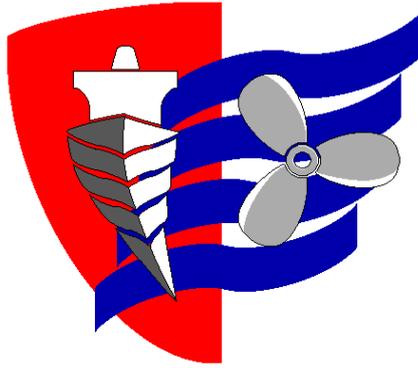


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Grado***

**OPERACIONES DE CARGA Y  
DESCARGA DE UN BUQUE  
TANQUE SUEZMAX.**

---

**Suezmax tanker loading and discharging  
operations.**

Para acceder al Título de Grado en  
**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE  
MARÍTIMO**

**Autor: Álvaro Medina Molina**

**Director: Francisco J. Correa Ruiz**

**Marzo - 2024**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

*Trabajo Fin de Grado*

**OPERACIONES DE CARGA Y  
DESCARGA DE UN BUQUE  
TANQUE SUEZMAX.**

---

**Suezmax tanker loading and discharging  
operations.**

Para acceder al Título de Grado en  
**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE  
MARÍTIMO.**

**Marzo - 2024**

# Índice.

|   |    |
|---|----|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA ..... | 1  |
| RESUMEN.....                              | 1  |
| PALABRAS CLAVE. ....                      | 2  |
| ABSTRACT. ....                            | 3  |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....       | 5  |
| 2. METODOLOGÍA. ....                      | 6  |
| 2.1. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE.....       | 8  |
| 2.1.1. Buques Tanque. ....                | 8  |
| 2.1.2. Costeros. ....                     | 10 |
| 2.1.3. Handy Size Tanker.....             | 11 |
| 2.1.4. MR1 y MR2. ....                    | 11 |
| 2.1.5. Panamax. ....                      | 12 |
| 2.1.6 LR1 y LR2.....                      | 12 |
| 2.1.7. Aframax. ....                      | 13 |
| 2.1.8. Suezmax. ....                      | 13 |
| 2.1.9. V.L.C.C.....                       | 14 |
| 2.1.10. U.L.C.C.....                      | 14 |
| 2.2. SHIPS PARTICULARS. ....              | 15 |
| 2.3. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE. ....          | 16 |
| 2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA.....     | 22 |
| 2.4.1. Hidrocarburos. ....                | 22 |
| 2.4.2. El mercado internacional. ....     | 23 |
| 2.5. PROPIEDADES. ....                    | 24 |
| 2.5.1. Densidad. ....                     | 24 |
| 2.5.2. Flash point. ....                  | 24 |
| 2.5.3. Pour point. ....                   | 25 |
| 2.5.4. Punto de enturbiamiento.....       | 25 |
| 2.5.5. Presión de vapor. ....             | 25 |
| 2.5.6. Viscosidad. ....                   | 26 |
| 2.5.7. Variedades. ....                   | 27 |
| 2.6. PELIGROS. ....                       | 28 |
| 2.6.1. Inflamabilidad.....                | 28 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.6.2. Gases tóxicos. ....                         | 33        |
| <b>3. DESARROLLO.....</b>                          | <b>38</b> |
| 3.1. ELEMENTOS DE CARGA Y DESCARGA.....            | 38        |
| 3.1.1. Tanques de carga. ....                      | 38        |
| 3.1.2. Líneas de carga. ....                       | 40        |
| 3.1.3. Manifolds. ....                             | 41        |
| 3.1.4. Cámara de bombas. ....                      | 43        |
| 3.1.5. Bombas de carga. ....                       | 44        |
| 3.1.6. Sondas, Radar tank. ....                    | 47        |
| 3.1.7. PV, PV breaker, Mast Raiser. ....           | 50        |
| 3.1.8. Alarmas de alto nivel. ....                 | 53        |
| 3.1.9. Calculadora de carga y monitorización. .... | 54        |
| 3.1.10. VOC. ....                                  | 58        |
| 3.1.11. VOCON. ....                                | 58        |
| 3.1.12. Válvula Anti-Cavitación (ACV). ....        | 59        |
| 3.1.13. Vecs. ....                                 | 59        |
| 3.1.14. ODME. ....                                 | 60        |
| 3.1.15. Automatic unloading system. ....           | 60        |
| 3.2. ELEMENTOS DE LASTRE. ....                     | 62        |
| 3.2.1. Tanques de lastre. ....                     | 62        |
| 3.2.2. Bombas de lastre. ....                      | 63        |
| 3.2.3. Tratamiento de lastre. ....                 | 64        |
| 3.3. GAS INERTE. ....                              | 66        |
| 3.3.1. Planta de gas inerte. ....                  | 67        |
| 3.3.2. Calderas. ....                              | 67        |
| 3.3.3. Scrubber. ....                              | 68        |
| 3.3.4. Ventiladores. ....                          | 69        |
| 3.3.5. Deck seal. ....                             | 70        |
| 3.3.6. Métodos de inertización. ....               | 71        |
| 3.4. LAVADO CON CRUDO. ....                        | 72        |
| <b>4. ESTUDIO DE OPERACIONES.....</b>              | <b>77</b> |
| 4.1. PROCEDIMIENTOS DE OPERACIONES DE CARGA.....   | 77        |
| 4.1.1. El viaje en lastre. ....                    | 77        |
| 4.1.2. Plan de carga. ....                         | 79        |
| 4.1.3. Conexión. ....                              | 84        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.1.4. Inicio y control durante la operación. ....   | 85         |
| 4.1.5. Topeo. ....                                   | 91         |
| 4.1.6. Precauciones y comprobaciones finales.....    | 95         |
| 4.2. PROCEDIMIENTOS DE LA OPERACIÓN DE DESCARGA..... | 96         |
| 4.2.1. El viaje en carga. ....                       | 96         |
| 4.2.2. Safety meeting. ....                          | 99         |
| 4.2.3. Inicio y desarrollo. ....                     | 101        |
| 4.2.4. Lavado con crudo. ....                        | 109        |
| 4.2.5. Reachique interno y secado de líneas. ....    | 115        |
| <b>5. CONCLUSIONES. ....</b>                         | <b>117</b> |
| <b>ILUSTRACIONES Y TABLAS. ....</b>                  | <b>119</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                             | <b>121</b> |
| <b>ANEXOS. ....</b>                                  | <b>123</b> |

## **Resumen.**

Este trabajo de fin de grado destinado a la finalización de los estudios del grado en Ingeniería Náutica y Transporte Marítimo, que tiene como título “Operaciones de carga y descarga de un buque tanque Suezmax” tiene como objetivo principal el de diseñar un manual de ambas operaciones y de los equipos clave en ambos procesos. Establecer un manual que pueda ser de ayuda a tripulantes que lleguen a un buque de estas características, teniendo en un solo documento una explicación detallada del desarrollo cronológico de cada una de las operaciones y de los procedimientos específicos que se llevan a cabo durante las mismas.

La realización de este escrito se basa en los conocimientos y experiencia que el autor ha adquirido durante un embarque de un año como alumno de puente en el buque Monte Urquiola, de Ibaizabal Tankers. Apoyado siempre por los conocimientos teóricos que el autor ha adquirido durante su formación en la escuela técnica superior de náutica de Santander. El buque objeto de este estudio es un tanquero de grandes dimensiones que principalmente transporta petróleo crudo de distintas características, cubriendo habitualmente las rutas que van desde el Golfo de Guinea a distintos puertos europeos. Un año de embarque plagado de experiencias donde con la ayuda de los mejores profesionales el autor ha podido crecer profesionalmente y en conocimientos, siendo capaz finalmente de diseñar el manual de operaciones que se presenta en este trabajo.

Para confeccionar este manual, en un primer paso se identificará el problema a tratar, que no es otro que la necesidad de la existencia de un manual único para operaciones y equipos. A continuación, se establece la metodología seguida para la realización de este trabajo, donde además añadimos conceptos teóricos sobre los buques tanque y el crudo a modo de introducción. Durante la fase de desarrollo se explica detenidamente todos los equipos destinados a la carga y el lastre del buque, con sus principales características y cómo funcionan. Finalmente, en el plano de las conclusiones se realiza la explicación total de las operaciones, especialmente enfocadas a como se desarrollan en el buque referido anteriormente.

## **Palabras clave.**

- Buque tanque
- Petroleo
- Carga y descarga
- Procedimiento
- Manual

## **Abstract.**

This final degree project intended for the completion of studies in the grade of nautical and maritime transport engineering, with the title "Suezmax tanker loading and discharge operations", have the main objective in design a both operations manual and the key equipment related to this process. Set a handbook which can be a good help to crew members who arrives for the first time to a vessel whit these characteristics, giving them only one handbook with detailed explanation of chronologic evolution of every operation and the specific process carried out during operation.

This project is based on the author knowledge and experience acquired over a year on board as deck cadet on the vessel Monte Urquiola, property of Ibaizabal Tankers. Supported by the theoretical knowledge acquired during his student career in Santander nautical major technical school. The vessel wich is subject of this study is a tanker with big dimensions, carrying mostly crude oil with different characteristics, usually working on connection from de Gulf of Guinea and different European ports. A year of sea with fully experience helped by the most experienced professional part of the crew, growing up professionally and experience, finally being able to plan this operation's handbook.

In order to prepare this manual, the first step will be identifying the problem to be addressed, which is the need for a single handbook for operations and equipment. Following by establish the methodology followed by this project, added theoretical concepts about tankers and the crude oil as introduction. During development phase, explaining in detail all the equipment used for loading and ballasting, with main characteristics and how they work. Finally, a full explanation of the operations, especially focusing on how they are carried out on this vessel.

## **Keywords.**

- Tanker
- Crude oil
- Loading and discharging
- Procedure
- Handbook

# **1. Planteamiento del problema.**

Uno de los objetivos de este trabajo de fin de grado es el de analizar en profundidad como se desarrollan las operaciones de carga y descarga de un buque tanque Suezmax. Además, se busca hacer una explicación de todos los elementos y equipos con los que cuenta el buque para llevar a cabo todos los procesos a los que se enfrenta en estas operaciones. El buque que es estudio de este trabajo cuenta con los equipos más modernos del momento y que requieren una amplia cantidad de conocimientos para poder operarlos de manera conjunta con el objetivo de que las operaciones sean rápidas y seguras. Debido a la alta peligrosidad para las personas y el medio ambiente del producto que carga este buque es fundamental que las tripulaciones estén cada vez más cualificadas y tengan un mayor conocimiento de los equipos y las regulaciones, siendo este uno de los principales objetivos de la industria.

En base a mi experiencia personal a bordo de este buque durante un año como alumno de puente he podido analizar minuciosamente el desarrollo de varias operaciones, con productos de distintas características y bajo condiciones cambiantes. La tripulación cuenta con unos manuales detallados sobre las operaciones relacionadas con el tratamiento del producto, su custodia y el desarrollo de las cargas y descargas que es realizado por la compañía propietaria del buque. Para un tripulante recién llegado que no cuenta con experiencia en un buque de estas características ni en sus elementos principales este tipo de manual puede resultar confuso porque no explica en detalle los diferentes estadios de una operativa, tampoco explican cada uno de los equipos que intervienen en ella. En base a lo anterior, el segundo y principal objetivo de este trabajo es el de establecer un manual en un solo documento que abarque desde el desarrollo de las operaciones, especialmente enfocado en este buque, y cada uno de los equipos con los que el buque cuenta para hacer frente a las mismas. Los manuales concretos de cada equipo confeccionados por sus fabricantes que tienen toda la información detallada de su funcionamiento y mantenimiento son fundamentales, no obstante, con este trabajo buscamos exponer los conceptos principales de cada uno de ellos y cuál es la función que cumplen durante las operaciones. Un manual de este tipo puede ser de gran

ayuda para tripulantes que embarcan por primera vez en este buque, sirviendo de primera lectura para analizar el desarrollo de las operaciones. Tener un manual que en un solo documento abarque tanto los equipos como los procedimientos de las operaciones permite que se establezca un documento de fácil y rápido acceso para todos los tripulantes.

## **2. Metodología.**

La realización de este trabajo de fin de grado está basada en la investigación. Por un lado, una parte importante del contenido proviene del trabajo de campo desarrollado durante un año como alumno de puente a bordo del buque Monte Urquiola. A lo largo de este año colaborando en todas las tareas relacionadas con las operaciones de carga se ha podido recopilar información, para analizarla en detalle y poder plasmarla en el contenido de este trabajo. Una parte fundamental de este trabajo de campo es la de intentar añadir toda la información que profesionales altamente cualificados y con una larguísima experiencia en el sector como capitanes, jefes de máquinas, primeros oficiales y oficiales de puente me pudieron transmitir durante mi periodo de embarque como alumno de puente. También es fundamental el análisis de planos del buque, de líneas y de equipos concretos que posteriormente se verifican recorriendo todos y cada uno de los espacios del buque para entender de principio a fin la operativa de un buque tanque. Una de las principales fuentes de información para llevar a cabo este trabajo son los manuales de los equipos, de los que después de leer y analizar detenidamente se ha podido extraer la información necesaria para poder ofrecer la explicación que se ofrece.

Otra parte fundamental del desarrollo de este trabajo es la investigación en el plano teórico, apoyado siempre por los conceptos desarrollados durante los años cursados por el autor de este trabajo en la universidad de Cantabria y en los que se basan los conocimientos básicos y principales de este trabajo. Estos conceptos básicos se ven apoyados por la literatura específica del sector y que ampliamente ha sido consultada para realizar este manual. Se han consultado gran cantidad de libros y documentos, principalmente en habla inglesa, que están dirigidos a los trabajadores de la industria.

Con los conceptos anteriores que ofrece la universidad, sintetizando y analizando esta literatura externa se han desarrollado gran parte de los conceptos de este trabajo. Del mismo modo, todo el contenido de este trabajo está basado por la normativa vigente que rige el mundo marítimo y en concreto a los buques tanque. Se han consultado ampliamente publicaciones como la “Guía Internacional de Seguridad para Buques Tanques y Terminales” ISGOTT en su sexta edición emitido por la OCIMF, publicaciones IMO como “Inert Gas Systems” en su edición de 1990 o la principal publicación del mundo marítimo en todos sus ámbitos, el convenio internacional para la seguridad de la vida humana en la mar SOLAS.

La estructura de este trabajo sigue los principios de un trabajo teórico-experimental donde nos encontramos con un problema, un desarrollo y unas conclusiones. En el apartado del desarrollo vamos a analizar en profundidad, uno a uno los elementos y equipos del buque. Consideraremos cuatro áreas diferentes para estudiar los equipos del buque, haciendo referencia a los que propiamente están en contacto con el producto, como tanques o líneas, los que se engloban en el lastre, los que implicados en la inertización y por último los elementos para lavar los tanques de carga. Con todos estos puntos estudiados en detalle podemos hacer frente al punto final de conclusión de este trabajo. La conclusión se basa en la explicación definitiva de ambas operaciones, apoyándonos en los conceptos definidos con anterioridad sobre la función de los equipos del buque, iremos exponiendo paso a paso como se desarrolla una típica operación en un puerto o terminal de carga y del mismo modo con una operación de descarga. Haremos hincapié en los procedimientos a seguir y cuáles son los momentos críticos y más importantes de ambas operativas.

