

Plan de Limpieza para un Buque Tanque. Cambio de Fuel a Productos Limpios.

Trabajo Fin de Grado
Grado en Náutica y Transportes Marítimos
Septiembre de 2022

Autor:
Lara Coello Padrón
42.238.627R

Tutora:
Prof. Dra. Amanda Peña Navarro.

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval
Universidad de La Laguna

D/D^a. Dr Amanda Peña Navarro, Profesor de la UD de Ingeniería Marítima, perteneciente al Departamento de Ingeniería Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D^{ña}. Lara Coello Padrón con **DNI 42238627R**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Plan de limpieza para un Buque Tanque. Cambio de fuel a Productos Limpios.**

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 14 de septiembre de 2022.

Fdo.: Amanda Peña Navarro.

Directora del trabajo.

Coello Padrón, L. (2022). Plan de limpieza para un Buque Tanque. Cambio de fuel a Productos Limpios. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

Tras la realización de un periodo de prácticas a bordo del Buque Tanque Nivaria, se interpuso un intercambio de productos a bordo del mismo.

Por tanto, el objetivo de este documento irá enfocado a la realización de un plan de limpieza para proceder al cambio de cargamento de fuel a productos limpios.

Para comenzar, se procederá a la explicación de conceptos básicos relacionados con la limpieza de tanques, pasando por los diferentes procedimientos tanto de carga, como de descarga, trasiego e inertización del buque, así como la descripción de la normativa aplicable ya sea pasando desde el Convenio MARPOL (Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques) y SOLAS (Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar), hasta el ISGOTT (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals) ya que el buque del posterior caso práctico a estos puntos (B/T Nivaria), es un buque petrolero en el cual se aplicará realizando un trabajo de campo de lo aprendido con anterioridad. Finalmente, se realizará una recopilación de información para asegurarse si lo realizado previamente, es lo más óptimo para la seguridad del buque.

Finalmente, con relación a lo anteriormente mencionado, la cantidad de productos que se pueden llevar a bordo de un buque además de la amplia gama de equipos a bordo del mismo, pueden hacer que los planes de limpieza se lleven a cabo de una manera o de otra incrementando así las posibilidades de la realización del plan aunque bajo la misma base común.

Palabras claves: Limpieza, Procedimientos, Seguridad.

Coello Padrón, L. (2022). Plan de limpieza para un Buque Tanque. Cambio de fuel a Productos limpios. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

During my internship practicing as deck cadet on M/T Nivaria, an exchange of products took place on board the tanker.

Therefore, the objective of this document will focus on the implementation of a cleaning plan to proceed with the changeover from fuel oil cargo to clean products.

To begin with, the basic concepts related to tank cleaning will be explained, going through the different procedures for loading, unloading, racking and inerting the ship, as well as the description of the applicable regulations, from the MARPOL Convention (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) and SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) to the ISGOTT (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals), since the ship of the subsequent case study to these points (B/T Nivaria), is an oil tanker in which field work of what has been previously learnt will be applied. Finally, a compilation of information will be carried out to ensure that what has been done previously is optimal for the safety of the ship.

Finally, in relation to the above, the number of products that can be carried on board a ship and the wide range of equipment on board a ship can lead to cleaning plans being carried out in one way or another, thus increasing the possibilities of the plan's realisation, although on the same common basis.

Keywords: Cleaning, Safety, Procedures.

AGRADECIMIENTOS

Tras un largo periodo de prácticas en las que el estrés y el cansancio se han apoderado de mi, hoy escribo estos agradecimientos a todas aquellas personas que me han apoyado día tras día.

Gracias a todos mis compañeros del B/T Nivaria, B/T Mencey y del Villa de Agaete ya que sin todos ellos no sabría ni la mitad de lo que sé ahora.

En especial a mi familia por el apoyo incondicional día tras día.

Índice del TFG

1. Introducción.....	7
2. Definiciones.....	8
3. Objetivos.....	10
3.1. Objetivo general.....	10
3.2. Objetivos específicos.....	10
4. Revisión y antecedentes.....	11
4.1. Inicios y evolución.....	12
4.2. Conceptos básicos.....	13
4.2.1. Procedimiento de carga.....	14
4.2.2. Procedimiento de descarga.....	16
4.2.3. Procedimiento de trasiego.....	18
4.2.4. Calentador de cubierta.....	18
4.2.5. Máquinas de Lavado.....	19
4.2.5.1. Máquinas de lavado portátiles.....	19
4.2.5.2. Máquinas fijas.....	20
4.2.6. Stripping y Super stripping.....	21
4.2.6.1. Funcionamiento.....	23
4.2.7. Ventilación de tanques (desgasificación).....	24
4.2.8. ODME.....	27
4.2.9. Procedimiento de inertización.....	29
4.2.9.1. Inertización de tanques vacíos.....	32
4.2.9.2. Purgado de tanques.....	33
4.2.9.3. Fallo en el Sistema de Gas Inerte.....	34

4.2.9.4.	Operación de carga con tanques inertizados.	34
4.2.9.5.	Inertizado durante el viaje en carga.	35
4.2.9.6.	Operación de descarga con tanques inertizados.	35
4.2.9.7.	Operaciones de limpieza de tanques con tanques inertizados.	35
4.2.9.8.	Purga y desgasificación de los tanques de carga.	36
4.2.9.9.	Precauciones por la electricidad estática.	36
4.2.9.10.	Mantenimiento del Sistema de Gas Inerte.....	37
4.3.	Normativa	37
4.3.1.	Convenio MARPOL.....	38
4.3.1.1.	Anexo I - Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.	39
4.3.1.2.	“Anexo II – Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel”.....	41
4.3.2.	SOLAS.....	45
4.3.3.	ISGOTT.....	47
4.3.4.	Código IMDG.	52
5.	Metodología	55
6.	Resultados.....	56
6.1.	Plan de Carga Fuel Oil.....	58
6.1.1.	Resultados cálculos de estabilidad.....	62
6.2.	Plan de descarga HSFO.	68
6.3.	Plan de carga, trasiego y descarga LCO.....	68
6.4.	Limpieza final.....	70
	Calentador de cubierta:.....	71
7.	Conclusiones.....	82
8.	Bibliografía.....	84
9.	Anexos	87
01.-	Anexo I. Permiso de entrada en espacios cerrados.	87
02.-	Anexo II. Certificados de Calidad.....	89

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Triángulo del fuego.....	11
Ilustración 2: Bomba de descarga.....	22
Ilustración 3: Bomba de descarga.....	22
Ilustración 4: Pinchazo de aire a las líneas de carga del manifold.....	23
Ilustración 5: Piano de válvulas línea de stripping.....	24
Ilustración 6: Explosímetro Dräger.....	26
Ilustración 7: Explosímetro Dräger en funcionamiento.....	27
Ilustración 8: Resultados test ODME.....	28
Ilustración 9: Válvulas Presión / Vacío.....	33
Ilustración 10: Calentador de cubierta.....	72
Ilustración 11: Maquinilla de limpieza conectada a línea de baldeo.....	73
Ilustración 12: Maquina de limpieza en posición inicial.....	74
Ilustración 13: Forma de establecer programa de limpieza.....	74
Ilustración 14: Línea de maquinilla de limpieza con una sola tobera giratoria.....	75
Ilustración 15: Posición pines de programación.....	76
Ilustración 16: Maquinilla de limpieza "Scanjet".....	77
Ilustración 17: Tornillos de apriete para aumento de velocidad de la maquinilla.....	77
Ilustraciones 18 y 19: Tanques de cargas tras baldeo de los mismos.....	78
Ilustraciones 20 y 21: Rascado de fuel del fondo de los tanques.....	79
Ilustraciones 22 y 23: Tanques de carga tras limpieza de los mismos.....	79
Ilustración 24: Pantalla de control y accionamiento de la planta de nitrógeno Marine Protection Norway.....	81

Índice de Tablas

Tabla 1: Características del buque.....	56
Tabla 2: Capacidad tanques de carga al 98%.....	57
Tabla 3: Stowage plan carga Fuel Oil.	58
Tabla 4: Tanques de carga tras finalizar la carga.....	60
Tabla 5: Tanques de lastre tras finalizar la carga de HSFO.	61
Tabla 6: Calados buque, trimado y escora tras finalización de carga HSFO.	62
Tabla 7: Valores máximos resistencia longitudinal tras carga HSFO.	62
Tabla 8: Valores mínimos resistencia longitudinal tras carga HSFO.	63
Tabla 9: Datos de los esfuerzos cortantes en condición de navegación tras carga de HSFO.	64
Tabla 10: Datos de esfuerzos cortantes en condición de puerto tras carga de HSFO.	65
Tabla 11: Datos de momentos flectores en condición de navegación tras carga de HSFO.	66
Tabla 12: Datos de momentos flectores en condición de puerto tras carga HSFO.	67
Tabla 13: Stowage plan carga LCO.	69
Tabla 14: Inclinación de funcionamiento de la maquinilla.....	75

Índice de Gráficas

Gráfica 1: Distribución de pesos y empuje tras carga HSFO.	63
Gráfica 2: Límites de esfuerzos cortantes del buque en condición de navegación tras carga HSFO.	64
Gráfica 3: límites de esfuerzos cortantes del buque en condición de puerto tras carga HSFO.	65
Gráfica 4: límites de momentos flectores del buque en condición de navegación tras carga HSFO.	66
Gráfica 5: Límites de momentos flectores del buque en condición de puerto tras carga HSFO.	67

Índice de esquemas

Esquema 1: Flujograma de precauciones a tener en cuenta para la introducción de equipos de medición en los tanques.	51
Esquema 2: Funcionamiento calentador de cubierta.	71

1. Introducción.

Tras las directrices de la compañía en las cuales indican que se debe proceder a un cambio completo de cargamento a bordo del buque, surgen muchas dudas de las cuales la más repetida es ¿cómo proceder a la limpieza del buque?

Es importante tener en cuenta que el procedimiento de limpieza de tanques es una de las operativas más peligrosa a bordo de un buque petrolero ya que puede aumentar el riesgo de explosión o derrame.

La puesta en marcha de la limpieza de tanques viene determinada por la cantidad de tanques a lavar y los diferentes productos a cargar ya que si el próximo, es similar al anterior, no hará falta una limpieza profunda. En cambio, si existe mucha diferencia de productos, habrá que realizar un estudio para proceder a la limpieza de los mismos.

Las directrices de la compañía son el intercambio de fuel a productos más limpios como el Gas-oil o la Gasolina. Por tanto, al haber tanta diferencia de naturaleza entre un producto y otro, habrá que proceder al estudio exhaustivo de varios elementos que deben estar incluidos en el plan de limpieza.

Una vez claro tanto el producto anteriormente cargado como el que se comenzará a cargar tras la limpieza, se procederá a la investigación de los equipos que se encuentran a bordo del buque, tanto su localización como su funcionamiento.

Tras toda la información anteriormente nombrada clara, se procederá al estudio de la normativa relacionada con la limpieza de tanques así podrá realizarse la misma de manera segura.

Para la buena realización del plan, en este documento podrá encontrar todo lo relacionado con la limpieza de tanques, desde los conceptos básicos necesarios para entender cómo proceder así como los diferentes procedimientos de carga, descarga, trasiego e inertización.

Además, el documento incluye los equipos necesarios para la limpieza así como la normativa que se utilizará para la realización de un plan completo de limpieza como puede ser el Convenio MARPOL y el SOLAS entre otros.

2. Definiciones.

Buque tanque: Buques cuyo diseño está destinado al transporte de productos líquidos a granel. En caso de los petroleros, transportarán diferentes tipos de hidrocarburos. (OCIMF) [1]

Triángulo de fuego: Imagen de los tres elementos que son necesarios para que se produzca combustión, es decir para que se produzca una llama. (Oxígeno, combustible y calor) (ISGOTT 6ª ed.)[2]

Tanque de carga: Espacios vacíos del buque que se utilizan para el transporte de mercancía. (Convenio MARPOL) [3]

Tanque de lastre: Espacio vacío del buque, (tanque) cuya finalidad consiste en la introducción de agua del mar cuando el buque se encuentre sin carga para obtener una mayor estabilidad (Convenio MARPOL) [3]

Agua de lastre sucio: Se denomina así a aquella que se transporta y almacena en los tanques de carga y que se encuentra directamente en contacto con los restos de productos cargados con anterioridad. (Convenio MARPOL) [3]

Tanque de lastre segregado: Dichos tanques, son aquellos en los cuales existe una completa separación entre los de carga y los mismos. (BOE-A-1999-23521). [4]

Lavazas: Mezcla de agua con Restos de hidrocarburos u otras sustancias anteriormente cargadas. (Convenio MARPOL) [3]

Tanques slop: Aquellos en los que se almacenan las lavazas tras la limpieza de tanques para su posterior decantación. (Convenio MARPOL) [3]

Hidrocarburos: Productos constituidos orgánicamente por gran porcentaje de hidrógeno mezclado con otros derivados del carbono (Petróleo). (RAE) [5]

Limpieza de tanques: Consiste en la eliminación total o parcial de los restos de productos o sustancias cargadas anteriormente en los tanques. (ISGOTT 6ª ed.) [2]

Productos limpios: Hidrocarburos más ligeros con rango de densidad entre 0.6 y 0.9. Estos productos pueden ser gasolinas, querosenos, gasóleos... (Convenio MARPOL) [3]

Productos sucios: Hidrocarburos de densidad mayor a 0,9, más viscosos y más pesados cuya contaminación es mayor en relación a los productos limpios. (Convenio MARPOL) [3]

3. Objetivos.

3.1. Objetivo general.

El objetivo general de este documento, consiste en la realización de un plan de limpieza para proceder al intercambio de cargamentos de hidrocarburos. En este caso específico, se realizará para el cambio de productos sucios como es el fuel, a productos limpios como el Gas-Oil Eléctrico.

3.2. Objetivos específicos.

Para conseguir el objetivo anteriormente mencionado, se han seguido los siguientes objetivos específicos.

1. **Definición de conceptos:** Este objetivo se llevará a cabo para entender más profundamente tanto los equipos como los procedimientos a seguir para la realización del plan.
2. **Búsqueda de normativa:** La búsqueda será específica en relación con la limpieza de tanques además de con los procedimientos tanto de carga como de descarga y se llevará a cabo para la realización del plan y la limpieza de la manera más segura posible.
3. **Trabajo de campo:** Se tendrá en cuenta el trabajo de campo realizado a bordo del Buque Tanque Nivaria con el objetivo principal de la puesta en marcha del plan de limpieza para el intercambio de productos en los tanques.

Los objetivos específicos nombrados con anterioridad, harán que el futuro plan de limpieza (objetivo general) esté estructurado de la manera más completa posible para poder asegurar así su funcionalidad.

4. Revisión y antecedentes.

La limpieza de tanques se ha considerado con el paso del tiempo en una tarea de vital importancia para la seguridad de las personas, del medio marino y del medio ambiente.

Según el ISGOT 6º, 12.3.2, Todas las limpiezas de tanques deben estar planificadas y estar bien documentadas además, se debe realizar una evaluación de los posibles riesgos que conlleva el lavado de tanques y llevando a cabo un plan de prevención para la reducción de dicho riesgo.

En cuanto al riesgo principal, el que más importancia tiene es el fuego o la explosión que es causado simultáneamente por la aparición de atmósferas inflamables acompañado de una fuente de ignición. El mayor objetivo de la limpieza de tanques es intentar eliminar uno de los peligros que forman parte del triángulo del fuego cuyos componentes se pueden observar en la siguiente ilustración. [2]

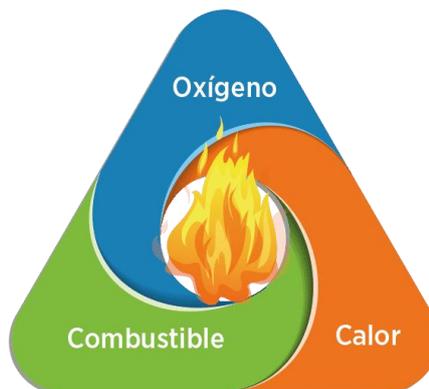


Ilustración 1: Triángulo del fuego.

Fuente: Prosegsa.com [6]

La limpieza de tanques, consiste en la eliminación de la mayor parte de restos de producto que has trasportado en los mismos.

Antiguamente, se llevaba a cabo dicho procedimiento ya que en los buques tanques existían lo que se llamaba como “tanques de lastre sucios” por tanto, era necesario el lavado de dichos tanques al ser descargados para proceder al lastre de los mismos. De esta manera, no se contaminaba el mar al proceder a su deslastre.

Ahora en la actualidad, con la implantación de la construcción de los tanques de lastre segregados, el objetivo de la limpieza de tanques ha evolucionado y no se trata de lo

mencionado anteriormente. La nueva finalidad es el cumplimiento del Convenio MARPOL y lo requerido por la industria petrolífera.

Al cambiar de objetivo, hoy en día, la limpieza de tanques se encarga de eliminar todo residuo que se haya adherido a los mamparos de los tanques o en el fondo de los mismos así como la eliminación de todo remanente que haya podido quedar en el tanque.

Existen varios motivos por los cuales es necesario llevar a cabo dicho procedimiento, entre ellos se encuentran, el cambio de cargamento, ya sea por diferencias de densidad o por grado de inflamabilidad, por el requerimiento del armador ya sea por orden del mismo o por la entrada a dique seco, para la realización de trabajos dentro de los propios tanques o además, por la necesidad de lastrar tanques de carga por encontrarnos en una situación de fuerza mayor, ya sea por avería o por necesidades meteorológicas.[7]

4.1. Inicios y evolución

La limpieza de tanques como la conocemos hoy en día viene a raíz de numerosos accidentes causados por explosiones a bordo de grandes petroleros en 1969 como fueron el “Marpesa”, el “Mactra” y el “Hong Haakon VII” [7]

Por consecuencia de dichos accidentes y después de varias investigaciones, se llegó a la conclusión de que, tras el lavado de tanques, se creaba una carga electrostática uniformemente a través del tanque. Además, dicha carga iba en aumento con la recirculación del agua de lavado haciendo de la atmósfera un lugar propenso a las explosiones.

Por otro lado, como se ha nombrado anteriormente, uno de los motivos de la implantación de la limpieza de tanques había sido la necesidad de llevar a cabo una limpieza exhaustiva de los tanques de lastre sucios.

Con el paso de los años, lo que se realizaba limpiando con agua salada o dulce y calentando dichos tanques, achicando los restos de los residuos a mano, fue convirtiéndose cada vez más en una tarea peligrosa y no compatible con el número de personas que se llevaban a bordo de los buques. En cambio, a partir de los años 50 comenzaron a fabricarse una serie de maquinas de lavado portátiles que con el paso del tiempo se implantaron de manera fija en los barcos.

Hoy en día, sigue vigente la implantación de maquinas de lavado fijas con agua o con crudo. Hay que tener en cuenta que en buques cuyo tonelaje sea menor a 20.000 Tn (toneladas) se puede llevar a cabo la limpieza sin necesidad de tener una atmósfera inertizada y además, las máquinas deberán trabajar a bajas presiones en cambio, si se va a

realizar la limpieza con crudo, siempre habrá que llevarla a cabo en una atmósfera inertizada sin límites de tonelajes.

Otro factor que ha hecho que con el paso del tiempo cambie la manera de llevar a cabo el lavado de tanques, es la implantación en la construcción de los buques de doble casco favoreciendo así el limpiado y vaciado de los tanques ya que al carecer de refuerzos dentro de los mismos, no habría tanta acumulación de sedimentos.

Además los buques tanque en la actualidad además de la obligatoriedad de tener tanques de lastre segregados también se clasifican algunos de sus tanques como “*Slops*”. Dichos tanques se encargan de transportar el agua con restos de hidrocarburos (lavazas) después de haberse llevado a cabo el procedimiento de limpieza.

Para llevar a cabo la tarea de la limpieza de tanques, es necesario saber que los buques petroleros actualmente, se rigen por el Convenio MARPOL 73/78 que ha sido creado para la prevención de la contaminación en el mar. [3]

4.2. Conceptos básicos.

Antes de comenzar a realizar un plan de limpieza, es importante tener claros diferentes conceptos básicos que son indispensables para llevar a cabo las operaciones relativas del buque relacionadas con lo mismo y su seguridad.

En este caso, la limpieza de tanques se realizará para un intercambio de cargamento de un producto de mayor densidad a otros de una densidad menor. Para la organización y desarrollo del plan, se tendrá en cuenta, que se hará una carga de LCO (Light cycle oil) tras el último cargamento, a continuación se trasegará y por último se descargará ese producto para poder ejecutar la limpieza de los tanques. Como se realizarán varios procedimientos además del de limpieza, se expondrá a continuación una explicación de los conceptos básicos que hay que tener en cuenta para ejecutar los mismos de la manera más segura. (Esta información será desarrollada más adelante en el caso práctico de este documento).

En primer lugar se desarrollarán tanto los procedimientos de carga, trasiego y descarga, seguidos de los conceptos básicos relacionados con la limpieza de tanques, es decir, maquinas de limpieza, calentador de cubierta, ventilación de tanques, medidores de atmósfera, Oil Discharge Monitor Equipment, Unidad de Vigilancia y Control de las Descargas de Hidrocarburos (En adelante ODME) y por último se expondrá el procedimiento de inertización de los tanques.

4.2.1. Procedimiento de carga.

Para proceder a la carga del buque, lo primero que hay que tener en cuenta es que los tanques estén preparados para el cargamento que se va a recibir. El documento más importante antes de proceder con la operación será el Plan de Carga realizado por el Primer Oficial de Cubierta, dicho documento será supervisado y aprobado por el Capitán y tendrá que estar constituido por los siguientes puntos:

- El producto que se cargará en cada tanque y la cantidad de los mismos según lo planificado y la información recibida por la terminal.
- El orden por el cual se llevará a cabo la carga haciendo que no se produzca mezcla o contaminación entre tanques y productos.
- Hay que tener muy claro si el cargamento va a ser descargado en diferentes puertos para así realizar a bordo las diferentes partidas y poder distribuir la carga de manera que no suponga esfuerzos al buque como grandes escoras o asientos.
- Es necesario contrastar que tipo de producto se llevaba con anterioridad haciendo una tabla comparativa para saber si incompatibilidad de residuos o gases, así de esta manera se sabrá si es necesario proceder al lavado de los tanques.
- Estarán incluidos los EPI's que deberá llevar el personal del buque para la manipulación del manifold así como el trabajo en cubierta durante las operaciones
- Incluirá un stowage plan, es decir, un dibujo en el cual se plasmará la distribución de la carga.
- Tendrá como punto de gran importancia lo relacionado con la estabilidad del buque, así como la necesidad de evitar un gran número de superficies libres. En cada secuencia planificada se deberá calcular: calados, esfuerzos cortantes máximo, momentos flectores máximos y el brazo GZ corregido por superficies libres.
- Tendrá descritas todas las acciones tanto relacionadas con la carga como con las operaciones de lastre o deslastre que se realizarán a la vez.
- Se adjuntará, además, de acuerdo con lo especificado en la Resolución IMO MSC 150(77) la Recomendación relativa a las hojas informativas sobre la seguridad de los materiales para las cargas de los productos que se incluyen en el Anexo I del MARPOL, Fuel para uso marino además de la enmienda al capítulo VI del SOLAS, es decir, las Fichas de Seguridad de Datos (FDS) (Material Safety Data Sheets-MSDS) que son entregadas por el cargador (Ver anexo II).

