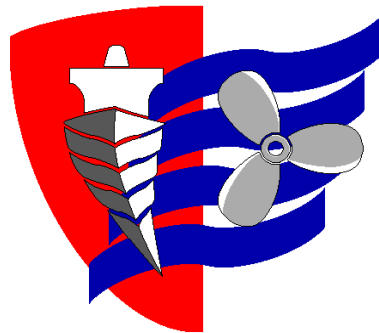


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

PROCESO DE LAVADO DE TANQUES DE UN BUQUE QUIMQUERO TRAS LA DESCARGA DE ACEITES VEGETALES

TANK CLEANING PROCESS FOR A CHEMICAL TANKER VESSEL AFTER DISCHARGING VEGETABLE OILS

**Para acceder al Título de Máster Universitario en:
Ingeniería Náutica y Gestión Marítima**

Autor: Cristòfol Pons Vidal
Director: Francisco José Correa Ruiz

Septiembre 2020

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

Trabajo Fin de Máster

**PROCESO DE LAVADO DE TANQUES DE UN
BUQUE QUIMQUERO TRAS LA DESCARGA
DE ACEITES VEGETALES**

**TANK CLEANING PROCESS FOR A CHEMICAL TANKER
VESSEL AFTER DISCHARGING VEGETABLE OILS**

**Para acceder al Título de Máster Universitario en:
Ingeniería Náutica y Gestión Marítima**

Septiembre 2020

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster, así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

Índice

Índice.....	I
Resumen y Palabras clave.....	III
Summary and Keywords	IV
I.- INTRODUCCIÓN.....	5
II.- MEMORIA DESCRIPTIVA.....	7
II.1.- Planteamiento del problema	7
II.1.1.- Hipótesis de partida.....	7
II.1.2.- Hipótesis de resultado	8
II.2.- Herramientas de resolución	9
II.2.1.- Definiciones.....	9
II.2.2.- Herramienta de resolución I: Conceptos generales de buques quimiqueros	11
II.2.3.- Herramienta de resolución II: Los aceites vegetales y su transporte por mar	28
II.2.4.- Herramienta de resolución III: Sistemas y métodos de lavado	34
II.2.5.- Herramienta de resolución IV: Inspección y certificación de la calidad de la limpieza.....	45
II.2.6.- Otras herramientas.....	50
II.3.- Metodología	54
II.3.1.- Tareas previas a la operación de limpieza	54
II.3.2.- Operación de limpieza.....	61
III.- APLICACIÓN PRÁCTICA.....	77
III.1.- Flujograma correspondiente a las tareas previas a la operación de limpieza.....	77

III.2.-	Flujograma correspondiente al prelavado con descarga a terminal	78
III.3.-	Flujograma correspondiente a la operación de lavado.....	79
IV.-	CONCLUSIONES.....	84
	Índice de Ilustraciones.....	85
	Referencias citadas.....	87
V.-	ANEXOS.....	88
V.1.-	Anexo I: Temperaturas recomendadas por FOSFA para el transporte de aceites y grasas vegetales.....	88
V.2.-	Anexo II: Permiso de calentamiento de la carga por encima de las recomendaciones de FOSFA para evitar el prelavado amarrados en la terminal ..	93
V.3.-	Anexo III: Procedimiento de entrada a espacios cerrados	94
V.4.-	Anexo IV: Lista de comprobación de entrada a espacios cerrados.....	98

Resumen y Palabras clave

Resumen

Las operaciones de carga, descarga y limpieza de tanques en los buques quimiqueros son de elevada complejidad. Este último proceso es el más delicado por la cantidad de recursos humanos, técnicos y económicos que confluyen en él.

Los conocimientos para las operaciones de limpieza solamente se pueden adquirir por experiencia. Es por ello, que cuando un alumno embarca en estos buques rápidamente se tiene que integrar en el desarrollo de la vida a bordo y las tareas encomendadas ya que éste tendrá que aprender unos conocimientos específicos lo antes posible para así poder ayudar a los oficiales en el desarrollo de sus tareas.

Mediante los conocimientos adquiridos en varios años de trabajo en estos buques, el autor presenta los conceptos necesarios para entender la estructura del buque quimiquero, los tipos de carga que transportan y las operaciones de limpieza enfocadas a cuando los tanques están sucios de restos de aceites vegetales, una de las cargas más comunes transportadas en este tipo de buques como el aceite de palma, el aceite de girasol y el aceite de soja.

El resultado de la aplicación de estos conceptos teóricos es la obtención de un procedimiento para el desarrollo de estas operaciones y un flujograma de tal manera que su evolución quedará plasmada tanto de manera teórica como práctica.

Palabras clave

- TRANSPORTE MARITIMO
- BUQUE
- ACEITE VEGETAL
- QUÍMICA
- LIMPIEZA DE TANQUES

Summary and Keywords

Summary

Loading, discharging and tank cleaning operations on chemical tankers are highly complex operations. This last process is the most delicate due to the amount of human, technical and economic resources that come together in it.

The knowledge for tank cleaning operations can only be acquired by experience. For this reason, when a cadet signs on these vessels, he or she have to integrate quickly into the development of life on board and the tasks entrusted to it, since they will have to learn specific knowledge as soon as possible in order to assist the deck officers in the development of their tasks.

By means of the knowledge acquired during several years of work on this type of vessels, the author introduces the necessary concepts to understand the structure of the chemical tanker, the types of cargo that can be loaded on them and the tank cleaning operations for vegetable oils, one of the most common cargoes shipped on this type of vessels such as palm oil, sunflower oil and soybean oil.

The result of the application of these theoretical concepts is the obtainment of a procedure for the development of these operations and a flow diagram in such a way that their evolution will be reflected both theoretically and practically.

Keywords

- MARITIME TRANSPORT
- VESSEL
- VEGETABLE OILS
- CHEMISTRY
- TANK CLEANING

I.- INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los buques quimiqueros se remonta a mediados de la década de 1940 cuando surgió la necesidad del transporte de productos químicos en grandes cantidades. Hasta entonces, el transporte de estos productos se realizaba mediante bidones que ofrecían la ventaja de que podían estibarse en cualquier buque de carga, sin embargo, no eran adecuados para cargamentos de grandes volúmenes. En aquellos años ya existía el buque tanque como tal pero solamente se dedicaban al transporte de petróleo y sus derivados.

El crecimiento de la industria alrededor del mundo tras el fin de la Segunda Guerra Mundial y el surgimiento de nuevos productos petroquímicos requirió de un tipo de buque, que se dedicara al transporte de dichos productos. Tras unos años de experimentación con viejos buques petroleros adaptados, en 1954 entró en servicio el primer buque quimiquero construido como tal, el Marine Dow-Chem (ICS, 2014). A partir de este hito, la evolución fue más rápida y se caracterizó por la especialización; los buques se empezaron a construir y diseñar para el transporte de sustancias nocivas líquidas y surgió una flota de buques exclusivamente dedicados al transporte de estos cargamentos más delicados.

Desde entonces, el sector ha experimentado una creciente demanda hasta alcanzar un tonelaje total de 46 millones de toneladas en 2019 representando el 2.3 % del tonelaje mundial total con un incremento del 4 % respecto a 2018 lo que significa que el sector sigue creciendo a un ritmo estable (UNCTAD, 2019). Continuamente aparecen nuevas sustancias y mezclas de sustancias en el mercado por lo que el futuro del sector está asegurado a largo plazo.

Estos cargamentos requieren un delicado manejo por la peligrosidad que pueden suponer para la salud humana como para el medio ambiente. Es por ello que la industria química exige elevados estándares de seguridad y los mantiene bajo un estricto control mediante inspecciones periódicas.

Tal nivel de control obliga a que los buques sean tecnológicamente muy avanzados y requieran de tripulaciones altamente cualificadas y con experiencia en buques tanque. Por estas razones, las compañías navieras invierten una importante cantidad de sus presupuestos en formación de nuevos oficiales y formación continua a sus tripulantes.

El trabajo que sigue tras estos párrafos tiene se desarrolla como una guía para oficiales de la marina mercante y alumnos de cubierta que estén interesados en desarrollar su vida laboral o sus prácticas académicas en los buques quimiqueros así como docentes que impartan asignaturas relacionadas con el transporte marítimo de cargamentos líquidos.

El documento está estructurado de manera que se puede acceder fácilmente a los conceptos teóricos y técnicos necesarios para entender el funcionamiento básico de este tipo de buques para entender cómo se desarrolla el proceso de limpieza de tanques. Esta operación es delicada ya que en ese momento el buque, o parte de él, está vacío por lo que no genera ingresos. Del resultado de esta operación se esperan siempre buenos resultados para poder cargar productos más sensibles y delicados lo que repercutirá en mayores ingresos para la compañía. La elección de los aceites vegetales es elección propia del autor debido a su experiencia en operaciones con estas sustancias y debido a la complejidad que requiere su manejo una vez a bordo del buque.

II.- MEMORIA DESCRIPTIVA

II.1.- Planteamiento del problema

La complejidad de todas las operaciones llevadas a cabo a bordo de un buque obliga a las empresas navieras a crear procedimientos de seguridad para prácticamente cualquier actividad que se vaya a realizar, ya sea operativa o de mantenimiento. Estos procedimientos son integrados en el Sistema de Gestión de la Seguridad de la compañía y son de obligado cumplimiento una vez aprobados.

Todo procedimiento tiene como objetivo prioritario que la operación que instruye o describe se realice dentro de los estándares de seguridad, preservando la integridad de los trabajadores de la mar, y sea respetuosa con el medio ambiente siguiendo las indicaciones de los convenios internacionales por los que se rige la industria del transporte marítimo.

En este trabajo, el autor, a través de su experiencia como alumno y oficial de buques quimiqueros, pretende detallar el proceso de lavado de tanques tras un viaje en el que se hayan transportado aceites vegetales mediante el uso de conocimientos y herramientas adquiridos en las asignaturas de *Sistemas Integrados de Gestión y SIG Aplicados a la Manipulación y Estiba de la Carga, al Control del Funcionamiento del Buque y al Cuidado de las Personas a Bordo*.

Los procedimientos del buque deben evolucionar a medida que se adquiere experiencia con ellos. La Mejora Continua consiste en que los procedimientos incorporen lo que se aprende cuando se aplican. No se concibe, por tanto, que ningún elemento del sistema de gestión del buque sea estático.

II.1.1.- Hipótesis de partida

Este documento se basa en las disposiciones del Código Internacional de Quimiqueros (CIQ o IBC por sus siglas en inglés) y el Convenio MARPOL, las

técnicas y recomendaciones de las dos guías de limpieza de tanques químicos: Miracle Tank Cleaning Guide y Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide y, además, la experiencia adquirida como alumno y oficial por el autor en este tipo de naves. Se asume como punto de partida:

1. Las operaciones de limpieza de tanques son parte de la operativa del buque quimiquero.
2. Los aceites vegetales existen en una amplia variedad y sus operaciones de limpieza requieren de un importante esfuerzo por parte de la tripulación.
3. La tripulación debe estar bien formada y preparada para la realización de estas operaciones.
4. La búsqueda de un procedimiento estándar y el establecimiento de controles para la limpieza de sustancias de similares características ahorrará tiempo.
5. Es requisito la utilización de herramientas como el flujograma para simplificar el proceso.

II.1.2.- Hipótesis de resultado

En este documento se desarrollará el proceso de limpieza de tanques de aceites vegetales. Las operaciones están adaptadas a los buques quimiqueros con revestimiento de tanques de epoxi y silicato de zinc por lo que se pretende obtener un procedimiento estandarizado para todos los buques quimiqueros con estas características. Se alcanzarán los siguientes objetivos:

1. Procedimiento estandarizado
2. Se delimitaran las tareas que puedan influir en el desarrollo de las operaciones de limpieza como la planificación de la carga y descarga del buque.
3. Elaboración final de un flujograma que permita entender y ejecutar las tareas que se deben llevar a cabo para la evolución satisfactoria del proceso.

II.2.- Herramientas de resolución

II.2.1.- Definiciones

Los conceptos explicados tras estas líneas aparecerán a lo largo del trabajo por lo que se cree conveniente introducirlos en este apartado para que sea utilizado a modo de referencia.

- Punto de fusión: Es la temperatura a la cual el estado físico de un producto pasa de fase sólida a líquida. Se asemeja al punto de congelación ya que para la mayoría de sustancias ambos son muy parecidos. A efectos de este documento se pueden considerar idénticos.
- Viscosidad: Es la resistencia que tienen las sustancias líquidas a fluir o sufrir deformaciones graduales. Todos los fluidos poseen viscosidad que se debe a colisiones entre partículas que mueven a diferentes velocidades generando fricción entre ellas e impidiendo el desplazamiento de la sustancia. Su unidad en el sistema internacional es el pascal segundo (Pa·s) aunque se suele utilizar el mili pascal segundo (mPa·s) para ofrecer valores más manejables. Está relacionada con la temperatura y tiende a disminuir a medida que la temperatura aumenta.
- Dureza del agua: Se puede definir como la concentración de minerales que dispone un tipo de agua. Los minerales más importantes son las sales de magnesio y sales de calcio. Las aguas duras (agua de mar) tienen una elevada concentración de minerales mientras que las aguas blandas (agua dulce) contienen una menor cantidad. El agua destilada, al haber sido purificada, contiene una nula cantidad de sales. Este concepto es importante para establecer el comportamiento de un tipo de agua ante el jabón. El calcio y el magnesio mezclados reaccionan con los compuestos que forman el jabón y dejan de ser efectivos.
- pH: Es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución acuosa. Se mide en una escala del 0 al 14. Las sustancias ácidas tienen una mayor concentración de iones de hidrógeno y un pH comprendido entre 0 y 7, siendo el valor 0 el valor máximo

de acidez, mientras que las sustancias alcalinas o básicas tienen una concentración menor y unos valores de entre 7 y 14. Las sustancias neutras se sitúan en un pH alrededor del 7. Un ejemplo de estas sustancias son el agua o la sangre. Para conocer la acidez de una sustancia se utiliza un papel indicador que al ser introducido en la misma cambia de color y se puede comparar con una escala de colores.

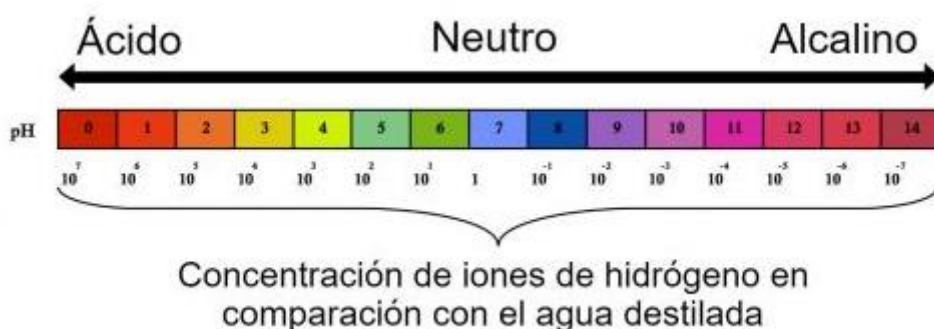


Ilustración 1: Escala de pH. Fuente: <https://www.significados.com/>

- Saponificación: Reacción química por la cual un ácido graso se descompone por medio de una reacción con una base fuerte para producir jabón, lo que se denomina hidrólisis. Durante la hidrólisis, los iones de la base reaccionan con el carbono presente en el ácido graso liberándolos del triglicérido. Una vez separados los ácidos reaccionan con un ion de sodio y forman el jabón. A continuación tres iones de hidróxido reaccionan con el glicerol y dan lugar a la glicerina.

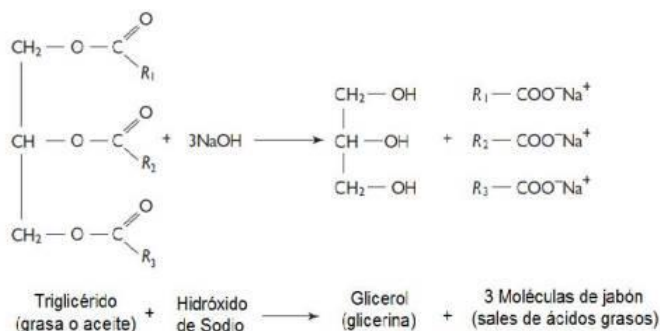


Ilustración 2: Saponificación de un triglicérido. Fuente: <https://grasas-y-aceites-vegetales.webnode.com.co/>

II.2.2.- Herramienta de resolución I: Conceptos generales de buques quimiqueros

II.2.2.1.- Características generales

Los buques quimiqueros son aquellos buques contruidos para el transporte de sustancias nocivas líquidas a granel. Las características principales de su diseño derivan de los buques petroleros a los que se asemejan exteriormente aunque la diferencia principal está en una mayor sofisticación del equipamiento y mayor complejidad en el manejo de la carga.

A diferencia de los petroleros, el tamaño de los buques quimiqueros está regulado y la capacidad de transportar cargas diferentes simultáneamente hace que dichos buques dispongan de un mayor número de líneas de carga, bombas, líneas de venteo, sistemas de seguridad y un sistema de lavado más complejo.

Debido al amplio rango de productos que puede transportar un buque quimiquero, se pueden clasificar en tres categorías según su tamaño y tipos de viaje que realiza. En primer lugar se debe mencionar el buque quimiquero “puro”, de pequeño tamaño que realiza viajes cortos y en cuyos puertos no podrían acceder otros de mayor tamaño. Suelen transportar un reducido número de cargas, también denominadas parcelas, diferentes y realizan un número elevado de operaciones en un espacio de tiempo relativamente corto. Dependiendo del tráfico al que se dediquen pueden disponer de tanques contruidos en acero inoxidable o revestidos con pinturas especiales.

En otra categoría, más amplia, podríamos incluir los buques quimiqueros parcelados que suelen dedicarse al transporte en mayores cantidades y cuyos viajes pueden durar varios meses hasta que el buque vuelva a estar en disposición de ser cargado. Puede transportar un elevado número de cargas diferentes, ya que puede disponer de entre 40 y 50 tanques de carga lo que le permite transportar pequeñas cantidades de muchas sustancias químicas especialmente delicadas. Los tanques y líneas con frecuencia son de acero inoxidable para mantener la calidad de las cargas, y todos los tanques tienen sus propias líneas y bombas independientes.

Por último, existe un tercer tipo de buque que se podría clasificar como el parcelado, pero de diseño más simple y menor número de tanques con un revestimiento especial en vez de acero inoxidable. Los tanques de estos buques son de mayor tamaño y también pueden dedicarse al transporte de productos derivados del petróleo por lo que reciben la denominación de buque petrolero/quimiquero (Oil and Chemical Tanker).

Los productos que se pueden transportar en un buque quimiquero son numerosos y se pueden dividir en varios grupos:

- Hidrocarburos aromáticos
- Alcoholes
- Aceites y grasas animales y vegetales
- Ácidos
- Sustancias inorgánicas
- Melazas
- Aceites minerales
- Productos derivados del petróleo
- Cáusticos

Entre estos tipos de carga, surgen en muchas ocasiones diversas incompatibilidades lo que obliga a dejar tanques vacíos entre sí para poder cumplir con los criterios de seguridad. En raras ocasiones un buque quimiquero realiza un viaje al máximo de su capacidad ya sea por incompatibilidades entre cargas o debido a productos de alta densidad que solo pueden cargarse parcialmente.

II.2.2.2.- Normativa aplicable en materia de seguridad y construcción

Todos los buques mercantes se construyen según las prescripciones del Convenio SOLAS¹, el tratado internacional de referencia en materia de seguridad de los buques y de la vida humana en la mar. El Convenio SOLAS se divide en 14

¹ Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar. Sus siglas provienen del inglés "Safety Of Life At Sea".

capítulos, los capítulos II, III, IV, V, IX y XI son de aplicación general a todos los buques SOLAS mientras que los demás acotan con precisión el ámbito de aplicación.

Los buques quimiqueros se rigen por las prescripciones del *Capítulo VII: Transporte de mercancías peligrosas, Parte B: Construcción y equipamiento de buques que transporten productos químicos líquidos peligrosos a granel* que a su vez remite al Código CIQ o Código Internacional de Quimiqueros. Para que a un buque se le aplique el Código CIQ deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Las sustancias químicas transportadas no pueden ser petróleo ni productos inflamables que presenten riesgo de incendio importantes superiores a los que representa el petróleo. Estas sustancias vienen enumeradas en el Capítulo 18 del CIQ (*Lista de sustancias a las que no se les aplica el código*).
- Los líquidos regidos por el Código son aquellos cuya presión de vapor absoluta no excede de 2.8 bares a una temperatura de 37.8°C.

Así, se define el buque quimiquero como buque de carga construido o adaptado y utilizado para el transporte a granel de cualquiera de los productos líquidos enumerados en el capítulo 17 del Código Internacional de Quimiqueros² (International Maritime Organization, 2009). El CIQ clasifica estos buques en tres tipos según la peligrosidad de los productos químicos que están autorizados a transportar basándose en la minimización de daños estructurales a los tanques de carga en caso de colisión o varada y por consiguiente la protección del medio marino al evitar un derrame de productos químicos peligrosos al mar.

- Buque tipo IMO I: Están destinados a transportar productos indicados en el capítulo 17 del CIQ que encierran riesgos muy graves para el medio ambiente y la seguridad, y que exijan la adopción de medidas constructivas de un rigor máximo para impedir escapes en cargamentos constituidos por tales productos. Los tanques de carga deben ubicarse a una distancia lateral, respecto al forro del casco, no inferior a la manga del buque dividida entre 5 o

² SOLAS Capítulo VII Parte B Regla 8.2.

a 11,5 metros, lo que sea menor; y a una distancia vertical no inferior a la manga del buque dividida entre 15 o 6 metros, lo que sea menor, respecto al enchapado del fondo. La capacidad de los tanques no puede sobrepasar los 1250 m³ (Rodrigo de Larrucea, 2009).

- Buque tipo IMO II: Destinados a transportar productos indicados en el capítulo 17 del CIQ que encierren riesgos considerablemente graves para el medio ambiente y la seguridad, y que exijan la adopción de importantes medidas preventivas para impedir escapes en cargamentos constituidos por tales productos. Los tanques de carga deben situarse a una distancia al costado no inferior a 760 mm y a una distancia vertical respecto al fondo de 6 metros o a una distancia no inferior a la manga del buque dividida entre 15, si este valor es menor. La capacidad de los tanques se limita a 3000 m³. En algunas ocasiones estos buques disponen de tanques centrales que cumplen las disposiciones del buque tipo IMO I y tanques de carga laterales con restricciones tipo IMO II (Rodrigo de Larrucea, 2009).
- Buque tipo IMO III: Destinados a transportar productos indicados en el capítulo 17 que encierren riesgos lo suficientemente graves para el medio ambiente y la seguridad como para exigir la adopción de medidas de contención moderadas a fin de acrecentar la aptitud del buque para conservar la flotabilidad después de ser averiado. No existen limitaciones sobre la ubicación de los tanques de carga respecto al casco ni tampoco sobre la capacidad de carga de estos. Sin embargo, aunque el CIQ no imponga la necesidad de un doble casco, la evolución de las normativas estatales (Estados Unidos) y comunidades de estados como la Unión Europea obliga a cualquier buque tanque a estar provistos de un doble casco, por lo que estos buques definitivamente dispondrán del mismo (Rodrigo de Larrucea, 2009).