A continuación, completaremos este apartado de metodología ofreciendo otros conceptos claves. Una comparación de los distintos tipos de buques tanques que podemos encontrar en el sector. Haremos una descripción general del buque Monte Urquiola, en el que está basado este trabajo. Complementariamente trataremos las principales características y peligros de la carga que transporta este buque, el petróleo crudo.

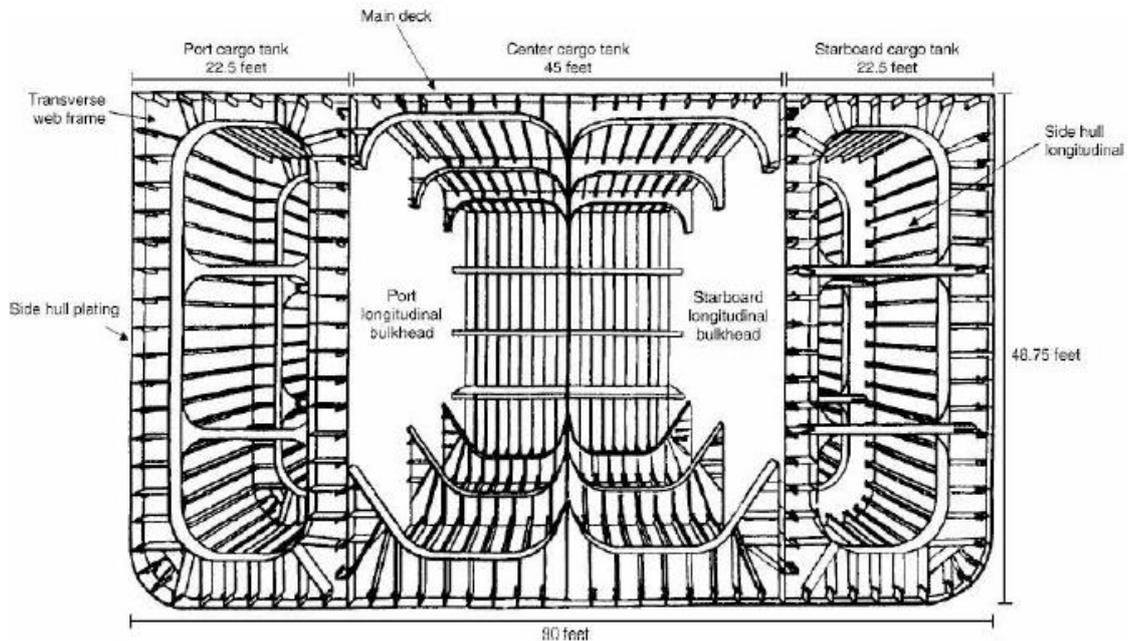
## **2.1. Características del buque.**

### **2.1.1. Buques Tanque.**

La carga a granel supone el transporte de mercancías en gran cantidad sin empaquetar ni embalar, dividiéndose en carga a granel seca o sólida y en carga a granel líquida. Un buque tanque es aquel que está especialmente diseñado para transportar cargamentos líquidos a granel. En este estudio nos centraremos en los buques tanque destinados al transporte de petróleo crudo. El paso de los años y la creciente necesidad del uso de combustibles fósiles en todo el mundo han supuesto un gran crecimiento de la industria del transporte marítimo de crudo, existiendo cada vez más buques con estas características y de diversos tipos, tamaños y especificaciones.

Durante largos periodos de tiempo los buques tanques se diseñaron siguiendo la filosofía del monocasco, es decir, los buques se diseñaban de una manera que solo contaban con el forro exterior como única separación entre el medio marino y sus espacios de carga. En este tipo de diseño de buques podemos observar que en las bodegas de carga la totalidad del espacio está pensada para albergar el producto a transportar. Lo más común en aquellos años es que los tanques contaran únicamente con una separación longitudinal a lo largo de los espacios de carga, de esta manera se separaban los tanques en parejas mitigando en cierta manera el efecto de superficies libres. Cuando hablamos de que el buque solo contaba con su “casarón” exterior no debemos obviar que estos sí que contaban con multitud de refuerzos en su estructura. A continuación, podemos ver una clásica disposición de la vista transversal de las bodegas de carga de un buque tanque en la década de los 50.

Ilustración 1: Vista transversal.

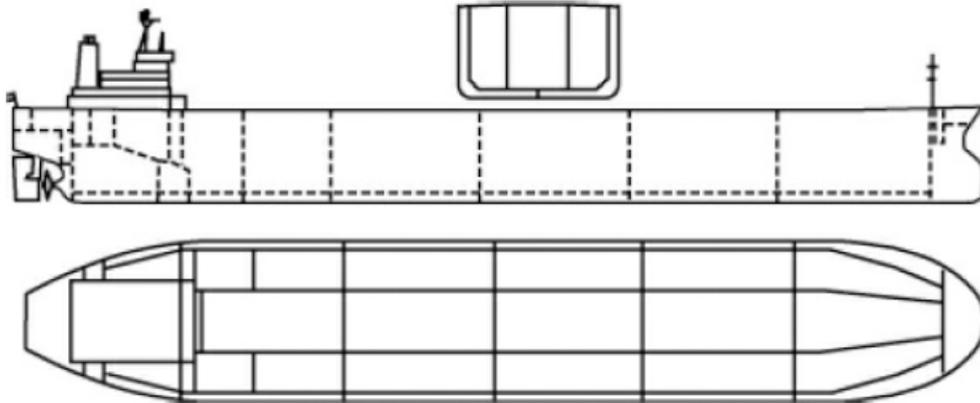


Fuente: *Tanker Operations a Handbook for the person in charge.*

Este tipo de diseño se extendió durante muchas décadas, pero el paso de los años y algunos accidentes con fatales consecuencias para el medio ambiente debido a la evidente falta de contención de la carga en caso de que se generara una pérdida en el casco del buque por distintos motivos como una colisión o una varada, obligaron a aumentar los estándares y las exigencias de los protocolos y los diseños, es entonces cuando aparecen los buques de doble casco (Hubber, 2018).

A partir de 1990 se estableció que todos los buques tanques debían contar con una estructura de doble casco para aumentar su seguridad y prevenir así los posibles vertidos derivados de un accidente. Es entonces cuando aparecen las estructuras que típicamente vemos hoy en día, en las que se extiende a lo largo del buque un “segundo casco” el cual generalmente alberga los tanques de lastre.

Ilustración 2: Vista longitudinal.



Fuente: *Tanker Operations a Handbook for the person in charge.*

En esta imagen podemos ver una configuración típica en las que los tanques de lastre se ubican en forma de L a lo largo del buque y abrigan así tanto los espacios de carga como otros espacios. De esta manera también podemos observar un efecto de compartimentado que va separando en distintos sectores los espacios del buque. Esto ha supuesto una gran evolución en la seguridad de este tipo de buques dando la capacidad de que un buque se mantenga a flote con varios compartimentos dañados parcial o totalmente. También supone una gran mejora en cuanto al riesgo de contaminación (Baptist, 2000).

En cualquier caso, la clasificación más habitual que utiliza la industria para diferenciar los buques tanque es según su capacidad de carga. Los buques se construyen con unas dimensiones más o menos similares y estandarizadas conociendo el propósito y las rutas habituales a las que se va a someter en el futuro. Se clasifican de la siguiente manera.

### **2.1.2. Costeros.**

En este grupo se encuentran englobados buques de distintas características y tamaños pero que tienen unas medidas límites que no superan. En él se incluyen desde buques que se dedican a la navegación costera y el cabotaje, buques que no suelen superar las 10.000 TPM y principalmente utilizados para el transporte de

cabotaje de crudo o productos derivados. Las máximas medidas que pueden tener este grupo de tanqueros son de:

*Tabla 1: Dimensiones.*

| <b>Eslora</b> | 97 – 140 m  |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 15 – 24 m   |
| <b>calado</b> | 4,6 – 8,6 m |

*Fuente: Propia.*

### **2.1.3. Handy Size Tanker.**

Otro tipo de buques tanques costeros son los conocidos por su nombre en inglés Handy Size Tanker, que comparten nomenclatura con buques graneleros de unas dimensiones parecidas. Son buques que suelen tener cargamentos de crudo y productos derivados, operan principalmente por las zonas del Mar Caribe, Estados Unidos, el Mar Mediterráneo o el Mar del Norte. Son buques que van desde las 15.000 TPM hasta las 25.000 TPM.

*Tabla 2: Dimensiones.*

| <b>Eslora</b> | 127 – 160 m |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 22 – 28 m   |
| <b>calado</b> | 6,5 – 9,5 m |

*Fuente propia.*

### **2.1.4. MR1 y MR2.**

Existe otro tipo de buque tanque que usualmente opera tanto con crudo como con productos derivados realizando tráfico de cabotaje. Conocido por sus siglas que en inglés significa “Medium Range”. La principal diferencia entre ambos grupos es las capacidades ligeramente superiores de los MR2. Son buques que se sitúan entre las 35.000 y los 47.000 TPM.

*Tabla 3: Dimensiones.*

| <b>Eslora</b> | 170 – 198 m |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 27 – 32 m   |
| <b>calado</b> | 11 – 13 m   |

*Fuente propia.*

### 2.1.5. Panamax.

Se clasifican con este nombre porque en su momento se ajustaban al máximo a las dimensiones que tenían las antiguas esclusas del canal de Panamá, refiriéndose a unas medidas determinadas de eslora, manga y calado. Con las posteriores renovaciones y mejoras de las dimensiones del canal, existe un grupo de buques que se ajusta en mayor medida a los requerimientos del canal, conocidos como Neopanamax.

Los buques de clase Panamax cuentan con un tonelaje máximo que ronda las 75.000 TPM, lo cual supone que cuentan con la capacidad de transportar entre los 350.000 y 500.000 barriles de crudo en sus tanques. Son buques destinados principalmente el transporte de crudo, pero también existen algunos que transportan productos derivados.

*Tabla 4: Dimensiones.*

| <b>Eslora</b> | 213 – 235 m |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 32 – 38 m   |
| <b>calado</b> | 12 – 13 m   |

*Fuente propia.*

### 2.1.6 LR1 y LR2.

En un caso similar al grupo anterior encontramos los buques conocidos como “Long Range”. Tienen un porte superior a los MR que los sitúa en dimensiones próximas a los Aframax, los buques de categoría LR se mueven entre las 55.000 y las 115.000 TPM.

*Tabla 5: Dimensiones.*

| <b>Eslora</b> | 200 – 260 m |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 32 – 45 m   |
| <b>calado</b> | 10 – 15 m   |

*Fuente Propia.*

### 2.1.7. Aframax.

Esta es una categoría de buques más concreta y no cuenta con diferentes variantes como la anterior. Los buques conocidos como Aframax transportan por lo general crudo y navegan por mares interiores como el Caribe, el Mediterráneo y el Golfo Pérsico. Son buques que superan en dimensiones a los Panamax y tienen una capacidad de carga también superior. Su peso muerto suele ir desde las 75.000 TPM y las 120.000 TPM, algo que podemos extrapolar a que su capacidad de carga es de alrededor de los 500.000 y los 800.000 barriles de crudo. Sus dimensiones son:

Tabla 6: Dimensiones.

| <b>Eslora</b> | 230 – 250 m |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 38 – 46 m   |
| <b>calado</b> | 11 – 16 m   |

Fuente: propia.

### 2.1.8. Suezmax.

Una vez más encontramos una categoría de buques que es nombrada debido a la limitación de medidas para el paso de buques por uno de los canales de navegación más importantes del mundo, el canal de Suez. El termino de Suezmax es prácticamente exclusivo de los buques tanques y viene definido principalmente por las limitaciones que tiene el canal en calado y en calado aéreo debido a la necesidad de los buques de transitar por debajo del puente conocido como Puente de la Amistad Egipcio-japonesa.

Tabla 7: Dimensiones.

| <b>Eslora</b> | 269 – 285 m |
|---------------|-------------|
| <b>Manga</b>  | 44 – 50 m   |
| <b>calado</b> | 16 – 20 m   |

Fuente: Propia.

Actualmente el canal cuenta con una profundidad máxima de 20,1 metros la cual va a suponer la principal medida de limitación de estos buques. La otra gran limitación

de estos buques es la de su DWT, oscilan entre los 80.000 TPM y su máximo se sitúa en las 166.000 TPM. Pueden cargar entre los 900.000 y 1.200.000 barriles de crudo. Es muy común su presencia en todo el mundo, pero sobre todo acudiendo a los campos de extracción situados en el oeste africano, en zonas como el Golfo de Guinea, para posteriormente transportar el crudo a Europa o Estados Unidos.

Esta es la categoría de buques tanqueros en la que se sitúa el Monte Urquiola, el buque que es objeto de este estudio.

### **2.1.9. V.L.C.C.**

Son conocidos como Very Large Crude Carrier, haciendo referencia a su gran tamaño y capacidad de carga. Generalmente este tipo de buques tanques debido a sus grandes dimensiones operan en instalaciones offshore y realizan viajes largos. Superan las 280.000 TPM y tienen un máximo que ronda las 320.000 TPM pudiendo transportar en su interior unos 2 millones de barriles de crudo.

*Tabla 8: Dimensiones.*

|               |             |
|---------------|-------------|
| <b>Eslora</b> | 330 – 340 m |
| <b>Manga</b>  | 56 – 60 m   |
| <b>calado</b> | 21 – 23 m   |

*Fuente: Propia.*

### **2.1.10. U.L.C.C.**

En similitud al caso anterior, se define por las siglas de Ultra Large Crude Carrier. Conocidos también como super petroleros, entre sus miembros más ilustres se encuentra el buque más grande jamás construido, el Knock Nevis (Ricardo Gadea, 2004). Un buque construido a finales de la década de 1970 que contaba con 458 metros de eslora, una manga de 69 metros y un calado de 24,6 metros. Tenía una capacidad de aproximadamente 4,1 millones de barriles y actualmente se encuentra desguazado.

Tabla 9: Dimensiones.

|               |       |
|---------------|-------|
| <b>Eslora</b> | 415 m |
| <b>Manga</b>  | 68 m  |
| <b>calado</b> | 23 m  |

Fuente: Propia.

Estos buques están muy limitados por su tamaño y actualmente ya son difíciles de encontrar ya que la mayoría fueron construidos entre los años 60 y 70. Son todos aquellos buques con un porte superior a las 300.000 TPM, aproximadamente 3 millones de barriles.