Una vez realizado el Plan de carga, y tras la comprobación por los miembros de la tripulación de los equipos de carga, así como la verificación del estado de las válvulas según

dicho plan, se revisará la limpieza de los tanques, el funcionamiento de las P/V, las tapas de los imbornales, las tapas de los tanques...

A continuación, junto con la terminal, se acordarán diferentes cuestiones como por ejemplo la velocidad máxima de carga aceptada por ambas partes, el diámetro y número de mangueras a utilizar, además se tendrá una continua comunicación con la terminal. Tras tener claros dichos aspectos, el inspector de carga vendrá a bordo para una comprobación previa de los tanques y así determinar si los tanques están aptos para su carga.

Es importante saber que la carga será efectuada en "cerrado" siguiendo lo dictaminado en el ISGOTT y SOLAS, es decir, con todas las aberturas cerradas, tanto tapas como sondas llevándose a cabo la salida de los gases a través de las válvulas P/V (presión/vacío) [2 y 8].

Para la prevención de derrames, las operaciones de carga en cada tanque se realizarán en tres fases. La primera de ellas se llevará a cabo hasta que cualquier estructura en el plan del tanque haya quedado sumergida, esto evitará turbulencias y el caudal máximo en esta fase, estará regido por la carga de electricidad estática, el ISGOTT 6ª, 11.3.3.2 y 12.1.7.3 recomienda que la velocidad lineal en el promedio de carga no exceda 1 metro/segundo para tanques no inertizados y un caudal máximo de 2m/s para tanques inertizados, dependerá siempre del diámetro de la línea por la que vaya a pasar el producto. Además, se recomienda que esta fase se realice por desnivel sin necesidad de utilizar cualquier aparato de impulsión como las bombas. En esta fase, se tomará una muestra del producto para verificar que está entrando al tanque correctamente, sin contaminar [2].

La segunda fase constituye desde la finalización de la primera hasta que el Capitán considere que sea necesario reducir el caudal para proceder al topeo (tercera fase). El valor de esta fase vendrá delimitado por la capacidad de liberación de gases de las P/V además de la limitación dada por el ISGOTT 11.3.3.2 por electricidad estática que son 7m/s para tanques no inertizados así como 12m/s para productos no acumuladores (sucios) o tanques inertizados. Durante esta fase y toda la carga, se realizará un cálculo de promedios para la confirmación de los caudales se están utilizando para la operativa, los promedios se realizarán gracias a la toma de vacíos de los tanques. [2]

Por último, la tercera fase de la carga también denominada fase de topeo, se llevará a cabo tras finalizar la fase 2 hasta un máximo del 98% de la capacidad total del tanque. La velocidad máxima de esta fase dependerá del cierre de las válvulas de manera segura, avisando con anterioridad a la estación de tierra para el cierre de sus válvulas. En esta fase, la toma de vacíos será continuada para evitar así el rebose de los tanques cargados.

Tras finalizar la operativa, habrá que cerrar las válvulas que han sido utilizadas, revisar los calados del buque para el cumplimiento del convenio sobre líneas de carga, se medirán los vacíos de los tanques, así como las temperaturas de los mismos, se tendrá en cuenta el ISGOTT 6ª 12.18.2.2 el cual recomienda no insertar en los tanques durante la carga ni 30 minutos después de la misma, aparatos metálicos además de no introducir elementos fabricados con materiales sintéticos. 30 minutos tras la finalización de las operaciones ya se podrán tomar los vacíos o temperaturas con equipos metálicos, aunque las operaciones que se realizan a través del tubo de sonda del tanque, si estarán permitidas siguiendo el ISGOTT 6ª 12.8.2.2 (Tabla 12.2). Otra comprobación a tener en cuenta es la posibilidad de haber agua en la carga, así como la temperatura de la carga ya que, en algunos casos, la terminal dice que la temperatura de transferencia es una y finalmente tras la comprobación, la temperatura no es la indicada, esto suele ocurrir con las cargas de asfalto o fuel-oil ya que deben ir a una temperatura determinada.

4.2.2. Procedimiento de descarga.

El procedimiento de descarga debe estar supervisado por las mismas personas que el de carga comprobando con exactitud todos los equipos que vayan a ser utilizados durante las operaciones. Para dicho procedimiento y para todos generalmente, la máxima autoridad es el Capitán del buque así como el responsable de la factoría ya que a continuación según las recomendación de la IMO y del ISGOTT 6ª edición, se verificará la lista de comprobación buque/terminal (Ship/ Shore Safety Check List), en dicha lista se verificarán todos los puntos a tener en cuenta tanto buque como terminal para que las operaciones se realicen de forma segura, poniéndose así de acuerdo por ejemplo, en el caudal máximo de transferencia, la temperatura del producto o por ejemplo, el canal de comunicación con la terminal, además, en dicha check list, se verificará si todos los equipos del buque así como los de la terminal están operativos para su uso. [2]

Como se ha mencionado anteriormente en el procedimiento de carga, la importancia de un plan del mismo, para las operaciones de descarga, también habrá que realizar uno en el cual se incluyan los siguientes puntos:

- Número de mangueras a utilizar y sus diámetros.
- Orden en el cual se van a descargar los productos.
- Máxima presión de descarga que aceptan tanto el buque como la factoría o si en algún momento se realizará un desplazamiento con agua entre productos.

- Hay que tener en cuenta la estabilidad del buque haciendo que no se produzcan grandes esfuerzos o la creación de grandes superficies libres durante la descarga. Estos datos serán tomados del calculador de esfuerzos y estabilidad.
- Se expondrá un aviso para evitar así la contaminación.
- Se explicará exhaustivamente, cada paso a seguir durante la descarga.

Tanto durante la carga, así como la descarga, se realizarán las operaciones en “cerrado”.

Antes del comienzo de la descarga, es imprescindible asegurarse que las válvulas de los tanques de recepción en tierra se encuentran abiertas para la recepción del producto para a continuación poder abrir en el buque, las válvulas del manifold. Además, bajo ninguna circunstancia, se deberán abrir las válvulas del manifold sin estar arrancadas las bombas de descarga generando una presión positiva.

La descarga se divide en varias fases las cuales, la primera consiste en bajar altos niveles y así liberar las alarmas, esta fase se realizará con un promedio bajo sin incrementar presiones. Una vez comprobados que los niveles de los tanques están bajando y que la capacidad de los mismos se encuentra por debajo del 94%, ya se podrá aumentar la presión de descarga si es aceptado por ambas partes. Durante toda la fase media, la presión de los tanques debe estar en continua vigilancia y no debe haber ningún cambio brusco de presión a no ser que haya habido un acuerdo entre buque y terminal, por el contrario, si se debe aumentar o disminuir la presión por alguna razón que involucre al buque, la terminal debe ser informada de inmediato. La tercera y última fase, será el secado de los tanques llevándose a cabo tras una bajada de revoluciones de la bomba para evitar las vibraciones o el descebe de la misma. Finalmente, se debe hacer un desplazamiento de las líneas que dependerá del desnivel en el que se encuentre la arqueta o el brazo de transmisión de la carga.

En algunas factorías, el desplazamiento de las líneas se realiza con agua “tapón de agua” utilizado para prevenir la contaminación de productos.

Una vez finalizado el drenaje de las líneas, se deberá cerrar todo lo utilizado durante la operativa, es decir, válvulas del manifold, en cambio deben estar abiertas las del tanque al cual se dirigirá el producto que ha quedado en las líneas, así como la purga de las líneas del manifold para su drenaje directo al tanque. Se realizará una inspección / revisión por parte de un surveyor o representante de la factoría para asegurarse que los tanques están completamente vacíos. Lo que haya podido quedar en la bandeja portátil colocada bajo el manifold, deberá descargarse en un tanque slop siguiendo lo establecido con el MARPOL.

Todas las operaciones relacionadas con la carga, descarga o trasiego, en buques de arqueo bruto superior a 150 toneladas, se deberán plasmar en el Libro de Registro de Hidrocarburos parte II conforme a la regla 36 del anexo I del MARPOL [3].

4.2.3. Procedimiento de trasiego.

El procedimiento de trasiego consta en una fusión entre procedimiento de carga y de descarga ya que consiste cargar un producto en un tanque para descargarlo en otro tanque del mismo buque y así sucesivamente las veces que haga falta y a los tanques que hagan falta. Es decir, consiste en el intercambio y mezcla de un producto de un lugar a otro.

En este caso, no habrá que ponerse de acuerdo con ninguna factoría para ponerse de acuerdo con los caudales o velocidades a tener en cuenta, aunque hay que tener precaución igual o incluso más para que no se produzca ningún tipo de contaminación de la carga.

Este tipo de procedimientos se realiza por ejemplo para el llenado de un tanque con mayores superficies libres de un mismo producto de la misma partida ya que no habrá contaminación o por ejemplo, para ganar estabilidad en el buque tras la descarga y limpieza de algún tanque, haciendo que tras el trasiego aumente la estabilidad del buque o disminuya la escora pudiendo ser posible el aumento de la misma tras la descarga anterior.

Es importante que las líneas por donde vaya a pasar el producto no tengan ningún tipo de obstrucción, así como deben estar limpias para no contaminar el producto. Para la realización de los trasiegos internos en el buque, es necesario tener todas las tapas de los tanques, así como las tapas de las líneas del manifold cerradas para que no se produzcan fugas de producto. Por otro lado, como medida preventiva, es necesario mantener las medidas de seguridad incluidos los EPI's que deben utilizarse en todo momento en cubierta para la protección de las personas como las del medio ambiente.

En este caso, para realizar el procedimiento de limpieza que se desarrollará más adelante, se ha realizado un trasiego para el paso del LCO por todos los tanques del buque para así facilitar su posterior limpieza.

4.2.4. Calentador de cubierta.

Los calentadores de cubierta están contruidos por un sistema térmico capaz de aumentar la temperatura del agua a unos 90°C. Dicho aumento de la temperatura es utilizado para llevar a cabo una limpieza a fondo de los tanques o para la aplicación de sustancias químicas que deben ser mezcladas a mayor temperatura.

Llevar a cabo un aumento de temperatura de los tanques, aumenta el rendimiento de la limpieza haciendo que se produzca un mayor desprendimiento de los restos de hidrocarburo en el tanque.

Normalmente para la limpieza de los mismos será necesario aumentar la temperatura a unos 60°C, aunque el calentador sea capaz de conseguir la temperatura nombrada anteriormente.

Para entender mejor el funcionamiento de los calentadores de cubierta es necesario tener claro que funcionan a través de un aumento de la temperatura de aceite térmico procedente de la caldera de la sala de máquinas de los buques, dicho aceite pasará por unos conductos a través del calentador que, en contacto con el agua del mar, se irá calentando progresivamente para a continuación, enviarlo hacia cubierta.

4.2.5. Máquinas de Lavado.

Las máquinas de lavado están diseñadas para la emisión de agua o crudo a presión dentro de los tanques para así desprender el producto anteriormente cargado. Se pueden encontrar dos tipos de máquinas de limpieza, tanto fijas como portátiles. Es importante saber su diferencia, así como su funcionamiento. La mejor opción para el lavado de tanques es el agua caliente, aunque la más económica es lavarlos con crudo ya que es capaz de disolver sus propios restos

4.2.5.1. Máquinas de lavado portátiles

Las máquinas de lavado portátiles, como por ejemplo las “Butterworth Portable Machine”, están compuestas por dos toberas giratorias. Las máquinas portátiles solo están diseñadas para el lavado con agua salada a una presión correspondida entre los 8 y los 12 kg/cm². Estas máquinas para su utilización son introducidas en los tanques a través de un orificio en cubierta especialmente para ello. La máquina se apoya en una especie de atril para evitar así roces con la cubierta y que se reduzca la existencia de movimientos bruscos dentro del tanque además, existen diferentes modelos y diferentes marcas de máquinas portátiles así como diferentes accesorios para su transporte o colocación. [9]

El funcionamiento de las mismas consiste en que las toberas que lo constituyen giran en torno al eje horizontal a la vez que giran alrededor del vertical generando así que la posición de la maquinilla cambie continuamente. Como se ha explicado anteriormente, cualquier aparato que sea introducido en los tanques debe estar fabricado por materiales los cuales no produzcan chispas cuando se encuentren en contacto con el interior del tanque. Por otro lado, debe tener incluido un cable de continuidad eléctrica para que no se produzca

electricidad estática asegurando dicha continuidad entre la maquinilla y la manguera así como la línea de agua de cubierta con la manguera de la maquinilla.

4.2.5.2. Máquinas fijas.

Hoy en día, la mayoría de los petroleros llevan a bordo máquinas fijas instaladas en cubierta a diferentes alturas o a lo largo del tanque, varias para así llegar a la mayor parte del tanque y que queden pocas zonas libres.

Las máquinas fijas a diferencias de las portátiles, es que pueden ser programables para así llevar un control de los programas de limpieza y realizar el procedimiento de la manera más eficaz posible. Además, la potencia de estas máquinas se ve incrementada por la potencia que genera la bomba contraincendios impulsando el fluido a través de la línea de baldeo de cubierta.

Dichas máquinas se pueden subdividir en diferentes categorías según el número de toberas por el que esté construido o según las opciones de programación que presente su fabricación. Según la programación existen las maquinillas totalmente programables que consisten en la posibilidad de lavar el tanque en 2 o 3 etapas utilizando diferentes ciclos por etapa. Las semi-programables no permiten elegir el arco de lavado, pero si permite el cambio de la tobera para la repetición de los diferentes ciclos. Por último, las no programables solo pueden realizar una etapa de lavado. [7]

Las más significantes son las de doble tobera ya que solo pueden ser no programables, esto supone una ventaja ya que cuenta con una fuerza mayor que hace que se igualen las de acción/reacción haciendo que el agua pueda llegar a las zonas las cuales con otro tipo de maquinillas no se podría llegar.

Por otro lado, las de una sola tobera, pueden ser programables, no programables o semi-programables. Lo normal es que sean programables y eso hace que consten de un ángulo de giro en el plano vertical entre 0° y 145° horizontal abarca 360° . Estas al solo estar compuestas por una sola tobera, no iguala la fuerza que es capaz de emitir, por tanto, produce grandes vibraciones pudiendo hacer que se produzca una rotura de la línea de dispensación de agua o crudo. Para la eliminación de las vibraciones y para evitar roturas, se recortan las líneas de suministro para así conseguir un margen de aproximadamente un 10% de las frecuencias que producen la hélice o el casco, así como las frecuencias naturales. [7]

Además, el programa de dichas máquinas consiste en realizar la limpieza en varias etapas. La primera de ellas se realiza en la parte superior del tanque incluyendo techo y tapa programado entre 90° y 145° . En la segunda etapa se procede a la limpieza de los

costados del tanque es decir los mamparos que lo constituyen realizando el lavado entre 45° y 90° y por último, el plan del tanque es decir el fondo del mismo con una programación la cual hace que el chorro actúe entre 0° y 45° [7].

- **Instalación de máquinas fijas.**

Para la instalación de las maquinillas fijas en los buques, se realiza un estudio para conseguir una mejor distribución de ellas en cubierta. Cuando por fin se consigue dicha distribución, se crea un manual de operaciones de las mismas debidamente aprobadas por la administración.

La OMI ha creado una serie de recomendaciones para la instalación y distribución de las maquinillas. La principal característica para el buen funcionamiento de las mismas está limitada por la presión de funcionamiento, así como el diámetro de la tobera de desaloje. Las maquinillas a bordo constarán de capacidad para la limpieza de los tanques en el tiempo estipulado por el manual de fabricación de las maquinillas. También hay que tener en cuenta que el número de máquinas que se van a instalar, dependen del criterio de la administración, además, consistirán en la construcción del tanque y en si son efectivos los chorros de la maquinilla para poder llegar a todas las zonas. [2]

4.2.6. Stripping y Super stripping

Tras la descarga y limpieza de los tanques, antes de proceder a la ventilación de los mismos, se realiza un proceso denominado stripping y a continuación super-stripping. Dicho proceso se lleva a cabo a través de unas líneas delgadas situadas junto a la línea de descarga del tanque.

Para la realización del “stripping” también denominado estripeado del tanque, se inyecta aire o nitrógeno a la línea principal de descarga de la bomba, o en el piano de válvulas bajo el colector, se arrancará dicha bomba, así como se abrirá la válvula de descarga de la misma y la fuerza ejercida por el aire o nitrógeno, hará que el producto que haya podido quedar en tanque y dentro de la bomba, sea impulsado hacia arriba por la línea delgada de “stripping”. Los restos de residuos que sean eliminados del tanque a través de la línea de estripeo, irán comunicados en cubierta, a la línea MARPOL, es decir, irá dirigido hacia los tanques slop. [3]

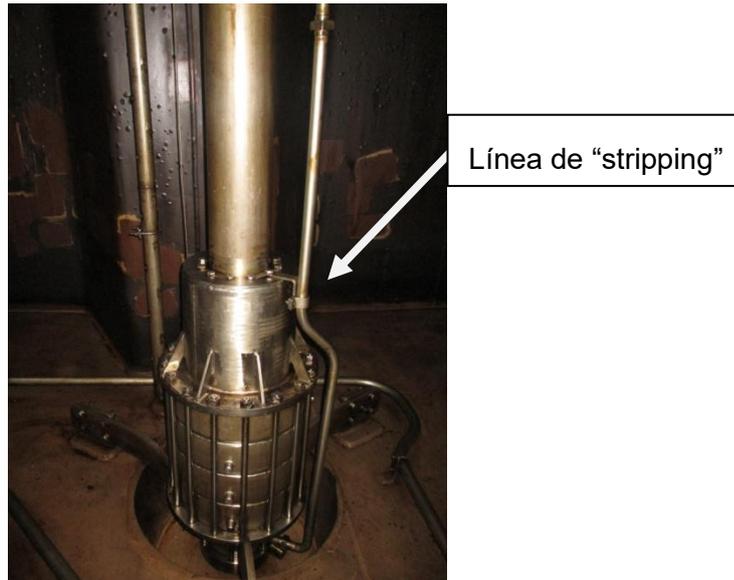


Ilustración 2: Bomba de descarga.

Fuente: Trabajo de campo.

Por otro lado, para poder acabar con las aguas oleosas que puedan quedar dentro del tanque o los restos tras el desplome de la bomba, se realizará el proceso de "super stripping". En este caso, consiste en una línea interconectada con una bomba de diafragma, también conocida como "Wilden". Dentro del tanque, consiste en una línea delgada que llega casi al final del pocete del tanque para poder absorber el mayor producto posible. Dicha línea se comunica a través de una manguera con la línea MARPOL para que el producto extraído llegue a los tanques slop.

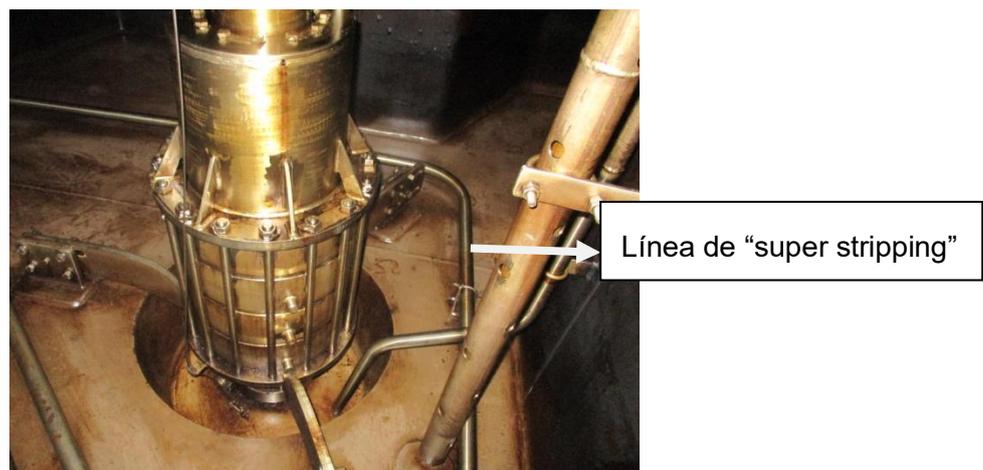


Ilustración 3: Bomba de descarga.

Fuente: Trabajo de campo

Dichas acciones son llevadas a cabo por el bombero del buque así como por el oficial de guardia que será el encargado de arrancar las bombas así como de proceder a abrir las válvulas necesarias en caso de que sean tele comandadas, desde el puente o desde el control de carga si lo hubiera.

4.2.6.1. Funcionamiento

Una vez diferenciados los dos procedimientos hay que seguir una serie de pasos para el drenaje de las líneas y las bombas es decir para realizar el estripeno y el super estripeno. Dichos pasos son los siguientes:

- El primer achique del tanque se realizará a través de las bombas de carga, pero en modo “tankwash”.
- Se procederá a abrir la válvula de descarga de la bomba del tanque que se ha limpiado y desgasificado.
- Se aplicará aire a presión por las purgas, que constan de un acople rápido perteneciente a cada línea de los tanques de carga en el manifold.



Ilustración 4: Pinchazo de aire a las líneas de carga del manifold.

Fuente: Trabajo de campo

- El aire barrerá la línea hacia la bomba haciendo que el producto retorne por línea de stripping por la que se enviará dicho producto a los tanques *slop*.



Ilustración 5: Piano de válvulas línea de stripping.

Fuente: Trabajo de campo.

- Una vez dicha línea haya perdido la presión totalmente, indicaría que estará libre de lavazas. En el mismo momento, se procederá a la apertura de la válvula de descarga del tanque y a la vez, se tirará de la chapaleta de la aspiración de la bomba para que se produzca el desplome del poco líquido que pueda quedar en la línea.
- Utilizando la línea de achique de cubierta, es decir, la super stripping, y la Wilden anteriormente nombrada, se achicará el pocete de la bomba.

Es importante seguir dichos pasos de manera correcta para que el tanque quede lo más seco posible para la siguiente carga. En caso de que después de proceder al super estripeno, siga quedando algún resto de producto en el fondo del tanque, se procedería a bajar y secarlo a mano previamente comprobando la atmósfera y una vez dentro del tanque, mantener una monitorización continua de la misma.

4.2.7. Ventilación de tanques (desgasificación).

La ventilación de los tanques de carga consiste en insertar aire de la atmósfera en los mismos para tratar de desalojar la mayor cantidad de gases de hidrocarburos o de gas inerte anteriormente insertado en el tanque para la obtención de una atmósfera cuyo volumen de oxígeno sea del 21% siendo adecuado para la entrada de las personas al espacio [2].

La existencia de los sistemas de ventilación de los tanques está diseñada para que el acumulación de vapores tanto en cubierta como en espacios cerrados sea lo mínimo posible además de producir una interrupción de entrada de gases inflamables en espacios en los cuales pueda haber peligro de ignición.

Según el BOE-A-1999-23521, el sistema de ventilación debe constar de unas tuberías con tamaño suficiente para que, al expulsar el aire, no se genere un exceso de presión en los tanques, además dichas líneas, deben estar construidas de material anticorrosivo o por el contrario, deben estar forradas haciendo uso del mismo para cargas especiales si fuera necesario [4].