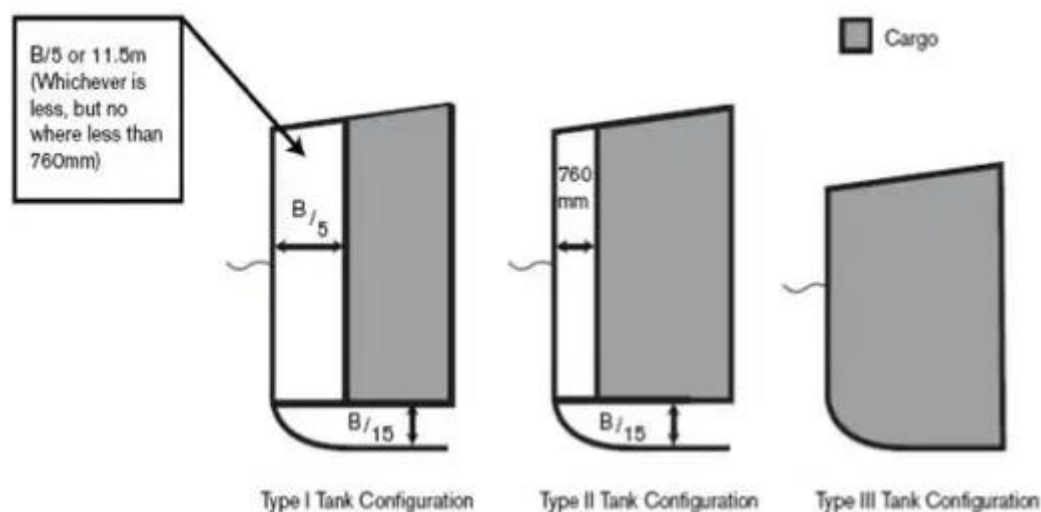


Ilustración 3: Distancias entre tanques de carga y el casco según el tipo de buque. Fuente: <https://www.quora.com/What-are-the-types-of-chemical-tankers>

II.2.2.3.- Normativa aplicable en materia de prevención de la contaminación

En cuanto a la prevención de la contaminación, es el convenio MARPOL³ el que detalla en su Anexo II, los criterios para la prevención de la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel. Estas disposiciones también influyen en el diseño de los buques. La Regla 6 del Anexo II clasifica las sustancias químicas transportadas por mar en cuatro categorías:

- Categoría X: Sustancias nocivas líquidas que, si fueran descargadas en el mar tras operaciones de limpieza o deslastrado de tanques, se consideran un riesgo grave para los recursos marinos o para la salud del ser humano y, por consiguiente, justifican la prohibición de su descarga en el medio marino.
- Categoría Y: Sustancias nocivas líquidas que, si fueran descargadas en el mar tras operaciones de limpieza o deslastrado de tanques, se consideran un riesgo para los recursos marinos o para la salud del ser humano o causarían perjuicio a los alicientes recreativos u otros legítimos del mar y, por

³ Convenio Internacional para prevenir la Contaminación por los Buques, 1973. Sus siglas provienen del inglés "Marine Pollution".

consiguiente, justifican una limitación con respecto a la calidad y cantidad de su descarga en el medio marino.

- *Categoría Z: Sustancias nocivas líquidas que, si fueran descargadas en el mar tras operaciones de limpieza o deslastrado de tanques, se consideran un riesgo leve para los recursos marinos o para la salud del ser humano o causarían perjuicio a los alicientes recreativos u otros legítimos del mar y, por consiguiente, justifican restricciones menos rigurosas con respecto a la calidad y cantidad de su descarga en el medio marino.*
- *Otras Sustancias (OS): Sustancias indicadas como OS en la columna correspondiente a la categoría de contaminación del capítulo 18 del Código Internacional de Químicos que han sido evaluadas, determinándose que no pertenecen a las categorías X, Y o Z, según se definen estas categorías en la regla 6.1 del Anexo II, porque actualmente se estima que su descarga en el mar tras operaciones de limpieza o deslastrado de tanques no supone ningún peligro para los recursos marinos, la salud del ser humano, los alicientes recreativos u otros usos legítimos del mar. La descarga de aguas de sentina o de lastre, o de otros residuos o mezclas que contengan únicamente sustancias indicadas como “Otras Sustancias” no estará sujeta a las prescripciones del Anexo II.*

La clasificación de cada una de las sustancias evaluadas y aptas para ser transportadas por buques químicos se establece en el capítulo 17 del CIQ, mientras que las sustancias aptas para el transporte en un buque concreto vienen enumeradas en su Certificado de Aptitud.

El MARPOL prohíbe la descarga directa, lavazas procedentes de operaciones de lavado o aguas de lastre que contengan sustancias nocivas salvo que se cumplan las condiciones requeridas en el Anexo II (Regla 13):

- La distancia a la tierra más cercana será mayor de 12 millas y la profundidad del agua mayor de 25 metros.
- La velocidad del buque será superior a 7 nudos con propulsión propia o 4 nudos sin propulsión propia.

- El buque deberá estar situado fuera del área antártica⁴ especificada en el Anexo II.
- Se descargará a través de la línea de descarga situada por debajo de la línea de flotación sin exceder su caudal máximo. El caudal máximo dependerá de:

$$d = \frac{Q_d}{5L_d}$$

Dónde:

- d: Diámetro del desagüe de la línea
- Q_d: Caudal máximo en m³/h
- L_d: Distancia desde la perpendicular de proa al desagüe de la línea

Según el tipo de carga, a los residuos generados se les dará un tratamiento diferente en relación a su descarga al mar.

- Categoría X: Prelavado obligatorio cuyas lavazas deben descargarse a tierra. Está prohibido descargar al mar cualquier sustancia de este tipo ni sus lavazas.
- Categoría Y: Prelavado obligatorio cuyas lavazas deben descargarse a tierra dependiendo de la viscosidad de la carga⁵ y si se trata de una sustancia solidificante. Se requiere un prelavado en los siguientes casos:
 - Cuando la sustancia con un punto de fusión menor a 15°C, que se encuentre a una temperatura inferior a 5°C por encima de su punto de fusión en el momento de su descarga. Se puede consultar en la Ficha de Datos de Seguridad⁶.
 - Cuando la sustancia con un punto de fusión igual o superior a 15°C, que se encuentre a una temperatura inferior a 10°C por encima de su

⁴ Área al Sur del paralelo 60° S.

⁵ A efectos del Anexo II del MARPOL, una sustancia de alta viscosidad es aquella con una viscosidad igual o superior a 50 mPa·s a la temperatura a la que se descarga (International Maritime Organization, 2017).

⁶ Una Ficha de Datos de Seguridad o Material Safety Data Sheet (MSDS) en inglés, es un documento que contiene instrucciones para la manipulación de una sustancia con objeto de reducir los riesgos laborales de los operarios. También incluye las medidas de contención a aplicar en caso de accidente.

punto de fusión en el momento de su descarga. Se puede consultar en la Ficha de Datos de Seguridad.

- Cuando se trate de una sustancia con una viscosidad igual o superior a 50 mPa·s en su temperatura de descarga. Se puede consultar en la Ficha de Datos de Seguridad.

- Categoría Z: No requiere prelavado.

Es un requisito de MARPOL que los tanques se descarguen y achiquen lo máximo posible durante dicha operación. Dependiendo del año de construcción del buque se exige un rendimiento mínimo de achique de los tanques que se muestra en la siguiente tabla a modo de resumen.

Período de Construcción	Remanente permitido en cada tanque (en litros)		
	Categoría X	Categoría Y	Categoría Z
Buques construidos tras 01/01/2007	75	75	75
Buques construidos hasta 01/01/2007	100 + 50 de tolerancia	100 + 50 de tolerancia	300 + 50 de tolerancia
Buques construidos antes de 01/07/1986	300 + 50 de tolerancia	300 + 50 de tolerancia	900 + 50 de tolerancia

Tabla 1: Requisitos de achique según año de construcción del buque y categoría de la sustancia.
Fuente: MARPOL

Todos los buques quimiqueros deberán tener a bordo un Manual de Procedimientos y Medios en el que se detallarán los procedimientos de manipulación de la carga, limpieza de tanques, manipulación de lavazas y lastrado y deslastrado de tanques con el objetivo de guiar a los oficiales del buque al cumplimiento de la normativa relativa a estas tareas así como en la operativa del buque. Este documento, que debe ser aprobado por la sociedad de clasificación antes de la puesta en servicio del buque, es una herramienta muy útil para los oficiales que planeen cualquier operación del buque.

II.2.2.4.- Arreglo general de un buque quimiquero

La característica diferencial de un buque quimiquero a cualquier otro buque tanque es la cantidad de tanques de carga de los que puede llegar a disponer. Cada uno de estos tanques dispone de su propia bomba de descarga, válvulas de carga y descarga, válvulas de seguridad para control de la atmósfera, ramales de línea de gas inerte, máquinas de lavado y demás equipamiento de seguridad como sensores.

La independencia de líneas permite gran diversidad de operaciones simultáneas. Cuando un tanque dispone de todos los elementos enumerados anteriormente se considera que está completamente segregado del resto y por lo tanto se puede cargar, descargar, lavar o ventilar sin peligro de dañar las cargas alojadas en otros tanques. Ahora bien, algunos buques que también se pueden dedicar al transporte de productos derivados del petróleo, se puede encontrar que las líneas de carga de comparten entre dos tanques por lo que el número de segregaciones se verá reducido así como su capacidad de transportar diferentes cargas en un mismo viaje. Cada línea de carga tiene su terminación en el centro del buque, una por costado, zona que se le denomina “manifold”, donde se conectan las mangueras o brazos de carga en la terminal. Es habitual que en un viaje, una misma carga se tenga que alojar en varios tanques por lo que para cargarlos o descargarlos se comunicaran todas las líneas utilizando piezas rígidas de conexión, mangueras flexibles (siempre en la zona del manifold) o una línea común que conecta todas las líneas denominada “crossover”. Las líneas de carga discurren a lo largo de la cubierta del buque y una vez sobre el tanque, se bifurcan en una línea de carga (con su correspondiente válvula) y una de descarga conectada a la bomba y su válvula de descarga.

Otras líneas o sistemas conectados a los tanques son los siguientes:

- Línea de calefacción o de vapor: El propósito del sistema de calefacción para los tanques de carga es mantener en estado líquido el cargamento y su nivel de viscosidad mediante el incremento de la temperatura. Existen dos tipos de sistemas de calefacción: serpentines de vapor e intercambiadores de calor. Los primeros requieren de un complicado sistema de líneas y ramales que se

inserta dentro del tanque hasta llegar al fondo, por los que discurre vapor transmitiendo su calor a la carga. En el caso de que el buque esté provisto de un intercambiador de calor se requerirá que la bomba de descarga recircule el cargamento a través del intercambiador.

- Planta generadora de gas inerte: Sistema situado en la cámara de máquinas que consta de varios compresores de aire y unos filtros de carbono activo para la generación de nitrógeno a bordo. En los buques quimiqueros el gas inerte siempre es nitrógeno para así conservar las propiedades de los diferentes productos.
- Línea de inertización/ventilación: Esta línea comienza en la sala de máquinas desde la planta de generación de gas inerte, que en los buques quimiqueros siempre será nitrógeno. La línea queda dispuesta de popa a proa y se ramifica en líneas individuales para cada tanque. Se puede utilizar tanto para inertizar⁷ los tanques como para ventilación y purga de gases tóxicos, todo ello mediante la planta de generación de nitrógeno. La línea está protegida ante una sobrepresión o un vacío por un dispositivo de seguridad llamado “P/V Breaker”.
- Línea de lavado: Se explica detalladamente en el apartado II.2.4.
- Válvula de seguridad P/V: Es un dispositivo que protege individualmente a cada tanque ante una sobrepresión o un vacío generado en cualquier momento de la operación o durante el viaje. Están taradas a una presión tal que no pueda provocar daño alguno a la estructura del buque por lo que cada buque tendrá una presión de tarado específica.
- Sistema de alarmas: Son sensores que indican cuando un tanque ha alcanzado un nivel alto (95%) o que está a punto de rebosar (98%). Está conectado a un panel conectado a la red eléctrica de emergencia del buque y emite una señal luminosa y acústica cuando se alcanzan los diferentes niveles.

⁷ Reducir el contenido de oxígeno de la atmósfera del tanque por debajo del 5%.

A todo ello hay que añadirle cableado eléctrico, líneas hidráulicas, líneas de aire comprimido, líneas de agua y/o espuma contraincendios, equipos contraincendios, equipos de salvamento y línea de agua dulce.

II.2.2.5.- Bombas de descarga

Cada tanque de un buque quimiquero está equipado con una bomba para la descarga del producto. Existen varios tipos de bombas, sin embargo, las más comunes son las centrífugas, accionadas por motores hidráulicos o eléctricos.

Tanto los motores eléctricos como hidráulicos se sitúan en la cubierta del buque en la misma vertical que la bomba que se instala lo más cerca posible del plan del tanque dentro de un pocete de succión diseñado para minimizar el remanente de producto después de la operación de descarga y el achique sea lo más efectivo posible.

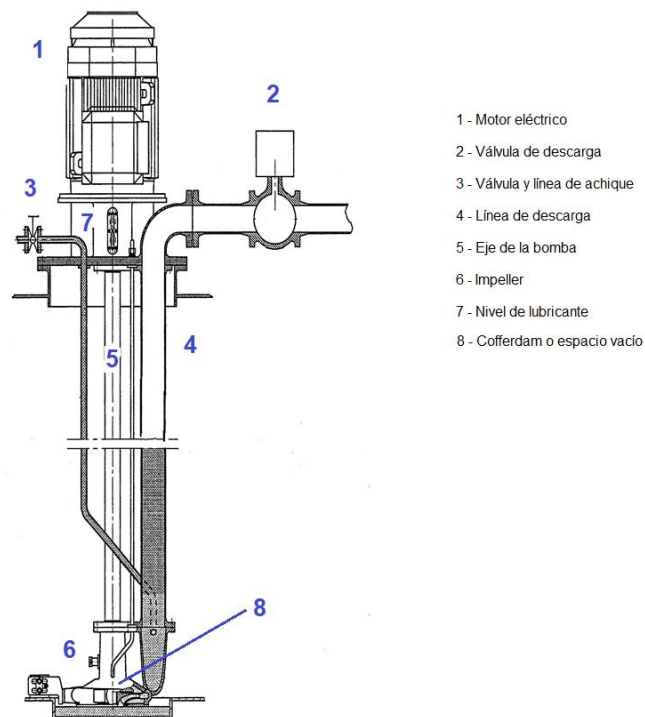


Ilustración 4: Bomba accionada por motor eléctrico tipo Hamworthy DL150d/200. Fuente: Hamworthy KSE. Edición: Elaboración propia

Dependiendo de la capacidad del tanque y del diámetro de las líneas de cubierta, las bombas tendrán distintas capacidades de descarga, sin embargo, uno de los aspectos más importantes será su capacidad de achique para cumplir con los requerimientos mínimos de construcción según el código CIQ.

El achique consiste en insuflar aire comprimido o nitrógeno (en el caso de productos inflamables) a través de la línea de descarga para mantener la bomba cebada y descargar el remanente a través de una delgada línea que conecta con la línea principal de carga.

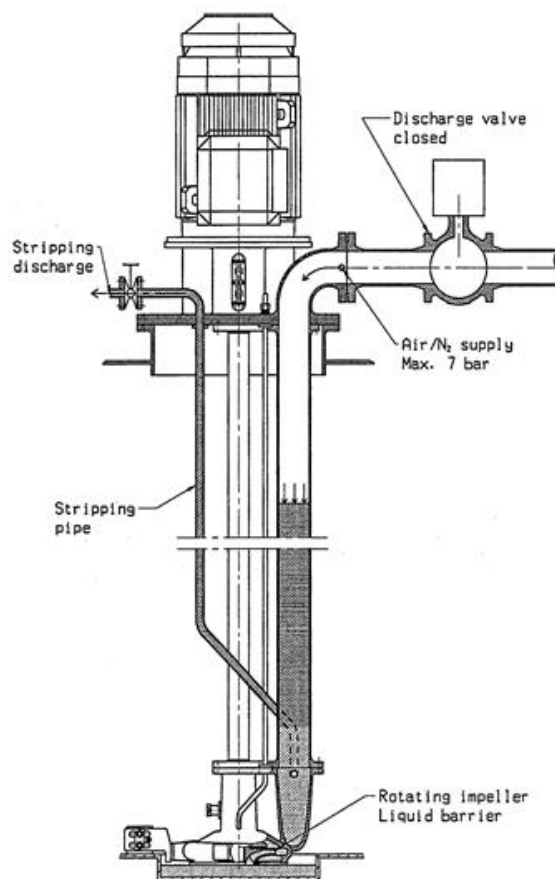


Ilustración 5: Achique en bomba Hamworthy. Fuente: Hamworthy KSE

Estas bombas están provistas además de un espacio vacío entre el eje y el impeller. Este espacio vacío recibe la denominación de cofferdam y se mantiene cerrado mediante un sello de goma. Una de las comprobaciones que se les realiza a las

bombas antes de una operación es la purga del cofferdam para eliminar residuos de cargas anteriores que pudieran filtrarse a través de un sello de goma que pudiese ser defectuoso y contaminara la carga con aceite hidráulico.

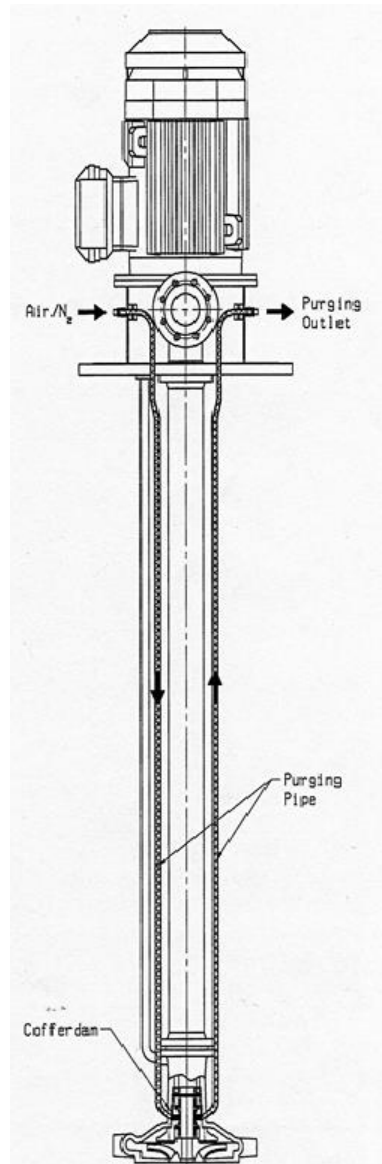


Ilustración 6: Purgado del cofferdam. Fuente: Hamworthy KSE

II.2.2.6.- Tanques de decantación o “Slop”

Los tanques de decantación o “Slop” son tanques cuyo propósito es alojar las lavazas producidas en el proceso de limpieza de tanques. Estos tanques no son específicos de los buques quimiqueros, de hecho, el Anexo II del MARPOL no

requiere la provisión de tanques de decantación específicos y no restringe el uso de ningún tanque de carga como tanque Slop. En el caso de que las lavazas retenidas a bordo sean incompatibles otros tanques de carga adicionales deben alojar tales lavazas.

II.2.2.7.- Revestimientos

El material usado para la construcción de los tanques de un buque quimiquero limita el tipo de carga que pueda transportar ese buque. Muchos buques quimiqueros se construyen enteramente de acero y el interior de los tanques de carga se recubre de una pintura para prevenir la corrosión y proteger la carga de su contaminación al contacto con el acero.

El comportamiento del revestimiento dependerá de las características químicas de la carga, el tiempo de contacto (tiempo de viaje), la temperatura de la carga, el grosor de la capa y la naturaleza de la pintura. Cuando se pinta el tanque de un buque, el fabricante entrega una copia del listado de diferentes tipos de cargas compatibles con el mismo así como el listado de detergentes recomendados para la limpieza de tanques; que se conoce como TRIS (Tank Coating Resistance Information Service).

II.2.2.8.- Revestimientos inorgánicos: Silicato de Zinc

Los revestimientos de silicato de zinc están formados por una capa compuesta por pigmentos de silicio (silicatos) inorgánicos aglutinados y cubiertos de un polvo de zinc de contenido entre un 85 % y un 90 % en peso. Tras la aplicación de un aditivo, la pintura se adhiere al acero del tanque y ofrece una protección al similar a la obtenida por galvanización y una excelente resistencia mecánica.

El recubrimiento de zinc resultante es altamente poroso por lo que la carga puede penetrar entre las partículas de zinc y el aglutinante de silicato. La alta porosidad de estos revestimientos tiene dos efectos:

- Los compuestos no volátiles son complicados de eliminar en una operación de lavado ya que el revestimiento tiende a adsorber⁸ en su superficie estas cargas. En este caso el riesgo de contaminación del siguiente producto es considerablemente mayor si la operación de lavado y las inspecciones/test finales de limpieza no se realizan correctamente.
- Las cargas altamente volátiles pueden ser limpiadas del tanque incrementando la temperatura del interior mediante un lavado con agua caliente y posterior ventilación. El riesgo de contaminación de la siguiente carga es muy bajo ya que los residuos se desorben⁹.