## 2.2. Ships particulares.

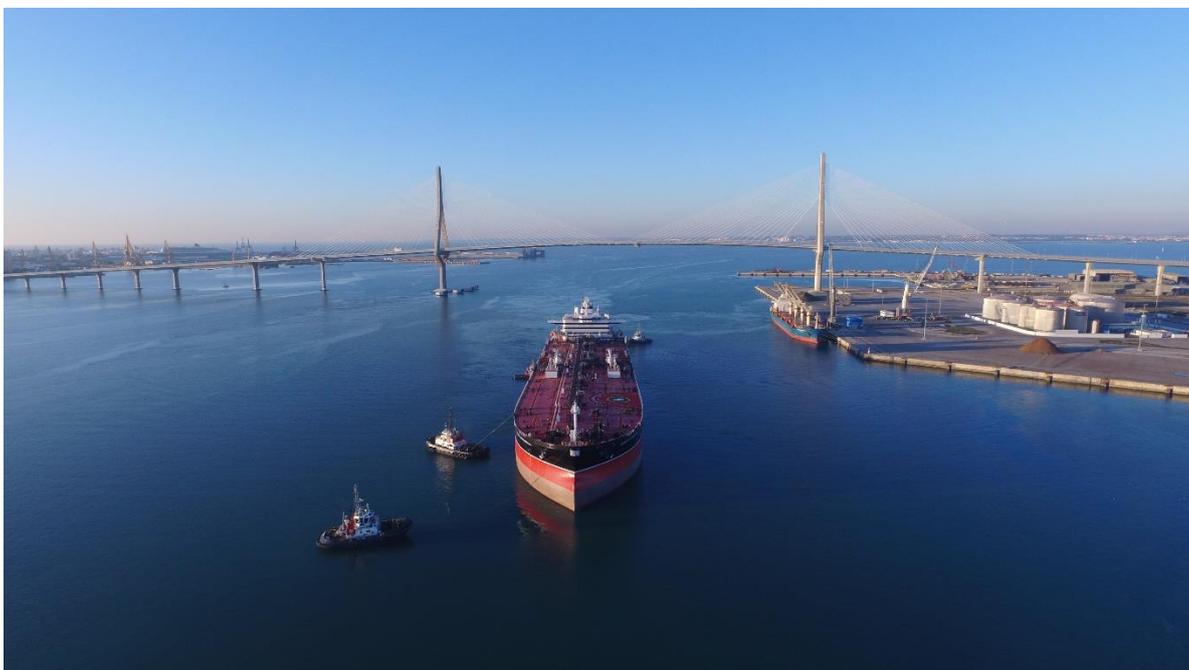
Tabla 10: Especificaciones Monte Urquiola.

| Nombre                      | Monte Urquiola             |
|-----------------------------|----------------------------|
| Call sign                   | CQIO7                      |
| Bandera                     | Portugal                   |
| Registro                    | Madeira                    |
| Numero IMO                  | 9803273                    |
| MMSI                        | 255806024                  |
| Año de construcción         | 2019                       |
| Peso muerto                 | 156331 MT                  |
| Desplazamiento en rosca     | 25194 MT                   |
| Desplazamiento de verano    | 181526 MT                  |
| Arqueo bruto                | 82908 T                    |
| Arqueo neto                 | 49232 T                    |
| Calado máximo               | 17.025 mts                 |
| LOA                         | 274 mts                    |
| LBP                         | 266 mts                    |
| Manga                       | 48 mts                     |
| Puntal                      | 23.745 mts                 |
| Altura                      | 52.13 mts                  |
| Capacidad de carga          | 1722118 m <sup>3</sup>     |
| Capacidad de lastre         | 53665 m <sup>3</sup>       |
| Capacidad de fuel oil       | 3050 m <sup>3</sup>        |
| Capacidad de diesel oil     | 1049 m <sup>3</sup>        |
| Capacidad aceite lubricante | 253 m <sup>3</sup>         |
| Capacidad agua dulce        | 377 m <sup>3</sup>         |
| Motor principal             | 15310 kW                   |
| Bombas de carga             | 3 x 4000 m <sup>3</sup> /h |
| Eductor de carga            | 1 x 650 m <sup>3</sup> /h  |

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| <b>Bomba de stripping</b> | 1 x 300 $m^3/h$  |
| <b>Bomba de lastre</b>    | 2 x 2500 $m^3/h$ |
| <b>Eductor de lastre</b>  | 2 x 350 $m^3/h$  |

*Fuente: Propia.*

*Ilustración 3: Monte Urquiola.*



*Fuente Ibaizabal Tankers.*

### **2.3. Descripción del buque.**

Como ya hemos citado anteriormente este estudio está basado en el buque Monte Urquiola. El monte Urquiola es un buque tanquero de tipo Suezmax de reciente construcción y que cuenta con los equipos más modernos y con los mayores estándares de calidad de la actualidad. El buque parte del modelo base de la compañía surcoreana Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering y es construido en el astillero español de Navantia Puerto Real, en la Bahía de Cádiz. Su construcción comenzó en febrero de 2018 ensamblando sus distintas partes. En octubre de 2018 fue puesto a flote y trasladado hasta un muelle donde continuaría con su proceso de construcción. El buque fue entregado en enero de 2019 después de la realización de las pruebas de mar, se estima que fueron necesarias unas 725.000 horas de trabajo, así como unos 2800 trabajadores.

Es propiedad del armador Ibaizabal Tankers y es el tercero de cuatro buques idénticos que el armador solicitó construir al astillero de Navantia Puerto Real. El buque tiene un contrato de larga duración con la compañía petrolera francesa Total Energies CSSA. Navega siguiendo las indicaciones de su charter y tiene capacidad para navegar por todo el mundo, siendo habitual las rutas desde el Golfo de Guinea hacia Europa o Asia.

Es un buque del tipo doble casco, tiene una eslora total de 274 metros, una manga de 48 metros y un puntal que ronda los 24 metros. Tiene un calado de verano de 17,025 metros y tiene la capacidad de albergar una tripulación máxima de 36 personas.

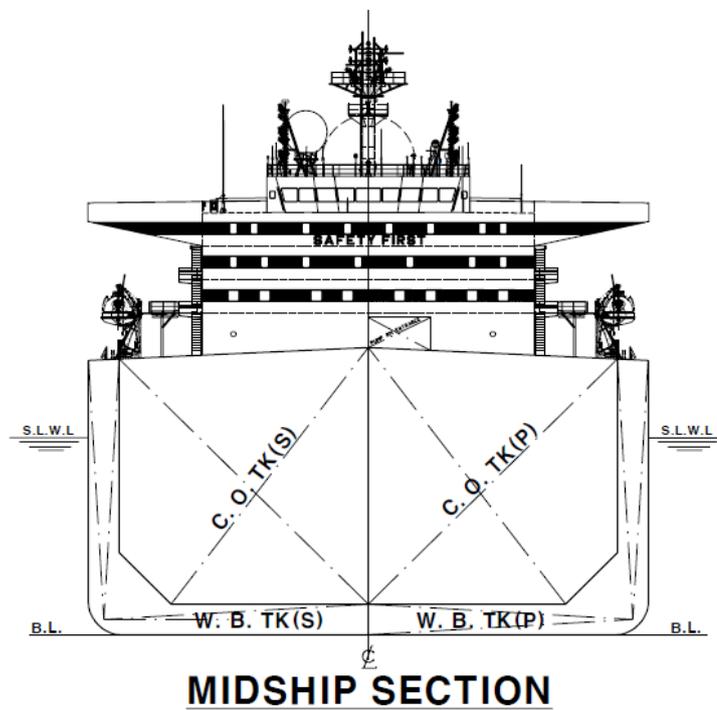
La mayoría del espacio del buque está destinada a albergar los tanques de carga, para ello el buque cuenta con 14 tanques utilizados únicamente para la carga. Los principales 12 tanques del buque están divididos en 6 parejas separados en la línea de crujía del buque por un mamparo longitudinal. Además, se cuenta con otros 2 tanques llamados Slops o tanques de decantación, también divididos longitudinalmente y de menor tamaño que los tanques principales. Los tanques principales están numerados de proa a popa del buque y complementándose con los slops pueden ser divididos por segregaciones. Cuando hablamos de segregaciones hablamos de que los tanques se dividen en grupos y cuentan con circuitos y bombas diferenciadas. Las segregaciones nos pueden ayudar a dividir la carga por fases o por productos, pero también se pueden utilizar todos a la vez. La segregación de tanques es la siguiente:

- Segregación I: tanques 1, 4 y slop de estribor.
- Segregación II: tanques 2, 5.
- Segregación III: Tanques 3, 6 y slop de babor.

Otro elemento importante del buque son sus tanques de lastre. De la misma manera que con los tanques de carga, el buque cuenta con 14 tanques de lastre que se despliegan a lo largo de la eslora del buque. Dependiendo de la situación del tanque estos van a tener distintas capacidades que vendrán dadas por las distintas formas

del casco. Cabe destacar que se cuenta con 12 tanques principales y un tanque en proa conocido como fore peak tank y otro a popa llamado after peak tank, los cuales cuentan con unas menores capacidades. El buque tiene la capacidad de albergar unos  $53665,2 m^3$  de agua de lastre dividido en todos los tanques, no de igual manera. Los tanques principales se encuentran a los costados de los tanques de carga formando una L a su alrededor, como podemos observar en la siguiente ilustración.

*Ilustración 4: Vista transversal.*



*Fuente: Planos del buque.*

En cuanto a los principales elementos de la propulsión del buque este cuenta con una sola hélice de paso fijo con 4 palas y un diámetro de 8,9 metros, fabricada por Nakashima. Un motor principal de grandes dimensiones, como es usual en este tipo de buques, de la marca Hyundai Doosan Engine modelo 6G70ME-C9.5. Este motor es de 2 tiempos reversible y es capaz de producir 15310 KW a 70,8 revoluciones por minuto. Con estas características el buque tiene una velocidad de crucero que alcanza los 14,5 nudos. Por otro lado, en la sala de máquinas se encuentran 3 motores

auxiliares de la marca Yanmar que son los encargados de llevar la electricidad a todo el buque. Son motores de 4 tiempos capaces de generar 300 KW a unas 1800 rpm.

Como no puede ser de otra manera el buque cuenta con multitud de tanques destinados a distintos objetivos. Tanques de combustible destinado a fuel oil y diesel oil, tanques de agua dulce y tanques de aceite lubricante entre otros. Dos grúas hidráulicas principales situadas en cada costado a popa de los manifolds, que son capaces de levantar hasta 20 toneladas cada una. Otras dos grúas de menores dimensiones destinadas al abastecimiento de provisiones y la descarga de distintos elementos como basuras, con una capacidad de 8 y 15 toneladas. El buque cuenta con 4 cubiertas destinadas al uso, disfrute y descanso de la tripulación. En estas cubiertas podemos encontrar la cocina, comedores, salones, los distintos camarotes del tripulación y más salas de distinto índole, como un gimnasio. El puente de gobierno se encuentra en la parte alta de la acomodación y es donde los oficiales de puente realizan la mayor parte de sus trabajos. El puente cuenta con los mejores y últimos modelos de los equipos de navegación que ayudan a los oficiales a gobernar correctamente el buque.

El resto de los espacios importantes del buque se encuentran diseminados por todo su espacio y los más importantes, empezando desde la proa son los citados a continuación. El bosun store o pañol de proa, en su interior encontramos distintos elementos de los que podemos destacar las bombas hidráulicas que suministran a las maquinillas y molinetes de proa. Continuando a popa en el costado de babor encontramos el helipuerto, que es utilizado en algunas ocasiones. Seguidamente a ambos costados y a proa de los manifolds, que ya analizaremos con más detenimiento posteriormente, se encuentran las dos casamatas. Las casamatas son pañoles destinados a estibar en su interior distintos elementos como parte del equipo anticontaminación, cabos o la canasta usada para el transporte de personal. El siguiente elemento de consideración es la cámara de bombas, que se encuentra a proa de la habitación, en su interior están parte de los principales equipos dedicados a la carga y descarga del buque, que trataremos más adelante. A popa de la cámara de bombas y debajo de la habitación se encuentra la sala de máquinas donde se

encuentra el motor principal, los auxiliares y multitud de equipos esenciales para el funcionamiento del buque. Este espacio está perfectamente operado por los oficiales de máquinas desde el control de máquinas que se encuentra en su interior. A popa de la sala de máquinas y por debajo de la cubierta principal aparece la sala donde se encuentra el servomotor, un elemento fundamental para el buque ya que se encarga de mover el timón de este. Otros espacios importantes del buque son las salas de contraincendios donde se encuentran los elementos y equipos que actuarían en caso de emergencia. La sala con el tanque de espuma FOAM de alta expansión se encuentra en la superestructura de la chimenea por el costado de estribor, y la que cuenta con los equipos de espuma FOAM de baja expansión se encuentra dentro de la habitación en la cubierta principal. La sala del motor de emergencia se encuentra en la superestructura de la chimenea por el costado de babor.

Con este apartado hacemos un resumen de las características y principales espacios del buque y a continuación adjuntamos una vista del general arrangement del buque, donde se pueden observar los distintos espacios que hemos citado.



## **2.4. Características de la carga.**

### **2.4.1. Hidrocarburos.**

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que están formados principalmente por carbono e hidrogeno, también tienen nitrógeno, azufre, oxígeno y otros elementos y compuestos. Se encuentran en gran medida en materia orgánica descompuesta por el paso del tiempo que se encuentran depositados en grandes cantidades en fondos marinos o bajo capas de sedimentos y que generan petróleo crudo. La principal carga que transporta el buque que es objeto de este estudio es el petróleo crudo.

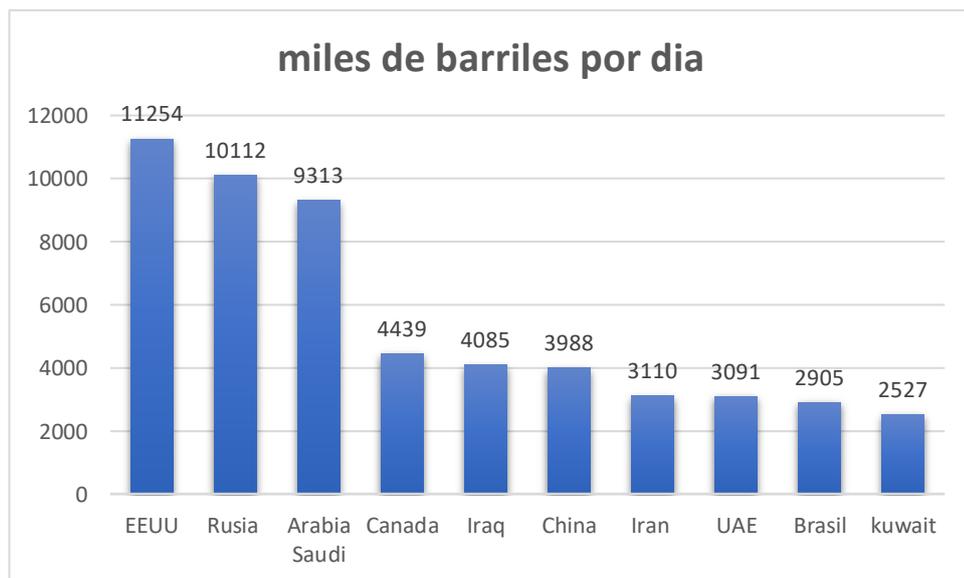
El petróleo generalmente se encuentra como un líquido oleoso bituminoso con diferentes colores, viscosidades o densidades. Se llama como “crudo dulce” al que tiene un bajo contenido de azufre, “crudo agrio” al que tiene alto contenido de azufre.