Existen dos tipos de ventilación para los tanques, la ventilación abierta que consiste en la entrada y salida de vapores libre de los tanques durante las operaciones solamente cuando el punto de inflamación de la carga esté por encima de 60°C ya que no se considerarán un riesgo dichos productos si fueran inhalados. Este sistema, está diseñado para las ventilaciones de los tanques individuales, aunque hay que tener en cuenta que no deben tener válvulas de cierre hacia ventilaciones individuales o colector. El otro tipo de ventilación se denomina ventilación controlada que contiene válvulas de escape para llevar un control y una limitación de las presiones o vacíos generadas en los tanques, por consiguiente, se utilizarán para las cargas con punto de inflamación inferior a 60°C. Dicho sistema de ventilación se podrá llevar a cabo a través del colector sobre cada tanque individual. Existen además unas series de restricciones en cuanto a la altura de escape de la ventilación ya que no debe ser inferior a los 4 metros por encima de la cubierta, aunque dicha medida se podría disminuir en caso de instalación de válvulas de alta velocidad para la disipación de los gases.

En los buques tanques, además de los dos tipos de ventilación nombrados anteriormente, se pueden diferenciar entre ventilación fija o móvil.

La ventilación fija, consiste en un ventilador instalado en cubierta el cual irá interconectado con el manifold del buque que, a su vez, hará que el aire entre a los tanques a través de las bajantes de los mismos. Este sistema de ventilación hará que el aire entre desde el fondo del tanque y desplace la columna de aire hacia arriba desalojando dicha columna de aire por los antillamas, vapour lock o P/Vs.

La ventilación portátil, consiste en la colocación en los tanques de unos ventiladores denominados "axias" los cuales funcionan por la inercia del agua. Dichos ventiladores se colocan en la boca de cada tanque a desgasificar conectando un acople del ventilador con una manguera a la línea de baldeo. La presión del agua hará que las palas del ventilador giren en la dirección adecuada para la producción del aire. Este sistema tardará más en

desplazar la columna de aire ya que la ventilación ocurrirá de arriba hacia abajo haciendo que la columna de aire a desplazar oponga más resistencia creando un flujo turbulento.

Una vez ventilados los tanques, se procederá a medir los gases del interior del mismo para asegurarse que la atmósfera no es explosiva y tiene el oxígeno suficiente para que las personas puedan acceder a él. Dicha medición se llevará a cabo a través de un aparato denominado explosímetro calibrado para unos gases determinados. Dicho instrumento, una vez haya detectado algún gas o que el porcentaje de concentración es superior a los límites a los cuales se ha calibrado, se emitirá una alarma la cual indicará que aún no se podrá acceder al tanque. Antes de su utilización se comprueba el sistema calibrándolo al aire aunque cada cierto tiempo se debe calibrar con una botella que al desprender gases hará que sepamos si el aparato funciona adecuadamente.



Ilustración 6: Explosímetro Dräger.

Fuente: Trabajo de campo.

En el explosímetro mostrado en la ilustración número 6 se puede observar que los parámetros que medirá dicho instrumento serán: El porcentaje de LEL (gases combustibles, es decir, gases inflamables) que tiene la atmósfera, el porcentaje de oxígeno, las partes por millón de CO (Monóxido de Carbono) y las partes por millón de ácido sulfhídrico (H₂S).



Ilustración 7: Explosímetro Dräger en funcionamiento.

Fuente: Trabajo de campo.

En la ilustración anterior, se observa cómo hacer uso del explosímetro. En primer lugar, antes de conectar dicho instrumento al tubo de medición se calibrará pulsando ambos botones a la vez. Una vez calibrado, se introducirá el aparato en la funda la cual tiene incluido el tubo que, a continuación, se procederá a doblar para cortar el flujo de aire que pase a través de él. Una vez sin flujo sonará una alarma que indicará que el aparato funciona correctamente. Por último, se introducirá dicho tubo por la tapa del tanque y se realizarán 3 mediciones, la primera en el fondo del tanque, una a mitad del mismo y la última llegando a la tapa, en la parte superior. En caso de que durante las mediciones se observe alguna anomalía o sonara alguna alarma, habrá que continuar ventilando el espacio.

Por otro lado, existe otro tipo de medidor de oxígeno para la utilización en espacios inertizados, el funcionamiento es prácticamente el mismo, aunque en este caso, no se introducirá por la tapa del tanque sino por la vapour lock es decir, por donde se introduciría además el tubo de sonda o la UTI (Ullage, Temperature, Interfase) si fuera necesario. Además, el tubo a introducir incluye una pieza estanca que hará que no se escapen los gases a cubierta sino que simplemente, fluyan a través del tubo hacia el medidor de gas inerte. Estas mediciones se realizarán para saber si el nivel de oxígeno tras el procedimiento de inertización son los adecuados y se encuentran por debajo del 5%.

4.2.8. ODME.

El Oil Discharge Monitor Equipment (Unidad de Vigilancia y Control de las Descargas de Hidrocarburos), más conocido como ODME consiste en un aparato capaz de monitorizar y medir la cantidad de aceites que se encuentran en el agua para el control de su descarga

al mar. Anteriormente, se ha hablado del MARPOL, Anexo I que es en el cual vienen determinadas las cantidades a descargar permitidas [3].

Consiste en una serie de válvulas colocadas en la cámara de bombas, el oleómetro está programado para que, en caso de querer descargar las lavazas al mar, el producto salga del tanque y pase por unas líneas de cubierta directas al oleómetro. El aparato dictaminará tras una serie de cálculos si las partes por millón de hidrocarburos que contiene el agua son las adecuadas para abrir las válvulas de salida al mar y así descargar las lavazas. En caso contrario, si las partículas de hidrocarburos en el agua son superiores a los límites permitidos, la válvula de descarga al mar no se abrirá y se abrirá la de recirculación al tanque “slop” de la banda contraria. Por otro lado, la apertura de la válvula también vendrá limitada por el caudal de salida de las lavazas.

En los buques se realiza mensualmente un test del oleómetro para verificar su funcionamiento. Consiste en elevar los valores tanto de caudal como de cantidad de partes por millón de hidrocarburos para comprobar que suenan las alarmas correspondientes y por tanto, no se abre la válvula. Dicho proceso se lleva a cabo desde la pantalla del control del ODME desde el puente.

PRUEBA ODME DICIEMBRE 2021	Total oil discharge limit	M OIL CONTENT : 300 PPM	ALARM PRINTOUT
CONTROL MODE REPORT	DATA ENTRY PARAMETERS	M SHIP SPEED : 15 KNOTS	26/03/2021 11:49 UTC
UNIT IS SWITCHED OVER	GPS DATA AVAILABLE	M FLOW RATE : 1000 m3/h	N 27 deg 44.793
TO CONTROL MODE	SKID K-FACTOR 3000 P/L	DISCHARGE RATE : 20.00 L/NM	W 16 deg 07.622
ALARM PRINTOUT	CEL K-FACTOR 463	OIL DISCHARGED : 40.08 L	M OIL CONTENT : 300 PPM
26/03/2021 11:40 UTC	PRINT INTERVAL 1 minutes	SAMPLE VALVE NO : 1	M SHIP SPEED : 15 KNOTS
N 27 deg 45.162	DISCHARGE LIMIT 30 L/NM	OIL TYPE : 5	M FLOW RATE : 1000 m3/h
W 16 deg 09.434	TOTAL OIL LIMIT 40 L	COMMAND: CLOSED STATUS:	DISCHARGE RATE : 20.00 L/NM
M OIL CONTENT : 300 PPM	SAMPLE VALVE NO 1	OPEN	OIL DISCHARGED : 0.00 L
M SHIP SPEED : 15 KNOTS	RESET DISCHARGE YES	THE FOLLOWING ALARMS HAVE	SAMPLE VALVE NO : 1
M FLOW RATE : 1000 m3/h	SYSTEM STATUS IDLE	OCCURRED:	OIL TYPE : 5
DISCHARGE RATE : 20.00 L/NM	DISCHARGE PROHIBITED	Total oil discharge limit	COMMAND: CLOSED STATUS:
OIL DISCHARGED : 0.00 L	SYSTEM STATE: idle	SYSTEM STATE: sample	CLOSED
SAMPLE VALVE NO : 1	SYSTEM STATE: sample	SYSTEM STATE: idle	THE FOLLOWING ALARMS HAVE
OIL TYPE : 5	ALARM PRINTOUT	SYSTEM STATE: idle	BEEN CLEARED:
COMMAND: CLOSED STATUS:	26/03/2021 11:48 UTC	SYSTEM STATE: standby	Total oil discharge limit
CLOSED	N 27 deg 44.828		SYSTEM STATE: stand
THE FOLLOWING ALARMS HAVE	W 16 deg 07.795		SYSTEM STATE: standby
BEEN CLEARED:			

Ilustración 8: Resultados test ODME.

Fuente: Trabajo de campo.

En la ilustración anterior se pueden observar los resultados de un test del ODME llevado a cabo para la comprobación de las aperturas de las válvulas. En azul se observa

dicho estado. Si la válvula no abre por cantidad no por caudal, habrá que realizar la descarga de las lavazas en una estación de tierra autorizada.

Como la contaminación marina depende del contenido del producto en el agua, la velocidad del barco y el caudal de descarga, hay que saber cómo se calcula dicho caudal. La fórmula es la siguiente:

$$\frac{(\text{ppm de producto en el efluente}) \times (\text{caudal de descarga del efluente en } \frac{m^3}{h})}{(\text{velocidad en nudos del buque}) \times 1000}$$

Fuente: Convenio MARPOL [3]

Cualquier operación relacionada con el oleómetro, se anotará en el Libro de Registro de hidrocarburos parte II, la realización de los test así como la descarga real se anotarán con unas letras correspondientes a cada operación, la “O” y la “I” respectivamente. Vendrán acompañados de diferentes números que corresponderán a los siguientes apartados:

- Identidad de los tanques de decantación.
- Tiempo de sedimentación.
- Hora y posición del buque al principio y al acabar la descarga.
- Vacíos/niveles del tanque.
- Vacíos/niveles de la interfaz antes y al finalizar la descarga.
- Cantidad y régimen de descarga.
- Velocidad del buque.
- Comprobación continua del efluente y superficie del agua.
- Verificación de que las válvulas se encuentran cerradas al concluir la descarga.

4.2.9. Procedimiento de inertización.

Antes de proceder a explicar cómo llevar a cabo el procedimiento de inertización, es importante saber que significa inertizar, así como tener claras las definiciones de purgar y rellenar ya que será importante posteriormente.

Inertizar consiste en el acto de la introducción de gas inerte en un tanque hasta alcanzar un reducido contenido de oxígeno siendo dicho nivel, incapaz de producir combustión. La condición óptima es la de reducir el oxígeno por debajo del 8% por volumen [6].

El término purgar trata del concepto de la introducción de gas inerte en un tanque anteriormente inertizado para mantener o reducir su contenido de oxígeno.

Por otro lado, rellenar consiste en la introducción de gas inerte en el tanque para mantener dicho tanque a presión positiva impidiendo la entrada de aire del exterior.

Se tendrán en cuenta para llevar a cabo el procedimiento de limpieza las siguientes generalidades:

- El sistema de Gas Inerte (IGS), debe ser capaz de suministrar N₂ (Nitrógeno) a un caudal del 125% del promedio de descarga del buque.
- El IGS debe ser capaz de generar un contenido de oxígeno que no supere el 5% en volumen por el colector general de suministro.
- Los tanques de carga, deben mantenerse inertizados en todo momento a no ser que sea necesaria la entrada a dicho espacio.
- Tras la limpieza y desgasificación de los tanques, es necesario inertizarlos.
- Los oficiales del buque, deben recibir la información y la formación necesaria para poder operar con el Gas Inerte.
- Antes de arrancar el IGS, será necesario realizar una serie de comprobaciones indicadas en el Manual de Operaciones o Instrucciones del Fabricante.

Antes de comenzar a utilizar el Sistema de Gas Inerte como se puede observar en el último punto de las generalidades a tener en cuenta, es la realización de una serie de comprobaciones. Dichas comprobaciones son las siguientes.

- a. El suministro de Gas Inerte es proporcionado por un generador capaz de proporcionar Nitrógeno. Como realizar el mantenimiento así como las instrucciones de funcionamiento vienen figuradas en el manual de operación del fabricante de la planta de gas inerte.
- b. El IGS, siempre debe estar disponible para su uso. Se deben llevar a cabo inspecciones regulares así como llevar a cabo un mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento. Dichas inspecciones y sus respectivos intervalos para llevarlas a cabo, vienen definidas en el Plan de Mantenimiento del Buque.
- c. Los sistemas de seguridad del IGS deben comprobarse además antes de su uso ya que de esa manera puedes asegurar que todo funciona de la manera que debería. Las pruebas realizadas se describen en el Manual de Operaciones del Sistema de Gas Inerte además de las instrucciones del fabricante. Algunas de las pruebas a tener en cuenta son las siguientes:
 - ❖ Comprobación del cierre automático así como de la abertura y cierre de las válvulas.

- ❖ Calibración de los equipos de control de oxígeno y comprobación de las alarmas incluyendo en ellos tanto los equipos fijos como los portátiles.
- ❖ Calibración de los detectores de gases de hidrocarburos, también denominados como "Tankscope". Además de la calibración se deberá llevar a cabo una comprobación de las alarmas.
- ❖ Revisión y comprobación de las alarmas tanto acústicas como visuales del IGS. alguna de esas alarmas puede ser por ejemplo la del contenido de oxígeno que se encuentre superior al 8% en volumen, también, por ejemplo la alarma de presión del gas que al encontrarse por debajo de 100 mmca (milímetro de columna de agua) debe sonar. Más ejemplos, fallos en el suministro de energía al generador de Gas Inerte, insuficiencia de combustible líquido...

Existen diferentes motivos y operaciones en las cuales está involucrado directamente el Sistema de Gas Inerte. A continuación se podrá observar dichas operaciones y como proceder con el N₂ en cada uno de ellos.

Por otro lado, existen una serie de riesgos que hay que tener en cuenta. Los más importantes son los siguientes:

- Retroceso de gases de carga: Existe una válvula de retención utilizada como barrera además de una exhaustación en el colector que hacen que los gases de la carga no puedan retroceder desde los tanques al IGS.
- Deficiencia de oxígeno: Es necesario ventilar los espacios inertizados además del lugar donde se encuentra la planta de gas inerte hasta que el contenido de oxígeno este en un 21% de volumen ya que cuando un ser humano se expone a una atmósfera con un bajo porcentaje de oxígeno, no siempre notará síntomas reconocibles antes de quedar inconsciente. Además la exposición a dichas atmósferas, pueden crear daños cerebrales así como la muerte en poco tiempo.
- Toxicidad de los vapores de hidrocarburos: El gas inerte, disminuye el porcentaje de oxígeno pero no puede disminuir la toxicidad de los gases de hidrocarburos por tanto, como dichos gases pueden regenerarse se debe continuar con la desgasificación de los mismos hasta que el explosímetro muestre un valor por debajo del 1% de LEL es decir, de gases inflamables.
- Presión del tanque: Al tener presión positiva en los tanques, se debe informar a todo el personal de los riesgos de ello ya que no se podrá proceder a la

apertura de ningún tapín o tapa o proceder a la toma de muestreo o medidas hasta que la presión haya sido disminuida debidamente [10].

4.2.9.1. Inertización de tanques vacíos.

Cuando se realiza el procedimiento de inertización en tanques que se encuentren en condición “gas free”, es decir, cuando se finaliza una reparación o después de astillero, hay que tener en cuenta una serie de consideraciones [2].

- Llevar a cabo en primer lugar todas las comprobaciones nombradas anteriormente.
- Verificar que las válvulas de presión / vacío (P/V) se encuentran operativas en cada tanque.
- Comprobar que los sensores de presión del IGS de los tanques de carga se encuentran operativos.
- Proceder a la apertura de las válvulas de conexión del Gas Inerte con el colector de carga para realizar la inertización a través de los bajantes de los tanques. En caso de no disponer de este sistema, habrá que realizar el procedimiento a través de una línea propia de gas inerte la cual estará conectada a cada tanque de carga.
- Mediante se lleva a cabo el procedimiento, está prohibido introducir ningún equipo de medición o de muestreo hasta que no se haya corroborado que los tanques se encuentran inertizados. Para la toma de lecturas de la cantidad de oxígeno en el tanque, se conecta el medidor de oxígeno portátil al tapín de inspección.
- Se debe esperar a que el contenido del tanque se estabilice para proceder a la introducción de cualquier objeto extraño en el tanque.
- Se procederá a la medición de la cantidad de oxígeno en la atmósfera de los tanques a diferentes alturas hasta que el porcentaje de oxígeno se encuentre por debajo del 8% (ISGOTT 6ª 11.1.6.1).
- Una vez estén todos los tanques inertizados, se deberán conectar todos por el colector del Sistema de Gas Inerte para que se mantenga una presión positiva superior a los 100 mmca.
- Las válvulas de suministro de gas inerte se deberán mantener abiertas durante el viaje, la carga y la descarga.
- Se deberá llevar un registro exhaustivo de todas las operaciones relacionadas con el gas inerte.

4.2.9.2. Purgado de tanques.

El purgado de los tanques de carga debe realizarse a través de las válvulas de Presión / Vacío de cada tanque. Dichas válvulas están taradas a unas presiones determinadas para que liberen los gases cuando el tanque se encuentra por encima de dichas presiones.

Normalmente tienen dos escapes tarados a diferentes presiones las cuales oscilan entre los 1400 mb y los 1600 mb como se muestra en la siguiente ilustración, así como están taradas a una presión negativa de -350 mb para proceder a la entrada de aire e intentar aumentar ligeramente la presión.

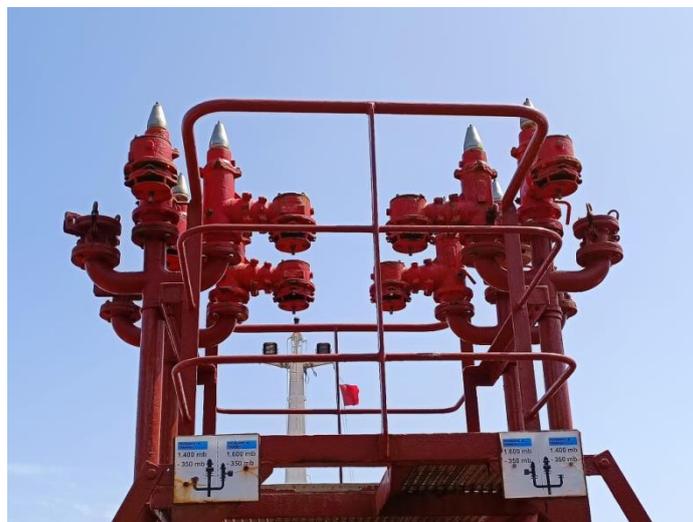


Ilustración 9: Válvulas Presión / Vacío.

Fuente: Trabajo de campo.

Las operaciones de purgado de los tanques son realizadas normalmente por las siguientes causas:

- Realización durante las operaciones de carga cuando se están llenando los tanques por hidrocarburos ya que es necesario desalojar a la atmósfera por las P/V, la cantidad de gases que se encuentran en el interior de los tanques, es decir, por el aumento de presión d la suma del gas inerte con los gases de hidrocarburos.
- Durante la ventilación de tanques cuando sea necesaria la entrada a los tanques de carga, para la realización de una inspección o reparación hay que efectuar una serie de operaciones:

- a. Se procede a la limpieza de tanques siguiendo una serie de instrucciones, así como la desgasificación de los mismos.
 - b. Realización del purgado del tanque con gas inerte hasta conseguir desalojar los gases de hidrocarburos totalmente. Es necesario se mida la concentración de gases de hidrocarburos mediante el “Tankscope”. Dicha concentración debe ser menor al 1.4%.
 - c. Una vez conseguida la condición de “gas free”, es decir, una atmósfera no explosiva, se procederá a ventilar dichos tanques desplazando el nitrógeno anteriormente insertado con aire.
- Por último, tras las operaciones de inspección o reparación correspondientes, se procederá a realizar lo expuesto anteriormente en el apartado 3.9.1. además de realizar el purgado a través de las P/V. [3]

4.2.9.3. Fallo en el Sistema de Gas Inerte.

En el supuesto caso que sea imposible operar con el Sistema de Gas Inerte, o que, por alguna razón, el contenido de oxígeno en los tanques no se pueda mantener por debajo del 5%, se paralizarán las operaciones que se estén llevando a cabo. Dichas operaciones solo se reanudarán cuando la planta de nitrógeno sea capaz de suministrar el gas produciendo un contenido de oxígeno por debajo del 5%. Además, el Capitán tiene la obligación de informar a la Autoridad Marítima del fallo en el sistema.

Se intentará reparar en el momento aunque si no se pudiera automáticamente, solo se podría proceder a la reanudación de las operaciones si el gas inerte necesario para dichas operaciones fuera suministrado por la terminal o por un suministrador externo aunque se deben tomar una serie de precauciones como pueden ser las detalladas por el ISGOTT, la verificación de las rejillas antillamas, que las válvulas P/V se encuentren operativas en todos los tanques, hay que tener precaución en no insertar ningún equipo de medición o toma de muestreo dentro de ningún tanque hasta que no haya pasado mínimo 30 minutos desde la parada de suministro de N₂.

4.2.9.4. Operación de carga con tanques inertizados.

Antes de la llegada a puerto para realizar la carga del buque, deben estar todos los tanques debidamente inertizados habiendo comprobado con anterioridad la atmósfera de los mismos y encontrándose los mismos por debajo del 8% o por debajo del límite exigido por la Terminal de carga, o las Autoridades Portuarias si son inferiores al anteriormente mencionado.

Lo primero a tener en cuenta es que la válvula general de cubierta del IGS se mantiene cerrada y la planta se encuentra parada, a la vez, se procederá a mantener las

válvulas de conexión de cada tanque abiertas con el colector en aquellos tanques que se vayan a cargar mediante el colector. Por último, se comprobará que las P/V mantienen la presión positiva necesaria durante las operaciones y que en caso e sobre presión, sean capaces de desalojarla.

4.2.9.5. Inertizado durante el viaje en carga.

Como se ha dicho anteriormente, es importante y necesario, mantener una presión positiva de 100 mmca o el límite inferior de la presión del sistema en cada tanque. Si la presión exigida no se pudiera mantener y descendiera por debajo del límite, habrá que re-inertizarlo siguiendo el ISGOTT 6ª 11.1.6.5 [2].

Se debe tener en consideración que algunos productos a transportar como el keroseno o el Diesel Oil, son capaces de absorber oxígeno durante su almacenamiento en tierra así como durante su proceso de refinado por esto, durante la navegación y antes del comienzo de las operaciones de descarga, se debe comprobar que el nivel de oxígeno de los tanques se encuentran bajo el límite permitido.

4.2.9.6. Operación de descarga con tanques inertizados.

Durante toda la descarga se deberá tener el Sistema de Gas Inerte en funcionamiento manteniendo así la presión positiva en los tanques, pero esta vez, al estar realizando la descarga de productos, habrá que aumentar la presión a más de 200 mmca evitando la entrada de aire para que no se produzca vacío.

El registro continuo del contenido de oxígeno y la presión del colector será obligatorio durante la duración de las operaciones.

Tras finalizar las operaciones, habrá que asegurarse que todos los tanques de carga, tanto los descargados como los que no, si los hubiera, deben encontrarse completamente inertizados.