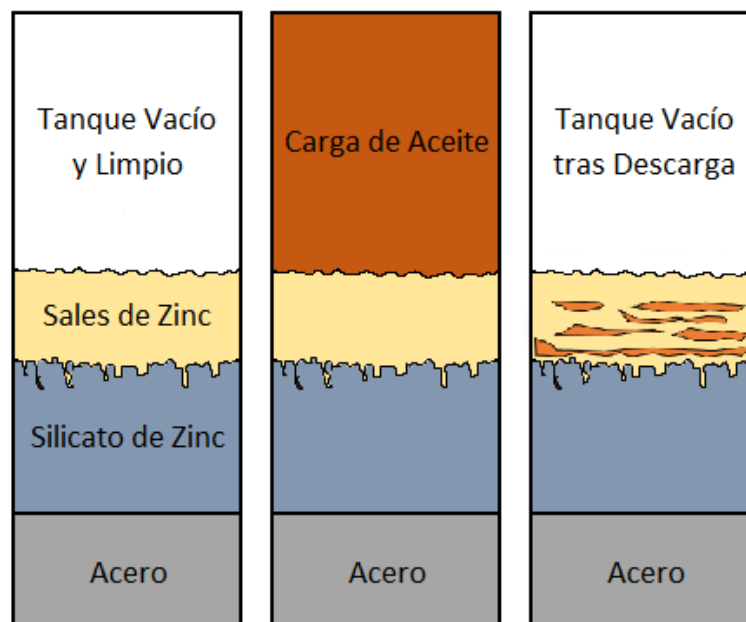


Ilustración 7: Adsorción de carga de un revestimiento de Silicato de Zinc. Fuente: Fuente: Miracle Tank Cleaning Guide. Edición: Elaboración propia

La mayor desventaja del silicato de zinc es su nula tolerancia a cargas de elevada alcalinidad o acidez lo que también afecta al escoger el detergente para una operación de limpieza. Tanto las cargas como los detergentes deben tener un pH comprendido entre 5,5 y 9 (Kämmle & Bruhn, 2008).

⁸ Adsorber: En física y química, capacidad de un cuerpo para atraer y retener en su superficie moléculas o iones de otro cuerpo (RAE, 2020).

⁹ Antónimo de adsorber.

La durabilidad de estos revestimientos es proporcional a su espesor. Esto se debe a que al proporcionar una protección por ánodo de sacrificio al agotarse el contenido de zinc de la película se deberá repintar de nuevo el tanque.

II.2.2.9.- Revestimientos orgánicos: Epoxi

Los revestimientos de pintura epoxi orgánicos, como el epoxi puro, el epoxi con isocianato o el epoxi fenólico; forman parte de una familia de productos que consisten en un sistema de resina que al mezclarse con un endurecedor, forma una película que produce un conjunto de enlaces químicos entrecruzados de tres dimensiones.

Ofrecen una buena resistencia a un amplio abanico de tipos de cargas químicas. El epoxi fenólico es el de mayor calidad y en contraste con los recubrimientos de silicato de zinc, toleran los ácidos y bases fuertes y no tienden a absorber cargas aceitosas. Los residuos de estas sustancias se quedan en la superficie del revestimiento desde la cual se pueden retirar fácilmente mediante métodos convencionales de limpieza.

Sin embargo, el epoxi tiende a absorber cargas tipo disolvente (benceno, acetona, tolueno, etanol, metanol, etc.) debido a que su alta alcalinidad o acidez reblandece la malla de enlaces químicos e “hincha” la pintura. Este ablandamiento tiene como consecuencia que el tiempo de contacto con la carga no exceda un número de días de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Las cargas con estructuras moleculares cortas, como es el caso del metanol, son capaces de penetrar a través del revestimiento por lo que un tiempo de contacto de más de 30 días puede destruir el revestimiento y contaminar la carga, teniendo que repintar el tanque completamente. Una vez descargado el tanque, se debe ventilar y la pintura recuperará su dureza a medida que la carga se evapora. Tras la ventilación se podrá proceder a su lavado.

En la siguiente ilustración se aprecia el comportamiento de la malla dependiendo del tipo de carga. En el esquema superior se muestra una carga tipo disolvente y en la inferior una carga aceitosa.

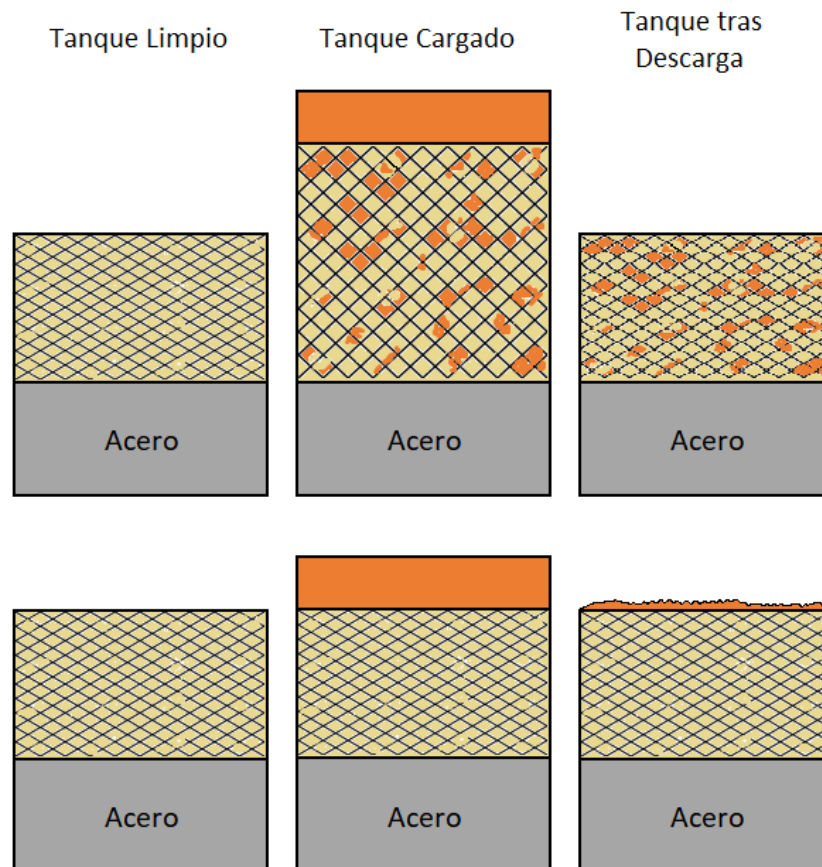


Ilustración 8: Comportamiento del epoxi dependiendo del tipo de carga. Fuente: Miracle Tank Cleaning Guide. Edición: Elaboración propia

II.2.3.- Herramienta de resolución II: Los aceites vegetales y su transporte por mar

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas, frutos, raíces u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Ejemplos de semillas de plantas cultivadas por su aceite son el cacahuete, el girasol y la soja, mientras que los frutos provienen de la palma de aceite, el olivo, el cocotero y el nogal.

La diferencia entre aceite y grasa está en que el aceite se mantiene líquido a temperatura ambiente mientras que la grasa requiere de la aplicación de calor para mantenerse en ese estado. A efectos del transporte marítimo de estos productos, deben mantenerse en todo momento en estado líquido por lo que a efectos de este trabajo se hará referencia a ellos como aceites vegetales.

El uso de aceites y grasas vegetales está muy extendido alrededor del mundo para la producción de alimentos, combustibles, pinturas, cosméticos, jabones y demás productos biodegradables. También son ampliamente utilizados para la elaboración de productos culinarios (aceite de palma y aceite de colza) y para el consumo humano (aceite de girasol y aceite de oliva). Actualmente, los aceites vegetales más comercializados en el mundo son¹⁰:

- Aceite de Palma: 75,69 MMTm (millones de toneladas métricas)
- Aceite de Soja: 56,73 MMTm
- Aceite de Colza: 27,04 MMTm
- Aceite de Girasol: 20,65 MMTm
- Aceite de Palmistre: 8,79 MMTm
- Aceite de Semilla de Algodón: 5,22 MMTm
- Aceite de Coco: 3,58 MMTm
- Aceite de Oliva: 3,36 MMTm

¹⁰ Oil Seeds: World Markets and Trade Report December 2019. United States Department of Agriculture.

II.2.3.1.- Características principales y datos de seguridad

Los aceites vegetales son compuestos formados por triglicéridos, tres moléculas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol, ésteres y ácidos grasos libres. Los niveles de ácidos grasos en los aceites varían dependiendo del aceite o grasa vegetal. En relación a las grasas, hay que mencionar que los aceites de palma y coco tienen concentraciones de ácidos grasos saturados y por ello reciben esta denominación. Debido a esta característica, las grasas son sólidas a temperatura ambiente.

Una de las características principales de algunos aceites vegetales es su reacción con el oxígeno (oxidación). Esta reacción depende del índice de yodo, que se define como los gramos de yodo absorbidos por 100 g de grasa y nos indica el grado de insaturación de las grasas (Pachas, 2011). Según su índice de yodo, los aceites se clasifican en:

- Secantes ($IY > 140 I_2/100g$): A consecuencia de su exposición al aire reaccionan químicamente con el oxígeno del ambiente creando una película pegajosa sólida. En temperaturas elevadas esta reacción se acelera.
- Semi-Secantes ($140 > IY > 110 I_2/100g$): En contacto con el oxígeno del ambiente llegan a secarse pero sólo parcialmente. Dependerá de la temperatura y de la humedad.
- No Secantes ($IY < 110 I_2/100g$): No sufren ninguna alteración al contacto con el aire.

Las propiedades secantes de un aceite no tienen nada que ver con su punto de fusión ya que aceites ligeros pueden ofrecer propiedades secantes y, sin embargo, tener un punto de fusión bajo.

Aceites Secantes	Aceites Semi-Secantes	Aceites No Secantes
Aceite de Madera de China	Aceite de Babasú	Aceite de Almendra
Aceite de Pescado	Aceite de Maíz	Aceite de Alcanfor
Aceite de Semilla de Cáñamo	Aceite de Semilla de Algodón	Aceite de Ballena
Aceite de Linaza	Aceite de Pescado refinado	Aceite de Cananga
Aceite de Semilla de Mostaza	Aceite de Arenque	Aceite de Coco
Aceite de Perilla	Aceite de Sésamo	Aceite de Hígado de Bacalao
Aceite de Cártamo	Aceite de Semilla de Amapola	Aceite de Cacahuete
Aceite de Soja	Aceite de Girasol	Aceite de Macadamia
Aceite de Tung	Aceite de Trigo	Aceite de Semilla de Nahar
Aceite de Nuez	Aceite de Pino	Aceite de Oliva
		Aceite de Palma
		Aceite de Colza

Tabla 2: Clasificación de los aceites vegetales. Fuente: Navig8.

En general, los aceites vegetales no son productos tóxicos ni corrosivos y no requieren de medidas especiales de protección salvo las básicas en el manejo de cualquier producto químico. Sin embargo, en algunos casos, existen derivados de aceites vegetales como el Ácido Graso de Metil Éster puede ser inflamable si se alcanzan elevadas temperaturas.

El mayor peligro que puede suponer es la putrefacción, que ocurre cuando un compuesto orgánico se descompone debido a factores como la humedad,

temperatura, presencia de elementos oxidantes en el ambiente o microorganismos bacterianos. En cualquier caso el proceso de descomposición o putrefacción de la materia orgánica produce monóxido de carbono (CO), un gas incoloro, inodoro y sumamente tóxico que puede causar la muerte por asfixia si se respira en concentraciones elevadas (Baeza Romero & Rodríguez Cervantes, 2018).

II.2.3.2.- Clasificación según el Convenio MARPOL y el Código CIQ

En el capítulo 17 del código CIQ aparecen clasificadas las sustancias aptas para ser transportadas en buques quimiqueros. En este caso, los aceites vegetales son clasificados como sustancias categoría Y.

II.2.3.3.- Transporte de aceites vegetales por mar

Para el transporte de aceites vegetales por mar se utilizan contratos de fletamento bajo términos de FOSFA¹¹. Entre varios aspectos, FOSFA establece procedimientos operacionales referentes a restricciones en cargar algunos productos en tanques donde previamente ha habido determinadas cargas anteriormente, pudiéndose extender la restricción a tres cargas anteriores.

Debido a la amplia gama de productos y subproductos que forman los denominados aceites vegetales es muy común que en un mismo viaje se lleguen a transportar unos 5 o 6 lotes (parcelas) por buque.

Algunos de los aceites vegetales requieren del control de la temperatura y sedimentación mientras permanecen a bordo para que conserven sus propiedades y su descarga sea efectiva.

- Temperatura de transporte: El control de la temperatura de la carga puede tener dos razones: evitar la solidificación de la sustancia o mantener su nivel

¹¹ Federación de Asociaciones de Aceites, Semillas y Grasas. Es un organismo internacional dedicado exclusivamente a la emisión de contratos y arbitraje del comercio mundial de semillas oleaginosas, aceites y grasas. El 85% del comercio mundial de aceites y grasas se comercializa bajo contratos elaborados de la federación.

de viscosidad por debajo de 50 mPa·s. Algunos aceites vegetales se solidifican a temperatura ambiente por lo que ya en la operación de carga se recibirá el producto calentado desde la terminal. Una vez a bordo y dependiendo de la duración del viaje, el buque se encargará de registrar y mantener la temperatura de la carga en el rango requerido mediante el sistema de calefacción de tanques. El aceite de palma crudo y alguno de sus derivados como Palm Fatty Acid Oil (PFAD) o la estearina de palma (Palm Stearin) son ejemplos de cargas que requieren un calentamiento previo a su descarga. Estos productos someten el revestimiento del tanque a un elevado estrés térmico con temperaturas superiores a los 50°C. En el Anexo I se muestran las recomendaciones de calentamiento elaboradas por FOSFA con la temperatura recomendada a mantener durante el viaje y la descarga de ciertos aceites. Por otro lado, existe la posibilidad de elevar la temperatura de la carga por encima de las recomendaciones de FOSFA para reducir su nivel de viscosidad y así evitar un prelavado amarrado a la terminal y posterior disposición de residuos a tierra.

- Decantación: Todos los aceites contienen un alto contenido en grasas que tienden a decantar al pasar unas semanas en el tanque de carga. Para evitarlo, durante el viaje se procede a realizar una recirculación de la carga dentro del propio tanque. Lo más importante es no ensuciar las líneas y evitar que se solidifique la carga allí, lo que no permitiría su descarga. Se suele conectar una manguera flexible a una brida ciega situada antes de la válvula de descarga de la bomba, se introducirá a una tapa de escotilla y se arrancará la bomba. De este modo se evita ensuciar la línea del tanque y la pequeña pérdida de carga que ello conlleva. En el caso de que la carga sedimentara, la bomba podría no aspirar la totalidad del producto dificultando el achique final y obligando a los tripulantes del buque a entrar al tanque a mezclar el sedimento con el remanente líquido y finalmente empujarlo hacia el pocete de succión de la bomba para achicarlo¹². Si esta situación se da con

¹² Los contratos de transporte de aceites vegetales obligan a un completo achique del tanque por lo que varios tripulantes del buque siempre van a tener que entrar al tanque a empujar el remanente hacia el pocete de succión de la bomba. Este proceso suele tener una duración de 10 a 15 minutos.

cierta frecuencia durante la descarga, esta se puede demorar más de lo debido con el correspondiente coste económico que supone.

Estos factores pueden complicar de manera importante las operaciones de carga, descarga y limpieza de tanques. Se pone especial atención a los aceites cuyo punto de fusión es elevado porque pueden obstruir las líneas de carga o atascar el movimiento de las válvulas de carga o descarga. Por ello se suele exigir a las terminales de carga que avisen de cualquier parada en las operaciones para que en el buque se pueda actuar rápidamente ante esta situación.

Por otra parte, los aceites vegetales, las grasas y las ceras son sustancias que someten a un elevado estrés los revestimientos al contener ácidos libres. Su transporte se realiza a temperaturas muy elevadas, en algunos casos a temperaturas superiores a 60°C y durante la operación de limpieza pueden saponificarse (recordemos que uno de los usos del aceite de palma es la fabricación de jabón) y generar un mayor contenido de ácidos libres. Estos ácidos grasos libres, especialmente los de cadena corta, pueden ser muy agresivos para los recubrimientos de tanques. Así, durante la carga, el viaje y la descarga, los valores de ácido no deben exceder los valores máximos dados en el TRIS. Los ácidos grasos aceptados pueden transportarse solo si son de composición normal y no contienen más del 2% de ácidos orgánicos de cadena corta.

En el caso de que aparezcan sedimentos en el fondo del tanque el proceso de “barrido” (*sweeping* en inglés) puede alargarse hasta más de 1 hora.

II.2.4.- Herramienta de resolución III: Sistemas y métodos de lavado

El sistema de lavado de un buque quimiquero se compone por estos elementos:

- Bombas de lavado: Se sitúan en la sala de máquinas del buque y son las encargadas de proporcionar el flujo de agua a las máquinas de lavado situadas en cubierta. Se pueden alimentar por agua de mar, succionando directamente de la toma de mar o por agua dulce contenida en los tanques de servicio del buque. Proporcionan una presión de agua de hasta 12 bares y un caudal de entre 100 y 150 m³/h dependiendo del diseño del buque y de las máquinas.
- Línea de lavado, ramificaciones y mangueras flexibles: Línea que discurre de popa a proa y se ramifica en líneas más finas para la alimentación de las máquinas de lavado. Existen buques que disponen de líneas de lavado de agua dulce y líneas de lavado de agua salada para agilizar la operativa del buque. Al final de cada línea de lavado hay un manómetro con una válvula de alivio para controlar la presión del agua y también un termómetro que indica la temperatura del agua en cubierta, ya que ésta pierde calor entre la salida del calentador y el final de la línea. En cada ramificación se encuentra una válvula de control y una brida ciega que garantiza que en ningún caso la carga de otro tanque será contaminada en caso de que haya una pérdida en la válvula de lavado. La línea de lavado comunica todos los elementos del sistema de limpieza y los tanques de residuos o decantación.
- Intercambiador de calor: Se utiliza para calentar el agua de lavado en caso de ser necesario. Se trata de un metálico por el que discurren varios serpentines por los que circula vapor de agua procedente de la caldera. La temperatura de salida del agua se ajusta en función del plan de lavado.
- Máquinas de lavado

II.2.4.1.- Máquinas de lavado

Las máquinas de lavado son aparatos diseñados específicamente para tal operación. Su función es la de dirigir un chorro de agua a presión hacia los mamparos del tanque para eliminar la suciedad.

El principio de funcionamiento es el mismo para todos los tipos. El agua de lavado que se envía a la máquina pasa a través de una turbina y ésta mueve una serie de engranajes que hacen rotar horizontal y verticalmente la boquilla situada en el interior del tanque estableciendo un patrón de limpieza según se haya programado la máquina. Este recorrido varía un cierto número de grados cada vuelta para así llegar a cubrir toda la superficie del tanque cumpliéndose un ciclo de lavado. Se pueden clasificar según su colocación y según el número de boquillas.

- Máquinas Fijas: Se encuentran instaladas en la cubierta del buque y son alimentadas por la línea de lavado. Tienen la ventaja que pueden ser programadas lo que permite tener un elevado control del proceso que se lleva a cabo. Las máquinas fijas pueden encontrarse de una sola boquilla o de doble boquilla.
- Máquinas Portátiles: Ofrecen una menor potencia que las fijas pero tienen la ventaja que se pueden bajar a diferentes alturas dentro del tanque para mejorar la calidad del lavado, realizar una limpieza más localizada y cubrir posibles áreas de sombra. Se introducen al tanque a través de las escotillas de la *butter*¹³ y se sujetan mediante un trípode y para facilitar el virado o arriado se utilizan carreteles diseñados para tal fin. Las mangueras utilizadas para su alimentación están marcadas cada metro para facilitar su colocación.

¹³ En inglés estas máquinas se llaman *Butterworth* y las escotillas del tanque por donde se insertan reciben el nombre de *Butterhatch* (Escotilla de la *Butter*)

Según el número de boquillas:

- Una boquilla: El plano horizontal lo cubren completamente, sin embargo en sentido vertical solo cubren un ángulo de giro de 0 a 145°. Su limpieza es menos exhaustiva.
- Doble boquilla: Ofrecen un mayor barrido de la superficie del tanque por ciclo de lavado pero tienen la desventaja que no se pueden programar. Tienen mucha utilidad como máquinas portátiles para cubrir zonas más bajas del tanque a las que las máquinas fijas situadas en cubierta no alcanzan de manera tan efectiva. Las máquinas de doble boquilla no requieren un programa. Solo el tiempo de limpieza determina el patrón.

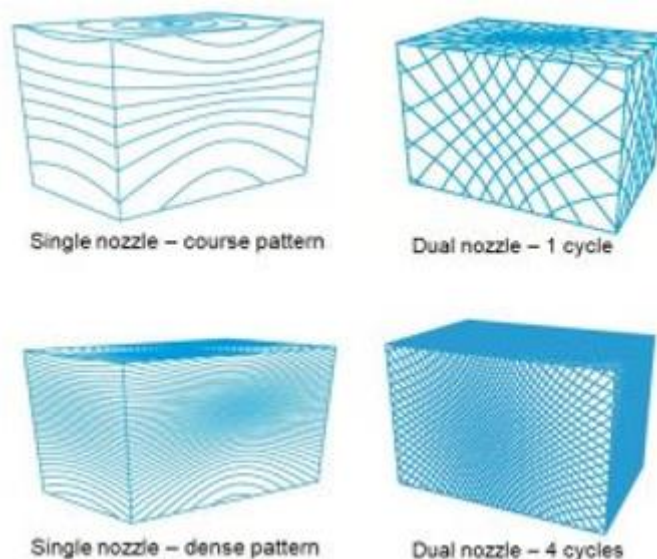


Ilustración 9: Comparación del patrón seguido por máquinas de lavado de una o dos boquillas. Fuente: Miracle Tank Cleaning Guide

Tanto la máquina de boquilla simple como la de boquilla doble generan un patrón en las paredes del tanque. Cuanto más difícil sea el trabajo de limpieza, más denso debe ser el patrón.

En las máquinas de limpieza programables se puede ajustar la velocidad de rotación y la elevación por revolución. Esto se puede ajustar mediante una serie de

pulsadores situados en la propia máquina. Generalmente existen 3 tipos de programas:

- 1/3 de ciclo: Usado para el prelavado. Es el programa menos denso.
- 2/3 de ciclo: Usado para el aclarado o limpieza de productos que requieren poco tiempo de lavado
- Ciclo completo: Para limpieza de productos que requieren un lavado muy exhaustivo. Cubre la totalidad del tanque y el patrón es muy denso.