En cualquier caso, debemos contemplar dos tipos de crudo que tienen condiciones especiales a la hora de transportarlos, el crudo parafínico y el crudo aromático. El crudo parafínico es aquel que contiene más de un 6% de ceras de parafina por volumen. Este tipo de crudo tiene unas condiciones y cuidados especiales para su transporte, como por ejemplo que no son adecuados para la limpieza de tanques. Si la temperatura de una carga de este crudo baja del “cloud point” la cera de parafina comenzara a depositarse que puede que no lleguen a disolverse por sí solas y en ocasiones la temperatura necesaria para fundirlas no puede ser alcanzada por los sistemas de calefacción de la carga con los que cuenta un buque. Por otro lado, cuando hablamos de crudos aromáticos hablamos de aquellos que se componen de anillos aromáticos unidos. Tienen una gran viscosidad a temperatura ambiente, requiriendo generalmente ser calefactados. Los crudos de este tipo no depositan tanta cera como los parafínicos permitiendo así que se puedan utilizar mejor para el lavado de tanques (Bahadori, Nwaoha, & William Clarck, 2013).

## 2.4.2. El mercado internacional.

El petróleo juega un papel fundamental en la economía mundial debido a su gran variedad de aplicaciones que van desde su uso como asfalto para la construcción de carreteras a su importancia como combustible fósil en la industria o para su uso en automóviles, como gasolina después de una determinada refinación. La cantidad de dinero que genera la industria relacionada con el petróleo en todas sus fases es muy alta permitiendo así que existan países y grandes corporaciones internacionales que basan su existencia en las distintas fases del petróleo, desde su extracción, su refinado y su transporte usando entre otros medios el transporte marítimo. Esto ha permitido que existan una inmensidad de buques y empresas navieras destinadas a este tipo de carga, siendo uno de los campos fundamentales del negocio marítimo.

Tabla 11: Países productores de petróleo.



Fuente Energy Information Administration, USA

En este gráfico podemos observar cuáles eran los 10 países más productores de crudo en el año 2021 (Administration, s.f.).

## **2.5. Propiedades.**

El petróleo crudo tiene varias propiedades que tienen que ser tenidas en consideración durante los distintos procesos que se llevan a cabo durante su transporte en un buque. Trataremos a continuación distintas magnitudes.

### **2.5.1. Densidad.**

La densidad del crudo varía según su tipo y lo más común cuando se habla de densidad en el crudo es referirse a sus grados API. Los grados o gravedad API es una medida de densidad creada por el American Petroleum Institute e indica como de pesado o ligero es un crudo en comparación con el agua. Un crudo que tenga un API menor de 10 se considera extrapesado, siendo más pesado que el agua. Los crudos con API entre 10 – 22,3 se consideran pesados, entre 22,3 – 31,1 ligero y los crudos con API superior a 31,1 se consideran super ligeros (Bhanawat, 2012).

Es importante conocer la densidad de la carga que se va a transportar ya que dependiendo de esta puede ser necesario tener diferentes consideraciones a la hora de la operativa de carga, de la descarga o del posterior lavado de tanques.

### **2.5.2. Flash point.**

La inflamabilidad del crudo es una de las características más importantes de este tipo de cargas y entorno a ella giran muchos procedimientos, se utilizan multitud de equipos, se analizan propiedades y se toman las medidas de seguridad necesarias. Una de esas propiedades es el flash point o punto de inflamabilidad, que determina la temperatura más baja en la cual se emite suficiente vapor para crear una mezcla inflamable de gases en la superficie del líquido. De por sí la creación de esta mezcla de gases no debería suponer un peligro si no se presentara una energía de activación y hubiese una presencia suficiente de oxígeno, es por esto por lo que el control de la atmósfera en los tanques supone una de las piedras angulares a bordo de un tanquero. El punto de inflamabilidad se determina a través del método de taza cerrada en un laboratorio y cada líquido tiene el suyo.

Existe una manera de clasificar los distintos tipos de hidrocarburos líquidos en cuanto a su inflamabilidad agrupándolos en dos simples grupos gracias al flash point, incluido el petróleo crudo. Se puede distinguir entre “No Volátil” y “Volátil” considerando como no volátiles aquellos líquidos que tienen un punto de inflamabilidad igual o superior a los 60°C y volátiles a los líquidos con un flash point inferior a 60°C (LTD, 2009).

### **2.5.3. Pour point.**

El pour point o punto de escurrimiento, en español, es la temperatura a la que una sustancia en estado líquido deja de fluir. En el caso del crudo es importante tener esta temperatura en consideración ya que si una carga se encuentra a una temperatura inferior de su pour point puede ocasionar por ejemplo que no se pueda bombear fuera del buque. Existen crudos que pueden tener un punto de escurrimiento cercano a la temperatura ambiente, siendo el caso en que es necesaria usar la calefacción para reducir la viscosidad y que se pueda manejar con facilidad.

### **2.5.4. Punto de enturbiamiento.**

Se determina como la temperatura a la cual la cera o la parafina presentes en el crudo comienzan a generar un aspecto turbio en un hidrocarburo líquido, en inglés se conoce como cloud point. El principal problema del punto de enturbiamiento es que cuando la temperatura cae lo suficiente se comienzan a crear impurezas de parafina que no desaparecen si se vuelve a calentar el líquido, es decir son irreversibles y se acumulan.

Por lo general la mayoría de los crudos tienen un cloud point bastante bajo y no suele ser un problema tan grande, pero algunos crudos pueden tener un punto de enturbiamiento que se acerque o incluso sea superior a la temperatura ambiente, requiriendo una calefacción continua.

### **2.5.5. Presión de vapor.**

La presión de vapor es una magnitud muy importante para tener en cuenta cuando trabajamos con esta carga y está muy relacionada con la volatilidad, que es la

tendencia a pasar a fase gaseosa. La presión de vapor es la presión a la que las fases líquidas y gaseosas de un elemento se encuentran en equilibrio indicando la tendencia de un elemento a cambiar a estado gaseoso. TVP en inglés, True Vapour Pressure, es la presión ejercida por el gas de una mezcla cuando gas y líquido están en equilibrio e indica cual es la presión de vapor máxima a una determinada temperatura. Esta magnitud está muy relacionada con la temperatura y cuando esta aumenta lo hace también la presión de vapor. En caso de que la presión de vapor aumente por encima de la presión atmosférica, el elemento en cuestión tenderá a hervir.

la presión de vapor del crudo suele ser un dato que viene suministrado por los productores o terminales, utilizando el método de medición Reid, del cual obtenemos un índice de presión de vapor Reid con sus siglas en inglés RVP. El transporte de crudos con un RVP alto tiene que conllevar unas consideraciones especiales durante todo el viaje y las operativas, sobre todo cuando se va a transitar por zonas templadas con aguas cálidas.

#### **2.5.6. Viscosidad.**

La viscosidad es la medida que se refiere a la resistencia de un líquido a fluir. Por lo general los crudos con altos cloud point y pour point suelen ser los que presentan una mayor viscosidad y el transporte de este tipo de cargamentos deben tener unas consideraciones especiales y sobre las que se debe prestar especial atención.

Las propiedades descritas en los anteriores puntos y muchas otras se pueden encontrar en la información que recibe el buque por parte de los suministradores a través del Safety Data Sheet del producto. Este documento se suele recibir previamente a la llegada del buque al puerto o terminal de carga en las ordenes de carga o en los boletines con más información por parte de los responsables de estas entidades. Es fundamental que todo el personal que tiene tareas asignadas relacionadas con la operativa de carga o descarga sea conocedor de esta información.

## 2.5.7. Variedades.

Existen gran variedad de tipos de crudo, con distintas características y que requieren distintos cuidados y técnicas para trabajar con ellos con seguridad. Cada zona os de pozos de crudo suele ofrecer a los mercados internacionales una variante de este producto, con su propio nombre y sus propias características. Algunos de los principales tipos de crudo para el mercado internacional, con algunas de sus características son:

Tabla 12: Variantes de crudo.

| NOMBRE                         | API  | DENSIDAD Kg/l | POUR POINT | WAX POINT | VISCOSIDAD | LOCALIZACION                      |
|--------------------------------|------|---------------|------------|-----------|------------|-----------------------------------|
| <b>West Texas Intermediate</b> | 39,3 | 0,8280        | -18C       | 20C       | 4,90/20C   | Texas, Estados Unidos de America. |
| <b>Brent Blend</b>             | 37,9 | 0,8350        | -3C        | 22C       | 4,47/30C   | Mar del norte.                    |
| <b>Dubai Export</b>            | 30,4 | 0,8735        | -30C       | 13C       | 13,7/20C   | Emirtatos Arabes Unidos.          |
| <b>Rabi blend</b>              | 33,0 | 0,8595        | 33C        | 41C       | 32,2/30C   | Gamba terminal, Gabon.            |
| <b>Sururu</b>                  | 28,4 | 0.8845        | -15C       | N/A       | 11.8/50C   | Brazil                            |
| <b>Egina crude oil</b>         | 27,3 | 0,8905        | -21C       | N/A       | 7,2/50C    | Egina FPSO, Nigeria.              |
| <b>Azeri BTC</b>               | 35,2 | 0,8485        | -21C       | 30C       | 6,35/40C   | Ceyhan, Turquia.                  |
| <b>CPC blend</b>               | 43,3 | 0,8090        | -30C       | 16C       | 3,03/20C   | Novorossiysk, Rusia.              |

Fuente propia.

Los tres tipos principales para el mercado son el West Texas Intermediate, el Brent Blend y el Dubai Export, tambien conocido como UAE Dubai crude. La importancia de estos tres tipos de crudo se basa en que son utilizados por los brookers y las compañías para establecer el precio del barril en el mercado, es decir, el precio del resto de productos se marca en base a estas tres variantes. El crudo WTI es la referencia utilizada por los mercados del continente americano, mientras que el Brent se utiliza como referencia para el mercado europeo y el Dubai Export para los mercados englobados en los países que forman parte de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Los otros tipos de crudo añadidos en esta tabla son algunos de los cargados habitualmente por el buque que es objeto de este estudio. Destacando el CPC blend, un crudo de origen kazajo que proviene de pozos del Mar Caspio y se transporta por oleoducto hasta la terminal de Novorossiysk en el Mar Negro. Podemos ver los diferentes grados API de estas variantes, que nos sitúa al CPC

blend como un crudo super ligero y el Egina crude oil, procedente de los campos de extracción del Golfo de Guinea, como el crudo más pesado de todos los añadidos en la lista.

## **2.6. Peligros.**

En este apartado abordaremos los principales peligros presentes en el transporte por vía marítima de hidrocarburos líquidos, pero centrándonos en el petróleo crudo. Los peligros derivados del transporte del crudo están íntimamente relacionados con las propiedades de esta materia prima y como se ve afectada por las actividades normales del buque.

Principalmente hablaremos sobre los peligros derivados de la alta inflamabilidad del crudo y de su capacidad para generar gases altamente tóxicos para el ser humano. Es sencillo comprender que una vez finalizadas las tareas de carga/descarga y durante el viaje muchas de las tareas del buque y de su tripulación es la de controlar estos factores para que no se desarrollen situaciones que puedan ser peligrosas para el buque, la tripulación y el medio ambiente.

### **2.6.1. Inflamabilidad.**

El petróleo crudo es altamente inflamable, pero existen medidas altamente efectivas para controlar este factor. Estas medidas se basan principalmente en romper el triángulo del fuego en alguna de sus partes. Sabemos que para que se produzca el fuego hacen falta tres elementos principales, que son un combustible, presencia de oxígeno y una energía de activación. En nuestro caso el combustible es el crudo presente en el interior de un tanque de carga, el oxígeno se encuentra en mayor o menor medida también en el interior del tanque y una energía de activación se puede dar por distintos motivos.

Ilustración 6: Triángulo del fuego.



Fuente: MClproteccion.com

Como hablábamos en el punto anterior, cuando los hidrocarburos alcanzan una temperatura determinada, conocida como Flash Point, comienzan a emitir gases inflamables. Para que estos gases supongan un peligro real tienen que alcanzar una determinada concentración en la atmósfera que queremos controlar, en nuestro caso el interior de los tanques de carga. Si la mezcla de gases y aire no se encuentra dentro de unos límites no supone un peligro para la generación de un incendio, estos límites se conocen como límites de inflamabilidad.

El límite inferior de inflamabilidad, LFL, es la concentración mínima de gases de hidrocarburos en la que con el suficiente contenido de aire se genera una mezcla capaz de arder y propagarse. El límite superior de inflamabilidad, UFL, es la concentración de hidrocarburos sobre la que no existe suficiente aire para que la atmósfera sea capaz de mantener la creación de un incendio. Estos límites que expresan la concentración por volumen se expresan como porcentaje por volumen. Es comprensible que una de las principales medidas de protección de estos buques suponga la de conseguir que la atmósfera de un tanque no se encuentre en ningún momento dentro del rango dividido entre estos dos límites.

Los distintos tipos de líquidos hidrocarburos se pueden representar con sus propios límites que ya se encuentran tabulados y sobre los que se trabaja, pero en el ISGOTT podemos encontrar los límites del propano, butano y pentano.

Tabla 13: Límites de inflamabilidad.

| Límites de inflamabilidad en % en volumen de gases de hidrocarburos en aire |     |     |
|---|-----|-----|
|   | UFL | LFL |
| <b>Propano <math>C_3H_8</math></b>  | 9,5 | 2,2 |
| <b>Butano <math>C_4H_{10}</math></b>  | 8,5 | 1,9 |
| <b>Pentano <math>C_5H_{10}</math></b>                                       | 7,8 | 1,5 |

Fuente: ISGOTT

En cualquier caso, lo correcto es trabajar con un diagrama más detallado que suele estar a disposición de la tripulación según los distintos cargamentos que pueda transportar el buque y sobre el cual se pueden hacer mejores estimaciones de atmósferas seguras. Lo normal es que se establezca la política de que se sitúe el LFL al 1% y el UFL al 10% pero esto dependerá de cada carga. Estos límites también se deben revisar si se va a proceder a otras actividades como pueda ser la entrada en un espacio de carga (OCIMF, ICS., 2020).

Por otro lado, la concentración de oxígeno en el interior de un tanque también es uno de los pilares fundamentales a la hora de luchar contra la posibilidad de que se genere un incendio en estos espacios. En los diagramas que comentamos anteriormente también se suele tener en cuenta la presencia de oxígeno, ya que una atmosfera solo será peligrosa cuando tiene una concentración mínima o máxima de oxígeno. Conocemos que una atmósfera en condiciones normales contiene un 21% de oxígeno, pero no podemos mantener esta concentración en el interior de un tanque.

En el buque contamos con los equipos necesarios para bajar la concentración de oxígeno a un límite que no sea peligros, el principal de estos equipos es la planta de gas inerte que ya comentaremos más adelante. Se conoce que una atmósfera con menos del 11% de oxígeno ya no supone un peligro, pero aun así las normas generales establecen que no se supere una concentración superior al 8% de oxígeno en el interior de un tanque. Para más seguridad se suele mantener este valor por debajo del 5% menos cuando se va a proceder a la entrada de un tanque.