4.2.9.7. Operaciones de limpieza de tanques con tanques inertizados.

Este apartado, abarca todo lo relacionado con la limpieza de tanques en tanques anteriormente inertizados por tanto, hay que prestar atención a las recomendaciones.

Hay que tener en cuenta que la limpieza de tanques en buques que tengan instalada planta de gas inerte, no se podrá llevar a cabo si dicho sistema no se encuentra operativo.

Una vez claro el funcionamiento de la planta de N₂ se procederá al cierre de puertas, portillos etcétera ya que aunque los tanques están inertizados con anterioridad se deben seguir una serie de medidas de seguridad como las mencionadas con anterioridad para evitar la posible entrada de gases de hidrocarburos al buque.

En primer lugar antes de dar comienzo a las operaciones de limpieza siguiendo el ISGOTT 6ª 11.1.6.9, habrá que proceder a medir la cantidad de oxígeno dentro de los tanques, a un metro por debajo de la cubierta y a continuación a mitad del tanque asegurándose que ambas medidas se encuentran por debajo del 8% por volumen siendo necesario, mantener dicho volumen durante toda la operación de limpieza. [2]

Si durante el procedimiento, el oxígeno del tanque aumenta o la presión del interior de los tanques, se vuelve negativa, se debe parar todas las operaciones hasta que las condiciones de seguridad vuelvan a ser las óptimas para continuar con el procedimiento. Como es necesario mantener la presión positiva así como el nivel de oxígeno, queda totalmente prohibida la apertura de cualquier acceso al tanque durante el periodo que dure la limpieza.

4.2.9.8. Purga y desgasificación de los tanques de carga.

Siguiendo el Capítulo II-2, Regla 16.3.2 del Convenio SOLAS, en los petroleros con Sistema de Gas Inerte, los tanques deberán ser purgados inicialmente, con gas inerte a través de las válvulas P/V como se indica en el SOLAS, Capítulo II-2, Regla 4.5.6 hasta que la concentración de gases de hidrocarburos que se puedan encontrar en los tanques haya quedado reducida hasta el 2% o menos por volumen (ISGOTT 6ª 11.1.6.10). A partir de ese momento, la desgasificación podrá llevarse a cabo por ventilación forzada. [10]

Hay que tener en cuenta que como indica el ISGOTT 6ª 11.1.6.10 el purgado no será necesario en caso de que el contenido de gases se encuentre por debajo del 2%. Además, antes de iniciar la desgasificación de los mismos, se debe realizar un aislamiento total entre ellos

4.2.9.9. Precauciones por la electricidad estática.

Otro de los riesgos que pueden surgir en un buque, creando posibilidad de explosión, es el riesgo de la creación de electricidad estática. Esto puede surgir tras un fallo en el IGS el cual, la manera de evitar este riesgo, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones (ISGOTT 7.1.6.8). [2]

En caso de parada de la planta, se deben parar inmediatamente las operaciones. Además, como se ha descrito con anterioridad, una vez haya alguna fuga de aire dentro del tanque, no se deben introducir equipos de materiales metálicos ya sean de toma de vacío, medidores de temperatura o tomas de muestra a menos que hayan pasado mínimo 30 min desde la parada de inyección de N₂ al tanque. Después de haber pasado dicho periodo de tiempo prudencial, se podría hacer uso de dichos equipos, pero teniendo en cuenta, que durante todo el tiempo que vayan a ser utilizados, deben estar conectados a una masa, en este caso será a la estructura del buque, desde antes de la introducción al tanque así como

después de su salida. Los requisitos expuestos, deben llevarse a cabo hasta 5 horas posterior a la parada del IGS. Además, si durante cualquier momento, hubiera que proceder a re-inertizar algún tanque tras la parada de la planta, o tras la reparación del IGS, tampoco deben introducirse equipos de materiales metálicos. Sin embargo, si fuese necesario la introducción de algún equipo de toma de sonda, habrá de hacerlo pasados los primeros 30 minutos y asegurándose que dicha sonda, sea eléctricamente continua además de estar conectada a una masa. [2]

4.2.9.10. Mantenimiento del Sistema de Gas Inerte

La planta de Gas Inerte se considera elemento crítico, es decir, consiste en un equipo necesario para el funcionamiento total funcionamiento del buque.

Hay que llevar a cabo, una serie de comprobaciones, así como un mantenimiento regular además de ser operado bajo los procedimientos e instrucciones del fabricante de la planta descritas en el Plan de Mantenimiento del Buque. Tras las inspecciones, test o calibraciones se encontrarán una serie de resultados o hallazgos que deberán registrarse a bordo y estar disponibles en todo momento para futuras comprobaciones o reparaciones.

Para las reparaciones de la planta debe haber a bordo existencia de repuestos además de al considerarse elemento crítico del buque, una vez utilizados los repuestos, deben ser suministrados de nuevo con la mayor brevedad posible.

Las pruebas a realizar para la comprobación del gas inerte se ven descritas en el Manual de Operaciones del Sistema de Gas Inerte además de en las instrucciones del fabricante. Dichas comprobaciones vienen descritas con anterioridad en los apartados 4.2.9 y 4.2.9.1. [10]

4.3. Normativa

Es muy importante tener en cuenta que para el buen funcionamiento de cualquier procedimiento o cualquier acción que se produzca dentro de un buque, tiene que estar regida por una serie de normativas, leyes o convenios que han sido creados para el cumplimiento global haciendo así que todas las personas trabajen en una misma dirección y bajo las mismas condiciones.

En cuanto a la limpieza de tanques como se observa anteriormente, es muy importante seguir una serie de Convenios como son el MARPOL 73/78, el ISGOTT o el SOLAS cada uno de ellos se dedica a una serie de cosas que en conjunto hacen que el buque esté protegido y que no se produzcan o se reduzcan de alguna manera los accidentes.

4.3.1. Convenio MARPOL

El Convenio MARPOL (Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques) fue aprobado en 1973 en la Conferencia internacional sobre la contaminación del mar, celebrada los días entre el 8 de octubre y el 2 de noviembre del mismo año, en dicha conferencia, fue aprobado el Protocolo I que consiste en la explicación de cómo llevar a cabo la realización de informes de sucesos que se relacionan con sustancias perjudiciales además de la aprobación del Protocolo II relacionado con el Arbitraje.

Posteriormente, el Convenio fue modificado en 1978 gracias a la Conferencia internacional sobre seguridad de los buques tanque y prevención de la contaminación celebrada entre los días 6 y 17 de febrero siendo convocada por la OMI. Esta nueva modificación hizo que el Convenio MARPOL pasara a llamarse Convenio MARPOL 73/78. Con la implantación del nuevo Convenio, se pueden observar cinco anexos que están destinados a diferentes maneras de contaminación llevada a cabo por los buques aunque tras la modificación del Convenio en 1997 se añadió un nuevo anexo. Hay que tener en cuenta que el MEPC (Comité de protección del medio marino) decidió en su 56º periodo de sesiones tras la modificación de 1997, que cuando se fuera a normar el Convenio MARPOL, habría que hacerlo sin estar seguido de las fechas 73/78 ya que en dichos años, aún no estaba implantado el anexo VI que consiste en la Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques. [3]

Con el paso de los años, hay que tener en cuenta, las modificaciones que se le realizan a dicho Convenio y a las nuevas enmiendas que se le incluyen. La modificación más reciente es la entrada en vigor el día 1 de enero de 2017.

El Convenio MARPOL consta de la siguiente composición:

- **“Protocolo I** – *Disposiciones para formular los informes sobre sucesos relacionados con sustancias perjudiciales.*
- **Protocolo II** – *Arbitraje.*
- **Anexo I** – *Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.*
- **Anexo II** – *Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.*
- **Anexo III** – *Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.*
- **Anexo IV** – *Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.*
- **Anexo V** – *Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques.*

- **Anexo VI** – *Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. [3]

Con relación a la limpieza de tanques, se debe tener en consideración el Anexo I y Anexo II ya que además de transportar hidrocarburos, también son considerados como sustancias nocivas líquidas transportadas a granel. Al realizar dicha limpieza se creará una mezcla entre agua y restos de hidrocarburos, lo que anteriormente se han denominado como lavazas, las cuales al hacer un mal uso de los recursos y al no seguir el Convenio y dichos anexos, se podría crear una gran contaminación marina además de poder poner al buque en peligro.

A continuación se desarrollan ambos Anexos involucrados en la limpieza de tanques para tener un estudio más exhaustivo sobre la normativa a tener en cuenta para la realización de dicha operativa.

4.3.1.1. Anexo I - Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.

Este anexo es el mayor del Convenio MARPOL y está compuesto por 47 Reglas dispuestas en 11 Capítulos y seguidas de 3 apéndices

- **Capítulo 1:** “*Generalidades*”, está compuesto por las reglas de la 1 a la 5. Dichas reglas exponen el concepto generalizado de petrolero, diferentes conceptos relacionados con los desechos de hidrocarburos, exenciones para la retirada de residuos y los casos excepcionales como los que se rigen por la regla 15 que será desarrollada posteriormente.
- **Capítulo 2:** “*Reconocimientos y certificación*”, contemplando las reglas 6 hasta la 11 incluida. En este capítulo se tienen en conocimiento, las certificaciones y reconocimientos que deben tener los buques para el cumplimiento del Convenio y así de esta manera, poder navegar con seguridad. Cada certificado tendrá una validez especificada por la Administración y deberán renovarse antes de la fecha de vencimiento. También en este capítulo, se impone la posibilidad de entrada a los buques por parte de funcionarios autorizados para la realización de inspecciones cuando haya indicios de que la tripulación o el capitán no estén familiarizados con sus cometidos para prevenir la contaminación relacionada con dicho anexo.
- **Capítulo 3:** “*Prescripciones aplicables a los espacios de máquinas de todos los buques*”. Está compuesto por los capítulos comprendidos del 12 al 17 aunque dicho capítulo está dividido en tres partes. La primera de ellas engloba lo relacionado a la construcción, es decir, la disposición de los tanques para los residuos de hidrocarburos, la construcción que deben tener los tanques para la seguridad de los mismos, o como dice la regla la normativa que debe tener la conexión para la

descarga de los residuos. La segunda parte de este capítulo “B” consta solamente de la regla 14, dicha regla habla sobre los equipos que se deben llevar a bordo como lo es el equipo filtrador de hidrocarburos además de dictaminar el número de partes por millón (ppm) de restos de hidrocarburos que debe tener la mezcla oleosa para poder ser descargada en el medio del mar. Dicho equipo será desarrollado más adelante. Por último, la tercera parte del capítulo “C”, explica cómo llevar el control de las descargas de hidrocarburos dependiendo de las zonas en las que se vaya a realizar dicha descarga, además, se tiene en cuenta en la regla 16, la importancia de la separación de los hidrocarburos como tal y de las aguas de lastre además del transporte de hidrocarburos en los piques de proa. Por último, incluye el Libro de registro de hidrocarburos la Parte I en la que se llevará un seguimiento de cualquier acción llevada a cabo, relacionada con los hidrocarburos desde el lastrado de tanques, hasta la toma de combustibles pasando por las descargas de aguas de sentinas o recogida de fangos.

- **Capítulo 4:** *“Prescripciones relativas a las zonas de carga de los petroleros”*. Abarcando 3 partes las cuales están constituidas entre las reglas 18 y la 36. La primera parte rige una serie de normas en cuanto a la construcción, la regla 18, desarrolla la idea de los tanques de lastre separados de los tanques de carga y los buques de doble casco, nombrados con anterioridad ya que gracias a esta nueva normativa se produjo un gran cambio en la finalidad de la limpieza de tanques. Por otro lado, en esta parte del capítulo, se encuentran las disposiciones a tener en cuenta para la realización de cálculos de estabilidad intacta y en los cálculos de la estabilidad en avería. La segunda parte de este capítulo habla sobre los equipos que se deben instalar para la vigilancia y control de descargas de hidrocarburos. En el capítulo anterior se hablaba sobre un sistema capaz de filtrar los hidrocarburos en cambio en este capítulo, se habla de la instalación de detectores de la interfaz hidrocarburos/agua que estarán conectados a los tanques lavazas en los cuales, dicho fluido serán pasados por los mismos para determinar si el mismo, puede ser descargado directamente al mar. La última parte, incluye la manera de cómo se debe llevar a cabo las descargas en el mar. La regla 35 de este capítulo consta de las disposiciones para llevar a cabo el lavado con crudo de tanques siguiéndolo de la regla 36 en la que se implementa la parte II del Libro de registro de hidrocarburos en la cual se llevara un registro exhaustivo tanque por tanque, de todas las operaciones tanto de carga como de lastre que se lleven a bordo del buque.
- **Capítulo 5:** *“Prevención de la contaminación derivada de sucesos que entrañan contaminación por hidrocarburos”*. La regla 37 constituyente de este capítulo, trata de

la obligatoriedad de la creación e implantación de un plan de emergencia a bordo por si se diera el caso de una contaminación por hidrocarburos. Este debe seguir una serie de requisitos como una descripción de las medidas que van a llevar a cabo, los procedimientos que llevara el buque además de la persona designada a bordo del buque para coordinar las acciones y una lista de personal o autoridades con las que el buque debe ponerse en contacto en caso de contaminación. Hay que tener en cuenta para los buques petroleros los cuales su peso muerto iguale o supere las 5000 toneladas, debe tener instalados un calculador de estabilidad en avería ya que es muy importante en caso de avería, que el buque contamine lo menos posible además de mantenerse a flote y que no haya ningún daño mayor.

- **Capítulo 6:** “*Instalaciones de recepción*”. Este capítulo consta de la regla 38 en la cual implanta todo lo relacionado con los lugares especializados para la descarga de residuos de hidrocarburos.
- **Capítulo 7:** “*Prescripciones especiales para las plataformas fijas o flotantes*”.
- **Capítulo 8:** “*Prevención de la contaminación durante el trasbordo de cargas de hidrocarburos entre petroleros en el mar*”. Referente a las operaciones “ship to ship”.
- **Capítulo 9:** “*Prescripciones especiales para la utilización o el transporte de hidrocarburos en la zona del Antártico*”
- **Capítulo 10:** “*Verificación del cumplimiento de las disposiciones del presente convenio*”. Las reglas 44 y 45 de este anexo concluye la implantación de auditorías e inspecciones para corroborar que el Convenio se esté cumpliendo con rigurosidad.
- **Capítulo 11:** “*Código internacional para los buques que operen en aguas polares*”
- **Apéndice I:** Hace referencia a un listado de diferentes tipos de hidrocarburos.
- **Apéndice II:** Expone el modelo de certificado IOPP – “*Certificado Internacional de prevención de la contaminación por hidrocarburos*”.
- **Apéndice III:** Se incluye el modelo de Libro de Registro de Hidrocarburos el cual se tendrá en cuenta más adelante para el desarrollo de las operaciones de carga, trasiego, descarga, limpieza, lastre y deslastre.

Teniendo claro, el concepto y de los puntos que se tratan en el Convenio MARPOL se podrían llevar a cabo las diferentes operaciones tanto de carga como de descarga con la mayor seguridad posible así como llevar a cabo un plan de limpieza bien ejecutado y concienciado con el medio marino y el medio ambiente. [3]

4.3.1.2. “Anexo II – Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel”.

Este anexo, está construido por 10 Capítulos y 7 apéndices cada uno ellos destinados a la prevención de la contaminación. En este caso, dicho anexo realiza una

explicación de conceptos generalizados como es, la definición de agua de lastre o lleva a cabo una explicación exhaustiva de cómo deben ser las tuberías de descarga y carga del buque además de los códigos que se deben llevar a cabo tras la carga de productos químicos en los tanques.

- **Capítulo 1:** “*Generalidades*” trata de lo mencionado anteriormente, de conceptos básicos a tener en cuenta para el correcto cumplimiento de dicho anexo.
- **Capítulo 2:** “*Clasificación de las sustancias nocivas líquidas en categorías*”. La regla 6 es la única perteneciente a este capítulo. Es muy importante saber la diferencia entre las distintas categorías de sustancias nocivas para así saber diferenciar el tratamiento que llevan y como tratarlas a bordo después de las operaciones de limpieza o deslastrado de tanques.
 - **Categoría X:** Está prohibida su descarga al mar ya que se consideran sustancias nocivas que afectan gravemente a la salud de las personas y del medio marino.
 - **Categoría Y:** Se podrían descargar en el mar bajo limitaciones con respecto a la cantidad y la calidad ya que están consideradas como un riesgo medio para las personas y el entorno marino.
 - **Categoría Z:** Esta categoría goza de menos limitaciones para su descarga en el mar ya que simplemente causarían un riesgo mucho menor que las categorías nombradas con anterioridad.
 - **Otras Sustancias:** Las denominadas OS “Otras sustancias” se encuentran descritas en el capítulo 18 del Código Internacional de quimiqueros y tras una evaluación exhaustiva de sus componentes, se ha determinado que dichas sustancias no suponen ningún tipo de peligro para el entorno.
- **Capítulo 3:** “*Reconocimientos y certificación*” Este capítulo trata de todas las reglas relacionadas con los certificados y reconocimientos que debe seguir y tener en vigor un buque para el transporte y descarga de las sustancias nocivas líquidas
- **Capítulo 4:** “*Proyecto, construcción, disposición y equipo*”. Se llevarán a bordo del buque instalaciones de bombeo y de tuberías para conseguir un mayor rendimiento y la capacidad necesaria de retención dependiendo del año de construcción del buque.
- **Capítulo 5:** “*Descargas operacionales de residuos de sustancias nocivas líquidas*” Este capítulo es el más importante para tener en cuenta las medidas que se deben tomar para la descarga de las sustancias nocivas líquidas [3].

La regla 13 del convenio, expone que está totalmente prohibida la descarga de aguas de lavado de tanques, aguas de lastre o sustancias mezcladas con

productos que entren dentro de las categorías X, Y o Z a no ser, que cumplan con las siguientes circunstancias y normativa:

- Que mientras el buque se encuentre navegando a unos 7 nudos mínimo cuando se puedan propulsar por ellos mismo o a una velocidad mínima de 4 nudos si no constan de medios propios.
- La descarga debe llevarse a cabo por conductos que se encuentren bajo la línea de flotación.
- Solamente se podrá llevar a cabo la descarga en lugares cuya sonda mínima no sea inferior a 25 metros y cuya distancia con tierra sea superior a 12 millas náuticas.

Por otro lado, habla de la importancia de la ventilación de los tanques para la eliminación de restos de sustancias gaseosas nocivas así como de la utilización de aditivos para la limpieza de los tanques.

- **Capítulo 6:** *“Medidas de supervisión por los Estados rectores de puertos”*
- **Capítulo 7:** *“Prevención de la contaminación resultante de un suceso relacionado con las sustancias nocivas líquidas”*. En este capítulo se incluye la regla 17 en el cual como en el anexo I, obliga al buque a la creación de un plan de emergencia en caso de que se produzca una contaminación en la mar.
- **Capítulo 8:** *“Instalaciones de recepción”*
- **Capítulo 9:** *“Verificación del cumplimiento de las disposiciones del presente convenio”*. Se observa, la obligatoriedad de seguir una serie de auditorías continuadas tanto externas como internas para el cumplimiento del anexo y todo lo que ello conlleva.
- **Capítulo 10:** *“Código internacional para los buques que operen en aguas polares”*.
- **Apéndice I:** *“Directrices para la clasificación de sustancias nocivas líquidas en categorías”*. El apéndice consta de una serie de tablas en los que se encuentra una clasificación en relación con el nivel de contaminación que produzcan los diferentes productos.
- **Apéndice II:** *“Modelo de Libro de registro de carga para buques que transporten sustancias nocivas a granel”*. El siguiente libro contiene toda la información relacionada con la operativa de carga de los buques que transportan mercancías peligrosas líquidas a granel. Se indicará lugar de carga como de descarga además de la hora, cantidades, tanques vacíos o tanques que se han llenado, si se ha realizado algún trasiego entre tanques además de llevar el registro de la limpieza que se ha llevado a cabo y la cantidad de lavazas. También se llevará a cabo un registro

de las operaciones de lastre y deslastre y si se hace en los tanques de lastre o en los de carga.

- **Apéndice III:** “*Modelo de Certificado internacional de prevención de la contaminación para el transporte de sustancias nocivas líquidas a granel*”. El modelo indicara los datos de la institución que lo tramita, los datos del buque al que se le asigna y los puntos a certificar teniendo en cuenta que el buque cumple con los mismos para su aceptación.
- **Apéndice IV:** “*Formato normalizado del Manual de procedimientos y medios*”. El objetivo de este apéndice, consiste en la aprobación por parte de la administración, de una guía sobre los procedimientos a seguir por parte del buque para el correcto cumplimiento de los mismos aunque al ser una guía, en caso de que se produzca algún imprevisto, habrá que evaluar los riesgos y las acciones a llevar a cabo según otras publicaciones.
- **Apéndice V:** “*Cuantificación de los residuos que queden en los tanques de carga, bombas y tuberías correspondientes*”. La finalidad de este apéndice es la creación de un nuevo procedimiento para la verificación de la funcionalidad de los sistemas de carga como son los tanques realizándose pruebas de carga así como las acciones a llevar a cabo para la comprobación de la capacidad de bombeo tanto de tuberías como de equipos de impulsión de los productos.
- **Apéndice VI:** “*Procedimientos de prelavado*” Este apéndice es el más importante para el tema a tratar en este trabajo. Explica, los procedimientos a llevar a cabo dependiendo de la sustancia que se haya cargado anteriormente ya que diferencia entre sustancias a punto de solidificarse y las que no. Como la última carga que se llevará a cabo en caso práctico de este informe será fuel, se llevara a cabo el procedimiento de limpieza pensando en que será un producto el cual no está a punto de solidificarse por tanto habrá que seguir los siguientes puntos según el presente anexo.
 - Los tanques deberán lavarse con agua a presión a través de un chorro de agua que haga que el fluido llegue a todos los rincones del tanque. Se usarán para ello máquinas de lavado. (Este concepto será desarrollado más adelante)
 - A continuación, mientras se baldea el tanque, se llevará a cabo un achique del mismo para la eliminación de la mayor cantidad de agua con restos de hidrocarburos posible.
 - Si se tiene en cuenta con exactitud dicho convenio, expone que si el producto a limpiar consta de una viscosidad igual o superior a 50mPa-s a 20°C, habrá

que llevar a cabo el lavado con agua caliente gracias al calentador de cubierta del buque elevando la temperatura por encima de 60°C aunque hay que tener en cuenta las propiedades del producto y confirmar si este lo permite.

- Por último, hay que llevar a cabo una inspección del tanque y de las líneas de carga para constatar el vaciado de los mismos.
- **Apéndice VII: “Procedimientos de ventilación”** Hay que tener en cuenta que tras el prelavado de los tanques, hay que llevar a cabo la ventilación de los mismos drenando con anterioridad los conductos para así proceder a la eliminación de los restos de producto. [3]

4.3.2. SOLAS.

El Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, se adoptó en 1974 aunque entró en vigor por la OMI en 1980. Después de la entrada en vigor del convenio, se han llevado a cabo dos enmiendas las cuales han sido insertadas en el convenio como Protocolos, el primero de ellos es el relacionado con la seguridad y prevención de la contaminación de los buques tanques entrando en vigor en 1981 y el segundo de ellos, consiste en el equilibrio entre certificación y reconocimientos entrando en vigor en el año 2000.