El tiempo para lograr un círculo completo de una máquina determinada depende de la presión de entrada. También se necesita una presión suficiente para lograr un impacto adecuado del agua cuando golpea la superficie

El tiempo que tarda una máquina en realizar un ciclo de lavado varía dependiendo de la velocidad de la máquina y del programa que se haya seleccionado. Entonces, para calcular el tiempo en que la máquina realiza un ciclo completo se necesitarán las especificaciones del fabricante. Tomando como ejemplo Scanjet, una de las marcas más importantes en la fabricación de estos equipos, se determina la siguiente fórmula:

$$T = \frac{B \cdot C}{A \cdot 60}$$

Dónde:

- A: Elevación por revolución
- B: Velocidad de rotación
- C: Es el ángulo de lavado

II.2.4.2.- Métodos de lavado

En este listado se enumeran los métodos de lavado más comunes:

Prelavado: El primer paso en casi todo proceso de lavado suele ser el prelavado, no suelen usarse aditivos en este paso. Este paso deberá intentar llevarse a cabo lo

antes posible, de esta manera se facilitará la eliminación de los residuos que puedan quedar del producto después de su descarga en los mamparos, el plan o la parte superior del tanque. Las sustancias categoría X e Y solidificantes y de alta viscosidad requerirán de un prelavado previo a la salida del buque a la mar que se deberá descargar en una instalación en tierra. El Convenio MARPOL en su Anexo II estipula una cantidad mínima de agua a utilizar según el tipo de carga y diseño del buque que viene dada por la siguiente fórmula:

$$Q = k \cdot (15r^{0.8} + 5r^{0.7} \cdot \frac{V}{1000})$$

Dónde:

- Q: Cantidad mínima de agua en metros cúbicos (m³).
- r: Cantidad residual por tanque en metros cúbicos. Cada tanque de cada buque tiene su cantidad específica de achique estipulada en el Manual de Procedimientos y Medios. Esta tabla se obtiene durante las pruebas que se realizan al buque en el astillero durante su construcción.
- V: Volumen del tanque en metros cúbicos (m³).
- k: Factor que se determina según:
 - o k = 0.5: Sustancia categoría Y no solidificante y de baja viscosidad
 - o k = 1.0: Sustancia categoría Y solidificante o de alta viscosidad
 - o k = 1.2: Sustancia categoría X no solidificante y de baja viscosidad
 - o k = 2.4: Sustancia categoría X solidificante o de alta viscosidad

El tiempo mínimo requerido para la realización de un prelavado es:

$$T = \frac{V}{Q_{TOT}} \cdot 60$$

Dónde:

- T: Tiempo de lavado en minutos
- V: Volumen mínimo de agua requerido en prelavado
- Q_{TOT}: Caudal de las máquinas de lavado a una presión específica

Butterworth: Consiste en rociar con agua a alta presión (hasta 12 bares) los mamparos, planchas de cubierta y tapa de doble fondo de los tanques mediante

máquinas de lavado automáticas. En este método no se le añade al agua ningún tipo de aditivo o detergente. Se programa la máquina para que realice un ciclo completo y pueden ser necesarios más ciclos dependiendo del grado de dificultad de la operación. En caso de que sea necesario, para calentar el agua se utilizará un intercambiador de calor.

Lavado con inyección: El principio es el mismo que en el método de *butterworth* aunque en este caso se introduce en la línea de lavado un detergente mediante una bomba neumática¹⁴. La cantidad de detergente a introducir dependerá de su concentración y del consumo de agua de las máquinas. Este método solamente se puede llevar a cabo tras un prelavado.

Lavado con recirculación: Se introduce dentro de un tanque de 5 a 10 m³ de agua dulce (Kämmle & Bruhn, 2008) hasta tapar por completo los serpentines de calefacción y mediante inyección se introduce el detergente. Después se arranca la bomba de descarga del tanque, se abre la válvula de descarga y a través de una manguera se envía la solución de vuelta a la línea de lavado. Entonces la bomba de descarga es la que alimenta la máquina de lavado. Este método solamente se puede llevar a cabo tras un intenso prelavado. Para calentar el agua se utiliza el sistema de calefacción del tanque, de ahí la necesidad de cubrir los serpentines con agua.

Recirculación mediante tanque de servicio: Tras un prelavado se introduce en el tanque de servicio (preferiblemente se utilizará un tanque Slop¹⁵) unos 20 a 50 m³ de agua dulce (Kämmle & Bruhn, 2008) y se prepara la solución con detergente. Se arranca la bomba del tanque de servicio y se abren la válvula de descarga y la válvula de intermedia que conecta el tanque de servicio con la línea de lavado. Una vez hecho esto se programan las máquinas de lavado y empieza el *butterworth*. La solución se devuelve al tanque de servicio mediante la bomba de descarga del tanque a lavar, el sistema de líneas y válvulas de cubierta y la válvula de carga del

¹⁴ Son bombas de diafragma accionadas por aire a presión denominadas “GRACO” o “WILDEN” por los dos fabricantes de mayor importancia a nivel internacional.

¹⁵ Los tanques slop de los buques quimiqueros son los más indicados para una recirculación mediante tanque de servicio. Si éstos no se puedan utilizar porque están cargados o sucios se podrá utilizar otro tanque de carga aunque la efectividad de la operación se verá afectada al no estar diseñado su disposición de líneas para tal proceso.

tanque de servicio. La solución se calienta mediante los serpentines de calefacción de los tanques. Este método es muy utilizado para limpiar productos limpios de petróleo y cargas aceitosas que decantan del agua. Cuando la carga a lavar sea de este tipo la cantidad de detergente será reducida ya que se requerirá la concentración justa para emulsionar los residuos.

Enjuague: Este método es igual al de *butterworth* con la única diferencia que en vez de agua de mar se utiliza agua dulce para eliminar los cloruros del agua de mar y endulzar el tanque. Se deberá disponer de agua dulce suficiente a bordo para tal efecto en un tanque destinado a tal efecto para evitar su contaminación. No es necesario realizar un ciclo completo con las máquinas (Kämmle & Bruhn, 2008).

Vaporizado: Introducción de vapor saturado dentro del tanque. El vapor se condensa en los mamparos (más fríos) para eliminar olores y cloruros. Se puede utilizar en tanques revestidos de silicato de zinc para eliminar contaminantes no volátiles mediante la inyección de Tolueno en el vapor. Sin embargo, el Tolueno es tóxico y acumulador estático por lo que el tanque debe ser inertizado antes de empezar la operación.

Rociado Manual: Para utilizar este método se requiere que el tanque esté listo para la entrada de una persona a un espacio confinado; por lo que el tanque debe estar libre de gases tóxicos o inflamables y con un contenido de oxígeno de 20,9%. Consiste en rociar los mamparos mediante una manguera de agua a presión. Si a éste agua se le añade algún detergente, el operario de la manguera deberá vestir un traje de protección química con un equipo de respiración autónoma. Está prohibida la utilización de detergentes tóxicos o que produzcan gases inflamables.

Eliminación de Cloruros: La eliminación de cloruros de los mamparos de un tanque es una sencilla operación que consiste en rociar los mamparos con agua destilada o desmineralizada mediante el método de recirculación o vaporizado. Es importante reseñar que el uso de agua destilada o desmineralizada es la base de este proceso ya que su contenido en cloruros es notablemente menor. Se realiza cuando el tanque va a ser sometido a un *Wall Wash Test*.

Ventilación: Los residuos de algunos productos con una presión de vapor mayor de 5 kPa a 20°C pueden limpiarse simplemente mediante la ventilación del tanque sin la necesidad de utilizar ningún otro método. A continuación se detallan los métodos de ventilación más comunes y que pueden ser utilizados también para extraer los vapores de cargas después de una limpieza por métodos ordinarios.

- Desplazamiento: Es el método más rápido para deshacerse de los vapores de carga. Los vapores de carga más pesados que el aire se depositan en el fondo del tanque y deben extraerse mediante un ventilador de extracción conectado un cilindro flexible que se desliza hasta justo por encima del fondo del tanque. En el caso de que los vapores de aire sean más ligeros que el aire se invertirá el giro del ventilador por lo que en vez de usarse a modo de extractor, se usará como ventilador.

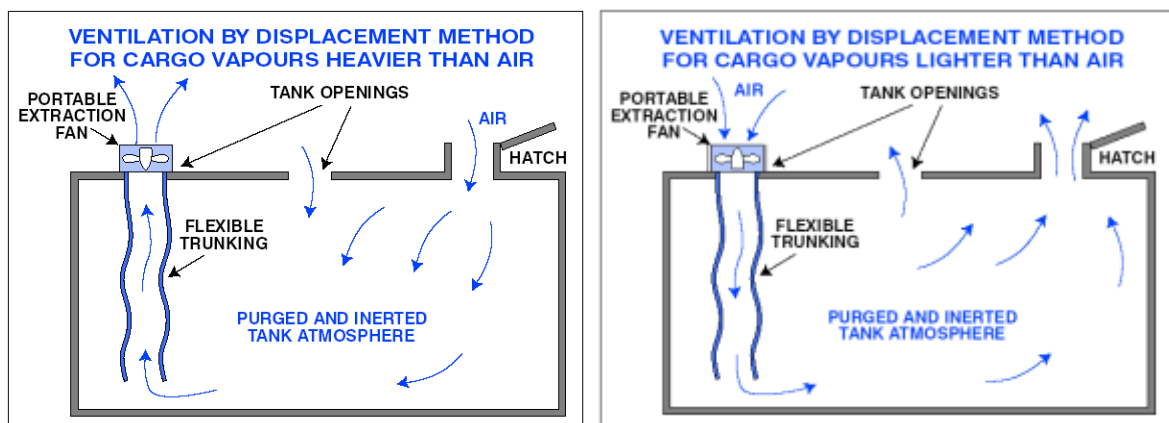


Ilustración 10: Método de Desplazamiento. Fuente: SigmaCoatings.

- Dilución: Consiste en insuflar aire a alta velocidad dentro del tanque para que los vapores de la carga se mezclen con el aire y sean expulsados conjuntamente a través de las escotillas. La dilución no es tan rápida como el desplazamiento y existe el riesgo de que se formen bolsas de gas en las esquinas inferiores del tanque.

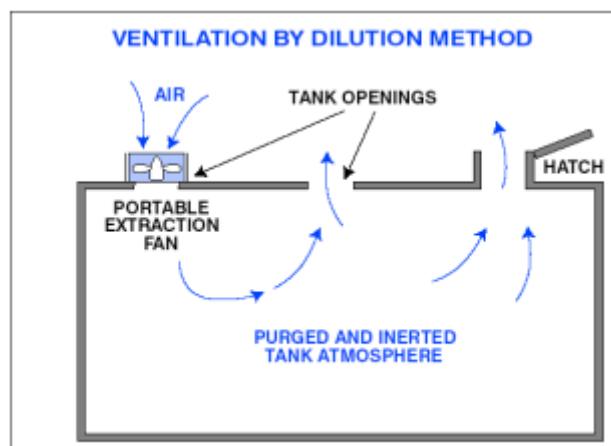


Ilustración 11: Método de Dilución. Fuente: SigmaCoatings.

II.2.4.3.- Uso de detergentes

Algunos residuos de productos químicos no se pueden eliminar del revestimiento con la sola aplicación de agua a presión sino que requieren el uso de un detergente para mejorar su solubilidad con el residuo a limpiar. Todos los agentes de limpieza deben cumplir con los requisitos estipulados en la regla 13.5.2 del Anexo II del Convenio MARPOL y estar aprobados por la OMI. La última lista provisional de agentes de limpieza aprobados por la OMI figura en la circular MEPC.2/Circ.25 del 1 de diciembre de 2019. Debe estar aprobado también por el fabricante del revestimiento de los tanques.

Los detergentes se utilizan para limpiar sustancias insolubles en agua. El detergente disminuye la tensión superficial del agua de lavado con el resultado de que se forma una emulsión de la sustancia y el agua. Dependiendo de la naturaleza del detergente, la emulsión es más o menos estable.

Estos productos de limpieza se usan en agua dulce por la imposibilidad del agua de mar de producir jabón al ser un agua con mayor concentración de minerales¹⁶. Se usan tras haber enjuagado el tanque y haber eliminado la mayor parte de la sustancia.

¹⁶ Véase en el apartado Definiciones la explicación de la dureza del agua.

Además de la variedad de detergentes, existe un amplio abanico de otros productos disponibles como desodorantes, pasivizantes, desengrasantes y dispersantes de hidrocarburos.

A continuación se detallan algunos detergentes usados en limpiezas de tanques de buques quimiqueros:

- Alcalinos: Utilizados para limpiar grasas y aceites de origen vegetal o animal. Mediante el proceso de saponificación, se pueden eliminar los residuos más complicados. Su tarea es eliminar los ácidos grasos para así neutralizar el pH. Hay dos tipos:
 - o Basados en hidróxido de sodio (Sosa Cáustica): Produce jabones más duros durante el proceso de saponificación y, como tal, existe un mayor riesgo de que se forme resina blanca en la superficie del tanque, particularmente a temperaturas más altas. Su uso está restringido a tanques revestidos de epoxi (Verwey, 2015).
 - o Basados en hidróxido de potasio: La sal de potasio de un ácido graso produce un jabón más suave durante la saponificación en comparación con la sal de sodio, lo que significa que tienden a ser más efectivos y tienen menos probabilidades de producir residuos blancos en la superficie de los tanques (Verwey, 2015).
- Alcalinos especiales para Zinc: Tienen un pH menos extremo que los alcalinos basados en sosa cáustica e hidróxido de potasio y son adecuados para el lavado de tanques de zinc ya que son menos agresivos con el revestimiento.
- Antioxidantes: Agentes ácidos basados en ácido fosfórico para la eliminación de residuos como sales de magnesio o sales de sodio. Son útiles para abrillantar los tanques de acero inoxidable o los serpentines de calentamiento.
- Disolventes: Para eliminar residuos de hidrocarburos producidos por el transporte de productos derivados del petróleo.
- Desodorantes: Usados para la eliminación de olores de cargamentos que tengan un olor muy fuerte.

- Soluciones Búfer: Son utilizadas para mantener el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia durante una reacción química en un período corto, esto con la finalidad de evitar que ocurran otras reacciones químicas no deseadas.

II.2.5.- Herramienta de resolución IV: Inspección y certificación de la calidad de la limpieza

La inspección de la calidad de la limpieza es una herramienta que sirve para determinar el buque es apto para cargar productos de alta sensibilidad que puedan sufrir contaminación. Los análisis que se realizan pueden ir desde la simple inspección visual hasta un exhaustivo análisis mediante pruebas químicas a los mamparos de los tanques en busca de trazas de sustancias contaminantes.

La utilización de un método u otro dependerá de la carga que se tenga intención de cargar tras la operación de lavado o si el fletador lo exige.

II.2.5.1.- *Water White Standard*

Comprobación a simple vista de que el tanque está limpio, el revestimiento en buen estado y libre de olores. Es de obligado cumplimiento para cualquier tipo de cargamento. Es el paso previo a la realización de pruebas químicas.

II.2.5.2.- *Wall Wash Test*

Lo constituyen hasta seis pruebas que determinan la calidad de la limpieza más allá de lo que la vista puede alcanzar. No siempre es necesario realizarlas todas sino que dependerá de las instrucciones del cargador o fletador. Consiste en la proyección de metanol (MeOH) sobre los mamparos y posterior recolección en una botella. El metanol es una sustancia que se contamina con facilidad y mediante la aplicación de unos aditivos, posteriormente, se puede determinar la cantidad de trazas de residuos contaminantes que aún residen en el tanque.

- Apariencia de la muestra: Comprobación a simple vista de la muestra almacenada en un recipiente transparente de cristal. La muestra será apta si está clara, brillante y libre de sedimentos.

- Color de la muestra en la escala de cobalto-platino (PtCo): Determina la presencia de trazas de líquidos de color claro y amarillento. La escala de referencia se describe en el estándar ASTM D1209. Requiere que se compare una muestra de metanol puro con otra muestra sacada del tanque mediante *Wall Wash Test* para luego determinar el color que le corresponde. Generalmente se requiere que el color sea inferior a 10, y en requisitos de ultra-alta pureza puede llegar a alcanzar el color 5 lo que efectivamente no es una decoloración visible. El uso de un espectrómetro¹⁷ puede ayudar a determinar rápidamente el nivel.

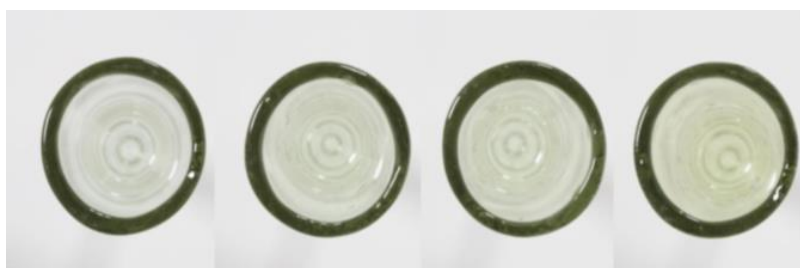


Ilustración 12: Apariencia de una muestra en la prueba de color. Fuente: L&I Maritime Limited

- Test de hidrocarburos: Esta prueba sirve para determinar la presencia de sustancias de hidrocarburos que son inmiscibles en agua. En cambio, los hidrocarburos son capaces de diluirse con el metanol, que, al ser un compuesto orgánico, tiene la capacidad de disolverse y extraer residuos de hidrocarburos de la superficie del mamparo. El método de prueba para la miscibilidad de hidrocarburos es ASTM D1722, que establece que la muestra de lavado de pared debe diluirse en una proporción de 1:9 con agua destilada (10 ml de muestra del tanque por 90 ml de agua destilada). Sin embargo, se puede realizar mediante diluciones de 1:3 (25 ml de muestra del tanque por 75 ml de agua destilada) o 1:1 (50 ml de muestra de lavado de pared a 50 ml de agua destilada). Para cargas de mayor pureza se requerirá una proporción de 1:1 o 1:3, al mostrar la muestra mayor precisión de la presencia de trazas de hidrocarburo.

¹⁷ Instrumento de medición que analiza el tipo de espectro que absorbe una sustancia que se encuentra en el camino de una luz (EcuRed, 2020).

- Test de cloritos: Esta prueba determina si existen trazas de algún cloruro en los mamparos de los tanques. Estos cloritos están presentes tras un lavado mediante agua salada y, en menor medida, tras un lavado con agua dulce. El contenido de cloruro del agua de mar es de alrededor de 15,000 a 20,000 ppm, mientras que el agua dulce normal será de alrededor de 100 a 500 ppm. Sin embargo, para la eliminación de cloruros se puede utilizar agua destilada que tiene una concentración cercana a 0 ppm. La prueba se basa en la reacción de los cloruros con un aditivo que en este caso es nitrato de plata (AgNO_3) para formar un cloruro de plata que, en una disolución, puede verse como un precipitado blanco que aumenta la turbidez de la muestra. Cuanto más cloruro haya en la muestra de prueba, mayor será la intensidad del precipitado blanco. La reacción de la plata con el cloruro ocurre en una proporción de 1:1, en otras palabras, una parte del cloruro reaccionará con una parte de la plata. El nitrato de plata se suministra típicamente en concentraciones de entre 2% y 10%. Una concentración de nitrato de plata al 2% es equivalente a alrededor de 12,000 ppm de plata, lo que equivale a un exceso masivo de plata, mucho más alto que el nivel de cloruros que generalmente se espera tras una operación de limpieza. La reacción entre el nitrato de plata y los cloruros inorgánicos puede ser bastante lenta, particularmente a niveles muy bajos de cloruro. Por esta razón, es bastante común agregar ácido nítrico a la mezcla que actúa como catalizador, acelerando la formación del precipitado blanco.

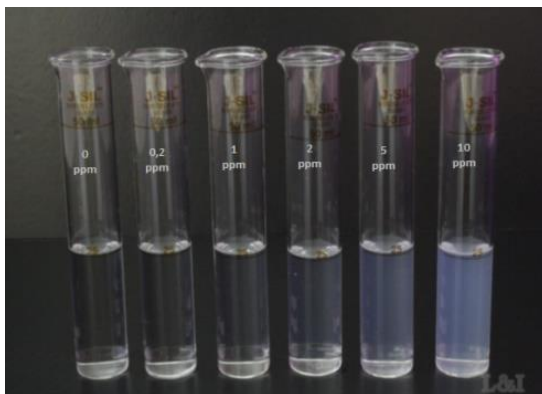


Ilustración 13: Comparación de concentraciones tras un test de cloritos.
Fuente: L&I Maritime Limited

- Test de permanganato: Este test nos dará conclusiones sobre la presencia sustancias oxidables o impurezas en los mamparos. El test está basado en la capacidad del permanganato de potasio para oxidar los residuos de hidrocarburos y convertirse en dióxido de manganeso, cambiando de color desde un rosado hasta un amarillo-naranja. El tiempo que tarda en cambiar de color nos indicará el grado de contaminación de la muestra. Una muestra de metanol puro mezclada con permanganato de potasio tarda en torno a 50 - 60 minutos en cambiar de color. Por ello, la medición de este test se realiza por tiempo. Hay varios requisitos según la próxima carga, las de alta pureza requieren que la muestra no cambie de color en 50 minutos o más, en cambio hay otras sustancias que requieren solamente 30 minutos sin que haya un aparente cambio de color en la muestra.



Ilustración 14: Test de permanganato. La muestra del tapón azul es la muestra maestra.
Fuente: Elaboración propia

II.2.5.3.- Requisitos de calidad de la limpieza

Para poder cargar ciertos productos químicos de alta pureza, el cargador establece qué test de *Wall Wash* deben llevarse a cabo para que se acepte el tanque para su carga.

Los requisitos de estos test pueden variar ampliamente dependiendo del producto a cargar, mientras que en algunos se acepta cierta tolerancia (como son aceites vegetales), en otros las concentraciones de cloritos, hidrocarburos y el tiempo de permanganato son muy estrictos y puede que un buque aunque completamente limpio sea rechazado (es el caso de alcoholes tipo Metanol, Etanol o Etilenglicol). Un ejemplo de los requisitos para productos de alta pureza es el siguiente:

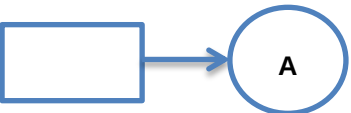
- Tanque libre de olores y sin residuos visibles de la anterior carga
- Color de la muestra en la escala de cobalto-platino (Pt-Co): Menor de 10
- Cloritos por debajo de 0.5 ppm
- Test de permanganato superior a 50 minutos
- Libre de hidrocarburos

II.2.6.- Otras herramientas

II.2.6.1.- Elaboración de flujogramas

Un flujograma o diagrama de flujos es una representación gráfica del desarrollo de un proceso. Estos gráficos facilitan el entendimiento de un proceso, disminuyendo su complejidad mediante la identificación de las actividades o tareas de manera ordenada (Sánchez Díaz de la Campa, 2017).