El siguiente y ultimo lado del triángulo del fuego es la energía de activación. Este factor también está presente en los procesos de los buques y como no podía ser de otra manera se busca que desaparezca para así evitar el riesgo de incendio. Lo normal

es que la energía de activación se presente en forma de la aparición de una chispa que sea el detonante de un incendio. La aparición de la energía de activación puede tener varias vías.

Por un lado, tenemos que hablar de las fuentes de ignición mecánica, las cuales están derivadas de posibles fricciones o compresiones que ocurran en las inmediaciones de un espacio que cuente con una atmosfera peligrosa. El uso de determinada maquinaria o herramientas es uno de los principales factores de riesgo que pueden derivar en la aparición de una chispa. Por este motivo los llamados “trabajos en caliente” no se pueden realizar en cualquier parte del buque ni en cualquier momento, están fuertemente controlados por la tripulación, por los procedimientos de la compañía y por la legislación que regula estos buques. Podemos determinar que la presencia de este tipo de fuentes de ignición está altamente controladas a bordo y se hace mucho énfasis en que no se produzcan las situaciones que son potencialmente peligrosas.

Tenemos que valorar de manera más concienzuda la electricidad estática como una posible fuente de ignición que produzca un incendio en el buque. La electricidad estática aparece cuando un elemento que está compuesto por un material conductor se carga eléctricamente en exceso. Cuando dos elementos que tienen un potencial eléctrico distinto entran en contacto se produce entre ellos una corriente eléctrica repentina que se conoce como descarga electrostática. Una descarga de este tipo puede generar la aparición de una chispa que como ya sabemos en una atmosfera peligrosa puede ser la causante de un incendio. Los peligros de la electricidad estática pueden aparecer en varias de las actividades que se realizan en el buque. Especialmente relevantes son las actividades derivadas de las operaciones de carga y descarga del crudo, pero también la limpieza de tanques, el uso de sondas o los procesos de tomas de muestras de la carga o de la atmósfera del tanque.

Podemos diferenciar el proceso que se sucede en una descarga electrostática en tres diferentes estados. El primero de ellos es el de la separación de carga eléctrica que sucede en la interfaz de dos materiales distintos, tanto solidos como líquidos. En la

interfaz una de las cargas se va a desplazar de uno de los materiales al otro manteniéndolos así cargados con distinto tipo de cargas. Si los dos materiales se mantienen juntos inmóviles el riesgo de descarga es pequeño, el problema se presenta cuando los materiales se desplazan entre sí, separándose así las cargas e incrementando el voltaje diferencial entre ellos. Esto puede ocurrir cuando un líquido fluye por un conducto, la salpicadura de un líquido contra una superficie sólida o el desplazamiento de burbujas de gas dentro de un líquido.

El segundo estado sería el de la acumulación de carga. En esta parte del proceso las cargas que estaban separadas van a tender a unirse de nuevo y así neutralizarse entre ellas. Cuando uno o ambos materiales son poco conductores tienden a mantener en ellos la carga durante un periodo de tiempo impidiendo así que se reúnan las cargas. Cuanto menos conductores son los materiales mayores es el periodo de tiempo en el que no se reúnen las cargas. Por otro lado, los materiales que son buenos conductores tienen la capacidad de que las cargas pueden reunirse con facilidad entre sí. Este intercambio tan rápido de cargas se puede reducir si el material que es altamente conductor es aislado mediante un material poco conductor.

El último proceso es el de la descarga electrostática que se producirá cuando un material que esté altamente cargado interactúe con otro material generando un flujo de recombinación repentino produciendo calor que en una atmósfera peligrosa puede causar un incendio. Generalmente es complicado controlar que no se produzcan estas descargas por ejemplo en el interior de un tanque de carga por lo que es mucho más efectivo realizar un buen control de la atmósfera evitando que sea inflamable. Las descargas se presentan de diferentes maneras como por corona, por inducción, por arco, etc. Una descarga entre dos materiales conductores genera una chispa de grandes proporciones mientras que una entre un material conductor y otro no conductor será de menores proporciones ya que el segundo actúa como aislante.

También se deben considerar las fuentes de ignición derivadas de reacciones químicas que se pueden producir en los espacios de carga. Por ejemplo, el transporte de determinados tipos de crudo con alto contenido de ácido sulfhídrico  $H_2S$  es uno

de los casos más comunes. El ácido sulfhídrico al reaccionar con el óxido presente en las superficies de los tanques genera sulfuro de hierro pirofosfórico  $FeS$ . El sulfuro de hierro se calienta en contacto con el aire pudiendo provocar una fuente de ignición en una atmósfera peligrosa.

### **2.6.2. Gases tóxicos.**

El crudo está compuesto por distintos elementos orgánicos y en ocasiones y bajo determinadas condiciones estos se pueden presentar en forma gaseosa. Durante los distintos procesos del transporte por vía marítima del crudo es fundamental el conocimiento de estos gases y el efecto que estos tienen sobre el medio ambiente y sobre la vida de las personas ya que pueden ser fatales. La presencia de compuestos como el ácido sulfhídrico  $H_2S$ , el benceno  $C_6H_6$  o los mercaptanos son algunos de los gases más comunes que podemos encontrar y sobre los que hay gran cantidad de precauciones y procesos ya que estar en contacto con ellos puede ser letal. Estos elementos pueden afectar a los humanos a través de la exposición de gases, pero también a través de su ingesta o por vía ocular. Centrándonos en los riesgos de exposición por inhalación de gases debemos determinar que estar en contacto con estos gases puede producir distintos síntomas según la cantidad de la exposición, siendo leve a bajos niveles de exposición y fatal cuando se supera un determinado umbral (Devold, 2013).

La exposición de un tripulante a los gases de hidrocarburos se manifiesta de diferentes maneras, dependiendo naturalmente del tiempo de exposición y de la concentración de estos gases. En bajas concentraciones produce dolor de cabeza, irritación ocular y una disminución de la responsabilidad en un estado parecido a la ebriedad. En concentraciones superiores aparece la parálisis y la muerte. La toxicidad varía según la concentración de hidrocarburos o según sea la presencia de componentes aromáticos como el benceno o el ácido sulfhídrico. En el ISGOTT podemos encontrar la siguiente tabla, en la que se relaciona concentraciones y los típicos efectos que generan en las personas. Los datos de esta tabla son relativos a la gasolina, pero se puede usar como ejemplo.

Tabla 14: Efectos en distintas concentraciones.

| Concentración                 | %LFL | Efectos 0.0   |
|-------------------------------|------|---|
| <b>0.05% vol. (500 ppm)</b>   | 5    | Irritación ocular después de 1 hora.  |
| <b>0.1% vol. (1,000 ppm)</b>  | 10   | Irritación ocular en menos de 1 hora.   |
| <b>0.2% vol. (2,000 ppm)</b>  | 20   | Irritación ocular, de vías respiratorias y mareos en menos de media hora.                       |
| <b>0.7% vol. (7,000 ppm)</b>  | 70   | Síntomas de ebriedad en menos de 15 minutos.  |
| <b>1.0% vol. (10,000 ppm)</b> | 100  | Rápido estado de ebriedad con posible pérdida de conciencia y muerte si continua la exposición. |
| <b>2.0% vol. (20,000 ppm)</b> | 200  | Parálisis y muerte muy rápida.  |

Fuente: ISGOTT

El ácido sulfhídrico  $H_2S$  es muy tóxico, corrosivo e inflamable y está habitualmente presente en todos los cargamentos de crudo en diferentes concentraciones. En el momento de la extracción muchos crudos contienen una alta concentración de  $H_2S$  que se va reduciendo durante los procesos posteriores y previos a la llegada hasta el buque, en cualquier caso, es habitual que los cargamentos que llegan a los buques tengan una concentración considerable de  $H_2S$ . Por estos motivos es uno de los tóxicos que más se controlan a bordo. Su presencia en el ambiente es fácilmente reconocible por su característico olor a huevos podridos. Es un elemento bastante soluble y se elimina con facilidad tras un lavado efectivo con agua.

El ácido sulfhídrico se mide con ppm por volumen en la atmósfera y con ppm por peso cuando se mide su concentración en un líquido. El ISGOTT usa como ejemplo que un crudo con 70 ppm en estado líquido puede producir una concentración de 7000 ppm en estado gaseoso.

Cabe recordar que a pesar de su característico olor después de una determinada exposición se inhibe el sentido del olfato, por lo que el olfato jamás se puede usar como fuente fiable para determinar la presencia de este compuesto. En la siguiente tabla determinamos los principales efectos que tiene el  $H_2S$  a distintas concentraciones.

Tabla 15: Efectos H<sub>2</sub>S.

| Concentración (ppm por volumen) | Efectos  |
|---------------------------------|--|
| <b>0.1 – 0.5 ppm</b>            | Detectable al olfato.  |
| <b>10 ppm</b>                   | Nausea y mínima irritación ocular.   |
| <b>25 ppm</b>                   | Irritación ocular y de vías respiratorias.                                   |
| <b>50 – 100 ppm</b>             | Principio de pérdida de olfato y una alta exposición puede causar la muerte. |
| <b>150 ppm</b>                  | Pérdida de olfato en 2 – 5 minutos.  |
| <b>350 ppm</b>                  | Muerte por exposición de 30 minutos.   |
| <b>700 ppm</b>                  | Pérdida de conciencia y muerte en pocos minutos.                             |
| <b>Más de 700 ppm</b>           | Muerte rápida.   |

Fuente: ISGOTT

Las compañías tienen una gran cantidad de procedimientos preventivos que se deben de seguir ante la presencia del H<sub>2</sub>S en un buque. El uso de detectores personales de gas para todo tripulante que se encuentre en cubierta es una práctica habitual cuando se superan determinadas concentraciones. También se suele llevar a cabo un control de la atmósfera en la habilitación del buque o en el puente para detectar la presencia de este compuesto en las zonas comunes del buque.

Por su parte los mercaptanos son un grupo de compuestos que suelen estar formados por azufre e hidrógeno además de otros elementos se generan por la degradación de organismos naturales, es incoloro, pero con un olor peculiar, el cual se relaciona generalmente al de la col en estado de putrefacción. Están presentes como gases derivados de algunos tipos de crudos y suele aparecer en lugares con la presencia de agua de mar como puede ser un tanque de lastre con una fuga de carga o un cuando residuos oleosos se mezclan en tanques con agua. También pueden aparecer en los vapores resultantes de la mezcla de pentano y carga. Sus efectos en las personas son muy parecidos a los del H<sub>2</sub>S, apareciendo la irritación ocular y del aparato respiratorio. La exposición a una concentración muy alta puede producir la pérdida de conciencia. (OCIMF, Guidelines for the protection of personnel from exposure to benzene vapours, 1995)

El benceno C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> es el otro de los principales gases tóxicos de los que realizamos una especial observación a bordo. El benceno es un hidrocarburo aromático que está

presente en multitud de tipos de crudos, es muy tóxico y generalmente requiere especiales medidas de protección cuando se detecta su presencia en una carga. Es un gas incoloro, altamente inflamable y cancerígeno. Es un producto químico muy común que también es usado en industrias para la fabricación de diversos materiales, podemos encontrarlo también de manera natural en los gases emitidos por los volcanes o por incendios forestales. La exposición al benceno en niveles bajos puede producir mareos o taquicardias, pero su exposición a largo plazo puede causar efectos nocivos en la médula ósea, hemorragias y daños en el sistema inmunitario. Respirar niveles altos de benceno puede causar la muerte. Tiene unos límites de exposición que se deben cumplir en todo momento, a pesar de esto, la exposición continuada puede provocar leucemia, incluso a pocas partes por millón.

Las operaciones con cargamentos en los que se detecta la presencia del benceno se deben realizar siempre con sistemas cerrados para evitar la presencia de este elemento en cubierta.

Debido a la toxicidad que presentan los distintos gases que hemos comentado anteriormente, las instituciones y compañías del mundo marítimo han creado distintos niveles de exposición para las tripulaciones y personal de tierra que está en contacto con estos elementos durante los distintos procesos del transporte de hidrocarburos por mar.

Se usan a modo de referencia y establecen unas condiciones determinadas a las que las personas pueden realizar sus actividades normales y otras condiciones en las que no. Estos niveles se han establecido por consenso y en base a la experimentación científica de la siguiente manera:

- TLV – Threshold Limit Value (valor umbral límite): Es una magnitud que tiene como objetivo expresar la concentración de una sustancia en la atmósfera a la que las personas pueden estar expuestas durante periodos de tiempo continuados sin sufrir efectos negativos sobre la salud.
- TLV-TWA – Threshold Limit Value – Time Weighted Average (valor umbral límite, media ponderada en el tiempo): Es la concentración a la que una

persona se puede exponer en una jornada de trabajo normal, establecida en 8 horas.

- TLV-STEL – Threshold Limit Value – Short Time Exposure Limit (valor umbral límite – límite corto de exposición): concentración a la que las personas pueden estar expuestas durante un periodo corto de tiempo, nunca más de 15 minutos.
- TLV-C – Threshold Limit Value-Ceiling: Máxima concentración permitida.

Para trabajar de forma correcta con los umbrales TLV se debe conocer el estado de la atmósfera en la que se van a utilizar, es decir, previamente se debe realizar una medición de la atmósfera para conocer la concentración de gases presente en ella y así poder aplicar el umbral más adecuado.

Tabla 16: Valores umbrales.

|                 | Hidrocarburos | Ácido sulfhídrico | Benceno  |
|-----------------|---------------|-------------------|----------|
|                 | HC            | $H_2S$            | $C_6H_6$ |
| <b>TLV-TWA</b>  | 1% LFL        | 5 ppm             | 0,5 ppm  |
| <b>TLV-STEL</b> | 2% LFL        | 15 ppm            | 2,7 ppm  |

Fuente: Manual Operaciones del Buque

Es habitual trabajar con las concentraciones que aparecen en la tabla superior. En los buques se cuenta con distintos equipos y elementos capaces de determinar la presencia de un componente tóxico en la atmósfera, como por ejemplo los tubos Dragger, los detectores personales o los detectores fijos, que analizaremos en otro apartado. Utilizaremos estos equipos para determinar la concentración de gases en un espacio determinado y así poder aplicar el límite de tiempo adecuado para la realización de un trabajo, o no permitirlo en ningún caso.

### **3. Desarrollo.**

#### **3.1. Elementos de carga y descarga.**

En este apartado vamos a abordar con detenimiento los distintos elementos que interfieren en los procedimientos de carga y descarga en el buque tanque Suezmax Monte Urquiola. Analizaremos sus principales características técnicas y cómo funcionan.

##### **3.1.1. Tanques de carga.**

Los tanques de carga son los espacios destinados para albergar en su interior el cargamento durante su transporte. Para realizar esta tarea de manera adecuada tienen unas características concretas acorde con la última legislación y los últimos avances en materia de seguridad. Como citábamos anteriormente el buque cuenta con 14 tanques de carga, 6 parejas de tanques principales y 2 tanques de decantación de menores dimensiones.

Los tanques comienzan inmediatamente después de la cámara de bombas en torno a la cuaderna 53 y terminan justo a popa del fore peak tank en la cuaderna 96. Están separados del forro exterior por los tanques de lastre, característica principal de los buques con doble casco. Están separados en la línea de crujía por un mamparo longitudinal, que los divide en parejas.