El Convenio SOLAS consta por otro lado de un gran número de enmiendas tras una serie de resoluciones que se han llevado a cabo tras gran cantidad de reuniones del Comité de Seguridad Marítimo (MSC). La última de ellas entró en vigor el 1 de enero de 2020.

La última publicación del convenio se encuentra dividida en dos partes, la primera de ellas presenta los artículos, certificados y prescripciones que se incluían en el convenio de los años 1974 y en el protocolo de 1988 en cambio en la segunda parte están incluidas las listas de documentos y certificados así como las relacionadas con las resoluciones que se han adoptado en las conferencias del Convenio. [8]

La parte 1 del Convenio SOLAS está compuesto por los siguientes capítulos:

- **“Capítulo I: “Disposiciones generales”**
- **Capítulo II-1: “Construcción – Estructura, compartimentado y estabilidad, instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas”**
- **Capítulo II-2: “Construcción – Prevención, detección y extinción de incendios”**
- **Capítulo III: “Dispositivos y medios de salvamento”**
- **Capítulo IV: “Radiocomunicaciones”**
- **Capítulo V: “Seguridad de la navegación”**

- **Capítulo VI:** “Transporte de cargas y combustible líquidos”
- **Capítulo VII:** “Transporte de mercancías peligrosas”
- **Capítulo VIII:** “Buques nucleares”
- **Capítulo IX:** “Gestión de la seguridad operacional de los buques”
- **Capítulo X:** “Medidas de seguridad aplicables a las naves de gran velocidad”
- **Capítulo XI-1:** “Medidas especiales para incrementar la seguridad marítima”
- **Capítulo XI-2:** “Medidas especiales para incrementar la protección marítima”
- **Capítulo XII:** “Medidas de seguridad adicionales aplicables a los graneleros”
- **Capítulo XIII:** “Verificación del cumplimiento”
- **Capítulo XIV:** “Medidas de seguridad para los buques que operen en aguas polares.
- **Apéndice:** “Certificados” [8].

En cambio, en la Parte II del Convenio, se incluyen tanto el anexo 1 en el que se incluye la lista de los certificados y documentos que debe llevar un buque a bordo del mismo y el anexo 2 en la cual se incluyen las listas de las resoluciones adoptadas por las Conferencias SOLAS.

En cuanto a los buques petroleros y su operativa, así como la realización de la limpieza de tanques, se debe tener en cuenta los capítulos II, IX y XI-1.

El capítulo II del Convenio, se divide en dos partes, La primera parte está relacionada con la construcción de los buques, los cuales están expuestas las características en la regla 3-10 haciendo referencia a que se construirán para tener una vida útil con un objetivo claro como es el transporte de hidrocarburos en caso de los petroleros por tanto deben ser intrínsecamente seguros. Se expone en la regla 3-11 las medidas a tener en cuenta para evitar la corrosión de tanques de carga utilizando materiales resistentes a ello.

Además, la parte B-1 de este capítulo, incluye todo lo relacionado con la estabilidad tanto intacta como en avería del buque, todo petrolero antes de cada operativa de carga debe realizar un plan de carga teniendo en cuenta los cálculos de estabilidad en avería del buque para así minimizar la contaminación, esto viene dictaminado además por el Convenio MARPOL. [3]

Por otro lado, la segunda parte del capítulo, (Capítulo II-2) tiene como objetivo la prevención y detección de incendios, así como la instalación de maquinaria necesaria para ello. Además, constituye la regla 4 “probabilidad de ignición” la cual está dividida en diferentes apartados. El apartado 5 de la presente regla y capítulo, habla de las zonas de carga de los buques tanque con sus limitaciones de construcción. Además, se debe tener en cuenta los medios de ventilación es muy importante seguir la regla 4 -5.3.3 incluyendo

dispositivos de seguridad en la ventilación de los tanques, que hagan que, en caso de haber fuego, no pueda acceder al exterior por medio de dichos conductos.

En cuanto al sistema de gas inerte en los buques tanque, está regulado por la regla 4-5.5. Con relación a este apartado, es necesario tener en cuenta la necesidad de una instalación fija de conductor y planta de gas inerte, la cual debe generar suficiente nitrógeno para inertizar, y purgar los tanques de carga cuando se encuentren totalmente vacíos además de tener claro que el nivel de oxígeno dentro de los tanques tras la inertización debe ser menor al 5%, esta medición será tomada con un medidor portátil de nitrógeno disponible a bordo, así como su calibrador. El procedimiento de inertización será desarrollado más adelante. [10]

Por otro lado, para la carga y transporte de mercancías peligrosas líquidas, en este caso hidrocarburos, hay que tener en cuenta la Regla 4 – 6.3 del presente capítulo. Dicho apartado consta de las medidas a llevar a cabo para el desalojo de presiones en tanques y líneas de carga para que no se produzca un rebose de las mismas, este sistema de liberación se denominan PV's (válvulas de alta presión) además de tener otro sistema de alarma, en este caso alarmas de alto nivel para así evitar cualquier tipo de rebose.

El capítulo IX, incluye el cumplimiento del Código IGS, es decir, el Código internacional de gestión de la seguridad, el mismo consta de la obligatoriedad tanto de las compañías como de los buques de la creación y utilización de un sistema de gestión de la seguridad que incluyan diferentes procedimientos para todas las operaciones llevadas a cabo a bordo, dicho sistema de gestión será llevado con regularidad a inspecciones y revisiones haciendo cada vez más exhaustivo su seguimiento y cumplimiento [8].

Una de las acciones más importantes que hay que tener en cuenta para llevar a cabo la limpieza de tanques es tener un control continuado de la atmósfera del tanque, tanto antes como durante y después de la limpieza por tanto, es importante el capítulo XI-1 del SOLAS en el cual se incluye la obligatoriedad de llevar a bordo un instrumento de ensayo de la atmósfera para espacios confinados además de tener medios adecuados para su calibración [8].

4.3.3. ISGOTT.

La Guía Internacional de seguridad para buques petroleros y terminales publicado por la OCIMF en su 6ª edición como última por el momento, expone todas las recomendaciones y pasos a seguir para cualquier tipo de operativa que se vaya a realizar a bordo de un buque o cuando vaya a estar involucrada una terminal.

Como esta guía contiene cualquier tipo de operativa, este documento se centrará en el Capítulo 12 del ISGOTT en el cual viene especificado todo lo relacionado con la limpieza de tanques.

El ISGOTT Capítulo 12, apartado 12.3, habla de la limpieza de tanques en el cual se exponen una serie de procedimientos y precauciones de seguridad para llevar a cabo la limpieza de los tanques tras la descarga de hidrocarburos de los tanques.

El apartado 12.3.2 de este capítulo obliga a que todas las operaciones de limpieza realizadas a bordo de los buques, deben ser planeadas con anterioridad (Realización de plan de limpieza) así como documentadas, es decir, se debe llevar un registro exhaustivo de todos los pasos que se llevar a cabo para dicha limpieza. Además, el ISGOTT muestra todos los peligros relacionados con el fuego así como con cualquier atmósfera inflamable. Por tanto, dicho documento indica que el plan de limpieza de tanques se realiza en primer lugar para asegurarse que aunque la atmosfera de los tanques sea inflamable o que pueda haber riesgo de ignición, la finalidad del mismo es eliminar en primer lugar uno de esos riesgos para luego poder proceder a la limpieza.

En cuanto a la supervisión y preparación de las operaciones, el oficial responsable debe supervisar todas las operaciones de limpieza (ISGOTT 6ª Cap. 12, 12.3.3)

Las precauciones a tener en cuenta para la realización de cualquier operación realizada en el interior de un tanque se muestran en los capítulos 1 “Basic Properties and Hazards of Petroleum”, 3 “Static Electricity”, 4 “Managing Hazards and Risk for Ship and Terminal” y 12 “Shipboard Operations” además se tendrán en cuenta las precauciones expuestas en el capítulo 8 del TSGC “Tank Cleaning and Gas Freeing”, por tanto, una vez claras dichas precauciones, se informará a toda la tripulación del buque su cometido además de la realización de la limpieza y como se va llevar a cabo para así evitar algún incidente o en caso de alguna pérdida o algún inconveniente en cubierta, se pueda informar con la mayor brevedad posible al oficial responsable [2].

El ISGOTT además de exponer la manera de realización de la limpieza así como la manera de proceder en caso de emergencia, diferencia entre la limpieza en una atmósfera inertizada como en una que no lo está.

En caso del buque encontrarse en puerto, será necesaria la autorización previa de la terminal para poder proceder a las operaciones confirmando de esa manera que las condiciones del puerto son óptimas para la realización de la limpieza. Además habrá que chequear la lista de comprobación incluida en la parte 4 del ISGOTT la cual consta de la interfase entre terminal y buque.

Tanques inertizados:

La limpieza llevada a cabo en una atmósfera inertizada, hace que sea la condición más segura para proceder a la misma ya que como el oxígeno del tanque se encuentra por debajo del 8% de volumen (ISGOTT 6ª 11.1.5.1), la posible inflamabilidad del tanque desaparecerá.

Además, como se indica en el ISGOTT 6ª 11.1.6.9, se debe mantener un nivel apropiado de oxígeno así como un control durante el lavado de los tanques.

Tanques no inertizados:

Los tanques no inertizados no cuentan con una atmósfera por debajo del 8% por tanto, la limpieza bajo estas circunstancias, se encuentran con un alto riesgo por tanto requieren un mayor trabajo para reducción de dichos riesgos. En estos casos, lo único que se puede hacer, es llevar a cabo un control de la fuente de ignición así como la combustión por tanto, el procedimiento de limpieza debe ser más exhaustivo además de tener más control sobre él.

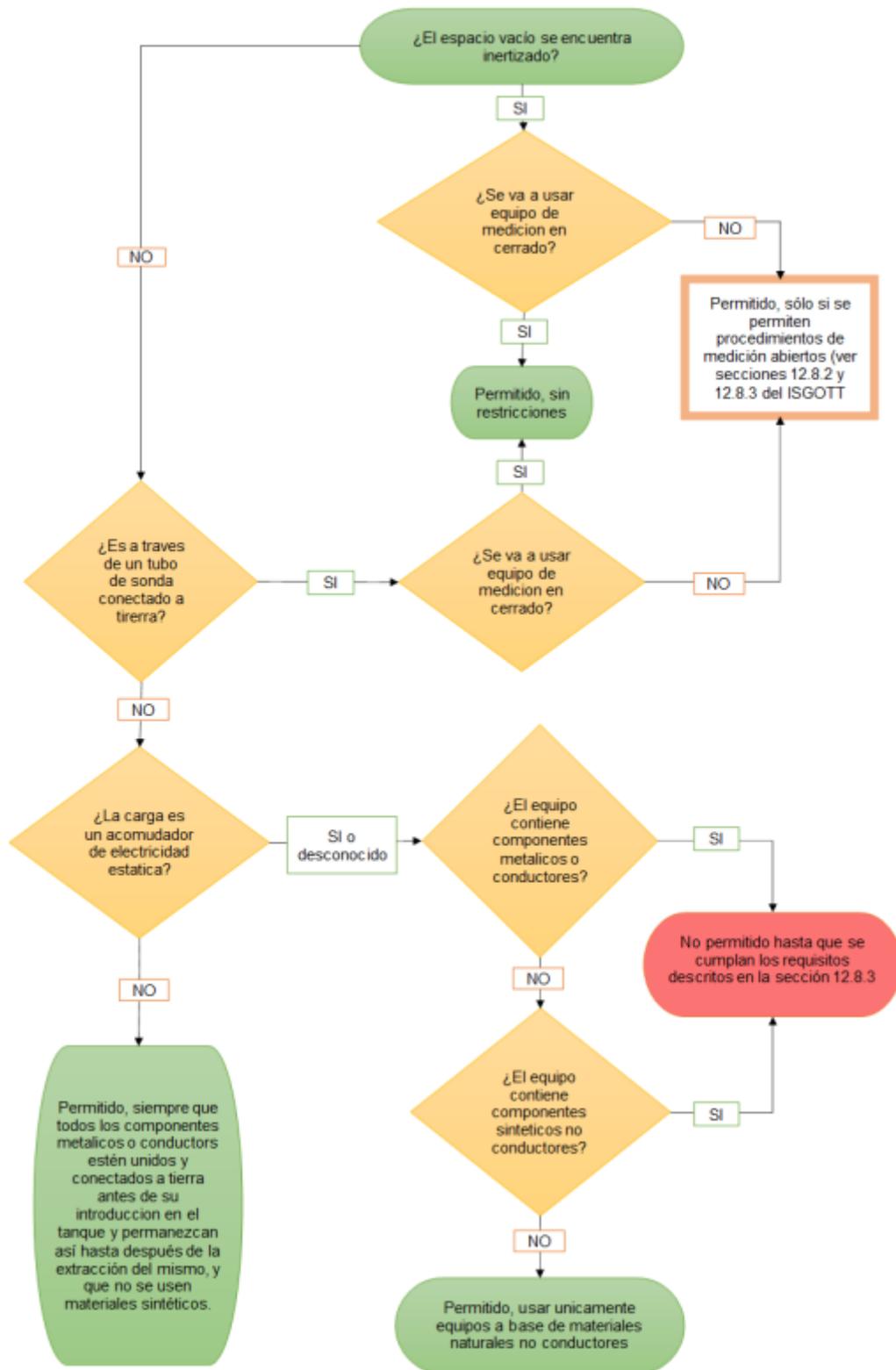
Para poder llevar a cabo una limpieza segura en una atmósfera no inertizada, como dice el ISGOTT 6ª 12.3.4.2, se debe llevar a cabo un proceso de ventilación mecánica al tanque a la vez que se produce la limpieza.

Por otro lado, hay una serie de puntos a seguir según se plasman en el ISGOTT 6ª12.3.5 dependiendo de la atmósfera que contiene el tanque como por ejemplo:

- Mantener la atmósfera del tanque por debajo de un 35% de LEL y si el nivel de gas aumentara por encima de ese nivel, se deberá parar las operaciones.
- Monitorizar continuamente la atmósfera del tanque.
- La velocidad del agua de los cañones de limpieza no debe superar en ningún momento los 180m³/h.
- Cuando se encuentra limpiando un tanque cuya atmósfera no está inertizada, la temperatura del agua de limpieza, no debe superar los 60 °C
- No inyectar vapor en tanques que contengan gases de hidrocarburos cuando la atmósfera no está inertizada, solo se podrá inyectar en caso que se verifique lo expuesto en la sección 3.1.2 del ISGOTT.
- Mantener un continuo drenado del tanque durante el lavado.
- Descarga continua de las lavazas generadas en el tanque y transportarlas hacia el tanque slop.
- En caso de utilización de máquina de lavado portátil, no introducirla en el tanque hasta que el nivel de LEL haya disminuido por debajo del 10%.

- No introducir aparatos metálicos hasta que se hayan finalizado las operaciones.

Además dicha guía expone que para la entrada al tanque para proceder a la retirada de sedimentos o restos del producto que se hayan podido quedar en el fondo del tanque, es necesario medir la atmósfera del mismo para asegurarse que la entrada será segura. Los equipos que se utilizarán para eliminar dichos restos, deberán estar contruidos con materiales que no causen ningún tipo de ignición. (12.3.6.10). Para realizar este tipo de mediciones previas a la entrada del tanque, es necesario tomar a cabo una serie de precauciones para la introducción de aparatos de medición en el mismo siguiendo el flujograma que se muestra a continuación obtenido del ISGOTT 6ª Capítulo 12.8 Figura 12.5 [2]



Esquema 1: Flujograma de precauciones a tener en cuenta para la introducción de equipos de medición en los tanques.

Fuente: ISGOTT 6ª Capítulo 12.8 Figura 12.1 [2]

Este documento, cuenta con las recomendaciones necesarias para una buena realización de cualquier procedimiento que afecte a la seguridad del buque. Además de la limpieza de tanques, también ofrece información de cómo proceder a la inertización, carga y descarga del buque.

4.3.4. Código IMDG.

El Código IMDG, es decir, Código marítimo internacional de mercancías peligrosas consiste en una ampliación de las disposiciones previstas en el Capítulo VII de la Parte A del Convenio SOLAS en el cual exponen las disposiciones obligatorias para el transporte de mercancías peligrosas en bultos o de manera sólida a granel ya que dicho transporte está prohibido a no ser que se siga lo recomendado en dicho Capítulo o Código.

Por otro lado, el Código IMDG se amplía en conformidad del Anexo III del Convenio MARPOL en el cual, se plasma lo relacionado con la prevención de la contaminación del mar por sustancias que perjudiquen el mismo tras ser transportadas por el mar en bultos. La única manera de poder ser transportadas es siguiendo la regla 1.2 del dicho anexo.

El Código IMDG fue adoptado tras la resolución A.716 (17) modificado posteriormente por las Enmiendas de la 27 a la 30. Al ser recomendadas a los Gobiernos, lo fueron adoptando poco o a poco o tomándolas como base de sus propios reglamentos para proseguir al cumplimiento de las obligaciones expuestas en la regla VII/1.4 del Convenio SOLAS y en la regla 1.3 del Anexo III del MARPOL. Después de esto, el Código IMDG se convirtió en obligatorio el 1 de enero de 2004 aunque aún, algunas de sus partes siguen siendo recomendaciones. [12]

El 1 de junio de 2022 ha entrado en vigor las disposiciones acordadas en la edición 102º de la Asamblea de la OMI, del Comité de seguridad marítima. Correspondientes a la edición 2020 del Código IMDG. Por tanto, el Código IMDG, es adoptado por dicho Comité de la OMI tras la resolución MSC.122(75), haciéndose efectivas sus enmiendas con lo dispuesto en el artículo VIII del Convenio teniendo en cuenta los procedimientos que se aplican al anexo exceptuando el Capítulo 1.

Este Código, crea diferentes grupos denominados “clases” dichos grupos, han sido creados para la distinción de los productos, así como para la manera de actuar ante cada uno de ellos. Consta de 9 clases diferentes cada una de ellas abordando un tipo de peligrosidad diferente [12]:

- **Clase 1: “Explosivos”.** Los diferentes tipos de mercancías de esta categoría se agrupan según el riesgo que tienen los productos de explosión, chorro o incendio. Estos productos podrían ser, por ejemplo, bombas, cohetes, bengalas... La marca reglamentaria para esta clase consta de un símbolo de explosión de bomba negro en un fondo naranja además del número 1 en su parte inferior
- **Clase 2: “Gases”.** Comprimidos, licuados o refrigerados. Según sus propiedades, pueden ser asfixiantes, tóxicos o inflamables. Como toda mercancía peligrosa consta de un etiquetado y en este caso, varían. Desde una llama blanca o negra en un fondo rojo, además, otra blanca con el símbolo de una calavera y por último, fondo verde con una botella tanto blanca como negra. Todas ellas con el número 2 en su parte inferior.
- **Clase 3: “Líquidos inflamables”.** La etiqueta que contienen dichos productos está compuesta por una llama negra o blanca en un fondo rojo. Algunos ejemplos de líquidos inflamables pueden ser la pintura, la gasolina, el gasoil...
- **Clase 4: “Sólidos inflamables”.** En esta clase, aparte de incluir materiales explosivos, o sustancias inflamables, también sustancias que en contacto con el agua desprenden gases. Las etiquetas de estos productos son de color azul en el fondo con una llama blanca o negra con rayas rojas y blancas.
- **Clase 5: “Comburentes y peróxidos orgánicos”.** Estos productos son aquellos que, en su forma líquida o sólida, ayudan a la combustión de los mismos dando lugar a incendios. La etiqueta en este caso está compuesta por un fondo amarillo en el cual está incluida una llama encima de un círculo negro además de otras con fondo rojo y amarillo con una llama de gran tamaño.
- **Clase 6: “Tóxicos”.** Estos productos vienen etiquetados de manera blanca con una calavera con 3 lunas crecientes y está constituido por cualquier tipo de sustancia infecciosa o tóxica.
- **Clase 7: “Material radioactivo”.** Las propias etiquetas muestran la palabra radioactivo. Como puede ser el Uranio o Plutonio.
- **Clase 8: “Corrosivos”.** Estas sustancias dañan el tejido de la piel en su contacto además de tener efecto destructivo (ej.: hipoclorito sódico). La etiqueta está dividida en blanco y negro mostrando dos tubos de ensayo mientras vierte un tipo de líquido sobre un metal o sobre una mano.

- **Clase 9: “Sustancias y objetos peligrosos varios”.** Cualquier otro producto que no se encuentra en las clases anteriormente nombradas o que, por el contrario, encajan en más de una clase.

Todas las etiquetas constan en forma de rombo, los cuales estarán coloreados según lo nombrado anteriormente en cada clase.

Es importante saber qué tipo de sustancia peligrosa se transporta para saber proceder de la manera más segura posible.

En este documento, habrá que diferenciar la categoría del Fuel, así como la categoría del siguiente cargamento a transportar. El fuel es un producto OMI clase 9 al contrario que las gasolinas o los gasoil que pertenecen a la IMO clase 3.

El fuel pertenece a la clase 9 en cuanto al transporte del producto, aunque pertenece al grupo III en cuanto a almacenamiento. Además, se incluye en la clase 9 ya que es una sustancia totalmente contaminante además de ser un líquido inflamable. [12]

5. Metodología

El conjunto de métodos a seguir para este documento comienza con la investigación sobre los conceptos básicos de las operativas tanto de carga como de descarga, así como de trasiego de productos entre tanques.

Una vez claros dichos procedimientos, habrá que tener claro, por una parte, cuáles serán los equipos que se van a utilizar para la realización de la limpieza de tanques (objetivo general del documento) así como cuál será su funcionamiento y como ponerlo en marcha.

Tras la investigación de lo nombrado anteriormente, y tras la indagación a través de diferentes convenios y leyes sobre normativa de las limpiezas, se procederá a la realización del plan, teniendo en cuenta las características del buque en el cual se va a proceder a limpiar (B/T Nivaria), el último cargamento antes de la limpieza (Fuel), si en alguno de los casos como pasa en este, se procederá a cargar algún producto para facilitar el lavado de los tanques. Además, se estudiará las maquinillas de lavado propias del buque, así como su propio sistema de calefacción y ventilación de tanques que para su mayor rendimiento habrá que asegurarse cuál será el siguiente cargamento tras el lavado de los tanques.

Uno de los puntos más importantes a tratar, será si el buque consta o no de Planta de Gas Inerte para saber cómo proceder de la manera más segura durante todas las operaciones.

Una vez seguros de la metodología a seguir, se procederá a la redacción y siguiente implantación del plan de limpieza como se muestra en el supuesto práctico de este documento.

6. Resultados.

Una vez claros todos los conceptos básicos relacionados con las operativas del buque, así como la limpieza de los tanques del mismo, se puede proceder a la realización de un plan de limpieza que cumpla todos los requisitos así como toda la normativa referente a la seguridad del buque y la del medio ambiente.

En este supuesto práctico, se dispone a la realización de un plan de limpieza para un buque modelo en este caso, se utilizará como sujeto de práctica el B/T Nivaria, cuyas características se encuentran en la Tabla 1 y 2 de este documento. Dicho plan está orientado para el intercambio de productos a bordo por petición del Armador ya que se procederá a hacer un cambio de ruta. Por tanto, se procederá a limpiar el buque que anteriormente había sido cargado de Fuel oil, para proceder a la carga de productos más limpios como la Gasolina, Gas-oil o Keroseno.

CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE	
Eslora total	96,91 m
Manga	14,20 m
Puntal	7,650 m
Calado	6,200 m
Arqueo bruto	2,815 GT

Tabla 1: Características del buque.

Fuente: Trabajo de campo

TANQUES DE CARGA AL 98%	
T1B	316,7 m ³
T1E	314,4 m ³
T2B	314,6 m ³
T2E	315,3 m ³
T3B	297,5 m ³
T3E	299,0 m ³
T4B	311,2 m ³
T4E	308,4 m ³
T5B	308,7 m ³
T5E	308,9 m ³
T6B	284,4 m ³
T6E	284,4 m ³
T7B	283,1 m ³
T7E	283,1 m ³

Tabla 2: Capacidad tanques de carga al 98%.

Fuente: Trabajo de campo

Este supuesto práctico está constituido desde la carga previa a la limpieza así como la carga de producto de "LCO" para la misma, su posterior descarga y por último, la carga tras la limpieza. Todo ello abarcando cada procedimiento así como sus respectivos cálculos de estabilidad y una profundización en la realización de la limpieza para llevarla a cabo de la mejor manera posible.

Una vez claras las capacidades de los tanques del buque modelo, así como sus dimensiones, se procederá a la realización del plan de carga para el cargamento previo a la limpieza cuya estructura a seguir para su correcta realización será la siguiente:

1. Plan de Carga Fuel Oil (último cargamento previo a la limpieza).
2. Plan de Descarga Fuel Oil.
3. Plan de Carga LCO, trasiego y descarga.
4. Limpieza final.

6.1. Plan de Carga Fuel Oil.

El último cargamento antes del cambio de productos se realizará de Fuel oil (HSFO) (Ver anexo II), dicho producto es un hidrocarburo el cual pertenece a la IMO clase IX, según el Código IMDG (Código de mercancías peligrosas), ya que además de ser un líquido inflamable, es una sustancia altamente tóxica y contaminante.

Dicho cargamento, según instrucciones del armador será de 3.400 Toneladas de Fuel oil es decir, según capacidades del buque, se procederá a cargar el barco completo exceptuando los tanques 7 babor y estribor como se puede observar en el stowage plan de la Tabla 3.

T1E	T2E	cofferdam	T3E	T4E	T5E	T6E	T7E
HSFO	HSFO		HSFO	HSFO	HSFO	HSFO	EMPTY
T1B	T2B		T3B	T4B	T5B	T6B	T7B
HSFO	HSFO		HSFO	HSFO	HSFO	HSFO	EMPTY

Tabla 3: Stowage plan carga Fuel Oil.

Fuente: Elaboración propia.

Antes de proceder a la realización del Plan de carga, hay que tener claro, la cantidad de producto a cargar, así como sus características. Como dato más importante habrá que saber cuál es su densidad para el cálculo del peso del producto y poder, así como realizar los respectivos cálculos de estabilidad para la obtención del nivel al que se llenarán los tanques, así como la condición más beneficiosa para el buque.

En el plan de carga, se plasmará en primer lugar, el lugar donde se va a realizar la carga, la fecha de inicio de la carga, así como el número de viaje - Los viajes comienzan desde la salida del último puerto de descarga, hasta la finalización de la descarga del siguiente cargamento a bordo-.

Con ayuda de un calculador de carga instalado en los buques, en el caso de éste, “Calculador de estabilidad *Nereida*” [13] se procederá a la introducción de los datos correspondientes a cada tanque, así como en cada uno de los de lastre por si procediera

para el buque. Dicho programa calculará si la condición introducida, está dentro de los límites establecidos por el buque.

Anteriormente a la llegada del buque a la terminal de carga, el jefe de carga de la misma facilitará al buque la densidad del producto que se va a cargar para llevar un cálculo más exhaustivo. En este caso, la densidad que se tomará del HSFO será de 0.9907 kg/Ltr a 15 °C de temperatura.

Los apartados más importantes en un plan de carga son los promedios máximos a los que se puede cargar en cada fase de la misma, así como los pasos a seguir en la carga. Dichos procedimientos, deben estar firmados por todos los oficiales del buque, así como aprobado por el capitán para que no se produzca ningún peligro. En cuanto a los promedios de carga, al ser un buque que no lleva instalada planta de gas inerte y la cual las líneas son de 6 pulgadas (DN 125), en la fase I, se permitirá un máximo de 44 m³/h por tanque para productos limpios y 88m³/h para productos sucios, en la fase II un máximo de 190m³/h por tanque y por último en la fase III también denominada fase de topeo, se permitirá un máximo de 50 m³/h.

Como se cargará todo el buque, la carga se llevará a cabo a través del colector de babor, por tanto, se indicará que se deben ir completando los tanques 1, 2, 3, 4,5 y 6 babor y estribor a la vez que deslastrando el Fore Peak, y los tanques de lastre 1,3 y 5 babor y estribor, así como 2, 4 y 6 corrido. Dicha carga se realizará de manera equitativa comenzando desde los más lejanos hacia el centro del buque, deslastrando al mismo tiempo, los tanques de lastre corridos para evitar así lo denominado "momentos críticos" que corresponde al 47% del tanque de lastre, dichas situaciones ocurren tanto en el lastre como en el deslastre del tanque. Además, habrá que evitar a la hora de alcanzar el 47% de capacidad del tanque, cualquier tipo de escora hasta que quede totalmente seco o totalmente lleno.

Como se ha dicho anteriormente, la realización de los cálculos de estabilidad tiene mucha importancia para un buen plan de carga. Así, se vela por la seguridad del buque para mantenerlo adrizado además de con un asiento óptimo, apopante no superior a los 3 metros. Dichos cálculos se realizarán, a la llegada en lastre al puerto de carga, a media carga y al finalizar la misma.

A media carga, los cálculos de estabilidad se realizarán de manera on-line, conectado a través de la red el control de carga con el calculador de estabilidad para asegurarse que los valores son los que se tienen en el momento del cálculo y así asegurarse que se cumplen las condiciones de estabilidad del buque.

Tras la carga del HSFO, los tanques han quedado con las siguientes medidas que han sido corregidos por efectos de la superficie libre a un nivel de llenado del 98%. Dicha corrección de altura metacéntrica se basa en el momento de inercia de la superficie del líquido a 5º de ángulo de escora dividido por el desplazamiento. Por otro lado, la corrección a la palanca de adrizamiento se basa en el momento de desplazamiento real de los líquidos de carga (Resolución MSC 267(85)):

En las tablas 4 y 5 (tanques de carga y de lastre tras las operaciones de carga), se observan las siguientes siglas, las cuales significan lo expuesto a continuación.

- **LCG**: Posición longitudinal del centro de gravedad, medido desde perpendiculares. Desde popa (positivo +) hacia proa.
- **TCG**: Posición transversal del centro de gravedad, (+) Babor, (-) Estribor.
- **KG**: Centro de gravedad vertical, medido desde la línea de base.

	Capacidad	Densidad	Vol.	Porc.	Peso	LCG	TCG	KG	Sonda	Msl	Resol.
Nombre del tanque	m3	t/m3	m3	%	t	m	m	m	m	t·m	
CARGO 1P	323.18	0.991	285.52	88.35	282.87	73.031	2.164	4.484	5.90	160.47	
CARGO 1S	320.81	0.991	281.03	87.60	278.50	73.023	-2.160	4.460	5.89	157.81	
CARGO 2P	320.98	0.991	304.96	95.01	302.21	63.530	2.870	4.429	6.16	141.13	
CARGO 2S	321.76	0.991	305.53	94.95	302.78	63.532	-2.869	4.427	6.16	141.58	
CARGO 3P	303.39	0.991	290.57	95.78	287.96	54.424	2.906	4.422	6.21	132.86	
CARGO 3S	304.55	0.991	293.09	96.24	290.45	54.427	-2.906	4.428	6.22	133.71	
CARGO 4P	317.54	0.991	302.23	95.18	299.51	46.199	2.906	4.403	6.16	138.06	
CARGO 4S	314.72	0.991	299.72	95.23	297.02	46.194	-2.906	4.406	6.14	137.48	
CARGO 5P	314.95	0.991	298.79	94.87	296.10	37.793	2.906	4.393	6.15	137.48	
CARGO 5S	315.13	0.991	299.59	95.07	296.89	37.794	-2.906	4.401	6.14	138.28	
CARGO 6P	290.19	0.991	232.82	80.23	230.72	29.750	2.905	3.924	5.20	127.93	
CARGO 6S	288.85	0.991	232.33	80.43	230.24	29.748	-2.905	3.934	5.19	128.13	
CARGO 7P	288.81	0.990	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
CARGO 7S	289.26	0.990	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
Totales	4314.13		3426.17	79.42	3395.25	51.423	0.002	4.358		1674.93	

Tabla 4: Tanques de carga tras finalizar la carga.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

	Capacidad	Densidad	Vol.	Porc.	Peso	LCG	TCG	KG	Sonda	Msl	Resol.
Nombre del tanque	m3	t/m3	m3	%	t	m	m	m	m	t-m	
FORE PEAK C	115.76	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
TRIM C	74.00	1.025	37.00	50.00	37.93	83.289	0.097	3.574	5.45	27.91	
BALLAST 1P	215.27	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 1S	201.94	1.025	60.58	30.00	62.10	72.992	-2.408	0.660	1.22	88.50	
BALLAST 2C	267.40	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 3P	148.02	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 3S	155.84	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 4C	277.41	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 5P	141.42	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 5S	136.29	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 6C	245.27	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 7P	110.77	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
BALLAST 7S	116.33	1.025	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	
Totales	2205.71		97.58	4.42	100.02	76.897	-1.458	1.765		116.40	

Tabla 5: Tanques de lastre tras finalizar la carga de HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

Una vez finalizada la carga e introducidos los valores obtenidos en el calculador, el mismo, se pulsará el botón "calcular estabilidad intacta" o en caso de querer un cálculo más concreto y seguro "calcular estabilidad en avería". El cálculo en avería consiste en unos supuestos "Imaginario" en los cuales el calculador te resuelve si tu condición actual es la indicada para los diferentes casos de avería, Por ejemplo, si hubiera alguna colisión que afectara a los tanques 1 y 2 de estribor, es decir, indica que si se produjera dicha colisión el barco pudiera seguir navegando o pudiera seguir teniendo la estabilidad adecuada. En el calculador, se observará un *tick* verde el cual representa que se cumplen todos los requisitos de estabilidad en avería.

Tras el cálculo, el calculador genera unos resultados en los cuales facilita, los calados del buque, en marcas, bajo la quilla en marcas, en perpendiculares o bajo la quilla en perpendiculares (Tabla 6). Tras la construcción del buque, se implanta un calado máximo el cual, se encuentra insertado en el calculador y genera una comparación con el mismo. Además, incluye el trimado y la escora del buque.

	Popa	Medio	Proa	Load Line Limit	Correcto
Descripción	m	m	m	m	-
Calado en Marcas	5.84	5.79	5.74	6.20	
Bajo la quilla Marcas	5.86	5.81	5.76	6.21	
Calado en Perp.	5.84	5.79	5.74	6.20	
Bajo la quilla Perp.	5.86	5.81	5.76	6.21	

Trimado	0.100 m	Ángulo de trimado	0.06 °	Escora	-0.05 °
---------	---------	-------------------	--------	--------	---------

Tabla 6: Calados buque, trimado y escora tras finalización de carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

6.1.1. Resultados cálculos de estabilidad.

Tras dicho proceso de cálculo de la estabilidad del buque con los datos anteriormente mostrados, se muestran los resultados de los cálculos de acuerdo con el Código IS 2008, Parte A, Capítulo 2 y Capítulo 3.2, es decir, la estabilidad intacta, la dinámica, así como los límites de la altura metacéntrica con sus respectivas curvas de estabilidad y por último, los resultados máximos y mínimos de la resistencia longitudinal tanto en condición de navegación como en la de puerto.

A continuación, se muestran dichos resultados:

- **Valores máximos y mínimos resistencia longitudinal:**

Dichos valores, son los calculados a lo largo del buque, con la resistencia a las olas o en aguas iguales. Con estos datos, se sabrá si el barco se encuentra en condición de arrufo o de quebranto.

Condition	Description	Max. Value	Max. Allowed	Percentage	X Pos.	Frame	Correct
Seagoing	Shear Force	452.55 t	2283.38 t	19.82 %	14.94 m	24.8	
Seagoing	Bending Moment	7156.62 t·m	10216.16 t·m	70.05 %	23.67 m	37.2	
Port	Shear Force	452.55 t	2497.45 t	18.12 %	14.94 m	24.8	
Port	Bending Moment	7156.62 t·m	23445.46 t·m	30.52 %	23.67 m	37.2	

Tabla 7: Valores máximos resistencia longitudinal tras carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

Condition	Description	Min. Value	Min. Allowed	Percentage	X Pos.	Frame	Correct
Seagoing	Shear Force	-161.97 t	-2905.20 t	5.58 %	32.83 m	50.3	🟢
Seagoing	Bending Moment	-6.57 t·m	-3261.98 t·m	0.20 %	86.50 m	128.3	🟢
Port	Shear Force	-161.97 t	-3109.07 t	5.21 %	32.83 m	50.3	🟢
Port	Bending Moment	-6.57 t·m	-18144.75 t·m	0.04 %	86.50 m	128.3	🟢

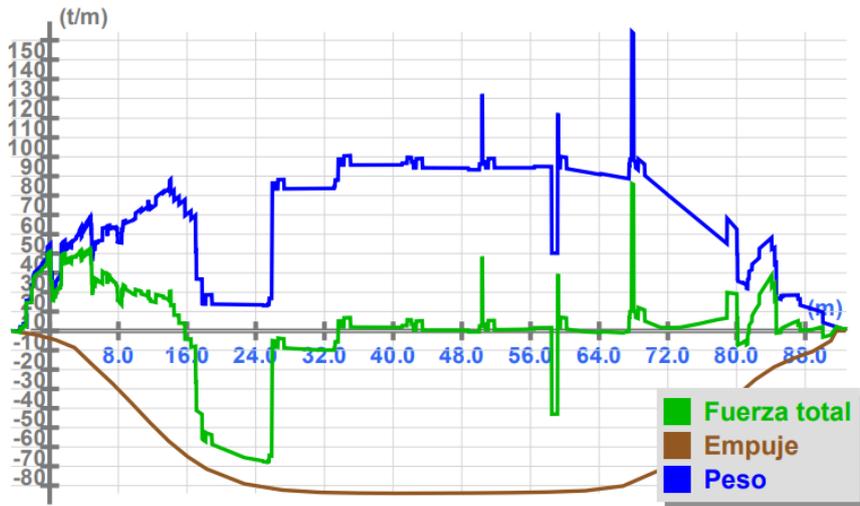
Tabla 8: Valores mínimos resistencia longitudinal tras carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

- **Distribución de pesos y empuje:**

En la siguiente gráfica, se observa la distribución de los pesos a lo largo del buque en relación con la carga, lastre y resto de pesos, para conseguir el mejor centro de gravedad del buque, así como el empuje sobre el mismo que es igual al peso del fluido desalojado.

Por tanto, en la siguiente gráfica se puede observar una línea azul la cual representa el peso del buque generando una fuerza hacia el mar, la línea marrón el empuje que se ejerce sobre el buque, y por último la verde, la resultante de ambas fuerzas.



Gráfica 1: Distribución de pesos y empuje tras carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida".

- **Esfuerzos cortantes condición de navegación:**

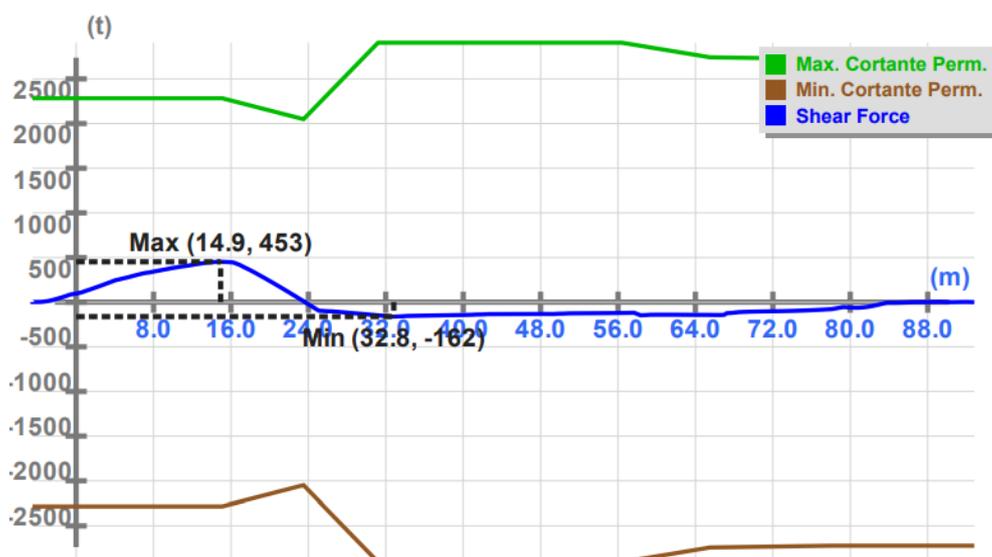
Los esfuerzos cortantes son la resultante de las fuerzas verticales actuantes en el casco del buque o en una sección en concreto, haciendo que se mantenga el equilibrio a lo largo del mismo.

En la gráfica que se encuentra a continuación, se pueden observar diferentes líneas de colores las cuales la línea verde representa los valores máximos de los esfuerzos cortantes permitidos, en cambio, la marrón indica los mínimos, por tanto, los esfuerzos cortantes del buque deben estar establecidos entre ambas líneas.

Frame	X Pos. m	Max. Shear Force t	Min. Shear Force t	Shear Force t	Percentage %	Correct -
25	15.10	2283.38	-2283.38	451.94	19.79	🟢
37	23.50	2048.93	-2048.93	10.25	0.50	🟢
48	31.20	2905.20	-2905.20	-147.81	5.09	🟢
60	39.60	2905.20	-2905.20	-144.38	4.97	🟢
72	48.00	2905.20	-2905.20	-132.24	4.55	🟢
84	56.40	2905.20	-2905.20	-120.55	4.15	🟢
97	65.50	2742.10	-2742.10	-143.30	5.23	🟢
115	78.10	2721.71	-2721.71	-77.74	2.86	🟢

Tabla 9: Datos de los esfuerzos cortantes en condición de navegación tras carga de HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"



Gráfica 2: Límites de esfuerzos cortantes del buque en condición de navegación tras carga HSFO.

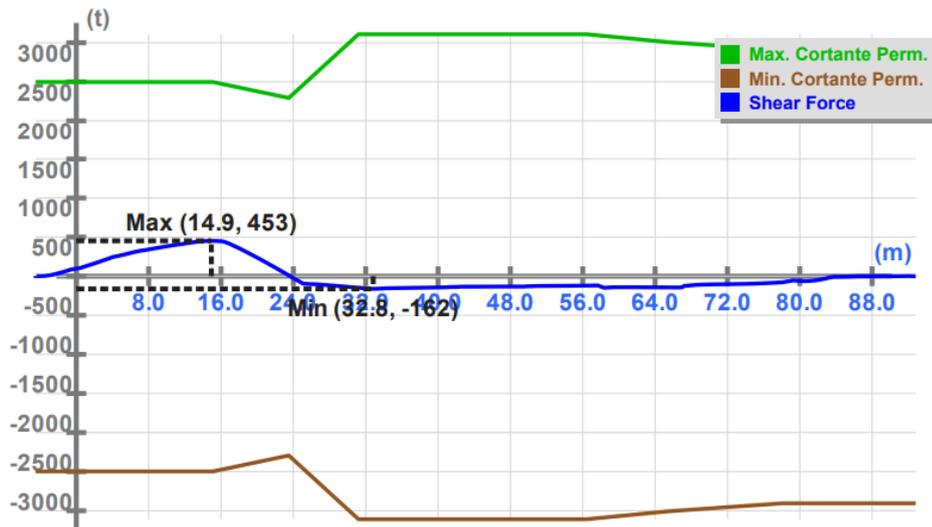
Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

- **Esfuerzo cortante condición de puerto:**

	X Pos.	Max. Shear Force	Min. Shear Force	Shear Force	Percentage	Correct
Frame	m	t	t	t	%	-
25	15.10	2497.45	-2497.45	451.94	18.10	🟢
37	23.50	2293.58	-2293.58	10.25	0.45	🟢
48	31.20	3109.07	-3109.07	-147.81	4.75	🟢
60	39.60	3109.07	-3109.07	-144.38	4.64	🟢
72	48.00	3109.07	-3109.07	-132.24	4.25	🟢
84	56.40	3109.07	-3109.07	-120.55	3.88	🟢
97	65.50	3007.14	-3007.14	-143.30	4.77	🟢
115	78.10	2905.20	-2905.20	-77.74	2.68	🟢

Tabla 10: Datos de esfuerzos cortantes en condición de puerto tras carga de HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"



Gráfica 3: límites de esfuerzos cortantes del buque en condición de puerto tras carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

- **Momento flector en condición de navegación.**

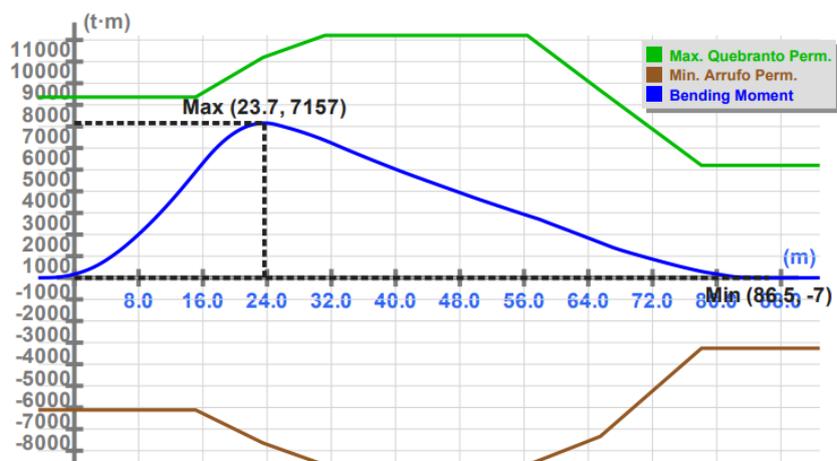
Los momentos flectores, constan de una fuerza resultante a través de una sección distribuyendo tensiones a lo largo de la misma, es decir, la flexión creada a lo largo de una estructura.

En cuanto a los momentos flectores, pasa igual que con los cortantes, en la gráfica se indican los valores máximos y mínimos, por tanto la línea de los esfuerzos del buque, debe estar entre ambos límites como se muestra en la gráfica 4.

	X Pos.	Quebranto max.	Arrufo min.	Bending Moment	Percentage	Correct
Frame	m	t·m	t·m	t·m	%	-
25	15.10	8358.82	-6116.21	4899.07	58.61	🟢
37	23.50	10193.68	-7645.26	7155.83	70.20	🟢
48	31.20	11213.05	-8664.63	6357.66	56.70	🟢
60	39.60	11213.05	-8664.63	5079.59	45.30	🟢
72	48.00	11213.05	-8664.63	3940.65	35.14	🟢
84	56.40	11213.05	-8664.63	2883.88	25.72	🟢
97	65.50	8664.63	-7339.45	1625.63	18.76	🟢
115	78.10	5198.78	-3261.98	293.31	5.64	🟢

Tabla 11: Datos de momentos flectores en condición de navegación tras carga de HSFO.