Los flujogramas se componen de diferentes elementos representativos, cada uno de los cuales tiene una función diferente dentro del proceso que describe. En la tabla siguiente se presentan sus símbolos estándar:

Forma	Descripción
	Tarea: Cualquier tarea del proceso
	Primera y última tarea del proceso
	Salida o entrada al proceso. En negrita o subrayado aparece el origen o destino
	Conector: Indica el flujo del proceso (entre tareas)
	Conector: Relaciona una salida o entrada con la secuencia del proceso
	Indica que se produce un desplazamiento durante el proceso
	Tarea cuyos detalles no se incluyen en el presente diagrama

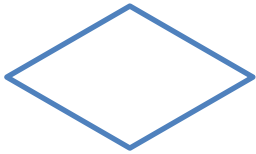
	Diamante de decisión: Indica una situación condicional y determina qué camino tomará el proceso según la respuesta a la pregunta. Siempre será Sí/No o Verdadero/Falso
---	---

Tabla 3: Formas de los elementos de un flujograma. Fuente: Apuntes de la asignatura Sistemas Integrados de Gestión, Máster Universitario en Ingeniería Náutica y Gestión Marítima, Universidad de Cantabria (Sánchez Díaz de la Campa, 2017).

Para la construcción de un flujograma hay que establecer su alcance ya que no se deben incluir tareas correspondientes a otro proceso. Otro factor a tener en cuenta es la aplicabilidad para establecer responsabilidades entre las partes participantes.

Los flujogramas de un proceso se construyen empezando por las tareas básicas que van a producir las salidas, y al haber constituido la secuencia principal, se van estableciendo los puntos de decisión, es decir, las tareas que se realizan algunas veces (Sánchez Díaz de la Campa, 2017).

II.2.6.2.- Entrada a espacios cerrados

Todas las empresas navieras tienen procedimientos que definen las actividades y controles necesarios para garantizar que todas las personas que ingresan en espacios cerrados puedan hacerlo con la debida seguridad desde la entrada hasta la salida.

Un espacio cerrado es aquél con acceso restringido que está sujeto a ventilación continua y en el cual la atmósfera puede ser peligrosa debido a:

- Deficiencia de oxígeno: En un espacio que se ha cerrado por un período de tiempo prolongado sin ventilación adecuada puede existir una falta de oxígeno.
- Presencia de gases tóxicos: En espacios donde se hayan llevado productos químicos o donde se hayan realizado operaciones de pintado o limpieza con productos químicos que puedan liberar vapores de solventes.

Por ello, los buques que transporten productos tóxicos o inflamables, de ambas clases, irán provistos de instrumentos diseñados y debidamente calibrados para analizar los vapores de cualquier sustancia que puedan cargar. El equipo detector de los vapores tóxicos utilizable para los productos está prescrito en la columna K del capítulo 17 del Código CIQ:

- Explosímetros: Son instrumentos que nos ayudan a calcular la concentración de gases inflamables en una mezcla con aire, gas inerte o mezcla de varios gases. La concentración del gas se expresa en % del LEL¹⁸ (Lower Explosive Limit) o en ppm dependiendo del gas a medir. A bordo se disponen de botellas de gas calibrador con gases para mantener el equipo correctamente ajustado.
- Analizadores de oxígeno: Indican el contenido de oxígeno en cualquier atmósfera, en porcentajes entre el 0 y 25 % en volumen. El contenido de

¹⁸ Es la concentración mínima de vapor de combustible en una mezcla de aire necesaria para iniciar una combustión.

oxígeno en una atmósfera normal y libre de gases es del 21 %. También se disponen de botellas de gas para su calibración.

- Tubos colorimétricos: Son tubos de cristal rellenos con sustancias que en contacto con el gas que se desea analizar, reaccionan químicamente cambiando de color. Mediante una escala inscrita en el cilindro de cristal se realiza la lectura de la concentración del gas en cuestión. Estos tubos se insertan en una manguera ya adaptada a su forma y mediante una bomba manual se aspiran los gases a través del cilindro. Todos tienen el mismo principio de funcionamiento, sin embargo, cada tubo dispone de sus propias instrucciones de manejo.

Otros peligros a los que se pueden enfrentar los tripulantes son la falta de luz y la presencia de sustancias resbaladizas como lodos o residuos de carga, lo que puede conllevar a golpes o caídas en el interior.

Estos procedimientos se ponen en práctica mediante listas de comprobación que permiten mantener un registro de las lecturas de la atmósfera, así como de las personas que entren al espacio para realizar los trabajos.

II.3.- Metodología

II.3.1.- Tareas previas a la operación de limpieza

Los procesos previos a la operación de limpieza serán de gran importancia para que el desarrollo de lavado sea más sencillo y el resultado satisfactorio. Cada proceso irá acompañado de las siglas correspondientes PXX.

II.3.1.1.- P01: Planificación de la carga

Antes de empezar a planificar la operación de limpieza se tiene que preparar el plan de estiba que según el tipo de aceite que se vaya a cargar deberá tener en cuenta los siguientes factores:

1. Los aceites con una alta acidez no se cargarán en tanques revestidos de silicato de zinc. Su alta acidez puede dañar el revestimiento irremediablemente.
2. En el caso de que se vayan a cargar diferentes grados de aceites vegetales en un mismo viaje, las sustancias con el mayor punto de fusión se estibarán en los tanques más cercanos a la conexión de manifold para que su recorrido por las líneas de carga sea el menor posible.
3. En el caso de que el punto anterior no sea posible también se podría considerar su estiba en los tanques más cercanos a los tanques de búnker, para mantener así su calor durante más tiempo y reducir la duración del calentamiento del tanque.
4. Los más oleaginosos y que no requieran o que su calentamiento sea mínimo, se estibarán en los tanques situados a proa o a popa (sin incluir los tanques adyacentes a los de búnker).
5. Evitar la estiba de aceites secantes o semi-secantes en tanques adyacentes cuyas cargas necesiten ser calentadas durante el viaje.
6. Se considerará la opción de la carga a través de la escotilla de la *butter* en el caso de que la terminal pueda proveer de las mangueras necesarias y así evitar el riesgo de solidificación en las líneas de carga.

II.3.1.2.- P02: Planificación de la limpieza de tanques

La planificación de la limpieza de tanques comenzará después de salir del puerto de carga y con antelación a la llegada al puerto de descarga. Esto se debe a dos razones:

1. El encargo de detergentes, y demás materiales como trapos, agua destilada y reactivos para las pruebas de *Wall Wash* que requerirá de un espacio de tiempo para su compra y envío al buque.
2. Encargo de agua dulce, en el caso de que no se pueda elaborar a bordo.

El Primer Oficial preparará el plan de lavado que requerirá de la ayuda del Jefe de Máquinas y la aprobación final del Capitán. En este punto la experiencia del Primer Oficial y del Capitán será muy importante.

Los primeros pasos que se tendrán en cuenta serán:

1. Como todos los aceites vegetales son considerados sustancias categoría Y a tenor del capítulo 17 del Código CIQ, se deberá determinar si a bordo hay algún producto que sea solidificante o de alta viscosidad. En caso afirmativo se deberán consultar las recomendaciones de FOSFA sobre aceites que requieran calentamiento para su transporte (véase Anexo I), estas en ningún caso presentan a los aceites vegetales como sustancias solidificantes a efectos del Anexo II del Convenio MARPOL, ya que las temperaturas de descarga están más de 20 grados por encima del punto de fusión en todos los casos, por lo que el problema residirá en la viscosidad. A mayor viscosidad mayor será el tiempo requerido por cada tarea, mientras que para un mayor punto de fusión, mayor será la temperatura requerida durante las fases en las que se requiera calentamiento del agua de lavado. Una temperatura de agua de lavado superior a la recomendada en el TRIS puede dañar irremediablemente el revestimiento por lo que la temperatura del agua debe regularse según las recomendaciones del fabricante.
 - a. El fletador podrá ordenar el incremento de la temperatura para a descarga de la carga por encima de las recomendaciones de FOSFA

para cumplir así las prescripciones del Anexo II del Convenio MARPOL y evitar el prelavado obligatorio en la terminal.

- b. En caso negativo, se procederá a incluir el prelavado en la planificación.

Una vez analizados los factores anteriores, hay que determinar si realizaremos un prelavado y cuánto tiempo nos tomará. El Manual de Procesos y Medios del buque expone los tiempos requeridos para el prelavado calculados según las máquinas de lavado disponibles a bordo, las capacidades de achique de las bombas y las capacidades de carga de los tanques.

MINIMUM OPERATING PERIOD (MINUTES) DURING

TANK No.	Capacity (m³)	Stripping quantity calculated (m³)	k=0,5		k=1,0		k=1,2		k=2,0		k=2,4	
			Q (m³/h)	Req. prewash (minutes)	Q (m³/h)	Req. prewash (minutes)	Q (m³/h)	Req. prewash (minutes)	Q (m³/h)	Req. prewash (minutes)	Q (m³/h)	Req. prewash (minutes)
Cargo tank No. 1 PS	2868,34	0,100	2,62	4,8	5,24	9,5	6,29	11,4	10,48	19,0	12,57	22,8
Cargo tank No. 1 SB	2868,34	0,100	2,62	4,8	5,24	9,5	6,29	11,4	10,48	19,0	12,57	22,8
Cargo tank No. 2 PS	2704,57	0,100	2,54	4,6	5,08	9,2	6,09	11,1	10,15	18,4	12,18	22,1
Cargo tank No. 2 SB	2704,57	0,100	2,54	4,6	5,08	9,2	6,09	11,1	10,15	18,4	12,18	22,1
Cargo tank No. 3 PS	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 3 SB	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 4 PS	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 4 SB	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 5 PS	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 5 SB	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 6 PS	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 6 SB	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 7 PS	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 7 SB	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 8 PS	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 8 SB	2830,60	0,100	2,60	4,8	5,20	9,5	6,24	11,4	10,40	18,9	12,48	22,7
Cargo tank No. 9 PS	3023,83	0,100	2,70	4,9	5,39	9,8	6,47	11,8	10,79	19,6	12,95	23,5
Cargo tank No. 9 SB	3023,83	0,100	2,70	4,9	5,39	9,8	6,47	11,8	10,79	19,6	12,95	23,5
Slop tank PS	981,48	0,100	1,68	3,1	3,36	6,1	4,03	7,3	5,71	12,2	8,06	14,6
Slop tank SB	1100,49	0,100	1,74	3,2	3,48	6,3	4,17	7,6	6,95	12,6	8,34	15,2

Ilustración 15: Tiempos mínimos de prelavado por tanque del buque Mattheos I. Fuente: Uljanik Shipyard, Pula, Croacia

Una sustancia solidificante o de alta viscosidad de categoría Y tiene una $k=1$.

2. En el caso de que se hayan embarcado aceites secantes o semisecantes. En ese caso se dará prioridad a estos tanques para evitar la formación de una película pastosa:
 - a. El lavado deberá empezar lo más pronto posible después de la certificación por parte del inspector de carga que el tanque está vacío y se emita el correspondiente certificado:
 - b. En el caso de que las regulaciones locales no permitan realizar una limpieza de tanques con el buque amarrado se añadirá al tanque una pequeña cantidad de agua (unos 30 cm) o vapor a muy baja presión para mantener la atmósfera húmeda.

Para la elaboración del plan de limpieza, se hará uso de las guías de limpieza Miracle Tank Cleaning Guide (Kämmle & Bruhn, 2008) o Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide (Verwey, 2015), publicaciones que deberán estar a bordo en todo momento para su consulta en caso de duda.

Es importante saber el producto que se cargará tras la limpieza para ajustarla a las necesidades de la nueva carga, sin embargo, "Miracle" facilita los pasos a seguir sin tener en cuenta la próxima carga lo que dejaría el tanque limpio y listo para cargas con requisitos de limpieza bajos o moderados.

A mayor viscosidad mayor será el tiempo requerido por cada tarea, mientras que para un mayor punto de fusión, mayor será la temperatura requerida durante las fases en las que se requiera calentamiento del agua de lavado.

Una temperatura de agua de lavado superior a la recomendada en el TRIS puede dañar irremediablemente el revestimiento por lo que la temperatura del agua debe regularse según las recomendaciones del fabricante.

El plan de lavado estándar se ajustará en la medida de lo posible a la siguiente tabla:

	Método	Tiempo	Temperatura del Agua (°C)	Agua	Tipo de Máquinas de Lavado	Notas
1	Prelavado	1.5 horas	Ambiente, aunque siempre 15°C > del punto de fusión)	Agua de mar	Máquina fija y portátil	Descarga de lavazas limitada según prescripciones del Convenio MARPOL
2	<i>Butterworth</i>	3 - 4 horas	60°C	Agua de mar	Máquina fija	Limpieza de líneas y equipos asociados durante esta tarea
3	Punto de control 1: Inspección de tanques del Primer Oficial. En caso de que los resultados no sean los esperados, volver a realizar <i>Butterworth</i>					
4	Aclarado	30 minutos	Ambiente	Agua dulce	Máquina fija	Eliminación de restos de agua de mar
5	Recirculación	3 - 4 horas	60°C	Agua dulce	Máquina portátil	Mezcla 2% con detergentes apropiados al revestimiento de los tanques
6	<i>Butterworth</i>	2 horas	60°C	Agua de mar	Máquina fija y portátil	Eliminación de jabón y residuos polvorientos
7	Aclarado	30 minutos	Ambiente	Agua dulce	Máquina portátil	Eliminación de cloruros
8	Punto de control 2: Ventilación, secado e inspección de tanques					
9	Fregado, limpieza manual de válvulas, secado de líneas, escotillas y cubierta principal					

La cantidad de detergente a utilizar dependerá de la cantidad de tanques a limpiar. En recirculación, se mezclaran 20 m³ de agua dulce con detergente para formar una solución al 2%. Eso conlleva que para cada mezcla se utilizarán 400 litros de detergente.

Esta mezcla se considerará que se puede reutilizar en dos tanques por lo que al finalizar la recirculación en un tanque, se podrá trasladar la mezcla a otro tanque. En caso de tener que lavar tanques revestidos de epoxi se utilizará un detergente alcalino, mientras que para los tanques de silicato de zinc un agente detergente con un pH reducido para no dañar el revestimiento.

II.3.1.3.- P03: Planificación de la descarga y lastrado de tanques

En el caso de que la descarga tenga lugar en un solo puerto la planificación de la descarga se realizará de acuerdo a los estándares de seguridad para estas operaciones y el lastrado completo del buque será inevitable. En cambio, si la descarga tiene lugar en varios puertos, se abre la posibilidad para introducir agua en los tanques de lastre no adyacentes a los tanques de carga vacíos y sucios. En todo caso, también se pueden cargar los tanques de lastre adyacentes pero el nivel de estos no deberá alcanzar la tapa de doble fondo cuya plancha se corresponde al fondo del tanque de carga lo que permite ganar tiempo entre puerto y puerto para realizar un prelavado y facilitar el proceso posterior.

Esta tarea tiene relación con cargas con un alto punto de fusión como algunos derivados de aceite de palma (PFAD o Estearina de Palma) en las que, si los mamparos se enfrían por el agua de lastre del tanque contiguo, el lavado se complicará al solidificarse los residuos de la carga.

II.3.1.4.- P04: Descarga

Durante la descarga hay dos operaciones que se deben realizar simultáneamente cuando el nivel de los tanques sea bajo. Una es la purga del cofferdam de la bomba

para evitar que en caso de rotura del sello se pueda filtrar parte de la carga y este se solidifique en su interior pudiendo dañar el eje al arrancarla de nuevo.

La otra operación es el soplado de líneas. Cuando se pare la descarga o de acabe todo el proceso hay que conectar una línea de aire comprimido a la línea de descarga de la bomba e inyectar aire comprimido para empujar el remanente que pueda quedar en las líneas hacia la terminal. Esto se repetirá de 3 a 5 ocasiones.

Algunos aceites vegetales tienen tal viscosidad que, para completar el achique final, un grupo de tripulantes de cubierta deberán entrar al interior con escobas.

Una vez los tanques estén achicados al máximo (según sus requisitos de construcción) el inspector de la carga certificará que el tanque está vacío y expedirá para el buque un certificado de tanque seco lo que definitivamente cierra el proceso de descarga y permite al buque comenzar las operaciones de lavado en ese tanque.

Durante las operaciones de descarga se embarcará agua dulce en un tanque de servicio o en un tanque de carga vacío para la futura operación de limpieza, si el jefe de máquinas no puede elaborar la cantidad necesaria para la operación.



Ilustración 16: Conexión de manifold tras la descarga de aceites vegetales. Fuente: Marflet Marine Internacional S.A.

II.3.2.- Operación de limpieza

II.3.2.1.- Orden de limpieza

Una vez los tanques a descargar estén vacíos se reciben instrucciones del fletador del buque para comenzar las operaciones de limpieza.

Se embarcarán todos los detergentes necesarios para la operación de lavado y en caso de que el fletador lo requiera también embarcará una persona experta en este tipo de operaciones para aconsejar y apoyar al Primer Oficial en el desarrollo del proceso que se conoce como “*Supercargo*”.

Las instrucciones incluirán la calidad del lavado final y los test de limpieza que deberán superar los tanques según los requisitos del cargamento posterior.

II.3.2.2.- PLIMP01: Reunión previa a la operación de limpieza

Previamente al inicio de la operación de limpieza, se celebrará una reunión encabezada por el Primer Oficial, en la que asistirán el Capitán, el Jefe de Máquinas, oficiales de cubierta y todos los tripulantes que participen directamente en la operación de limpieza.

En ella se expondrá el plan de lavado, equipos a utilizar, tipos de detergentes, sus peligros, las medidas de seguridad generales para toda operación de limpieza y se realizará y discutirá una evaluación de los riesgos que entraña la operación.

Otro aspecto a tratar serán los turnos de trabajo y descanso para que la tripulación pueda rendir a un nivel óptimo. Esto último se acordará entre el Primer Oficial, el contramaestre y el bombero.

II.3.2.3.- PLIM02: Prelavado

El propósito de esta tarea es la eliminación de los residuos de carga que hayan quedado pegados a los mamparos tras la descarga. Las lavazas generadas en la

tarea deberán ser descargadas a tierra (aceites vegetales solidificantes y/o de alta viscosidad) o descargadas al mar cumpliendo las prescripciones del Convenio MARPOL.

En todo momento se deberá mantener la temperatura del agua por encima de los 15°C sobre el punto de fusión de la sustancia a lavar. Esto se coordinará con el Jefe de Máquinas para que prepare la caldera para enviar vapor al intercambiador.

Para iniciar la operación se deberá:

1. Preparar las máquinas de lavado portátiles y se bajarán a una altura de un tercio de la altura total del tanque. Estas se alimentarán mediante mangueras flexibles que se conectan a la línea de lavado.
2. Alinear válvulas de cubierta para enviar los residuos de la carga a tierra o al mar según tipo de carga. En caso de no cumplir las condiciones expuestas en el apartado II.2.2.3 se deberán retener a bordo estas lavazas hasta que se cumplan dichas condiciones.
3. Abrir la válvula de alivio de presión de la línea de lavado.
4. Arrancar las bombas de lavado y dejar circular agua a través de la línea para purgar cualquier resto de suciedad que pueda atascar las máquinas de limpieza.
5. Abrir el circuito de vapor del intercambiador, alinear el circuito del intercambiador de calor y ajustar la temperatura del agua si esta requiere de calentamiento.
6. Ajustar las máquinas fijas programables a modo prelavado (1.5°/rev).
7. Abrir válvulas de los ramales de las máquinas de lavado.

Cada 30 minutos se bajarán las máquinas portátiles un tercio de la altura total del tanque para que así puedan cubrir la parte superior, intermedia e inferior por iguales periodos.

Durante el proceso, se arrancará la bomba de descarga del tanque y se descargarán las lavazas a la terminal, gabarra de residuos o directamente al mar.

En el caso de los aceites secantes o semi-secantes, si la terminal lo permite, se podrá realizar un prelavado para evitar la formación de una película pastosa. En caso negativo se introducirá agua dentro del tanque o vapor a baja presión para mantener los mamparos húmedos.

Se arrancan las bombas de lavado en la cámara de máquinas y se ajusta la máquina de limpieza en modo prelavado.

Una vez realizado el ciclo de lavado, se arrancará la bomba de descarga del tanque y se descargarán las lavazas a la terminal o gabarra de residuos. Una vez concluido, el buque podrá salir a navegar.

II.3.2.4.- PLIMP03: *Butterworth* con agua caliente

En el caso de realizar prelavado con descarga de lavazas a la terminal, se continuará con esta tarea tras la salida del buque de puerto aunque se podrá realizar con el buque fondeado o a la deriva.

En caso de que el prelavado se haya realizado en navegación, sin parar las bombas de lavado, se coordinará con la cámara de máquinas el aumento del vapor del intercambiador de calor para aumentar la temperatura del agua de lavado según el plan. Se considerará, como norma general, que la temperatura del agua a la salida del intercambiador será 5°C menor que la temperatura de lavado real en el tanque por lo que se deberá ajustar la temperatura a tal efecto.

La bomba de descarga del tanque se mantendrá a velocidad mínima para achicar el agua que vaya cayendo de los mamparos y el asiento del buque será apopante para que el la bomba aspire con mayor facilidad todo el agua de lavado que vaya cayendo de los mamparos.

Según el tiempo requerido en esta tarea, se dividirá en 3 periodos y en cada uno se bajarán las máquinas de lavado portátiles un tercio de la altura total del tanque.

Las lavazas producidas durante esta tarea y en el resto de tareas del proceso de lavado no se consideran residuos MARPOL y podrán ser descargadas directamente al mar.

II.3.2.5.- PLIMP04: Limpieza de líneas y equipos asociados a los tanques

Mientras se lleve a cabo el lavado con agua caliente, se aprovechará este periodo para enjuagar y limpiar las válvulas P/V, líneas de achique, puntos de sondaje, escotillas y tapas de escotilla y conexiones de manifold y sus líneas de drenaje abriéndolos y cerrándolos constantemente.

La línea de carga del tanque también será enjuagada mediante agua caliente abriendo y cerrando la válvula de carga en repetidas ocasiones mientras el *butterworth* esté en proceso.

II.3.2.6.- PLIMP05: Comprobación de efectividad del lavado con agua caliente

Al cumplirse el tiempo establecido en el plan de limpieza para el lavado con agua caliente, se pararán las bombas de lavado y se terminará de achicar el agua restante en el tanque.

Este es uno de los puntos de control del proceso y requerirá de la entrada del Primer Oficial al interior del tanque para una primera valoración de la eficacia de las tareas anteriores, lo que permitiría ahorrar la recirculación con detergentes si los requisitos de limpieza para la próxima carga son *Water White Standard* y no incluyen ninguna prueba química de *Wall Wash Test*.

En primer lugar se ventilará el tanque antes de la entrada con ventiladores portátiles o mediante la planta generadora de gas inerte en modo ventilación.

Se revisará el procedimiento de entrada a espacios confinados, se rellenará la lista de comprobación de entrada estos espacios y se preparará un equipo de rescate y un medidor de gases a la entrada de la escotilla principal del tanque.