Es importante volver a mencionar que los tanques se encuentran divididos en segregaciones, algo que facilita el proceso de cargar y descargar el crudo del buque, pudiendo hacerlo a distinto ritmo entre estas segregaciones, por ejemplo. Como citamos anteriormente las distintas segregaciones son los tanques 1, 4 y slop de estribor como segregación I, los tanques 2 y 5 como segregación II y los tanques 3,6 y slop de babor como segregación III. La segregación de tanques también juega un papel importante al final de la descarga, cuando se produce el lavado con crudo. La capacidad total que tienen los tanques del buque al 100% es de  $175630.6m^3$  y de  $172118m^3$  al 98%, siendo esta segunda cifra la más común a la hora de cargar, debido a que los tanques se suelen dejar al 98% de su capacidad. Estas cifras suponen que el

buque suele transportar una cantidad que ronda 1 o 1,1 millón de barriles de crudo. A continuación, mostramos la capacidad de cada tanque al 98% en  $m^3$  y la disposición de segregaciones:

*Ilustración 7: Capacidades tanques de carga.*



*Fuente: Planos del buque.*

Los tanques de este buque cuentan con unas medidas considerables, la altura desde el fondo hasta la cubierta es de 22,16 metros en los tanques principales y de 21,60 metros en los tanques slop. Para hacernos una idea del tamaño tan grande de estos tanques podemos estimar que en el interior de ellos cabe un edificio de unas 8 plantas. Los tanques tienen una forma simétrica entre cada pareja en la que destaca una ligera caída en la parte alta del tanque, coincidiendo con la cubierta del buque. Su forma no es la de un cuadrado uniforme, sino que debemos destacar que en su interior la esquina inferior que se encuentra a lo largo de los costados sigue una forma de chaflán. No es así en la unión del plan del tanque y el mamparo longitudinal, la cual consiste en un ángulo recto.

A nivel de cubierta los tanques de carga cuentan con distintos elementos, como las tapas de acceso que se encuentran cerradas en todo momento y que dan paso a las escalas que hay en el interior de los tanques. Normalmente estos accesos solo se usarán cuando el buque está en dique, si es necesaria una inspección o una reparación de urgencia y siempre y cuando se haya realizado una operación de gas

free de manera correcta y controlada. Además, los tanques tienen otros elementos que definiremos más adelante como las tapas de sonda o los llamados tank radar.

### **3.1.2. Líneas de carga.**

Llamamos líneas de carga a los principales conductos que recorren el buque por distintos espacios con el fin de conectarlos y así poder cargar y descargar el buque. Los principales elementos que conectan las líneas de carga son los manifolds, la cámara de bombas y los tanques de carga. Estas líneas crean un complejo entramado por todo el buque que requiere de tiempo y dedicación para familiarizarse por completo con él.

Podemos diferenciar entre las líneas de carga que circulan sobre la cubierta y las que circulan bajo ella. Sobre la cubierta encontramos 3 líneas principales, que coinciden con las 3 segregaciones del buque, conectan los manifolds con la cámara de bombas, utilizados principalmente para descargar el buque. También sobre la cubierta encontramos que estas líneas principales tienen una división que atraviesa la cubierta y se dirigen directamente a los tanques, son las conocidas como caídas. Las caídas se utilizan durante la carga del buque, ya que este no utiliza las bombas para este proceso. Por otro lado, bajo cubierta encontraremos las líneas que conectarán los distintos tanques, con la cámara de bombas y posteriormente con las líneas de cubierta utilizadas en el proceso de descarga.

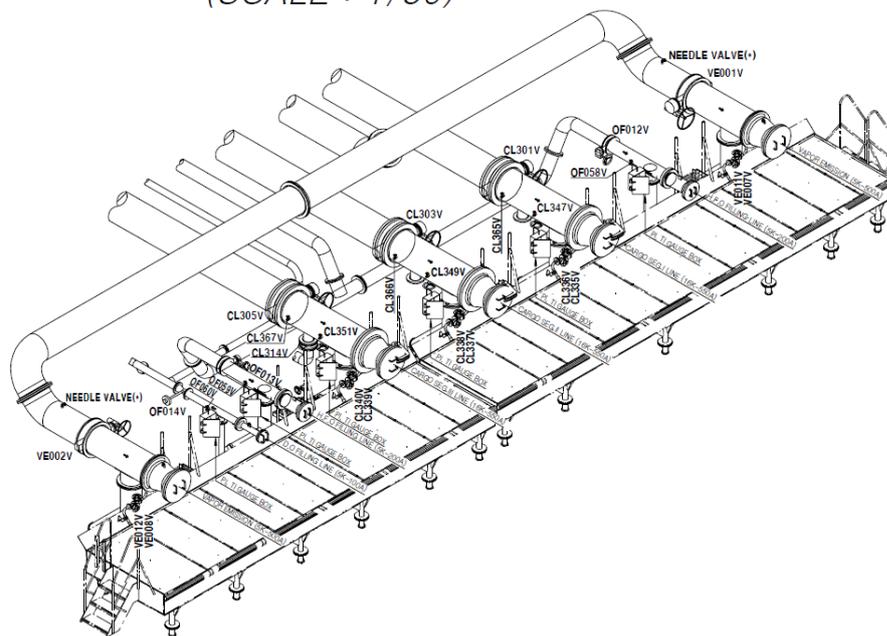
En cuanto a las dimensiones principales de las líneas de carga debemos distinguir nuevamente entre las que se encuentran sobre cubierta y las que se encuentran atravesando el interior del buque. Las líneas sobre cubierta se encuentran instaladas a una altura de 1,82 metros apoyadas sobre distintos soportes durante todo su trayecto. Tienen un diámetro interior de 550 milímetros siendo fácilmente reconocibles en cubierta por ser las de mayor tamaño. El diámetro de las líneas cuando van por el interior del buque es superior, siendo 650 milímetros.

### 3.1.3. Manifolds.

El manifold o colector es un elemento fundamental en un buque tanque, tiene la importante misión de ser la unión entre el buque y los distintos elementos exteriores que intervienen en las operaciones de carga y descarga o en las operaciones de toma de combustible que habitualmente realizan los buques. El buque que es objeto de este estudio cuenta con 2 colectores situados en cada costado, con el fin de tener la posibilidad de atracar por cualquiera de los dos costados o que se abarloe una embarcación por ambos costados. Por otro lado, siguiendo las recomendaciones de la industria ambos manifolds se encuentran a la mitad de la eslora del buque a 137 metros de proa y de popa.

*Ilustración 8: Plano manifold.*

#### *ISO VIEW OF MANI FOLD (SCALE : 1/50)*



*Fuente: Planos del buque.*

En los colectores encontramos un conjunto de distintos elementos, no únicamente las líneas de carga, debido a la importante misión que tiene como unión entre el

buque y el exterior. Comenzando de proa a popa encontramos una línea conocida como retorno de vapor de 500 mm, una línea de suministro de diesel oil de 100 milímetros, una línea de suministro de high fuel oil de 200 milímetros, seguidas por las 3 líneas principales de carga, otra línea de high fuel oil y por último otra línea de retorno de vapor. Las distintas conexiones que encontramos en el manifold se encuentran sobre una estructura de bandeja que va a hacer el papel de contención de pequeños excedentes que se puedan producir a la hora de la conexión, también es la primera medida de protección con la que cuenta el buque en caso de un vertido que se produjera en el propio colector. Estas bandejas cuentan con un drenaje que va directamente a los tanques 4 de cada costado. En el entorno del manifold también encontraremos distintos manómetros para controlar presiones en las distintas líneas, así como distintas válvulas y drenajes.

Un elemento importante del buque que no es propiamente del colector pero que normalmente está presente en él son las distintas reducciones de conexión. El buque cuenta con varias reducciones distintas siguiendo las recomendaciones del OCIMF (OCIMF, Recommendations for oil tanker manifolds and associated equipment, 1991). Las reducciones sirven para adaptar los diámetros de las líneas a las distintas líneas que tengan los agentes externos, por ejemplo, las terminales. Las reducciones en pulgadas con las que cuenta el buque son las siguientes:

*Ilustración 9: Reducciones.*

| Línea                        | 1/2     | Cantidad |
|------------------------------|---------|----------|
| Reducción principal de carga | 22"/16" | 6        |
| Reducción reserva de carga   | 22"/12" | 3        |
| Reducción reserva de carga 2 | 22"/10" | 3        |
| Reducción reserva de carga 3 | 22"/8"  | 3        |
| Reducción retorno de vapor   | 500/16" | 4        |
| Reducción retorno de vapor 2 | 500/12" | 2        |

|   |         |   |
|---|---------|---|
| <b>Reducción retorno de vapor 3</b>     | 500/10" | 1 |
| <b>Reducción línea de combustible</b>   | 8"/8"   | 4 |
| <b>Reducción línea de combustible 2</b> | 8"/12"  | 1 |
| <b>Reducción línea de combustible 3</b> | 8"/10"  | 1 |
| <b>Reducción línea de combustible 4</b> | 8"/6"   | 1 |

*Fuente: Planos del buque.*

### **3.1.4. Cámara de bombas.**

En este apartado nos detenemos en uno de los espacios donde más cosas suceden, donde más equipos y elementos podemos encontrar, es decir, uno de los corazones de un buque tanque, la cámara de bombas. Se encuentra a proa de la habitación y cuenta con 4 niveles que van desde la cubierta principal, donde se encuentra el acceso, hasta prácticamente el plan del buque. Iremos definiendo brevemente lo que podemos encontrar en cada nivel, ya que muchos de sus equipos ya los comentaremos por separado en otros apartados.

Comenzando por el acceso situado en la cubierta principal del buque encontramos distintos elementos de seguridad como el pulsador de la alarma conocida como “de hombre muerto”. Otro pulsador importante que encontramos en este nivel es uno de parada de emergencia de las bombas de carga, que permite parar las bombas sin tener que acceder a la cámara de bombas. Este tipo de pulsadores se puede encontrar en otras localizaciones del buque.

Continuando al siguiente nivel encontramos por un lado la bomba de vacío de los separadores. Este equipo tiene la misión de recoger los gases que los separadores no permiten que accedan a las bombas de carga. Estos gases que generalmente están mezclados con algo de crudo se separan en un tanque adjunto. También podemos observar un equipo encargado de calentar el crudo que se va a usar para las tareas de limpieza con crudo. Tiene una admisión que viene desde los tanques slop y una salida hacia la línea principal de COW. En el siguiente nivel encontramos las prolongaciones de las líneas de carga y de los elementos de seguridad con distintas

válvulas para cada una de ellas. En la penúltima cubierta de la cámara de bombas encontramos otros 2 importantes elementos que debemos comentar. Por un lado, encontramos las válvulas encargadas de suministrar vapor a la bomba de stripping, que a diferencia de las bombas de carga no se encuentran en la sala de máquinas. Estas válvulas son operadas por el bombero previamente al arranque de la bomba y es fundamental que se encuentren en buen estado. También encontramos el tanque de drenaje utilizado para separar posibles trazas de agua de la carga.

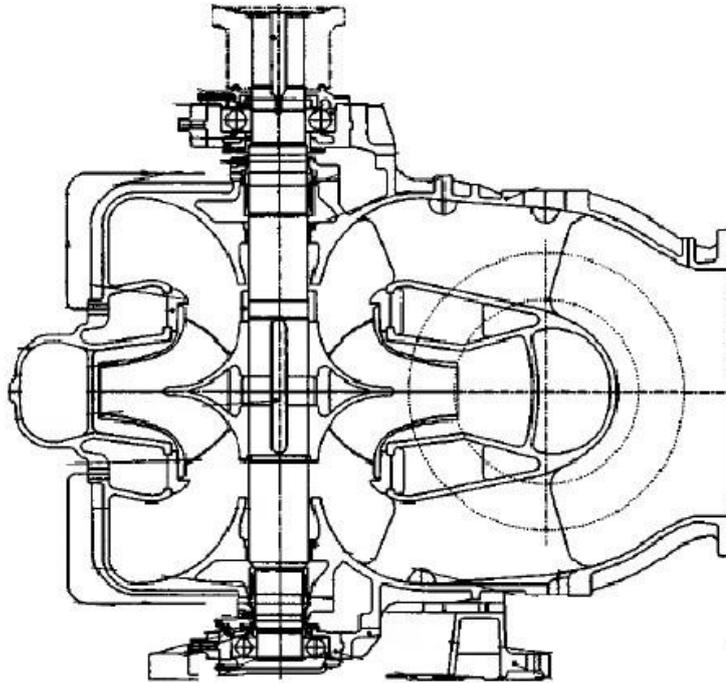
Por último, llegamos a la última y más importante de las cubiertas de la cámara de bombas. Comenzando por el costado de babor encontramos la bomba de stripping, que se encarga de desalojar del buque las últimas cantidades de crudo al final de la descarga. Pocos metros a su costado encontramos el eductor de carga destinado a ayudar a la propia stripping con sus funciones. A popa encontramos las 3 bombas de carga con sus respectivos separadores cuyo funcionamiento y características definiremos posteriormente. Al costado de estribor encontramos los elementos encargados del lastre, las dos bombas con sus filtros y los dos eductores de lastre. Al ser este el último plan del buque podemos encontrar las tomas de mar del lastre conocido como “sea chest” con sus respectivas válvulas. También encontramos la toma de mar que se utiliza para las tareas de flushing que pueden ser requeridas por las autoridades de las terminales de carga y descarga. En este nivel del buque podemos observar gran cantidad de líneas con distintos propósitos que transitan generalmente por debajo del tecla o plataforma, pozos de sentina, los cañones de expansión del FOAM, pulsadores de parada de emergencia, y hasta una cabina con un teléfono de emergencia.

### **3.1.5. Bombas de carga.**

El buque que es objeto de este estudio cuenta con 3 bombas de carga, las cuales se sitúan en la última cubierta de la cámara de bombas. Cabe destacar que estos elementos son uno de los más importantes con los que cuenta el buque, realizan la tarea tan primordial de ser las encargadas de retirar el crudo de los tanques y a través de su movimiento trasladarlo hacia fuera del buque. Existen otro tipo de buques que

sus bombas tienen la doble función de cargar y descargar el buque, no es el caso del Monte Urquiola, en este caso las bombas únicamente se utilizan para el proceso de descarga.

*Ilustración 10: Sección de una bomba de carga.*



*Fuente: Planos del equipo.*

Las bombas de carga están fabricadas por la compañía japonesa Shinko LTD, son bombas centrifugas accionadas por vapor. Tienen la capacidad de mover 4000 m<sup>3</sup> por hora cada una de ellas, otorgando al buque la capacidad de descargar con gran velocidad cuando trabajan al máximo de su capacidad. Cabe destacar que el buque cuenta con la misma cantidad de bombas de carga que de segregaciones, lo cual nos lleva a entender que cada bomba se encarga de una segregación, a pesar de que se pueden comunicar todas conjuntamente. La bomba 1 se encarga de la segregación I, es decir tanques 1, 4 y slop de estribor. La bomba 2 lleva la segregación II con los

tanques 2 y 5, y por último la bomba 3 que lleva la segregación III con los tanques 3, 6 y slop de babor. Las bombas cuentan con la capacidad de variar sus revoluciones permitiendo así variar la velocidad de la descarga según los intereses del buque y de la terminal.