Fuente : Calculador de estabilidad “Nereida”



Gráfica 4: límites de momentos flectores del buque en condición de navegación tras carga HSFO.

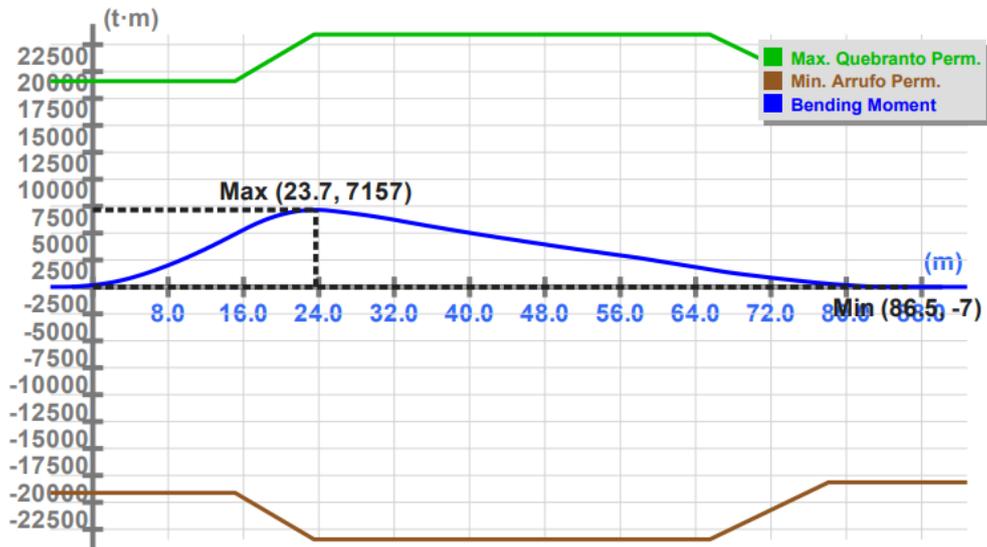
Fuente: Calculador de estabilidad “Nereida”

- **Momento flector en condición de puerto:**

	X Pos.	Quebranto max.	Arrufo min.	Bending Moment	Percentage	Correct
Frame	m	t·m	t·m	t·m	%	-
25	15.10	19113.15	-19113.15	4899.07	25.63	🟢
37	23.50	23445.46	-23445.46	7155.83	30.52	🟢
48	31.20	23445.46	-23445.46	6357.66	27.12	🟢
60	39.60	23445.46	-23445.46	5079.59	21.67	🟢
72	48.00	23445.46	-23445.46	3940.65	16.81	🟢
84	56.40	23445.46	-23445.46	2883.88	12.30	🟢
97	65.50	23445.46	-23445.46	1625.63	6.93	🟢
115	78.10	18144.75	-18144.75	293.31	1.62	🟢

Tabla 12: Datos de momentos flectores en condición de puerto tras carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"



Gráfica 5: Límites de momentos flectores del buque en condición de puerto tras carga HSFO.

Fuente: Calculador de estabilidad "Nereida"

6.2. Plan de descarga HSFO.

El procedimiento más relevante para la futura limpieza de tanques es el de la descarga del último cargamento previo a la misma.

En este punto, el buque se encuentra con un cargamento total de fuel en todos sus tanques, por tanto, la descarga se realizará por el mismo colector por el que se produjo la carga y mediante el mismo procedimiento, es decir, con todas las especificaciones anteriormente desarrolladas en el apartado 6.1.

Hay que prestar mucha atención al último achique de cada uno de los tanques ya que lo más importante llegado este momento, es que los mismos queden lo más secos posibles, es decir, con el menor producto que se pueda dentro de los mismos. Así de esta manera, se realizará mejor la limpieza de los tanques.

El achique de los tanques se realizará en 3 pasos manteniendo durante toda la descarga, la calefacción de los tanques para mantener la temperatura de los mismos además de la dilución del producto. En primer lugar, se abrirá la válvula de descarga al 100% y la bomba al 85% de su capacidad. Una vez se caiga la bomba, es decir, pare su funcionamiento, se repetirá el procedimiento, pero esta vez, se procederá al arranque de la bomba en primer lugar al 80% y a la apertura de la válvula de descarga al 50%, esto hará que la sección de descarga sea menor y por tanto aumente la velocidad de descarga para aspirar más producto. Por último, se llevará a cabo el último reachicón con la bomba arrancada al 80% de su capacidad, pero la válvula de descarga al 30% de apertura. Esto hará que el tanque quede lo más seco posible. Por otra parte, se intentará incrementar ligeramente la escora hacia la banda contraria del tanque a achicar ya que las bobas se encuentran en la zona central del buque y llevando a cabo esa pequeña escora, hará que el producto del tanque caiga hacia el pocete de la bomba para facilitar su aspiración.

6.3. Plan de carga, trasiego y descarga LCO.

Lo primero a tener en cuenta, es qué tipo de hidrocarburo es el LCO (Ultra Low Sulfur Diesel – Ultra bajo en azufre). Dicho producto al tener un bajo contenido en azufre desprende un bajo contenido de sustancias nocivas.

Este, se está probando por diferentes fabricantes de motores para intentar regular los gases de escape y que produzcan una menor contaminación del medioambiente. Por otro lado, y para este caso en particular, se utilizará para la limpieza de tanques cargados anteriormente con hidrocarburos pesados. Es importante recalcar que los hidrocarburos se pueden limpiar con otro hidrocarburo o con agua. En este caso, se hará uso de ambos ya

que en este apartado se procederá a cargar el LCO anteriormente mencionado y posterior a su descarga, se procederá a limpiar los tanques con agua a través de las maquinillas de limpieza.

El producto será cargado en los tanques 1 Babor y Estribor como se muestra en el siguiente stowage plan, ya que se procederá a cargar 600 m³, es decir, 300 m³ en cada uno de ellos que constituye el 90% de los mismos.

T1E	T2E	cofferdam	T3E	T4E	T5E	T6E	T7E
LCO	EMPTY		EMPTY	EMPTY	EMPTY	EMPTY	EMPTY
T1B	T2B		T3B	T4B	T5B	T6B	T7B
LCO	EMPTY		EMPTY	EMPTY	EMPTY	EMPTY	EMPTY

Tabla 13: Stowage plan carga LCO.

Fuente: Elaboración propia.

La carga, se llevará a cabo a través del colector de babor, por el cual se había realizado la carga anterior a esta para ir desprendiendo los restos de fuel de las líneas.

Para un mejor resultado de soltura del producto en el fondo del tanque, se dejará reposar el LCO en los tanques 1 Br y Er durante 2h, mientras el buque navega para que el producto llegue a la mayor parte de tanque cubriendo todo lo posible. Después de ello, se rellenará el 1 Br hasta el 98% dejando el tanque 1 Er con lo sobrante del producto. Se comenzará a recircular en ambos tanques durante 1 hora aproximadamente y viceversa, es decir, se repetirá el proceso en el tanque opuesto.

Este procedimiento se repetirá a lo largo de todo el buque creando una estabilidad en el mismo, por tanto, se procederá a la vez del trasiego, lastre o deslastre de tanques según se vayan rellenando y descargando los tanques de carga.

Además de trasegar el LCO a lo largo del buque, por todos los tanques, también se abrirán las válvulas necesarias para que la recirculación del mismo pase además por la línea del colector, así como por las líneas de stripping tanto las procedentes del piano de válvulas como las propias líneas de stripping de cada tanque.

En este proceso, será necesario comprobar que las alarmas de alto nivel de los tanques funcionan adecuadamente. Al realizar una carga inicial del 90% de los tanques, pero al posterior trasiego para el llenado al 98% de cada uno de ellos, debe haber un buen funcionamiento de las alarmas y así evitar posibles reboses de tanques que puedan crear un derrame en cubierta o en el peor de los casos, un derrame al mar produciendo una contaminación del mismo.

Las alarmas de alto nivel consisten en una señal acústica y visual tanto en cubierta como en el control de carga o puente que indican que los tanques han llegado en primer lugar al 95% de su capacidad y otra alarma regulada para el aviso de llegada del 98% de capacidad el mismo. Gracias a dicha señal, disminuirá la posibilidad de un rebose.

Por otro lado, además de comprobar dichas alarmas de alto nivel, será necesario revisar las válvulas de presión / vacío ya que deben funcionar correctamente para proceder a la liberación de presión del tanque durante el proceso de carga, trasiego y descarga. Al estar taradas a 1600 mb y 1400 mb habrá que controlar en todo momento que la presión dentro del tanque no se dispare ya que, con el movimiento del buque y los tanques al 98% también se podría producir un rebose por ellas.

Una vez finalizado el trasiego, se procederá a la entrada a una estación de tierra para la descarga del LCO utilizado con restos de fuel de los tanques. Tras salir de dicha estación, se continuará con la limpieza del buque, aunque esta vez con agua a través de las maquinillas de limpieza.

6.4. Limpieza final.

Tras la descarga del LCO, se llevará a cabo la limpieza final de los tanques de carga del buque.

Este paso se realizará a través de las maquinillas de limpieza calentando previamente el agua que pasará por ellas mediante un calentador situado en cubierta para poder aumentar la temperatura del agua de baldeo de tanques.

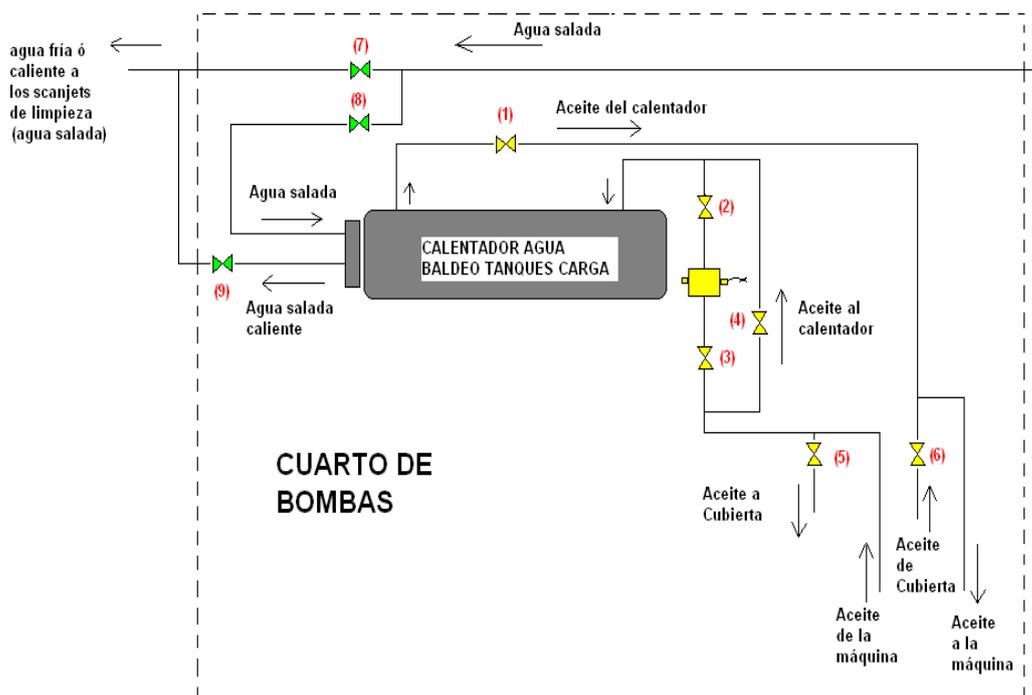
Antes de comenzar con el baldeo de los tanques, se procederá a poner en marcha el calentador de cubierta para que la temperatura del agua del mismo aumente hasta la temperatura necesaria para la limpieza. La ventaja de la limpieza con agua caliente es que activa las partículas del hidrocarburo y hace que se desprenda rápidamente del tanque.

Aproximadamente, dicho paso de proceder a calentar el agua antes de insertarlo en el tanque se realizará durante 1 hora calentando el agua hasta una temperatura de 60 °C. Para poner en marcha dicho calentador hay que seguir los siguientes pasos:

Calentador de cubierta:

El calentador de cubierta consiste en un sistema de líneas y válvulas además de un cilindro calefactor por el cual entra aceite térmico procedente de la caldera de la sala de máquinas y dicho aceite, será o que, en contacto con el agua a través de unos serpentines dentro de dicho cilindro, caliente el agua a la temperatura que se desee.

A continuación, se podrá observar un esquema de dicho calentador y se procederá a explicar cómo ponerlo en marcha para conseguir los resultados que se quieren obtener:



Esquema 2: Funcionamiento calentador de cubierta.

Fuente: Trabajo de campo

En primer lugar, se comprobará la válvula nº7 que debe estar abierta para que el agua salada pueda pasar a cubierta y a los escobenes de proa, una vez comprobado, se pondrá en servicio la bomba de agua salada de baldeo.

A continuación, se abrirán con la bomba en marcha, las válvulas nº 8 y 9 para que el agua pueda ser introducida en el calentador, se cerrará seguidamente la válvula 7 para que el agua solo pase hacia el calentador. Se comprobará que las válvulas 5 y 6 estén cerradas.

Una vez cerradas las válvulas de aceite térmico, se abrirá la válvula nº1 que es la de la salida del calentador. Luego, se abrirá continuamente pero despacio las válvulas de

aceite térmico de entrada al calentador, para ello existen dos opciones, abriendo las válvulas 2 y 3 que al abrirlas se utilizará la línea de la válvula termostática o por el contrario, usando la línea bypass a la termostática que se conseguirá abriendo la válvula nº4 y manteniendo cerradas las válvulas 2 y 3. Utilizando cualquiera de los métodos, el aceite térmico vendrá de las calderas de la sala de máquinas pasando durante 5 o 10 minutos a través del calentador calentando el agua.



Ilustración 10: Calentador de cubierta.

Fuente: Trabajo de campo

Finalmente, se procederá a la apertura de las máquinas de limpieza “scanjet” de los tanques que se vayan a limpiar y además deberán cerrarse los escobenes de proa, anterior a esto, habrá que asegurarse que la temperatura del agua sea la deseada (60°C), dicha temperatura se verá reflejada en el termómetro instalado en la línea de salida del calentador.

Una vez finalizadas las operaciones, habrá que proceder al cierre de las válvulas siguiendo un orden, en primer lugar, todas las válvulas de inserción de aceite térmico (válvulas 2, 3 y 4) así como la de salida (válvula 1). Se volverán a abrir a abrir los escobenes y se cerrarán las válvulas de las scanjets. Cuando hayan pasado unos minutos en el cual el agua haya circulado por el calentador, disminuyendo la temperatura del mismo, se abrirá la válvula 7. Se cerrarán las válvulas 8 y 9 y se procederá a parar la bomba. Finalmente, quedará todo alineado para el baldeo de agua fría a cubierta.

Máquinas de limpieza

Tras la explicación del funcionamiento del calentador de cubierta, y una vez el agua a la temperatura que se desea (60°C), se conectará la manguera de la línea de baldeo a la máquina de limpieza, es decir, a la “scanjet”.

Antes de proceder al lavado de los tanques, deberá comprobarse la continuidad de las mangueras que van a interconectar la línea de baldeo con las “scanjet”. Dicha continuidad no debe ser superior a los 6 ohmios /m (ISGOTT 6ª 12.3.6.3) [2]

Estas máquinas están compuestas por un aparato instalado en la cubierta del buque el cual consta de una tapa cubriendo unos pines. Dichos pines son los que programan la misma para los diferentes lavados que se quieran realizar, es decir, programan la inclinación del ángulo de la tobera final del vástago de la maquinilla, así como la presión del agua, la variación de subida y bajada del propio vástago. La maquinilla contiene un acople rápido con una válvula al que irá conectado la manguera para su enlace con la línea de baldeo de cubierta que es la que trasportará el agua hacia el interior del tanque.



Ilustración 11: Maquinilla de limpieza conectada a línea de baldeo.

Fuente: Trabajo de campo.

Para realizar un óptimo funcionamiento de las maquinillas se seguirán los siguientes pasos:

En primer lugar, se retirará la tapa y se tirarán de todos los pines selectores hacia arriba comprobando así que la máquina está colocada en la posición de un ciclo completo estableciendo manualmente la boquilla en la posición deseada para comenzar y retirar el tapón (A)

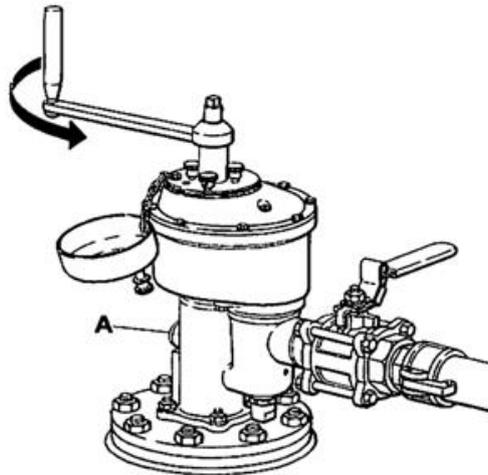


Ilustración 12: Máquina de limpieza en posición inicial.

Fuente: Manual "Scanjet"

A continuación se abrirá la válvula de entrada suavemente para poner en marcha la máquina. Si la máquina es arrancada muy rápido, el acople magnético se liberará debiendo cerrar la válvula completamente antes de volver a arrancarla.

Para establecer el programa que se desea, se realizará tirando o presionando el pin del programa. Hacia arriba desengranado hacia abajo engranado. Y al finalizar la limpieza

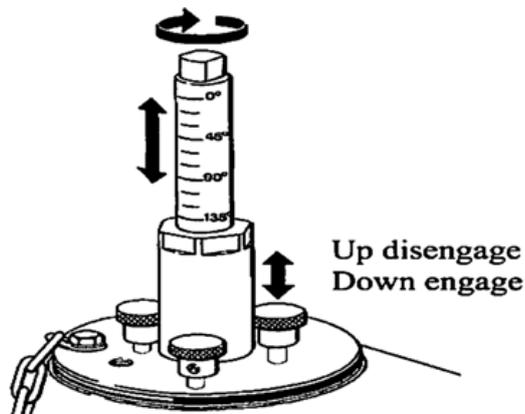


Ilustración 13: Forma de establecer programa de limpieza.

Fuente: Manual "Scanjet"

Estas máquinas de limpieza constan de 4 programas preestablecidos más la inclusión del prelavado y que dependen de los grados de elevación por revolución de la línea principal.

ACCIÓN	ELEVACIÓN NORMAL	ELEVACIÓN OPCIONAL
Todos los pines en posición alta	0	0
Un pin presionado	1,5°/rev	2,5°/rev
Dos pines presionados	3,0°/rev	5,0°/rev
Tres pines presionados	4,5°/rev	7,5°/rev
Prelavado presionado	60°/rev	60°/rev

Tabla 14: *Inclinación de funcionamiento de la maquinilla.*

Fuente: Manual "Scanjet"



Ilustración 14: *Línea de maquinilla de limpieza con una sola tobera giratoria.*

Fuente: Trabajo de campo.

Para proceder a engranar el prelavado, hay que presionar el pin marcado con una "P" hasta el final significando que se encuentra completamente engranado para que la opción elegida se pueda poner en funcionamiento. Cuando el mismo pin, es bajado solamente hasta la mitad, significa que tiene una elevación de 1.5°/rev. Por otro lado, para que el pin pueda llegar hasta la posición final de prelavado., habrá que hacerlo con la máquina en marcha.

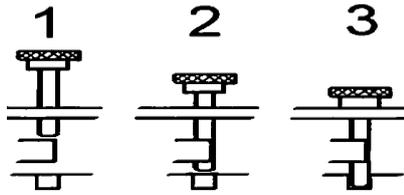


Ilustración 15: Posición pines de programación.

Fuente: Manual “Scanjet”

Antes de realizar cualquier tipo de operación con la máquina de limpieza, así como para el mantenimiento de la misma, cuando se transportan cargas que podrían crear sedimentos en el fondo del tanque, hay que proceder al soplado de la misma con aire o nitrógeno además de proceder a su movimiento con la manivela cada semana para evitar así que se puedan quedar adheridos sedimentos en los engranajes o en el tubo de la misma. Además, un paso importante antes de comenzar con los programas de limpieza, es colocar todos los pines en posición arriba durante aproximadamente 60 segundos como se muestra en el manual de las “Scanjet” ya que eso hará que se encuentre desconectada la caja de los engranajes y por tanto puedan ser baldeados.

El cálculo de un ciclo de limpieza viene determinado por las siguientes cuestiones:

- A. Programa seleccionado con sus características de ángulo de paso es decir de su elevación dividida entre la revolución. ($^{\circ}/\text{rev}$)
- B. Velocidad de rotación del vástago elevable en la parte superior de la maquinilla. Por tanto, segundos partidos por revolución (seg/rev)
- C. Ángulo de lavado en minutos.
- D. Tiempo total de la limpieza

Por tanto, la fórmula a seguir para el cálculo del tiempo total de la limpieza será la siguiente:

$$D = \frac{C \times B}{A \times 60}$$



Ilustración 16: Maquinilla de limpieza “Scanjet”.

Fuente: Trabajo de campo.

La velocidad de giro de la línea principal también puede ser modificada tras el reapriete de la pieza D de la siguiente ilustración

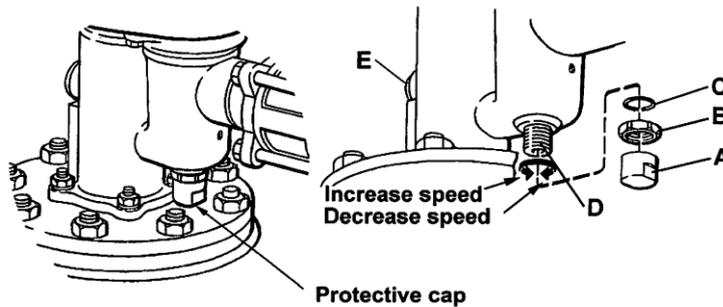


Ilustración 17: Tornillos de apriete para aumento de velocidad de la maquinilla.

Fuente: Manual “Scanjet”

Dicha velocidad se ajustará ya que según el Manual de instrucciones y mantenimiento de las “Scanjet”, la velocidad de trabajo de dicha maquinilla debe oscilar entre 1 y 1.6 rpm por tanto, si no se encontrara en dichos valores, habría que proceder a su reapriete [14].

Una vez claro su funcionamiento, se decide realizar a los tanques previamente cargados con LCO y descargados para facilitar su limpieza, un ciclo de lavado por maquinilla de una hora realizando un programa de 1.5° completando el ciclo en 1.8 rev/min. Este ciclo generará un total de 19m³ de lavazas por tanque. Dicha limpieza se realizará tanque por tanque, es decir con solo un tanque abierto para poder así, mantener la temperatura y presión del agua. Además, la limpieza debe llevarse a cabo con la tapa del tanque abierto ya que, al no contar con planta de gas inerte, hay que disminuir el porcentaje de gases de hidrocarburos del tanque y esa es la única manera de poder realizarlo.