Una vez en el interior, el Primer Oficial comprobará visualmente el estado del revestimiento y puntos de sombra donde el agua no haya limpiado y aún queden restos de carga. También comprobará si los mamparos y fondo del tanque no patinen lo que indicaría que el agua caliente ha eliminado los restos aceitosos.

Una vez concluida la inspección se cerraran bien las escotillas y se proseguirá según el plan de limpieza.

II.3.2.7.- PLIMP06: Enjuague con agua dulce

Se alinearán las válvulas para que las bombas de lavado se alimenten de un tanque que contenga agua dulce. En caso de que el agua dulce está alojada en un tanque de carga o slop, se conectará la línea de ese tanque con la línea de lavado.

El enjuague se realizará con el agua a temperatura ambiente y por un tiempo limitado, usualmente 30 minutos por tanque. El objetivo es la eliminación de cloruros presentes en el agua de mar y alistar el tanque para la futura recirculación con detergentes, cuyo uso no sería efectivo si el tanque estuviese mojado con agua salada.

Se arrancarán las bombas de lavado o la bomba del tanque que contenga agua dulce y se abrirán las válvulas de las ramificaciones de las máquinas de lavado fijas y se programarán las máquinas al programa de 4,5°/revolución, ya que en el poco tiempo que se invierte en esta tarea, el agua debe recorrer la mayor superficie posible

Una vez el nivel de agua del tanque a lavar haya alcanzado los 20 cm se arrancará la bomba de descarga del tanque y se enjuagaran las líneas de carga y conexiones de manifold. Durante toda esta tarea, el buque mantendrá un asiento apopante para el achique completo del tanque.

Al cumplirse el tiempo estipulado en el plan de lavado, las lavazas generadas en esta tarea se descargarán directamente al mar.

II.3.2.8.- PLIMP07: Recirculación con detergentes

Antes de iniciar la recirculación con detergentes se deberá introducir dentro del tanque una cantidad de agua dulce suficiente para tapar los serpentines de calentamiento o, en el caso de que el buque no esté provisto de ellos, el agua suficiente para que la bomba pueda funcionar con normalidad sin aspirar en vacío.

Mientras, se preparará colocará una pieza, denominada “pulpo”, en una brida ciega situada en la línea de descarga de la bomba, justo antes de la válvula de descarga, que se mantendrá cerrada en todo momento durante esta tarea. Esta pieza permitirá la conexión de dos o más mangueras flexibles para la alimentación de las máquinas de lavado portátiles. Las máquinas portátiles se introducirán en las escotillas de la *butter* y se bajarán 3 metros dentro del tanque.

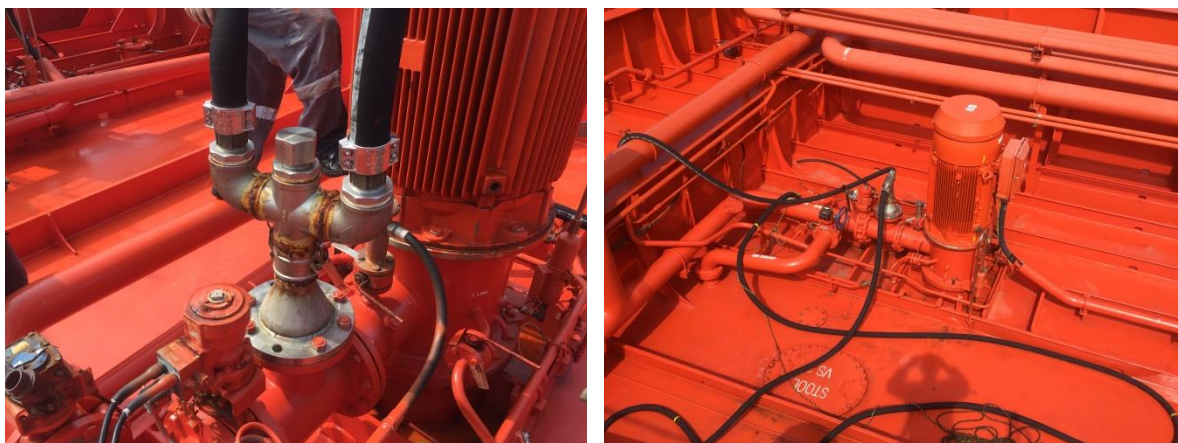


Ilustración 17: A la izquierda se puede ver el montaje del "pulpo" en la flancha situada previamente a la válvula de descarga de la bomba. A la derecha, el entramado de mangueras que alimentan las máquinas de lavado en recirculación. Fuente: Elaboración propia

La cantidad de detergente seleccionado en el plan de lavado se inyectará mediante una bomba de accionamiento neumático directamente dentro del tanque o se puede inyectar a través de la línea de lavado. Ambas opciones son igualmente válidas y no influirán en el resultado final.

Para iniciar la recirculación se deberá:

1. Asegurar que todas las válvulas de carga o descarga del tanque están cerradas.
2. Encender el sistema de calefacción del tanque (serpentines de calentamiento o intercambiador de calor del tanque).
3. Arrancar la bomba de descarga del tanque.
4. Comprobar que las máquinas de lavado funcionan correctamente.

Según el tiempo requerido para la realización de esta tara, se dividirá en 5 periodos y en cada uno se bajarán las máquinas de lavado portátiles un quinto de la altura total del tanque.

Tras finalizar la recirculación en un tanque, la mezcla resultante podrá ser reutilizada en otro tanque por lo que se podrá trasladar mediante el cambio de las máquinas de lavado de un tanque a otro, en caso de ser necesario.

II.3.2.9.- PLIMP08: *Butterworth* con agua caliente

Tras la recirculación con detergentes, los mamparos permanecerán con restos de jabón y estos deberán ser eliminados. Se seguirán los siguientes pasos:

1. Abrir la válvula de alivio de presión de la línea de lavado.
2. Se arrancarán las bombas de lavado alimentadas por agua de mar.
3. Se coordinará con la cámara de máquinas el aumento del vapor del intercambiador de calor para aumentar la temperatura del agua de lavado según el plan (unos 60°C).
4. Ajustar las máquinas fijas programables a 1.5°/rev.
5. Abrir válvulas de los ramales de las máquinas de lavado.
6. Ajustar la presión del agua hasta 9 bar.

La bomba de descarga del tanque se mantendrá a velocidad mínima para achicar el agua que vaya cayendo de los mamparos y el asiento del buque será apopante para

que el la bomba aspire con mayor facilidad todo el agua de lavado que vaya cayendo de los mamparos.

El agua caliente utilizada en la realización de esta tarea, se podrá descargar directamente al mar.

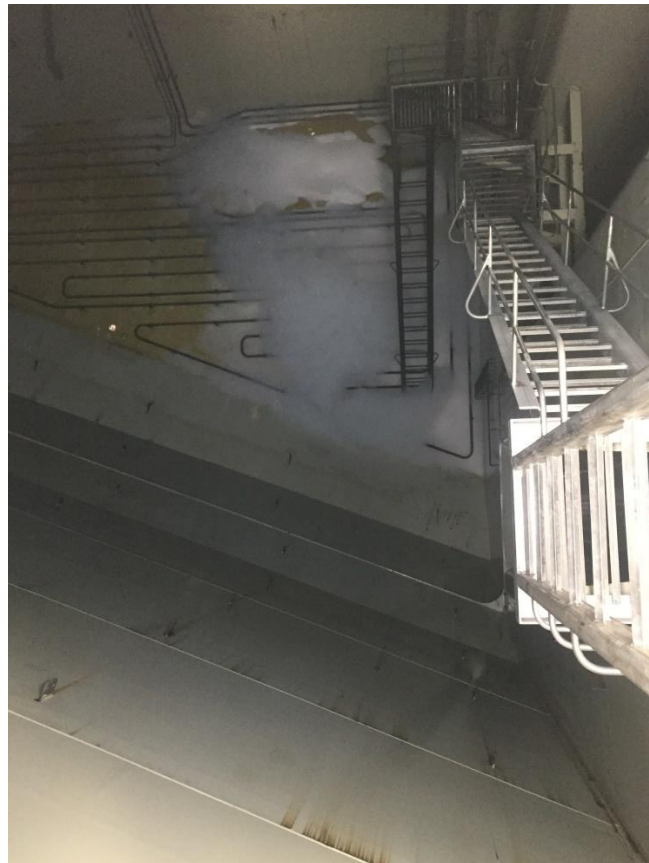


Ilustración 18: Estado del tanque tras la recirculación. Obsérvese el jabón que tapa los serpentines de calentamiento. Fuente: Elaboración propia

II.3.2.10.- PLIMP09: Enjuague con agua dulce

Al completar el tiempo estipulado en PLIMP08 se pararán las bombas de lavado y se cambiará la alimentación de estas a agua dulce para el enjuague final. En caso de que el agua dulce está alojada en un tanque de carga o slop, se conectará la línea de ese tanque con la línea de lavado.

El enjuague se realizará con el agua a temperatura ambiente y su duración será de 30 minutos por tanque. El objetivo es la eliminación de cloruros presentes en el agua de mar para la futura inspección, ya sea por *Water White Standard* o *Wall Wash Test*.

Se arrancarán las bombas de lavado o la bomba del tanque que contenga agua dulce y se abrirán las válvulas de las ramificaciones de las máquinas de lavado fijas y se programarán las máquinas al programa de 4,5°/revolución.

Una vez el nivel de agua del tanque a lavar haya alcanzado los 20 cm se arrancará la bomba de descarga del tanque y se enjuagaran las líneas de carga y conexiones de manifold. Durante todo esta tarea, el buque mantendrá un asiento apopante para el achique completo del tanque.

El agua dulce utilizada en esta tarea, se podrá descargar directamente al mar.

II.3.2.11.- PLIMP10: Ventilación y secado

Al completar PLIMP09, se instalarán ventiladores en la parte superior del tanque para insuflar aire fresco para la ventilación. Al mismo tiempo se arrancará la planta generadora de gas inerte para acelerar el secado de los mamparos.

Mientras el tanque se vaya ventilando, se irán realizando comprobaciones periódicas de los gases presentes en la atmósfera y el contenido de oxígeno.

II.3.2.12.- PLIMP10: Comprobación final de resultados

Cuando no exista riesgo alguno de gases nocivos y el nivel de oxígeno sea del 20,9 % y mientras se continúe con la ventilación, el Primer Oficial tomará medidas de la presencia de gases tóxicos en la atmósfera del tanque y de su contenido de oxígeno. Se repasará el procedimiento de entrada a espacios cerrados y se cumplimentará la lista de comprobaciones correspondiente y se preparará un equipo

de rescate y un medidor de gases a la entrada de la escotilla principal del tanque para tomar muestras continuas de la atmósfera del tanque.

Una vez el Primer Oficial esté dentro del tanque comprobará que los mamparos estén secos y que esté libre de olores, y, a falta del fregado final, si, el tanque se podría aceptar para cargar productos con requisitos de limpieza *Water White Standard*.

En este punto del proceso, el tanque aún contendrá agua en el fondo, sin embargo la entrada al tanque es necesaria que se lleve a cabo antes del fregado final ya que en caso de que el resultado de la inspección fuese negativo se debería volver a realizar una recirculación con detergentes.

II.3.2.13.- PLIMP11: Fregado

Antes de comenzar esta tarea, el Primer Oficial repasará el procedimiento de entrada a espacios cerrados y se cumplimentará la lista de comprobaciones de entrada juntamente con los marineros que vayan a desempeñar el trabajo.

En el fregado se bajarán varios cubos, fregonas y trapos dentro del tanque y se secará el fondo del mismo poniendo especial énfasis en los serpentines de calentamiento (en caso de que el buque esté provisto de ellos), el pocete de succión de la bomba y las zonas situadas debajo de la escalera y la escotilla principal que siempre pueden gotear un poco de agua. Se limpiarán además, las bandejas del manifold, la cubierta y todo el equipo que se haya utilizado en la operación. Es posible que se tenga que entrar varias veces ya que el agua se escurre de los mamparos hacia abajo a lo largo de varios días.

Se secarán también todas las líneas de carga del tanque y líneas de venteo que puedan haber estado en contacto con el agua de lavado o la carga en algún momento del proceso. Para el secado de la línea se inyecta aire a presión por la base de la bomba y se libera a través del manifold correspondiente al tanque,

desplazando toda el agua restante que pueda haber quedado en el interior de la línea.



Ilustración 19: Marinero fregando un tanque tras limpieza. Fuente: Elaboración propia

Es especialmente importante no tocar ni rozar con los guantes, la fregona o la ropa de seguridad en ningún momento los mamparos de la parte inferior del tanque ya que será la zona donde se tomarán las muestras para las pruebas químicas de *Wall Wash Test*.

En el caso de que las instrucciones de carga del próximo producto no requieran de esta prueba química, el proceso de limpieza concluirá con esta tarea.

A la salida de los marineros del tanque, se cerrará la escotilla y no se volverá a abrir hasta el ingreso para la recogida de muestras con metanol.

II.3.2.14.- PLIMP12: Recogida de muestras para *Wall Wash Test*

La recogida de muestras será responsabilidad del Primer Oficial, aunque podrá delegar esta tarea en el Segundo o Tercer Oficial.

Antes de comenzar esta tarea, el Primer Oficial repasará el procedimiento de entrada a espacios cerrados y se cumplimentará la lista de comprobaciones de entrada.

Para esta tarea se necesita el siguiente material:

- 1 litro de metanol
- Una botella de plástico con un aplicador incorporado para rociar los mamparos de los tanques con metanol
- Una pala de acero inoxidable y una botella de cristal de 0.5 litros para la recogida de la muestra del mamparo
- 2 pares de guantes de látex
- Fundas de algodón para cubrir los zapatos de seguridad

A la entrada al tanque, el oficial cargará una mochila con todo el material necesario, se calzará las fundas para no ensuciar el fondo del tanque con la suela y se pondrá los dos pares de guantes de látex. Una vez abajo, se quitará el primer par de guantes con el que ha bajado.

Antes de empezar la recogida, se deberá limpiar la botella de cristal y la pala de acero inoxidable con metanol utilizando una botella de plástico con metanol. Con ello se elimina cualquier resto de suciedad que pudiese contaminar la muestra.

Para recoger las muestras de manera efectiva, se insertará la pala dentro de la botella de cristal y se apoyará en el mamparo en un ángulo de aproximadamente 135°. Con la otra mano se exprimirá la botella de plástico y se rociará con metanol el mamparo a una altura de entre un metro y un metro y medio por encima de donde se sitúe la pala.

Las muestras se tomarán en al menos tres puntos diferentes por mamparo y se deberá llenar al menos una tercera parte de la botella.

A la salida del oficial del tanque, se cerrará firmemente la escotilla para evitar el ingreso de humedad o salitre que pudiesen manchar de nuevo los mamparos, cosa que invalidaría la prueba antes de la carga.



Ilustración 20: Oficial tomando muestras del mamparo de un tanque. Fuente: Elaboración propia

II.3.2.15.- PLIMP13: Pruebas químicas de *Wall Wash Test*

Las pruebas químicas se realizarán en el laboratorio del buque o, en caso de que el buque no disponga del mismo, en la oficina del Primer Oficial.

Test de cloritos:

Se requerirá del siguiente material:

- Metanol puro

- Entre 10 y 20 tubos Nessler (dependerá de la cantidad de tanques que disponga el buque)
- Solución 2% de nitrato de plata en agua
- Solución 20% de ácido nítrico en agua
- Pipeta de plástico

El procedimiento será el siguiente:

1. Preparar un tubo Nessler con 25 ml de metanol puro (muestra de referencia)
1. Preparar un tubo Nessler con 25 ml por muestra recogida en cada tanque
2. Añadir a ambos tubos 75 ml de agua destilada
3. Añadir a cada solución, 5 gotas de nitrato de plata y 5 gotas de ácido nítrico
4. Insertar los tapones y dar una vuelta para remover la solución

Se inspeccionan las muestras con una linterna y se examina su claridad. Se hace una comparación de la claridad de la muestra con metanol puro y la muestra recogida del tanque. Si esta última, no transparente, existen cloruros en abuso. Para determinar el contenido exacto en ppm se puede recurrir al uso de un espectrómetro.

Test de permanganato:

Se requerirá del siguiente material:

- Metanol puro
- Entre 10 y 20 tubos Nessler (dependerá de la cantidad de tanques que disponga el buque)
- Solución de 0.02% de permanganato de potasio en agua
- Pipeta de plástico
- Barreño con agua
- Hielo
- Termómetro

El procedimiento será el siguiente:

1. Preparar un tubo Nessler con 50 ml de metanol puro (muestra de referencia)
2. Preparar un tubo Nessler con 50 ml por muestra recogida en cada tanque
3. Preparar un barreño con agua y hielo e insertar el termómetro. Al alcanzar la temperatura 15°C, sacar el hielo
4. Insertar los tubos Nessler en el barreño y esperar 10 minutos
5. Añadir a cada tubo 2 ml de solución de permanganato de potasio
6. Insertar los tapones a los tubos y esperar 30 o 50 minutos según instrucciones del cargador.

Si la muestra ha sufrido decoloración del color rosa inicial, significará que existen sustancias oxidantes en el tanque y no se debe volver a recircular.

Test de hidrocarburos:

Se requerirá del siguiente material:

- Metanol puro
- Entre 10 y 20 tubos Nessler (dependerá de la cantidad de tanques que disponga el buque)
- Agua destilada

El procedimiento será el siguiente:

1. Preparar un tubo Nessler con 25 ml de metanol puro (muestra de referencia)
2. Preparar un tubo Nessler con 25 ml por muestra recogida en cada tanque
3. Añadir 75 ml de agua destilada, tapar los tubos, mezclar y esperar 20 minutos

Una vez superados los 20 minutos, buscamos una localización oscura y mediante una linterna de bolsillo de haz concentrado estudiamos las dos muestras. Si se puede ver el haz de luz en la muestra del tanque o se aprecia la solución sin claridad, estamos ante la presencia de hidrocarburos en la muestra y hay que volver a recircular.

Color de la muestra en la escala de cobalto-platino (PtCo):

Se requerirá del siguiente material:

- Metanol puro
- Entre 10 y 20 tubos Nessler de 100 ml (dependerá de la cantidad de tanques que disponga el buque). Todos deben ser del mismo tamaño
- ASTM D1209 Pt-Co color estándar (20/15/10/5)

El procedimiento será el siguiente:

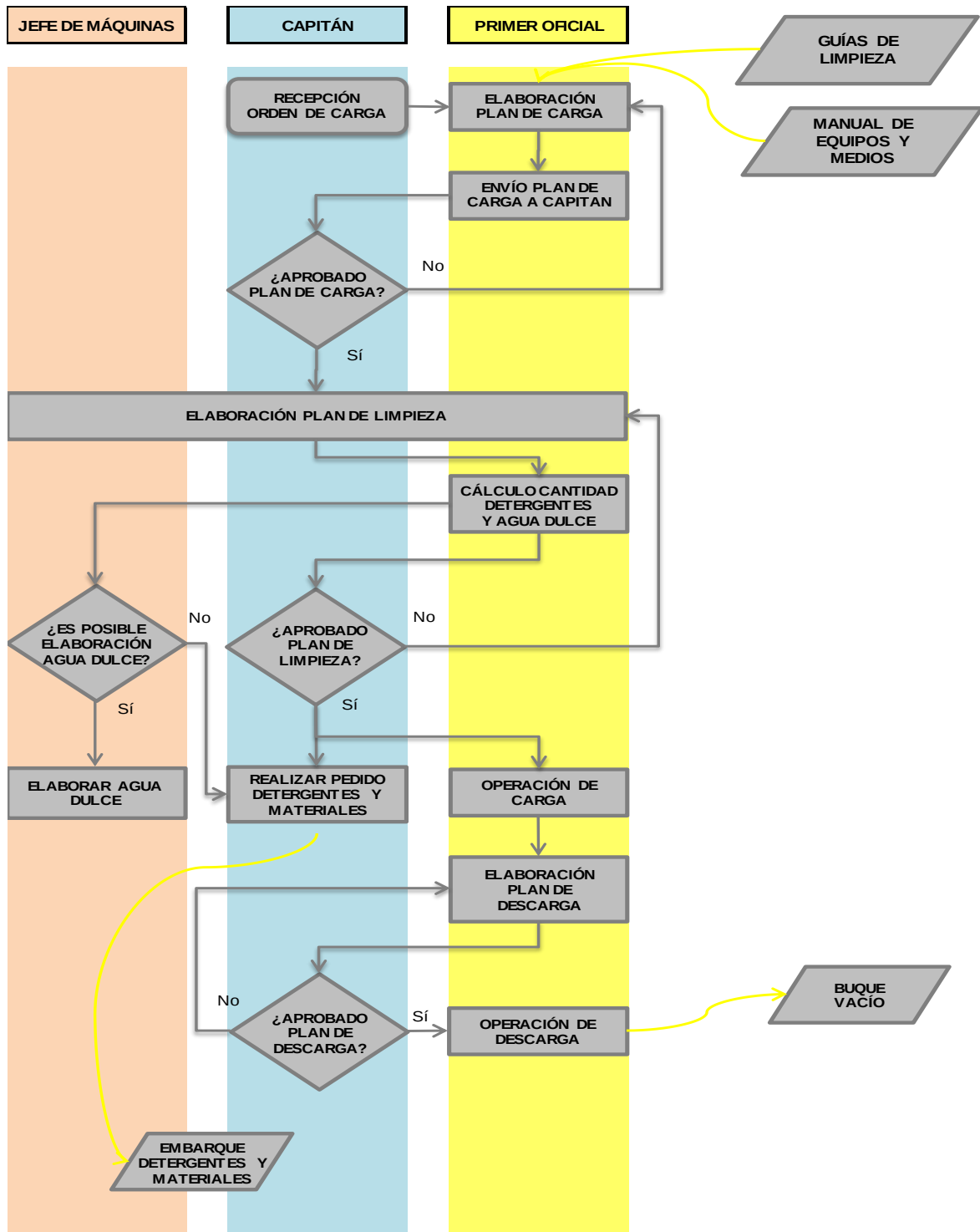
1. Preparar un tubo Nessler con 100 ml de metanol puro (muestra de referencia)
2. Insertar 100 ml del color estándar indicado en los requisitos de limpieza en un tubo Nessler
3. Preparar un tubo Nessler con 100 ml por muestra recogida en cada tanque
4. Comparar el color de las muestras del tanque y de la muestra de referencia con los tubos Nessler que contengan el color estándar