Las bombas de carga tienen distintas partes, entre las que podemos encontrar la voluta. La voluta es la carcasa con forma de espiral que alberga a los distintos elementos giratorios que van a desplazar el fluido, en este caso es una voluta de tipo doble. El impeler es el principal elemento giratorio que se encuentra dentro de la bomba y que hace girar los fluidos, es de doble succión en este modelo de bomba. Los rodamientos son elementos importantes dentro de una bomba y las de este buque cuentan con varios tipos de rodamientos que hacen de soporte a distintos elementos. Para evitar fugas de líquido o de gases en las bombas estas cuentan con distintas cajas de prensaestopas, también conocidas como empaquetaduras. Este buque cuenta con un sistema de purgado y limpieza con gas de sus bombas y es una tarea habitual del bombero limpiar cada una de las bombas después de las operaciones (Karassik, Messina, Cooper, & Heald, 2014).

Cuando hablamos de bombas de carga hablamos de un equipo complejo y para definir las correctamente debemos hablar de otro equipo que se encuentra anexo a la bomba y es un elemento de protección fundamental para ellas. El separador se sitúa previamente a la admisión de la bomba y tiene una forma similar a la de un pequeño tanque de vapor. La función de este elemento es la de no permitir que llegue hasta el interior de la bomba burbujas de gas. Durante las operaciones de descarga es posible que se cuelen por las líneas de carga algunas "bolsas" de gas, en el caso de que estas bolsas llegaran a la bomba ocasionarían una pérdida de la resistencia del fluido en la bomba, calentando la bomba y haciendo que se sobre revolucione, pudiendo dañarla gravemente. Por este motivo, el separador recoge la carga que llega a la bomba y hace de filtro, en la parte inferior del separador se encuentra la admisión de la bomba. En esta parte inferior se va acumulando el crudo en estado líquido mientras que el gas tiende a desplazarse a la parte superior del

separador por donde será evacuado. Este elemento de protección es fundamental para la bomba y para la correcta operación de descarga del buque.

Además de las bombas principales, tenemos que contemplar y mencionar la llamada bomba de stripping o de reachique. Como ya comentamos en puntos anteriores, esta bomba se pondrá en funcionamiento ya en los últimos compases de la descarga y es la encargada de desalojar de los tanques de carga las últimas cantidades de crudo que pueda quedar. Esta bomba es del tipo alternativa dúplex, tipo worthington. Las bombas alternativas se basan en el desplazamiento positivo, por el cual el líquido que entra en la bomba por la succión se mueve mecánicamente hasta la descarga. De este modo, se crea un vacío en la aspiración de la bomba permitiendo succionar el líquido desde el tanque. En este caso al ser una bomba dúplex genera vacío en ambas emboladas, tanto el de subida como el de bajada.

### **3.1.6. Sondas, Radar tank.**

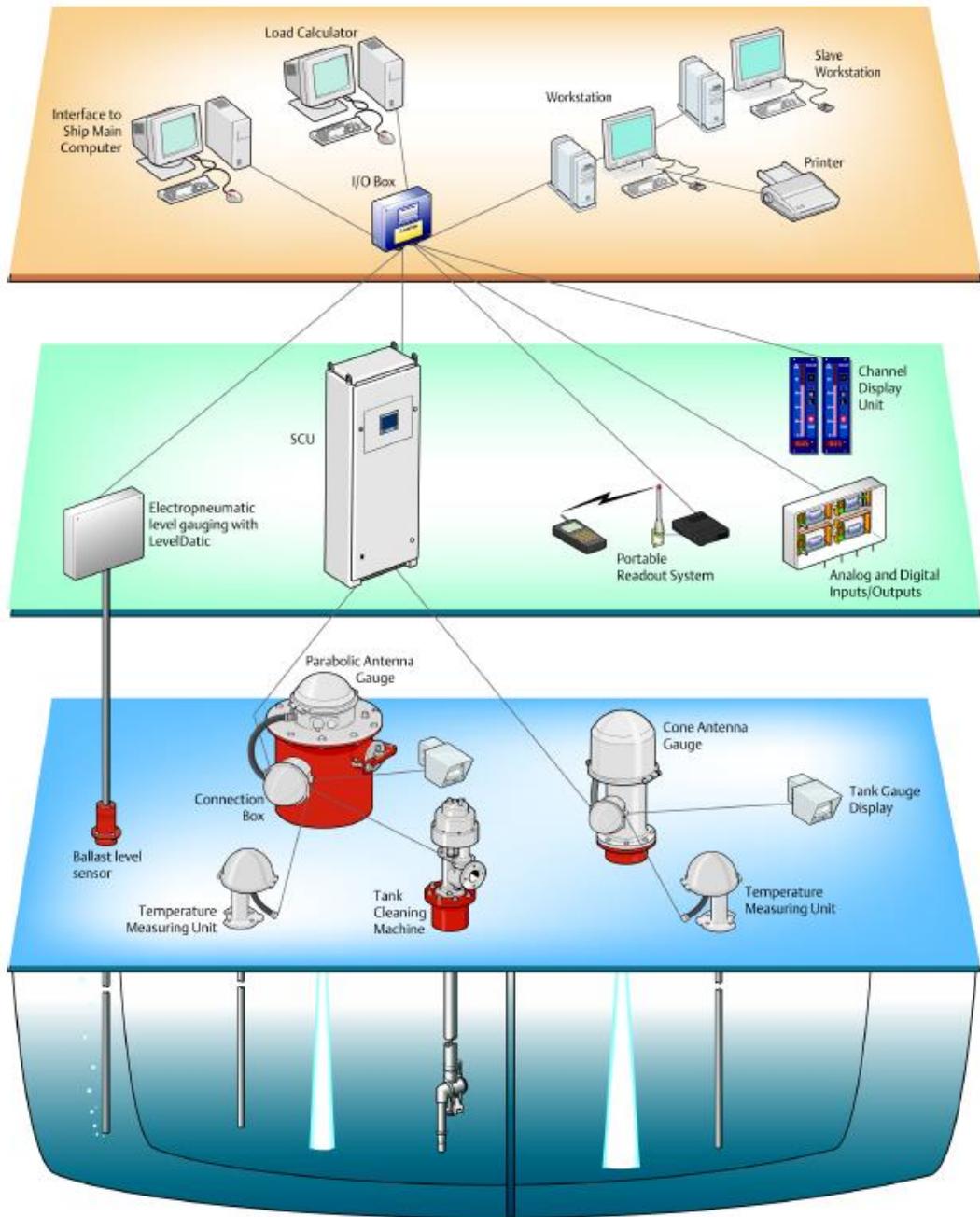
En este apartado analizamos los elementos del sistema de carga que están encargados de medir distintos valores en el interior de los tanques de carga. Este sistema es capaz de medir el nivel existente de producto en los tanques además de la temperatura o la presión en el interior del tanque. Este buque usa el sistema combinado Rosemount TankRadar STaR, el cual está compuesto por un sistema combinado de sensores, emisores, receptores y unidades de control. Este sistema es capaz de tomar diferentes datos, medirlos, tratarlos y representarlos en las unidades de la sala de control de carga o en el puente.

Para la medición del nivel o vacío de un tanque el sistema utiliza ondas de radar que son emitidas y recogidas por un sensor, capaz de leerlas y determinar la altura a la que se encuentra el producto en el interior. Las señales radar emitidas dentro del tanque son muy fuertes y no se ven afectadas por la atmósfera interior del tanque, generando una medida con alta precisión y fiabilidad. La unidad de calibre central provista en este buque está equipada con 3 canales aislados galvánicamente entre sí, así se consigue procesar en una sola unidad, pero de manera separa el nivel del tanque, la alarma de alto nivel y la alarma de sobrellenado de cada tanque. La

temperatura se mide con al menos 5 sensores tipo Pt100 situados en distintas partes del tanque. La presión se mide con otro sensor que se encuentra en la unidad de calibre central. Las lecturas de estos distintos sensores se trasladan hasta la unidad central que trata todos los datos y los expone en las distintas unidades de representación y repetidores con las que cuenta el buque. El sistema también es el encargado de dar soporte a las alarmas de alto nivel y sobrellenado de los tanques, las cuales producen señales acústicas y visuales en varias partes del buque. (Emerson Process Management Marine Solutions, 2007).

En definitiva y cómo podemos observar en la imagen anterior, se utiliza un sistema integrado que es capaz de medir los valores más importantes para el tratamiento de la carga o del interior del tanque, y permite que sean expuestos en los sistemas y ordenadores utilizados por los tripulantes.

Ilustración 11: Sistema TankRadar.



Fuente: Manual Rosemount TankRadar STaR

### **3.1.7. PV, PV breaker, Mast Raiser.**

La presión en el interior de un tanque o en las distintas líneas del buque es uno de los parámetros que más se controlan en el día a día del buque y durante las operaciones de carga. Para controlar el exceso o la falta de presión en estos espacios el buque cuenta con unos elementos que son fundamentales y de los que debemos explicar su funcionamiento. Estos elementos son las válvulas de PV, la conocida como PV breaker y el mast raiser.

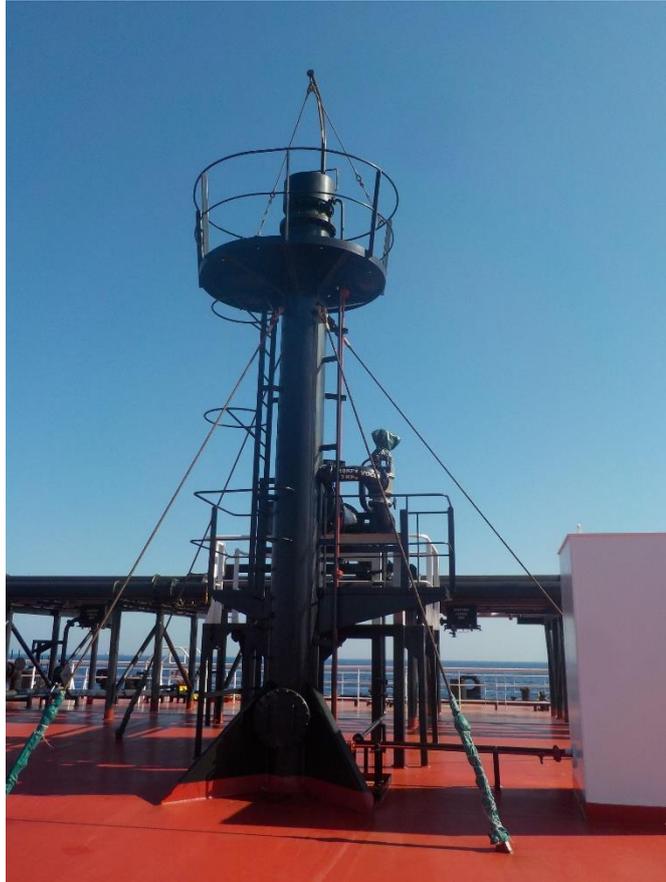
Las válvulas PV o válvulas de presión y vacío son elementos que permiten regular de manera automática la presión en el interior de un tanque. En ocasiones cuando se producen cambios de temperatura en el ambiente se puede producir un cambio en la presión en el interior de un tanque, del mismo modo ocurre cuando se están desarrollando las actividades de carga y descarga en estos espacios. Con el fin de controlar estos cambios de presión se instala en cada tanque una válvula PV que esta tarada a unas presiones determinadas, permitiendo así liberar presión o abrir ligeramente el tanque al ambiente permitiendo que no se produzca una presión más baja de lo establecido. La válvula se coloca en un tubo vertical que se sitúa en la parte superior del interior del tanque y está formada por dos partes, una para el mecanismo de protección contra el vacío y la otra con la protección para la sobrepresión. Del siguiente modo, en caso de que la presión del interior se encuentre por encima de los 20 Kpa se activa automáticamente la parte de alivio de la válvula. Estas válvulas se conocen también como de alta velocidad ya que liberan la presión a una velocidad no inferior a 30 m/s evitando que puedan generar una fuente de ignición. Cuando el interior se sitúa a -3.5 Kpa se activa un plato que permite igualar la presión a la de ambiente evitando cualquier peligro.

A modo de aclaración, definimos que los accionamientos de estas válvulas están tarados sobre la presión atmosférica, es decir, cuando hablamos de 20 kpa hablamos de 20 kpa sobre la presión atmosférica. Si la presión atmosférica la situamos a 1024 hpa y la presión en el interior del tanque se sitúa en 1224 hpa se activaría el alivio de la válvula PV.

Se conoce como PV breaker o rompedor de presión/vacío a otro elemento de los elementos de venteo que tenemos en este tipo de buques. Se considera un elemento de protección secundario, es decir, es una protección que va por detrás de la de las PV. Una de las principales características del PV breaker es que está conectado a la línea principal de gas inerte, a través de la cual libera el exceso de presión o permite la entrada de aire en el interior de los tanques si es necesario. La otra principal característica es que en el interior de este elemento encontramos una columna compuesta de mezcla de agua y glicol que es la encargada de hacer el papel de válvula, de este modo podemos determinar que su funcionamiento no es puramente mecánico como las PV, si no que funciona por gravedad. El líquido se mueve por el interior del elemento según se requiera la liberación o la entrada de presión.

Del mismo modo que las válvulas PV las presiones a las que está tarado el PV breaker es a 24 kpa de sobrepresión y a -7 kpa de presión de vacío, activándose de manera automática cuando la presión supera alguno de estos límites. Este equipo requiere menos mantenimiento que las PV y es altamente fiable en cuanto a su funcionamiento.

*Ilustración 12: Mast raiser.*



*Fuente propia.*

Por ultimo y no menos importante tenemos el conocido como mast raiser o palo de venteo, que observamos en la imagen anterior. Es otro elemento de venteo y también está conectado a la línea principal de gas inerte, tiene forma de torre que sobresale 6 metros de la cubierta principal. Es normal encontrar este elemento en buques que cargan el mismo producto en todos sus tanques, siendo el caso del buque estudiado en este trabajo.

Es común utilizar el palo de venteo como válvula para regular la presión en el interior de los tanques y ajustarla a lo requerido en cada momento, siempre cumpliendo los márgenes de seguridad. Se utiliza frecuentemente en las operaciones de carga, en las que lo normal es que la presión del tanque vaya subiendo a medida que el producto va entrando en el tanque, en ese momento se abre la válvula del palo de venteo permitiendo liberar la presión por este medio. Del mismo modo que los sistemas de

venteo anteriores están tarados como manera de seguridad en un rango de presiones, alta y baja. En cuanto a sobrepresión está tarado para liberar la presión cuando se sitúa entre 18 y 16 kpa, del mismo modo si la presión se encuentra entre -3 y -2,5 kpa de vacío, se activa. Cuenta con un sistema independiente contra incendios de CO2 situado en un local anexo en cubierta. En caso de aparecer una llama en el momento que el mast raiser está liberando presión se dispara este sistema de CO2.

