten la implementación de tecnologías más limpias antes de que ocurran daños ecológicos. Este nuevo método demuestra que la sostenibilidad en la industria naval no solo depende de la eficiencia técnica, sino de las decisiones éticas que prioricen el bienestar del medio ambiente y del ecosistema marino.
- **Impacto en el bienestar de los trabajadores:** la introducción de microemulsiones en la industria naval tiene beneficios directos para los trabajadores, quienes están expuestos a sustancias tóxicas, como los disolventes, los cuales son productos que representan riesgos para la salud a largo plazo. Las microemulsiones no son tóxicas y no generan COV's por lo que ofrecen un entorno laboral mucho más seguro, reduciendo problemas respiratorios y reacciones en la piel. La responsabilidad ética de las empresas es proteger la salud de sus operarios adoptando tecnologías más seguras y evaluando alternativas que disminuyan los riesgos laborales.
- **Responsabilidad social en la industria naval:** las comunidades locales cercanas a las actividades navales, como los puertos y astilleros, se benefician de la adopción de las microemulsiones al reducir la contaminación del aire y del agua. De esta manera se mejora la calidad del entorno lo que implica que la percepción pública hacia las industrias mejore y se vea fortalecida. La ética empresarial exige, además, que las empresas sean transparentes en la gestión de residuos y emisiones, informando a la comunidad sobre sus prácticas y asegurando que cumplen con las normativas ambientales. Las industrias deben colaborar con los gobiernos para fomentar regulaciones que incentiven prácticas sostenibles, como el uso de combustibles más limpios, y debe ir más allá de los requisitos legales, apoyando el desarrollo de tecnologías como las microemulsiones a través de la investigación y la innovación.

El uso de microemulsiones en plataformas navales no solo mejora el rendimiento operativo y reduce costos, sino que también refleja un compromiso ético y social hacia la protección del medio ambiente, la salud de los trabajadores y el bienestar de las comunidades locales. Este enfoque demuestra que es posible innovar de manera eficiente y responsable, equilibrando la sostenibilidad económica con la ética social. La industria naval, al adoptar estas tecnologías, tiene la oportunidad de liderar un cambio positivo, demostrando que la tecnología y la ética pueden avanzar juntas hacia un futuro más sostenible y justo.