II.3.2.16.- PLIMP14: Registros

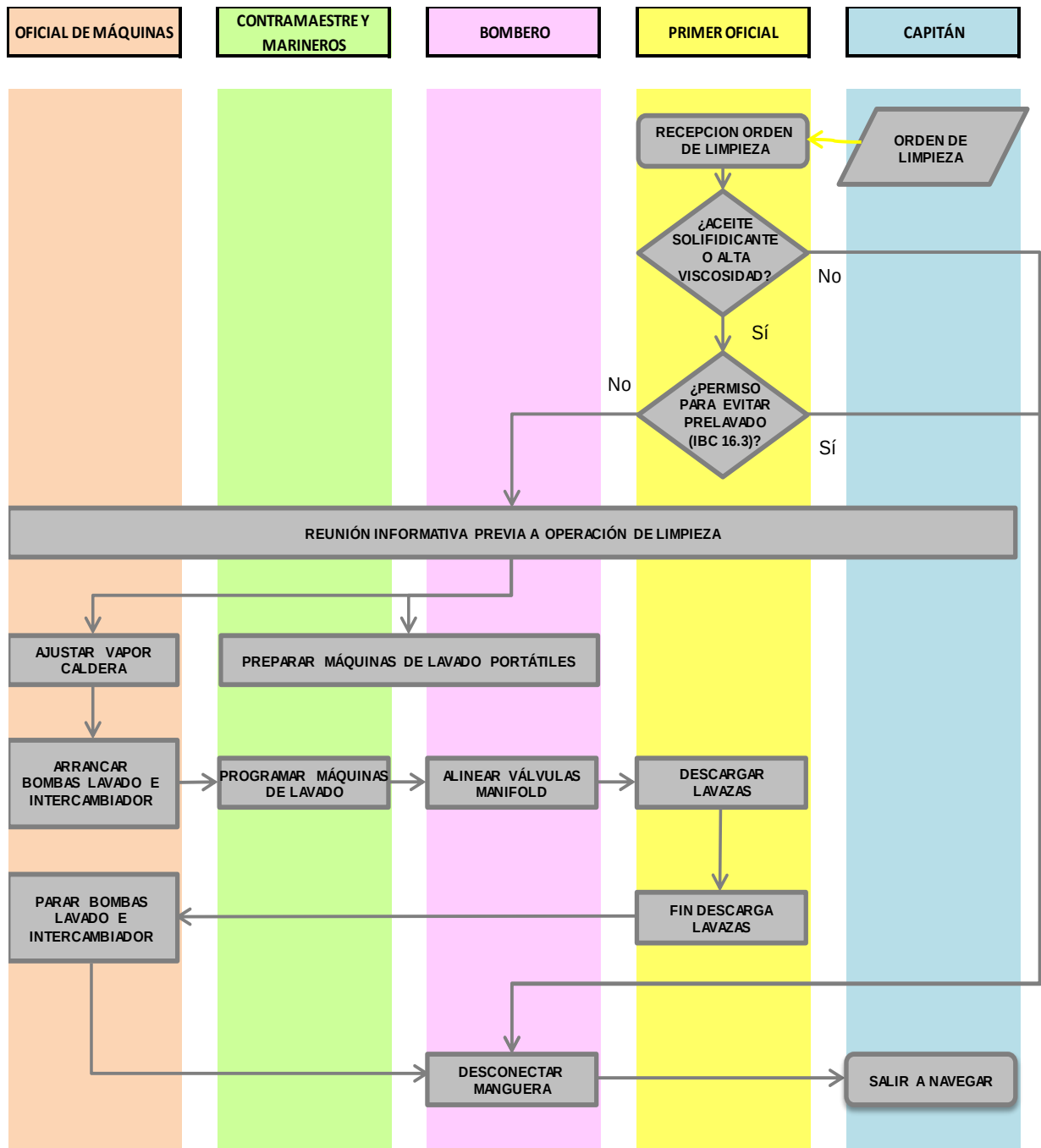
Finalmente, toda las operaciones de limpieza de tanques, lastrado/deslastrado de tanques de carga y derrames o descargas accidentales al mar deberán ser anotadas en el Libro de Registro de la Carga.

III.- APLICACIÓN PRÁCTICA

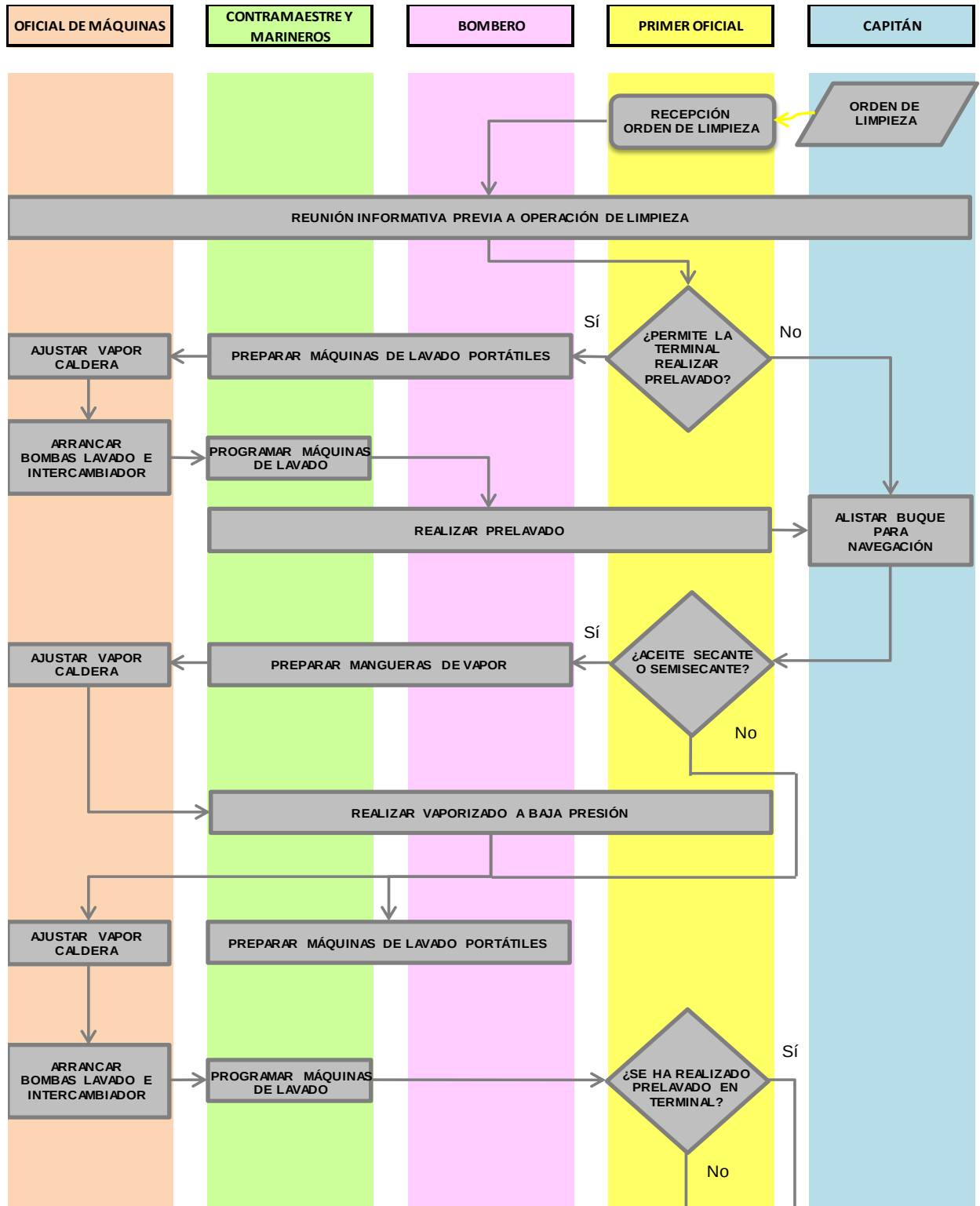
III.1.- Flujograma correspondiente a las tareas previas a la operación de limpieza

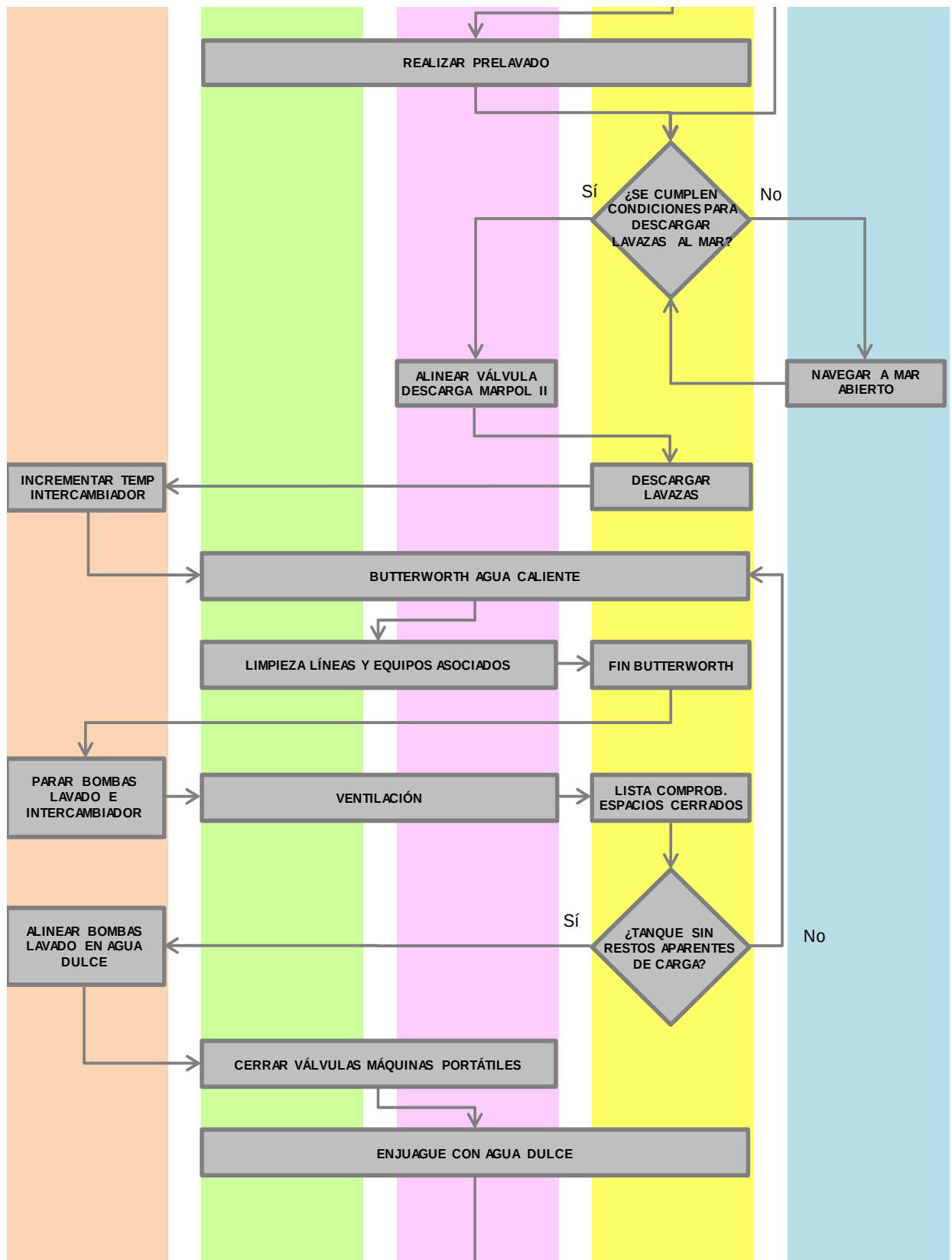


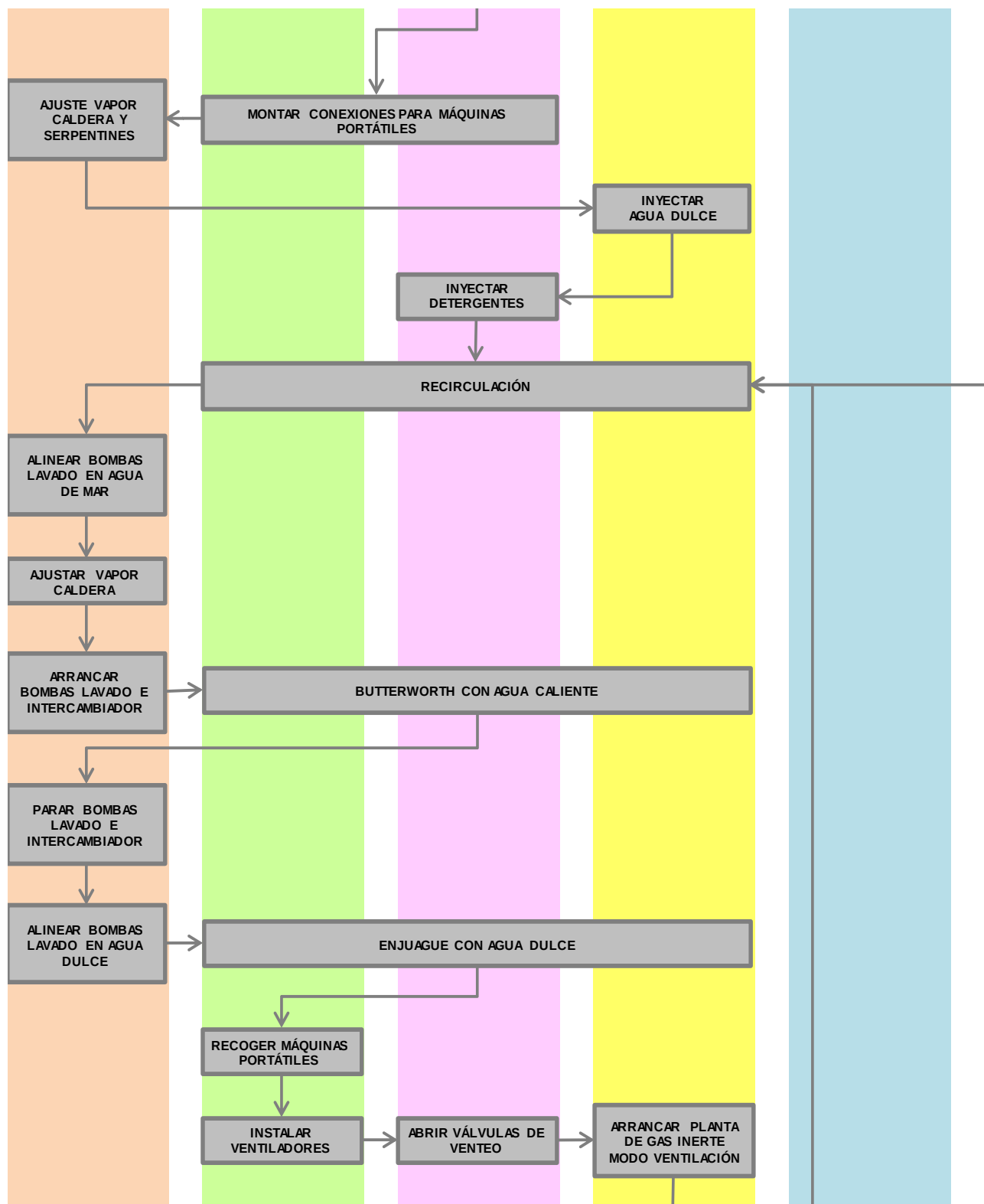
III.2.- Flujograma correspondiente al prelavado con descarga a terminal

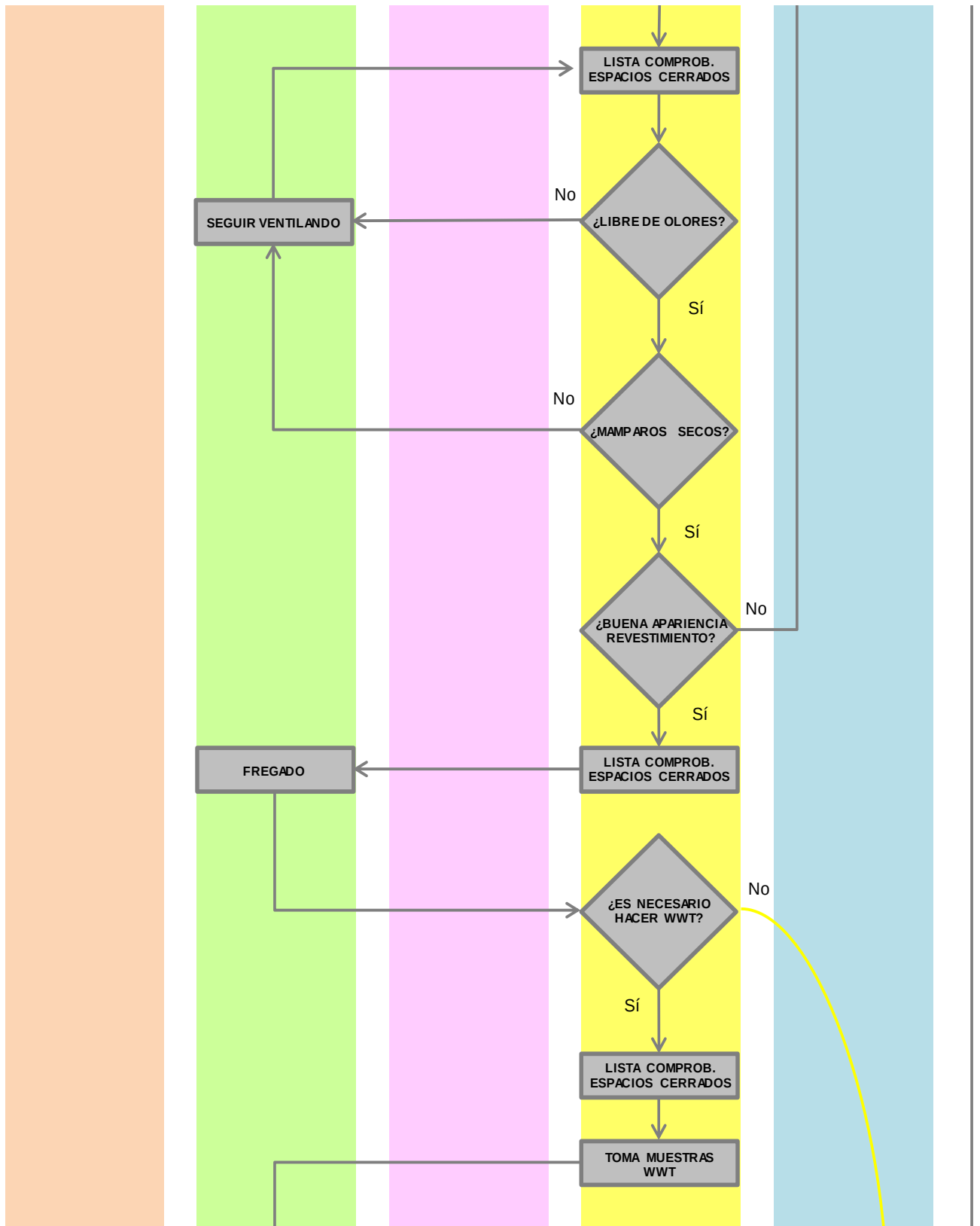


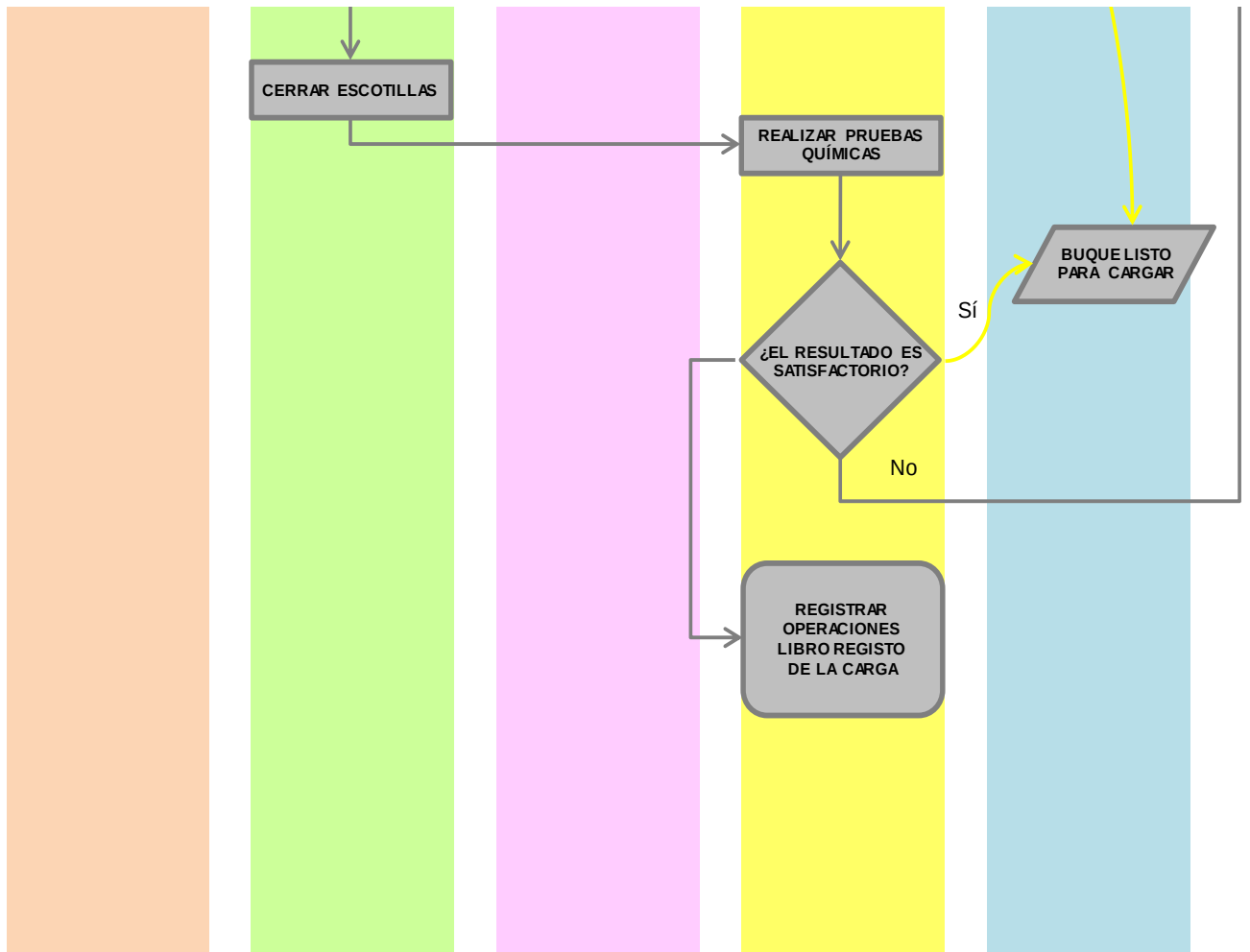
III.3.- Flujograma correspondiente a la operación de lavado











IV.- CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha podido observar la cantidad de factores que influyen en el proceso de lavado de tanques de un buque quimiquero. Empezando por la normativa aplicable, de por sí muy extensa lo que hace que su manejo sea complejo. De ahí surge la necesidad, por parte de las empresas armadoras y fletadoras, de desarrollar procesos estandarizados, que puedan ser una guía útil para el Capitán y Primer Oficial al detallar pormenorizadamente todo lo que pueda acontecer durante las operaciones de limpieza de aceites vegetales.