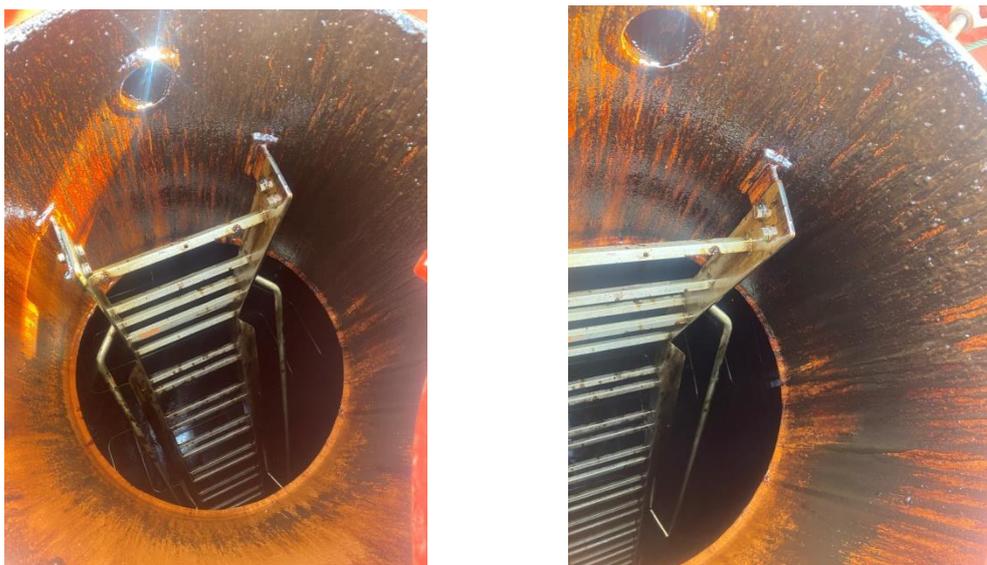
Mientras se produce la limpieza a través de las maquinillas, se procederá a la descarga continua de las lavazas con la bomba eléctrica del tanque en modo “tankwash” y con la válvula de descarga al 40% de apertura. Por último, para dar el último reachique, se pasará la bomba a modo “Discharge” al 80% y la válvula de descarga al 20% de apertura. Tras el último achique se procederá al stripping para achicar la columna de agua de la bomba como al super stripping para el mayor secado del tanque y pocete del mismo.

Por último, como el fuel es muy denso, aún después de la limpieza de los tanques, puede que queden sedimentos en el fondo del tanque, por tanto, para la realización de una limpieza completa, habrá que bajar al tanque para el secado final así como para la limpieza de los sedimentos si los hubiera.

Antes de la entrada al tanque, habrá que ventilar los mismos con el ventilador de cubierta durante 1 hora aproximadamente hasta que los gases del tanque se hayan eliminado y la atmósfera sea apta para su entrada.

Para asegurarse que dicha atmósfera es la adecuada, se realizarán medidas a diferentes alturas del tanque con un explosímetro portátil, insertándolo en el tanque después de su encendido y calibración. El explosímetro a utilizar, así como los valores que medirán se encuentran expuestos en las ilustraciones 6 y 7. Solo se podrá proceder a la entrada cuando el oxígeno se encuentre en un 21% de volumen y no existan gases explosivos.

Una vez comprobada la atmósfera se procede a la entrada al tanque, aunque antes se debe rellenar debidamente un procedimiento de entrada a espacios cerrados (Véase Anexo 1).



Ilustraciones 18 y 19: Tanques de cargas tras baldeo de los mismos.

Fuente: Trabajo de campo

En las ilustraciones 18 y 19 se observa la boca del tanque tras ser baldeado y comprobada su atmósfera, por tanto, estará apto para su entrada.

Una vez dentro, mientras se mantiene una monitorización continua de la atmósfera se observará si quedan restos de fuel en el plan del tanque, así como en el pocete del mismo y los mamparos. Si se encuentran restos, habrá que secarlos o en el peor de los casos, utilizar rasqueta y haraganes para su desprendimiento del fondo.



Ilustraciones 20 y 21: Rascado de fuel del fondo de los tanques.

Fuente: Trabajo de campo.

Si fuera necesario, en algunos de los casos, se podría añadir algún producto químico u otro tipo de hidrocarburo para la ayuda del desprendimiento de los restos.

Finalmente, tras todos los procesos descritos anteriormente, se daría por finalizada la limpieza del buque.



Ilustraciones 22 y 23: Tanques de carga tras limpieza de los mismos.

Fuente: Trabajo de campo.

Inertización (Fase final)

En caso de que el buque constara de planta de Gas Inerte, la fase final del procedimiento de limpieza sería la inertización de los tanques limpios para poder proceder al siguiente cargamento

Dicha inertización de los tanques se podría realizar de dos maneras diferentes, es decir, de manera directa o en cascada.

De manera directa consiste en insertar gas inerte a través de la propia línea de nitrógeno al tanque abriendo el antillamas de él para el desaloje del aire del mismo. Por el contrario, se podrá realizar por el método de cascada el cual consiste en insertar N₂ en un tanque de manera directa y abriendo su válvula bajante además de la bajante del tanque que se quiere inertizar por cascada por el colector. Dicho método hará que el nitrógeno que entra directo al primer tanque, vaya desplazando la columna de aire haciendo que suba al colector a través de la bajante del mismo. Dicho aire se transportará a través del colector mientras va disminuyendo su volumen de oxígeno, adentrándose por la bajante del siguiente para empujar también su columna de aire. En este último tanque, se abrirá el antillamas del mismo ya que la columna de aire se desplazará de abajo hacia arriba expulsando dicho aire por la parte superior del tanque.

Para el buen funcionamiento y para su máxima optimización se harán comprobaciones previas al arranque de la planta de nitrógeno. Dichas comprobaciones se encuentran reflejadas en el apartado 4.2.9 de este documento.

La planta está constituida por una serie de filtros por los cuales atraviesa el aire y hace que disminuya el nivel de oxígeno del mismo, una vez se encuentre el nivel de oxígeno dentro de los límites que se requieren, se abrirá la válvula de salida a los tanques.

Además, la planta de nitrógeno se encuentra regida por el SOLAS capítulo II-2 16.3.3 la cual inserta directamente a los tanques nitrógeno anteriormente filtrado a través de las membranas anteriormente mencionadas.

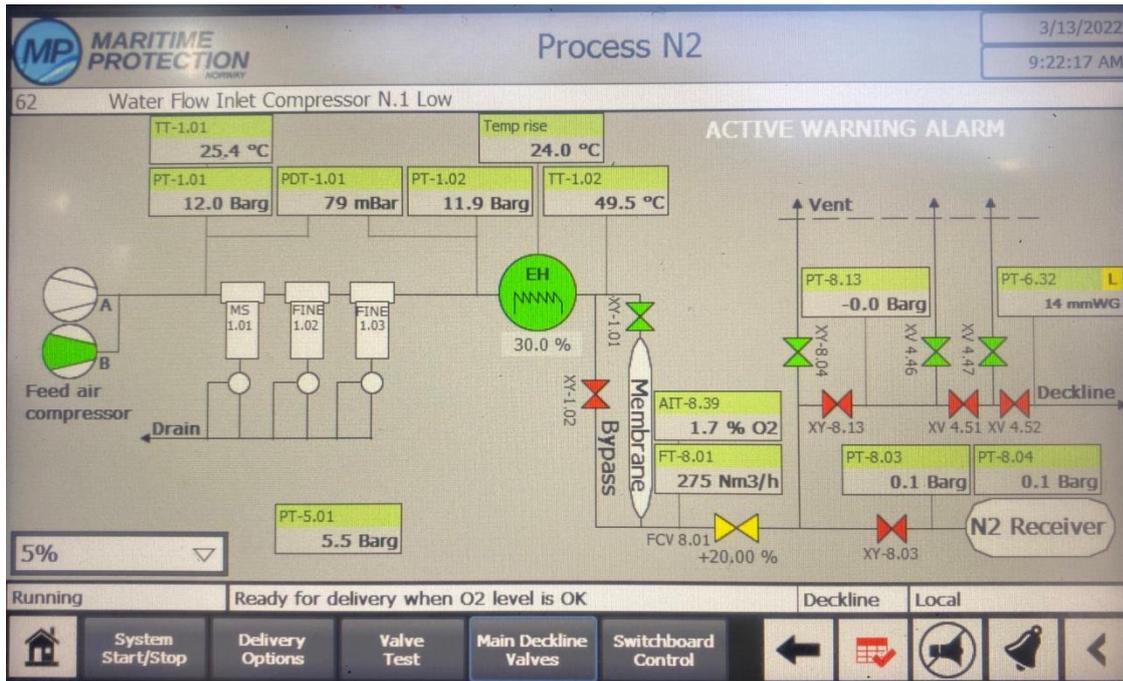


Ilustración 24: Pantalla de control y accionamiento de la planta de nitrógeno Marine Protection Norway.

Fuente: Trabajo de campo.

Finalizada la inertización de los tanques, se podrá proceder al próximo cargamento deseado, aunque dicha limpieza se ha realizado para la futura carga de productos más limpios al Fuel.

7. Conclusiones.

La realización de un buen plan de limpieza viene sujeto a la información como a la formación de los oficiales o cualquier persona encargada de realizar dicho plan.

A bordo de los buques, el encargado de la realización será el primer oficial de cubierta, aunque dicho plan debe ser revisado y aceptado por el capitán, aunque en algunas ocasiones, la propia naviera puede ofrecer al buque el plan realizado con anterioridad u ofrecer recomendaciones para su realización.

Tener una formación completa tanto del buque como de la normativa que se debe aplicar para realizar el plan de limpieza es totalmente necesario ya que, al conocer su propio buque, será más fácil proceder a la limpieza.

Por otro lado, un plan de limpieza completo debe estar compuesto teniendo en cuenta las características del último cargamento, así como su descarga para poder descargar al máximo el buque y dejarlo lo más seco posible esto hará más fácil su limpieza. Además, al conocer el buque, se sabrá cómo llevar a cabo el funcionamiento de las maquinillas de limpieza, así como poder realizar un cálculo total de lavazas que se van a generar, si se dispone o no de calentador de cubierta y si será necesaria su utilización, el tiempo de ventilación, así como las opciones del mismo para liberar los gases tóxicos del tanque para, además, poder aumentar el nivel de oxígeno del mismo. El funcionamiento de la planta de gas inerte y, por último, el cargamento siguiente a la limpieza para asegurarse que dicho producto podrá ser cargado.

Tras el estudio exhaustivo tanto de la normativa como de los conceptos básicos relacionados con la limpieza y la puesta en marcha para la realización del plan de limpieza para el B/T Nivaria, se ha descubierto que para optimizar el procedimiento de limpieza así como para aumentar la seguridad del buque, es mayoritariamente recomendada la instalación de Planta de Gas Inerte ya que, reduce las probabilidades de incendio y explosión en el buque al reducir varios componentes del triángulo de fuego.

Además, tener Planta de Nitrógeno a bordo, también hace que aumente el rendimiento de las cargas y descargas al poder aumentar el caudal del fluido que entrará al tanque ya que, gracias al nitrógeno, disminuirá la electricidad estática y el porcentaje de oxígeno dentro de los tanques.

Teniendo en cuenta dichos ítems, se podrá realizar cualquier plan de limpieza para el transporte de los productos mencionados con anterioridad.

Además, con el avance de hoy en día en la manera de llevar a cabo la limpieza de tanques, es importante recalcar que sigue siendo una operación de riesgo ya que, siempre que se realice un trabajo en un tanque o en cualquier lugar cuya atmósfera puede llegar a ser explosiva o en este caso, al ser un líquido inflamable aparte de tóxico, puede tener una gran cantidad de riesgos. Por otro lado, con el aumento de Convenios y normativas, se implantan diferentes leyes o recomendaciones que hacen que se reduzcan dichos riesgos.

Es inevitable aceptar que este mundo de la limpieza de tanques ha ido evolucionando y, por tanto, se han ido creando manuales como por ejemplo el “Tank Cleaning Guide” para los buques quimiqueros o el “Tank Washing Guide” para el resto de productos cargados en tanques. Dichos manuales son una simple guía, aunque en definitiva, aunque existan diferentes manuales, la experiencia y la formación hacen que la limpieza se realice de la manera más segura y con mejores resultados. [15]

8. Bibliografía

[1] *Buques tanque*. OCIMF. (s. f.). Recuperado 28 de abril de 2022, de <https://www.ocimf.org/es/buques-tanque>.

[2] London, I. C., & Oil Companies International Marine Forum. (2020). ISGOTT, International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (Sixth ed.). Scotland: Wither by Publishing Group Ltd.

[3] Internacional, O. M. (2017). MARPOL, *edición refundida de 2017* (Sexta ed.). Londres: Organización Marítima Internacional.

[4] Ministerio de Asuntos Exteriores. (1999, 10 diciembre). *Código para la construcción y armamento de los buques que transporten productos químicos peligrosos a granel (Código CGRQ)* [Comunicado de prensa]. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1999-23521>.

[5] Real Academia de la Lengua Española. (s.f.). RAE. Recuperado el 08 de abril de 2022, de rae.es.

[6] *Tetraedro del fuego*. (s. f.). Prosegsa. Recuperado 12 de marzo de 2022, de <https://www.prosegsa.com.mx/2021/06/30/conoces-el-tetraedro-de-fuego/>.

[7] García Soutullo, R. (2022, 19 agosto). *Limpieza de Tanques*. *Petroleros*. Ingeniero Marino. Recuperado 2 de junio de 2022, de: [//ingenieromarino.com/limpieza-de-tanques-petroleros/](http://ingenieromarino.com/limpieza-de-tanques-petroleros/).

[8] Organization, I. M. (2020). SOLAS, *Safety of Life at Sea* (Seventh ed.). London: International Maritime Organization.

[9] Butterworth. (2022, 23 mayo). *Tank Cleaning Systems for Marine and Industrial Applications*. Recuperado 10 de abril de 2022, de <https://www.butterworth.com/>

[10] Organization, I. M. (1990). *Inert Gas Systems* (Third ed.). London: International Maritime Organization.

[11] Internacional, O. M. (2018). *Código IGS, Código Internacional de Gestión de la Seguridad y directrices para su implantación* (Quinta ed.). Londres: Organización Marítima Internacional.

[12] Internacional, O. M. (2022). *Código IMDG, Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas Volumen 2* (2022 ed.). Londres: Organización Marítima Internacional.

[13] Marine Systems, Sedni. (s.f.). *Calculador de Carga "Nereida"*.

[14] Scanjet (s.f). *Scanjet SC 30T Instruction Manual*.

[15] Verwey, D. A. (s.f.). *Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide* (Nineth ed.). (C. Bruhn, & J. Kämmler, Edits.) Germany: ChemServe GmbH.

9. Anexos

01.- Anexo I. Permiso de entrada en espacios cerrados.

01	Señalización de la entrada al espacio confinado (balizado, identificación, protección de la entrada contra riesgos externos)		
02	Temperatura del espacio comprobada		
03	¿Se ha informado al Capitán, 1er Oficial y Jefe de Máquinas?		
04	Si es un tanque de combustible, ha sido adecuadamente lavado		
05	No hay riesgo de inundación		
06	El espacio ha sido convenientemente ventilado		
07	Medidas para ventilación continua		
08	<p>Atmósfera respirable</p> <p>Oxígeno .% vol (21%)=.....</p> <p>Hidrocarburos% LFL (inferior a 1%) APTO <input type="checkbox"/> NO APTO <input type="checkbox"/></p> <p>Gases tóxicos-% ppm APTO <input type="checkbox"/> NO APTO <input type="checkbox"/></p>		
09	Acordado Plan de Rescate		
10	Disponible equipo de rescate y ERA (adecuados al tipo de espacio confinado)		
11	Previsto y montado el sistema anticaída para entrar (si es necesario)		
12	Disponen de medios de extinción adecuados (extintores en la zona de trabajo)		
13	Persona responsable presente constantemente junto a la entrada		
14	<p>Sistema de comunicación entre la persona apostada en la entrada y las del interior del espacio</p> <p>VHF Guía</p>		
15	Las personas que entran están equipadas con los EPI'S adecuados (ver procedimiento SEG 07-03).		
16	Son adecuados los accesos y la iluminación		
17	Son adecuados los equipos y las luces portátiles que vayan a ser utilizados (tensión de seguridad)		

PARTE II : A COMPROBAR POR LA/S PERSONA/S QUE VA/N A ENTRAR		OBSERVACIONES
17	¿Ha recibido instrucciones y autorización del oficial responsable para entrar en tanques o compartimientos confinados?	
18	¿Se han comprobado todos los aspectos de la Parte I?	
19	¿Sabe que debe Vd. abandonar inmediatamente el espacio en caso de fallar el sistema de ventilación?	
20	¿Ha comprobado y comprendido el sistema de comunicación convenido entre Vd. y la persona que permanecerá junto a la entrada del compartimento?	
21	¿Conoce el funcionamiento del aparato medidor de oxígeno?	
PARTE III :A COMPROBAR POR EL RESPONSABLE DE PERMANECER EN LA ENTRADA		OBSERVACIONES
22	¿Sabe Vd. que no debe abandonar la entrada del compartimento bajo ningún concepto hasta que quienes estén dentro haya salido?	
23	¿Ha comprendido el sistema de comunicaciones convenido entre Vd. y la/s persona/s que estarán dentro del compartimento?	
24	¿Conoce el funcionamiento del Equipo de Respiración autónomo?	
25	¿Ha recibido instrucciones para el caso de que se produzca una emergencia en el interior del espacio confinado?	
PARTE IV :A COMPROBAR POR EL OFICIAL Y LA PERSONA QUE ENTRA SI SE USA E.R.A.		OBSERVACIONES
26	¿Está Vd. familiarizado con el E.R.A.?	
27	¿Se ha comprobado el equipo?	
28	Manómetro y capacidad	
29	Alarma baja presión	
30	Estanqueidad y suministro de aire de la máscara	
31	¿Se ha comprobado las medidas de comunicación y las señales de emergencia?	

Fuente: Código IGS. "Código Internacional de gestión de la seguridad operacional del buque y la prevención de la contaminación"

02.- Anexo II. Certificados de Calidad.

ANALYTICAL REPORT					
Sample Information			Laboratory Information		
*V/ Ref: GIB-000155-21 *Label: AMSPEC *Origin: EVOS - ALGECIRAS *Grade: HSFO *Seal N#: N/A *Identification: SHORE TANK 101-06 *Sampling date: 22/10/2021 *Sampled by: AMSPEC *Description: SHORE TANK COMPOSITE (U/M/L)			Job Number: 11849 O/ Ref: 626-21-02083 Label: AMSPEC Sample Package: 2 X 1L Plastic Bottle Seal N#: N/A Date of reception: 22/10/2021 Date Analysis started: 22/10/2021 Date Analysis completed: 23/10/2021 Description: FUEL OIL		
*Customer: PENINSULA PETROLEUM *Address: Europort Building 8 & 9, Suite 921, Gibraltar					
Parameter	Units	Method	Result	Limit	Note
Density at 15RC	g/ml	ISO 12185:1996/Cor.1:2001	0,9907		
Kinematic viscosity at 50 RC (Procedure A)	mm ² /s	ISO 3104:2020	339,1		
Water by distillation	% (v/v)	ISO 3733:1999	0,2		
Sulphur content	% (m/m)	ISO 8754:2003	2,63		
# Flash point (Proced. B - Electric ignitor)	°C	ISO 2719:2016	99,0		(i)
# Pour point	°C	ISO 3016:2019	-6		
# Carbon Residue Micro Method	% (m/m)	ISO 10370:2014	14,91		
# Ash	% (m/m)	ISO 6245:2001	0,061		
# Aluminium	mg/kg	IP 501/05	8		
# Silicon	mg/kg	IP 501/05	<10		
# Al + Si	mg/kg	IP 501/05	17		
# Vanadium	mg/kg	IP 501/05	208		
# Sodium	mg/kg	IP 501/05	23		
# ULOs					
# Calcium	mg/kg	IP 501/05	7		
# Zinc	mg/kg	IP 501/05	5		
# Phosphorous	mg/kg	IP 501/05	1		
# Total Sediment Aged (Proced. A) [TSP]	% (m/m)	ISO 10307-2:2009/Cor 1:2010	0,02		
# Total Acid Number	mg KOH /gr	ASTM D664 - 18e2	<0,10		
# H ₂ S Content	mg/kg	IP 570/15	<0,60		
# CCAI		ISO 8217:2017/Calculated	853		

(i) 101,7 Kpa; Absolute Barometric Pressure.

Fuente: Trabajo de campo.

CERTIFICADO DE CALIDAD

Fecha: 12/11/2021
Página: 1/2

Certificado: 00049878 / 02 Producto: 41387 GAS OIL ELEC
 Id. Muestra: 01015067 Esp. Comercial:
 Punto Toma: T 0309 Tipo Operación: Cargamento
 Fecha Toma: 03/11/2021 09:00 Preparac./Lote: 3-NOV-2021 09:00:00 /
 Fecha Recp.: 04/11/2021 13:08 Ref. Pedido:
 Albarán:
 Especificación:

Transporte:
 Cliente: DEPOSITO
 Dirección: PTO ROSARIO-ARRECIFE
 Operación: 0430521
 Su Referencia:

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Densidad 15°C	ASTM D 4052	0,8683 kg/l	<=0,8900
Densidad Aparente a 15°C	ASTM D 1250	0,8672 kg/l	
Residuo Carbon Micro (10%R)	ASTM D 4530	0,10 %(m/m)	<=0,30
Inflamabilidad Pensky-Martens	ASTM D 93	70,5 °C	>=60
Cenizas	EN ISO 6245	0,003 %(m/m)	<=0,010
Destilacion	ASTM D 86		
Destilación Final		391,0 °C	
Recoido 85 %(V/V)		357,8 °C	
Azúfre	ASTM D 4294	0,0519 %(m/m)	<=0,1000
Índice de Cetano	ASTM D 4737	49,6	>=40,0
Viscosidad 40°C	ASTM D 445	4,669 mm2/s	>=2,000; <=6,000
Upper Pour Point	ASTM D 5950	-12 °C	<=-6
Sulfuro de hidrogeno	IP 570	0,00 mg/kg	<=2,00
Número de Acido	ASTM D 664	0,09 mg KOH/g	<=0,50
P.O.F.F.	EN 116	4 °C	
Punto de Nube	ASTM D 2500	7,8 °C	
Lubricidad (wsd 1,4) 60°C	ISO-12156-1	261 micras	<=520
Corr.Cu (3h 50°C)	ASTM D 130	1a	1a;1b
Color ASTM	ASTM D 1500	L1.5	L0.5;0.5;L1.0;1.0;L1.5;1.5;L2.0;2.0;L2.5
Aspecto	VISUAL	C/B	C/B
Estabilidad Oxidación	ASTM D 2274	7,0 g/m3	<=25,0
Ester met.a.g:FAME	EN 14078	0,2 %(V/V)	<=0,5

Fuente: Trabajo de campo.

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

La alumna **Lara Coello Padrón**, autor del trabajo final de Grado titulado “**Plan de limpieza para un Buque Tanque. Cambio de fuel a Productos Limpios.**”, y tutorizado por el/los profesor/es **Amanda Peña Navarro**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación, manifiesta que **PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.