Aunque la operación de lavado en sí sea muy laboriosa, se debe planificar con sumo cuidado y las decisiones que se tomen, por ejemplo, con respecto al plan de estiba, pueden afectar severamente en el devenir de la posterior limpieza. Para ello es indispensable que toda la tripulación apoye al Primer Oficial tanto en la planificación como en el desarrollo, siendo vital la experiencia previa en operaciones de este tipo y el conocimiento de las capacidades y limitaciones del propio buque.

De los flujogramas se puede deducir, a simple vista, la extensión de una operación de este calibre, que afecta, no solamente a la tripulación de cubierta, sino también al departamento de máquinas lo que requiere una buena coordinación.

El punto determinante de todo el proceso es el test de Wall Wash. Un fallo en la toma de muestras puede invalidar todo el trabajo y obligar a repetir el proceso desde la recirculación entrando el buque en demoras que pueden alcanzar los varios días de duración, con la correspondiente suma de dinero que puede perder el armador.

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Escala de pH. Fuente: https://www.significados.com/	10
Ilustración 2: Saponificación de un triglicérido. Fuente: https://grasas-y-aceites-vegetales.webnode.com.co/	10
Ilustración 3: Distancias entre tanques de carga y el casco según el tipo de buque. Fuente: https://www.quora.com/What-are-the-types-of-chemical-tankers	15
Ilustración 4: Bomba accionada por motor eléctrico tipo Hamworthy DL150d/200. Fuente: Hamworthy KSE. Edición: Elaboración propia	21
Ilustración 5: Achique en bomba Hamworthy. Fuente: Hamworthy KSE	22
Ilustración 6: Purgado del cofferdam. Fuente: Hamworthy KSE	23
Ilustración 7: Adsorción de carga de un revestimiento de Silicato de Zinc. Fuente: Miracle Tank Cleaning Guide. Edición: Elaboración propia	25
Ilustración 8: Comportamiento del epoxi dependiendo del tipo de carga. Fuente: Miracle Tank Cleaning Guide. Edición: Elaboración propia	27
Ilustración 9: Comparación del patrón seguido por máquinas de lavado de una o dos boquillas. Fuente: Miracle Tank Cleaning Guide	36
Ilustración 10: Método de Desplazamiento. Fuente: SigmaCoatings.	41
Ilustración 11: Método de Dilución. Fuente: SigmaCoatings.	42
Ilustración 12: Apariencia de una muestra en la prueba de color. Fuente: L&I Maritime Limited	46
Ilustración 13: Comparación de concentraciones tras un test de cloritos. Fuente: L&I Maritime Limited	47
Ilustración 14: Test de permanganato. La muestra del tapón azul es la muestra maestra. Fuente: Elaboración propia	48
Ilustración 15: Tiempos mínimos de prelavado por tanque del buque Mattheos I. Fuente: Uljanik Shipyard, Pula, Croacia	56

Ilustración 16: Conexión de manifold tras la descarga de aceites vegetales. Fuente: Elaboración propia	60
Ilustración 17: A la izquierda se puede ver el montaje del "pulpo" en la flancha situada previamente a la válvula de descarga de la bomba. A la derecha, el entramado de mangueras que alimentan las máquinas de lavado en recirculación. Fuente: Elaboración propia	66
Ilustración 18: Estado del tanque tras la recirculación. Obsérvese el jabón que tapa los serpentines de calentamiento. Fuente: Elaboración propia	68
Ilustración 19: Marinero fregando un tanque tras limpieza. Fuente: Elaboración propia	71
Ilustración 20: Oficial tomando muestras del mamparo de un tanque. Fuente: Elaboración propia	73

Referencias citadas

- Baeza Romero, M. T., & Rodríguez Cervantes, A. M. (2018). *Entendiendo el origen y evolución del monóxido de carbono en el aire que respiramos - Artículos y Reportajes*. <https://www.retema.es/articulo/entendiendo-el-origen-y-evolucion-del-monoxido-de-carbono-en-el-aire-que-respiramos-1AF4C>
- ICS. (2014). *Tanker Safety Guide (Chemical)*. Intenational Chamber of Shipping (ICS).
- International Maritime Organization. (2009). SOLAS, Consolidated Edition 2009. In I. Publications (Ed.), *International Convention for the Safety of Life at Sea* (6th Editio). Organizacion Marítima Internacional.
- International Maritime Organization. (2017). *MARPOL Consolidated Edition* (IMO Publications (ed.); 2017 Editi). Organizacion Marítima Internacional.
- Kämmle, J., & Bruhn, C. (2008). *Miracle Tank Cleaning Guide* (6th Ed 2008).
- Pachas, A. L. M. (2011). *Determinacion del indice de yodo y peroxido en aceites* (pp. 1–5).
- RAE. (2020). *Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario | RAE - ASALE*. <https://dle.rae.es/>
- Rodrigo de Larrucea, J. (2009). *SEGURIDAD BUQUES QUIMIQUEROS (Maritime Safety at Chemical Tanks)*.
- Sánchez Díaz de la Campa, F. J. (2017). *Apuntes y ejercicios de clase de la asignatura “Sistemas Integrados de Gestión.”*
- UNCTAD. (2019). *Review of Maritime Transport 2019*.
- Verwey, A. (2015). *Dr. Verwey’s Tank Cleaning Guide* (10th Editi). Chemical Laboratories & Superintendence Co.

V.- ANEXOS

V.1.- Anexo I: Temperaturas recomendadas por FOSFA para el transporte de aceites y grasas vegetales

1 September 2011

FOSFA HEATING INSTRUCTIONS IN RESPECT OF BULK SHIPMENT OF OILS AND FATS

(In the following text the word oil shall be understood to mean oil/fat)

1. Shippers shall ensure that the temperature of the oil during delivery into the tank(s) of a ship is that at which the oil is usually handled and where heat is applied that the temperature in no case exceeds that given in the appropriate table.
2. Master shall supply to cargo receivers a statement showing the cargo temperature at loading and a chart on which the daily temperatures after loading have been recorded. The chart shall be signed by the Master or authorized officer.
3. Shippers shall supply the following instructions with regard to heating of oil during the voyage:

Ship's tanks fitted with heating coils

1. On completion of loading, ship's coils shall be completely covered with oil.
2. Heating shall be effected by hot water or, where this is impracticable, by low pressure saturated steam. Pressures shall not exceed 1.5 bar gauge.
3. During the voyage the oil shall be maintained in accordance with the temperatures set out in the Heating Recommendations.
4. In sufficient time prior to arrival at port of discharge, heat shall be applied gradually to ensure that the temperature of the oil at time of discharge is in accordance with the temperatures set out in the Heating Recommendations.

5. The cargo shall be maintained within this range of temperatures throughout the discharge.
6. In order to avoid any damage to the quality of the oil, it is essential that heat is applied gradually. A sudden increase in temperature must be avoided as it will almost certainly result in damage to the oil.
7. The increase in temperature of the oil during any period of 24 hours shall never exceed 5°C.
8. As far as practicable, top and bottom temperatures shall be maintained at equal levels; the difference between these two temperatures shall never exceed 5°C.
9. The temperatures referred to above are the average of top, middle and bottom readings. The top reading shall be taken at about 30 cm (one foot) below the surface of the oil. The bottom readings shall be taken:
 - a. In tanks which have bottom coils at 30 cm (one foot) above the level of the coils;
 - b. In tanks which have side coils but no bottom coils, at a point about two feet (60 cm) from the bottom of the tank and about 30 cm (one foot) from the side coils.
10. The temperatures indicated in 3.1.4 above are applicable under normal conditions ruling at port of discharge. In the event of abnormal conditions (such as extremely low air or water temperatures), receivers, either directly or through their appointed representatives, may vary the temperatures stated or instruct ship owners or their agents accordingly. Details of any such variations shall be duly recorded and advised to shippers or their representatives. If there is more than one receiver of the oil ex one ship's tank:
 - a. All receivers from that tank should be in agreement to the proposed variations in the temperatures stated in 3.1.4 above;
 - b. Shipper's representatives at port of discharge shall endeavor to reconcile requirements of the individual receivers.

For tanks with heat exchangers

All instructions under paragraph 3.1 are applicable except for 3.1.1 and in 3.1.8; the bottom temperature should be taken 30 cm (one foot) above tank bottom.

Bulk oils not normally requiring heating during the voyage

If it is envisaged that the temperature of the oil at the time of discharge will be below the minimum figure indicated in the schedule, the oil must be heated at not more than 5°C per 24 hours until the required discharge temperature is reached.

Bulk oils shipped in tanks by vessels whose voyages by sea or inland waterway do not exceed 5 days

The oil must be loaded at a temperature which will enable the discharge temperature to be reached by raising the temperature of the oil by not more than 5°C per 24 hours.

FOSFA HEATING RECOMMENDATIONS

OIL TYPE	TEMPERATURES DURING VOYAGE		TEMPERATURES AT DISCHARGE		SEE NOTE
	MIN (°C)	MAX (°C)	MIN (°C)	MAX (°C)	
Castor Oil	20	25	30	35	
Coconut Acid Oil	27	32	40	45	
Coconut Oil	27	32	40	45	
Cottonseed Oil	Ambient		20	25	2
Fish Acid Oil	20	25	35	40	
Fish Oil	20	25	25	30	
Grapeseed Oil	Ambient		15	20	2
Grease	37	42	50	55	
Groundnut Oil	Ambient		20	25	2
Hydrogenated Oils	Various		Various		3
Illipe Butter	37	42	50	55	
Fatty Acid Methyl Esters (FAME) from Maize/Rapeseed/Soyabean/Sunflower	Ambient		Ambient		2
Fatty Acid Methyl Esters (FAME) from Coconut/Palm/Palm Kernel/Tallow	25	30	30	40	
Lard	38	45	50	55	
Linseed Oil	Ambient		15	20	2
Maize (Corn) Oil	Ambient		15	20	2
Maize/Soya/Sun Acid Oil	30	35	45	55	
Mixed Soft Rape Acid Oil	20	25	30	35	
Oiticica Oil	24	32	35	40	
Olive Oil	Ambient		15	20	2
Palm Acid Oil	45	50	55	72	
Palm Fatty Acid Distillate	45	50	55	72	
Palm Kernel Acid Oil	27	32	40	45	
Palm Kernel Fatty Acid Distillate	27	32	35	45	
Palm Kernel Oil	27	32	40	45	
Palm Kernel Olein	25	30	30	35	
Palm Kernel Stearin	32	38	40	45	
Palm Oil	32	40	50	55	
Palm Olein	25	30	30	35	
Palm Stearin	45	50	60	70	4
Rapeseed Oil (HEAR Type)	Ambient		15	20	2
Rapeseed Oil (LEAR Type or Canola)	Ambient		15	20	2
Safflower Oil	Ambient		15	20	2
Sesame Oil	Ambient		15	20	2
Sheanut Butter	37	42	50	55	
Soyabean Oil	Ambient		20	25	2

Sunflowerseed Oil	Ambient		15	20	2
Tallow (for voyages of 10 days or less)	Ambient		55	65	2
Tallow	44	49	55	65	

Notes

1. The maximum temperature specified during the voyage is lower than the minimum required for discharge, in some cases by as much as 15°C. Bearing in mind the stipulation contained in paragraph 3.1.6, it should be recognised that in some cases ships officers will need to apply heat a few days prior to arrival in order to reach the appropriate discharge temperature.
2. It is recognised that in some cases the ambient temperatures may exceed the recommended maximum figures shown in the Heating Recommendations.
3. Hydrogenated oils can vary considerably in their slip melting points, which should always be declared. It is recommended that during the voyage, the temperature should be maintained at around the declared melting point and that this should be increased prior to discharge to give a temperature of between 10°C and 15°C above that point to effect a clean discharge.
4. Different grades of palm stearin may have wide variations in their slip melting points and the temperatures quoted may need to be adjusted to suit specific circumstances.

V.2.- Anexo II: Permiso de calentamiento de la carga por encima de las recomendaciones de FOSFA para evitar el prelavado amarrados en la terminal



**IMS Marine Surveyors &
Analytical Laboratories Ltd.**

MARPOL - IBC CODE REQUIRED SHIPPING DOCUMENT
For the purposes of MARPOL Annex II and the IBC Code

Name of Ship:		Owner:		Port of Registry:					
Voyage Number:		Operator:		IMO Number:					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Parcel Number	Cargo name (as per B/L)	Product name (as per IBC code)	Tank(s)	Date loaded	Loading port	Unloading Port(s)	Melting point (deg.C)	Viscosity at 20°C (mPa.s)	Temperature at which cargo has a viscosity of 50mPa.s (deg.C)
3	Crudo Super Degummed Canola Oil	*1 Rapeseed Oil (Low Erucic acid containing less than 4% free fatty acids)	1P, 1S, 3P, 3S, 4P, 4S, 7P, 8P & 8S	2020.06.07	Port Metro Vancouver, B.C.	Zhangjiagang China	-10 C	60.4	28 C
FINAL		B/L Figures: 20,001,653	MT						

Signed by : _____

Surveyor: _____

IMS Marine Surveyors & Analytical Laboratories Ltd.

VANCOUVER, BC CANADA

for SHIPPER

Signed By Vessel: _____

Name: _____

Ship Stamp: _____

Master / Chief Officer of M/T: _____

*1) Cargo name as it appears in the IBC Code or MIEP-2 (Circular)

*2) Required by IBC 16.2.9 (Degrees Celsius)

*3) Required by IBC 16.2.6 (Millipascal Seconds)

*4) Required by IBC 16.2.6 (Degrees Celsius)

V.3.- Anexo III: Procedimiento de entrada a espacios cerrados

Antes de autorizar un trabajo en un espacio cerrado, el Primer Oficial evalúa los riesgos que entraña entrar en un espacio confinado y realizará una reunión previa a la entrada de los tripulantes al espacio para que estos tengan presentes los riesgos a los que se exponen y las medidas de seguridad que deberán adoptar una vez dentro, los medios de comunicación, la tarea a realizar, el plan de contingencia, los procedimientos de emergencia / evacuación y otros asuntos relevantes.

Se designará un oficial responsable de la entrada para hacerse cargo de la operación en la que sea necesaria la entrada a un espacio cerrado. Esta persona se situará en la entrada del espacio cerrado y debe estar en contacto continuo con los tripulantes internados mediante aparatos de radio portátiles. No podrá participar en ningún otro trabajo durante este período.

1.- Preparación del espacio antes de la entrada

1. Al abrir la entrada a un espacio confinado, se debe tener cuidado para evitar los efectos de una posible liberación de presión o vapor del espacio.
2. El espacio debe estar completamente ventilado por medios naturales o mecánicos para garantizar que se elimine cualquier gas nocivo y que no queden bolsas de aire deficiente en oxígeno.
3. Los oficiales de guardia, tanto en cubierta como en la sala de máquinas, deben ser informados, según sea necesario, de cualquier espacio que se debe ingresar para que, por ejemplo, no detengan los ventiladores, enciendan cualquier equipo o abran las válvulas por control remoto, cierren las puertas de salida de emergencia o bombee el lastre en el espacio. Se deben colocar avisos de advertencia apropiados en los controles o equipos correspondientes.

Los siguientes equipos estarán en las cercanías de la entrada del espacio:

- Equipos de rescate y de reanimación disponibles incluidos los medios para levantar a una persona incapacitada del espacio, si corresponde.
- Líneas de vida y arneses.
- Aparato respiratorio de presión positiva y equipo de reanimación.
- Siempre que sea posible, se dispone de un medio de acceso separado para su uso como un medio alternativo de escape en caso de emergencia.

2.- Test de la atmósfera antes de la entrada

Cualquier decisión de entrar a un recinto cerrado solo debe tomarse después de que la atmósfera dentro del espacio se haya probado exhaustivamente, desde fuera del espacio, con un equipo de prueba que haya sido calibrado recientemente y se haya verificado su correcto funcionamiento.

Se debe obtener una sección representativa del compartimiento mediante el muestreo a varias profundidades. Cuando la prueba se lleva a cabo desde el nivel de la cubierta, la ventilación debe detenerse y debe transcurrir un período mínimo de aproximadamente 10 minutos antes de que se tomen las lecturas.

Incluso cuando las pruebas han demostrado que un compartimiento es seguro para ingresar, siempre se debe sospechar de las bolsas de gas. Por lo tanto, al descender a la parte inferior de un compartimiento, se deben realizar más pruebas de la atmósfera. Se usarán detectores personales capaces de controlar continuamente el contenido de oxígeno de la atmósfera y la presencia de vapores tóxicos. La entrada a un espacio sin equipo de respiración solo está permitida cuando se obtienen un contenido de oxígeno del 20.9 %.

3.- El permiso de entrada

Nadie debe ingresar a ningún espacio cerrado, a menos que un oficial responsable haya emitido un permiso de entrada y haya comprobado inmediatamente antes de la entrada que la atmósfera dentro del espacio sea segura en todos los aspectos. Esto

debería asegurar que se haya realizado la debida preparación para verificar que se usen prácticas de trabajo seguras y se hayan tomado todas las precauciones.

Antes de entrar a un espacio confinado por primera vez, se tiene que completar una lista de comprobación de entrada a espacios confinados. El oficial de guardia registrará y controlará los nombres y las horas de entrada de los tripulantes que vayan a realizar el trabajo.

4.- Precauciones durante la entrada

Mientras los tripulantes permanezcan en el espacio confinado, la ventilación debe ser continua y se deben realizar pruebas frecuentes de la atmósfera. En particular, las pruebas siempre deben realizarse antes de cada inicio diario del trabajo o después de cualquier interrupción o interrupción del trabajo. Deben tomarse muestras suficientes para asegurar que las lecturas resultantes sean representativas de las condiciones de toda la atmósfera.

- Si alguna persona en el espacio se ve afectada adversamente de alguna manera, debe dar la señal preestablecida al asistente e inmediatamente dejar el espacio. Cualquier otro personal dentro del espacio también deberá salir.
- Si la persona responsable en la entrada ve alguna señal de que el personal dentro del espacio parece estar afectado por la atmósfera, debe dar la orden de salida y pedir ayuda.

4.- Entrada de emergencia

La alarma debe activarse para que el equipo de rescate pueda reunirse rápidamente y dirigirse según sea necesario. La mayor preparación posible debe hacerse en el tiempo disponible. Por lo menos, esto consistirá en:

- Iluminación adecuada
- Personal suficiente cerca de la entrada para cumplir con los requisitos previsibles, reponer equipos, etc.

- Equipo de reanimación / primeros auxilios / camilla
- Comprobación y colocación adecuadas de los aparatos de respiración.
- Uso de un tablero de control de equipos de respiración; estimación del tiempo permitido en el espacio por el suministro de aire.
- Los usuarios de aparatos de respiración deben tener una linterna para verificar la presión del manómetro de aire.

Un oficial responsable debe ser designado como un controlador, para verificar las presiones de aire establecidas en los equipos de respiración, calcular los tiempos permitidos en el espacio y organizar los tiempos de entrada del equipo de respaldo.

5.- Finalización del trabajo

Una vez que el trabajo se haya completado, el espacio se haya evacuado y se haya declarado seguro para la entrada normal, el permiso debe devolverse y una copia debe ser archivada a bordo.

V.4.- Anexo IV: Lista de comprobación de entrada a espacios cerrados

Buque:		Fecha:
Nombre del espacio confinado:		
Razón de entrada:		
Permiso válido	Fecha:	Desde:
	Fecha:	Hasta:

Sección 1: Preparación previa a la entrada

	Sí / No	Notas
¿Ha sido el espacio limpiado si fuese necesario?		
¿Ha sido el espacio ventilado adecuadamente mediante ventiladores?		
¿Se ha chequeado la atmósfera y se ha encontrado segura para la entrada?		
Oxígeno		
Gases tóxicos		
¿Se han hecho arreglos para que se realicen comprobaciones frecuentes de la atmósfera mientras el espacio está ocupado y después de las pausas de trabajo?		
¿Se han hecho arreglos para que el espacio se ventile continuamente durante el período de ocupación y durante las pausas de trabajo?		
¿El acceso y la iluminación son adecuados?		
¿Se dispone de equipos de rescate y reanimación para uso inmediato a la entrada del espacio?		

¿Se ha designado un asistente para estar en asistencia constante a la entrada del espacio?		
¿Se ha informado al Oficial de guardia (puente, sala de máquinas, sala de control de carga) de la entrada?		
¿Se ha probado un sistema de comunicación entre todas las partes y se ha acordado la señal de emergencia?		
¿Los procedimientos de emergencia y evacuación están establecidos y entendidos por todo el personal involucrado con la entrada al espacio cerrado?		
¿Se utiliza todo el equipo en buenas condiciones de funcionamiento y se inspecciona antes de ingresar?		
¿Está el personal adecuadamente vestido y equipado?		

Sección 2: Comprobaciones previas a la entrada (por cada persona que vaya a entrar al espacio)

	Sí / No	Notas
La Sección 1 de este permiso ha sido completada por el Primer Oficial o persona responsable		
Soy consciente de que el espacio debe desocuparse inmediatamente en caso de fallo de ventilación o si las pruebas en la atmósfera cambian de los criterios de seguridad acordados		
He acordado y entiendo los procedimientos de comunicación		
He acordado un intervalo de informes de _____ minutos		
Los procedimientos de emergencia y evaluación han sido acordados y entendidos		

He recibido instrucciones del Primer Oficial o persona responsable designada para ingresar al espacio adjunto		
---	--	--

Primer Oficial o persona responsable		Fecha y hora	
Persona asistente		Fecha y hora	
Persona que entra al espacio		Fecha y hora	
Persona que entra al espacio		Fecha y hora	
Persona que entra al espacio		Fecha y hora	
Persona que entra al espacio		Fecha y hora	
Persona que entra al espacio		Fecha y hora	

Sección 3: Registro de entrada

Nombre	Rango	Hora de entrada	Hora de salida

Sección 4: Registro de mediciones de la atmósfera

Gases	Lectura	Persona Responsable	Hora