### **3.1.8. Alarmas de alto nivel.**

Los buques tanques siempre operan con límites de seguridad, también cuando hablamos del nivel de llenado de tanques de carga. Los tanques de carga nunca serán llenados al 100% de su capacidad por motivos de seguridad, principalmente para evitar derrames o vertidos. Para controlar que no se supere el nivel máximo de carga a llevar un tanque el buque cuenta con un sistema de sondas y de alarmas sonoras y luminosas que se prueba de manera rutinaria.

El sistema está compuesto por un lado por los detectores de nivel, los cuales están situados en cada uno de los tanques de carga y en los tanques slops. Es un elemento principalmente mecánico y eléctrico, formado por una boya que se introduce en el interior del tanque. De manera general la boya se encuentra en su posición habitual y cuando el producto llega hasta ella comienza a subir. El sistema está tarado para que si la boya supera el nivel correspondiente al 98% de capacidad del tanque se envía una señal al sistema central y este hará sonar las alarmas correspondientes. Por otro lado, tenemos el sistema receptor de las señales que se encuentra en el control de carga. Está compuesto por una pantalla donde nos informa de en qué espacio concreto se ha producido ese alto nivel no deseado. El último elemento serían las señales acústicas y luminosas. El buque cuenta con un total de 4 de estas señales que están ubicadas en 2 lugares. Por un lado, contamos con 2 estaciones en la cubierta inmediatamente superior al puente, una en cada costado y otras 2 estaciones situadas sobre las grúas que se encuentran a la mitad de la eslora del buque. Esta distribución permite que las alarmas siempre puedan ser vistas y escuchadas desde

cualquier punto de la cubierta. Es habitual realizar un testeo de que todo funciona correctamente subiendo de manera manual la boya y esperando que las alarmas suenen y se iluminen, así como que suene el sistema central en el control de carga.

### **3.1.9. Calculadora de carga y monitorización.**

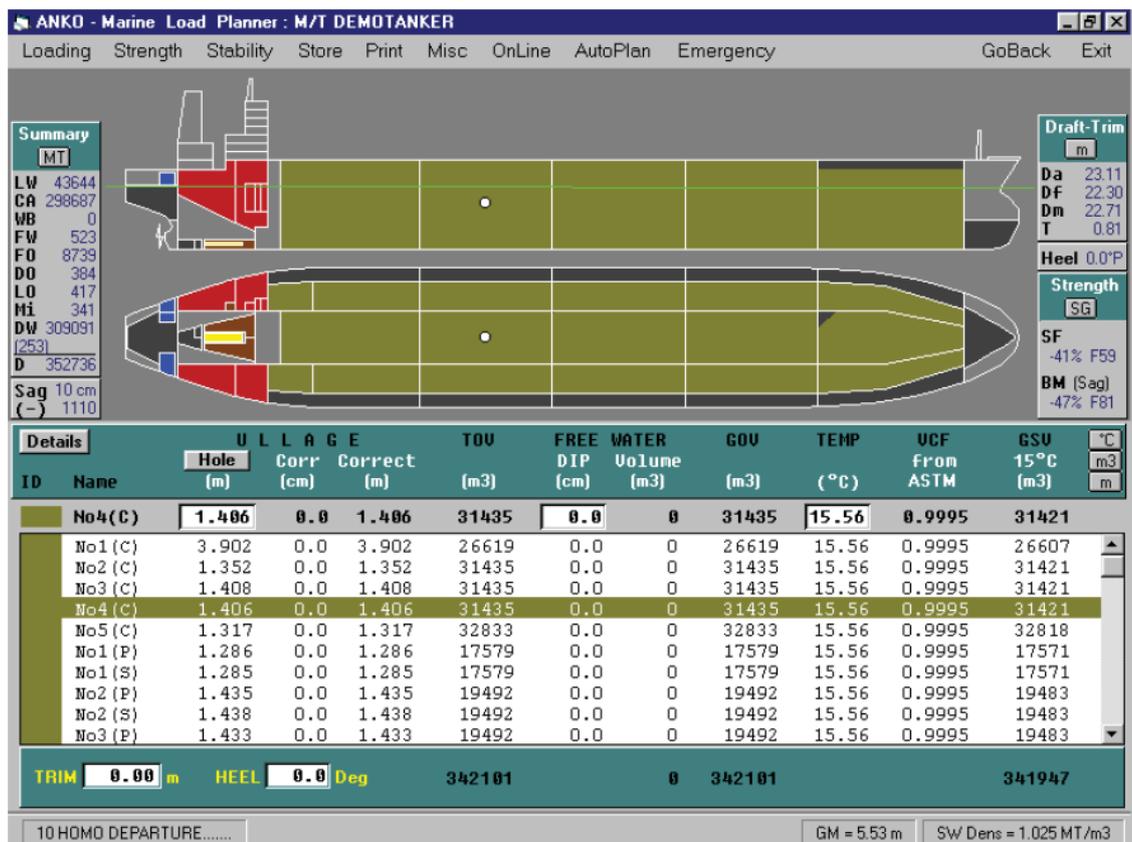
Una de las tareas fundamentales del primer oficial de cubierta es la de realizar los respectivos planes de carga y descarga previos a la llegada de los buques a las terminales. Para realizar esta tarea se apoya en un programa informático especialmente diseñado para este tipo de buques y que permite realizar todo tipo de cálculos para definir distintos escenarios de condiciones del buque y simular así sus efectos.

Para realizar esta tarea el buque utiliza el programa ANKO marine load planner diseñado por ANKO marine software package. Este programa permite la simulación de una gran cantidad de parámetros y de situaciones para analizar cómo se comportaría el buque y así poder realizar un plan de carga de manera adecuada. Una vez entramos en el programa aparece una interfaz en la que observamos un esquema del buque con todos sus tanques ya sean estos de carga, lastre, combustible, aceite, agua dulce, etc. En esta misma pantalla observamos unos indicadores que nos sitúan en la condición del buque en ese estado. Estos indicadores nos muestran entre otras cosas todos los calados y el trimado en ese momento. También nos ofrece información sobre los esfuerzos de corte y momentos flectores con su porcentaje máximo y la cuaderna en la que se sitúan. Por otro lado, información sobre si el buque se encuentra en estado de arrufo o quebranto. También hay indicadores de la cantidad de carga que tiene el buque, de lastre, agua dulce, combustible, tanto en metros cúbicos como en toneladas métricas. Además, información sobre el peso muerto y el desplazamiento para cada condición que se introduzca manualmente.

Las situaciones o condiciones en las que se encuentre el buque se modifican fácilmente, para ello el programa cuenta con una lista de todos los espacios que se pueden variar y permitiendo modificar parámetros como niveles de carga o porcentajes de vacío. Al cambiar estos datos de los espacios el programa calcula

todas las variaciones de los indicadores antes definidos que se le suponen al buque y permitiendo así analizar cómo cambia y que se ajusta en todo momento a los valores de seguridad. El programa también permite cambiar valores de densidades o temperaturas de los productos a cargar y así ajustar de mejor manera la simulación.

Ilustración 13: Calculador ANKO.



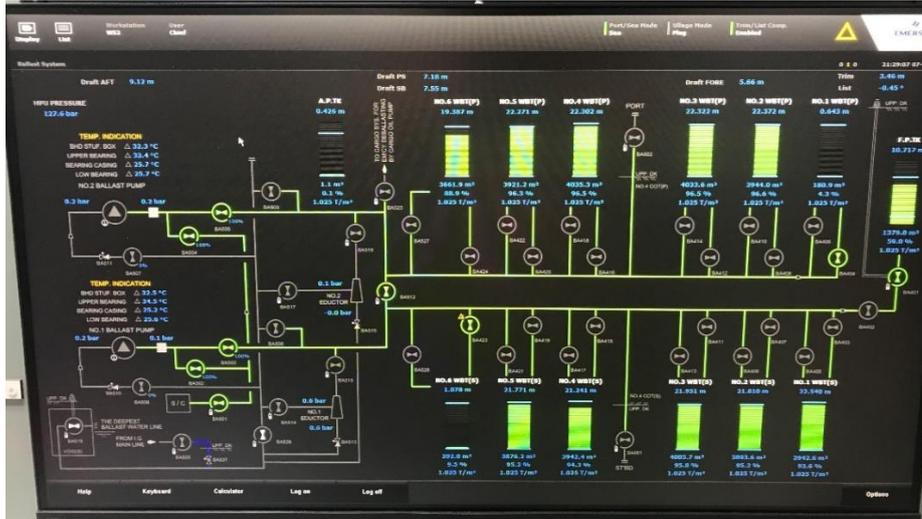
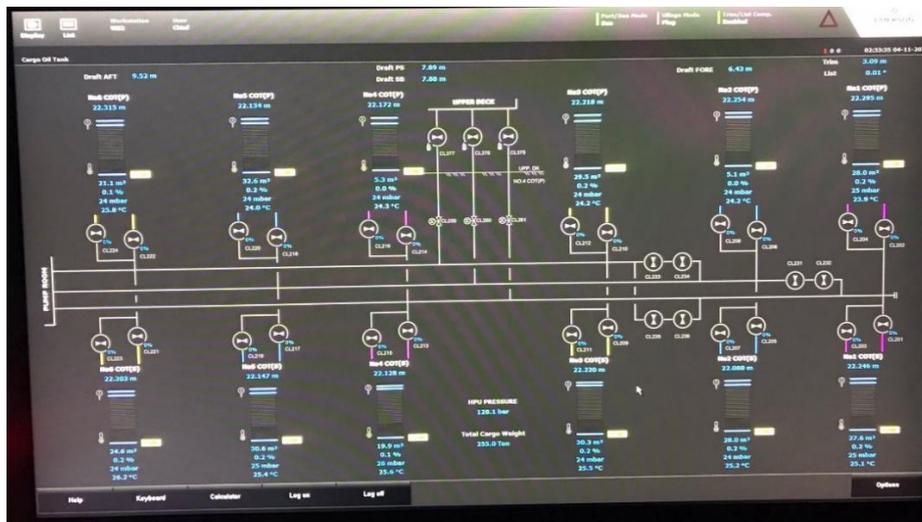
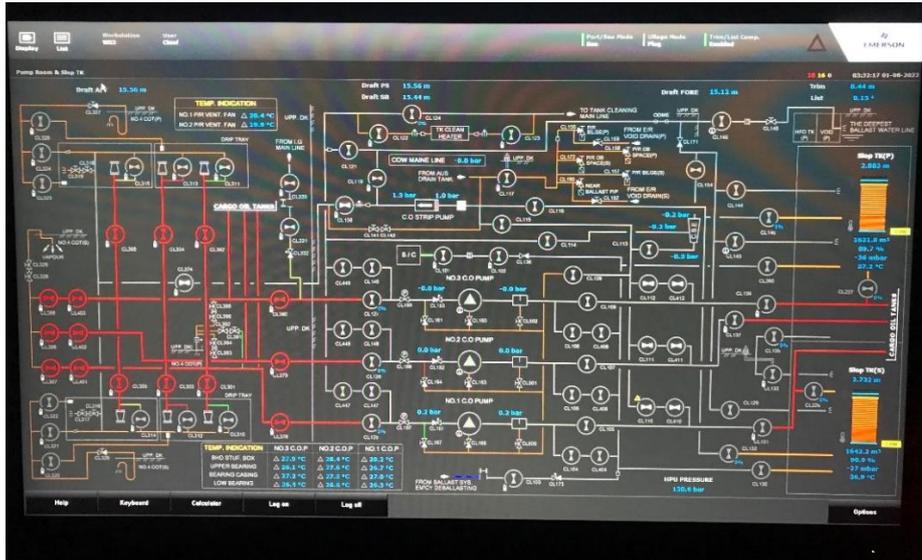
Fuente: Manual ANKO.

Otro de los elementos principales que aparecen en el control de carga es el software de monitorización de prácticamente todos los elementos del sistema de carga y de lastre. Este sistema es utilizado por los oficiales para hacer el seguimiento de las operaciones de carga y descarga, ya que permite monitorear gran cantidad de parámetros, pero también permite operar algunos elementos de manera remota. El equipo es del modelo Aperio diseñado por Emerson Process Management.

El sistema está compuesto por tres pantallas principales en las que se pueden desplegar distintas interfaces para controlar gran cantidad de elementos. El sistema es capaz de mostrar y monitorizar el sistema de carga incluyendo las bombas, los tanques de carga, tanques de lastre, el sistema de gas inerte y venteo, tanques de servicio y distintas maquinarias. El principio es el de mostrar en cada interfaz un esquema del circuito que se observa, donde aparecen todas las líneas, válvulas y equipos que intervienen. De este modo cuando es necesario actuar por ejemplo sobre una válvula concreta que pueda ser activada de manera remota no hay más que hacer un clic sobre ella y accionarla. En el sistema también se despliegan muchos indicadores de sensores de presión o temperatura, tanto de los tanques como de otros equipos como las bombas de carga. Otra de las principales características de es que tiene un sistema integrado de alarmas que permite al oficial realizar una vigilancia efectiva de los procedimientos de carga. Cuando cualquier tipo de anomalía suceda en alguno de los sistemas este emitirá una alarma que será fácilmente reconocible, estas alarmas pueden ser que se esté alcanzando un alto nivel en un tanque, una presión anómala o un aumento peligroso de la temperatura en una bomba.

Generalmente durante las operaciones de carga en las pantallas se sitúan de manera simultánea el circuito de la cámara de bombas, el circuito de los tanques de carga y manifolds y el sistema de lastre. De esta manera se puede fácilmente realizar un seguimiento de los principales elementos y poder ir variando las válvulas necesarias de manera que las operaciones se desarrollen correctamente. El sistema tiene una amplia gama de colores que permite seguir los circuitos fácilmente, aunque como no puede ser de otro modo requiere de un tiempo para familiarizarse totalmente con el equipo y con las diferentes características que tiene el buque.

Ilustración 14: Pantallas CCR.



Fuente propia.

### **3.1.10. VOC.**

Los compuestos orgánicos volátiles (VOC) son compuestos químicos orgánicos que en condiciones normales se volatilizan fácilmente y pasan a la atmosfera. Son una mezcla de compuestos de hidrocarburos como el metano, etano o el propano. Los gases VOC son nocivos y contaminantes para la atmosfera y el medio marino. También incrementan la formación de Ozono contribuyendo al aumento del efecto invernadero. Con el fin de evitar esta liberación de gases y siguiendo lo establecido en el anexo VI de MARPOL el buque cuenta con un plan de gestión de estos gases. El objetivo del plan es asegurar que se previenen y minimizan las emisiones de gases VOC durante las operaciones y los viajes.

Los buques tanques emiten gases VOC durante las operaciones de carga, las operaciones de COW y durante los viajes. La emisión de estos gases depende de distintos factores como las propiedades de los productos que se cargan, el grado de mezcla o las variaciones de la temperatura durante los viajes. Dentro del plan de gestión de gases VOC del buque podemos observar distintos procedimientos e indicaciones que estipulan los pasos a seguir durante las operaciones y los viajes para limitar la generación de gases, como no superar un determinado caudal de carga, una presión en los tanques o no dejar tanques cargados parcialmente. También se describen una serie de elementos especialmente destinados a controlar la emisión de gases VOC a la atmosfera.

### **3.1.11. VOCON.**

El VOCON es un sistema que está instalado en el palo de venteo y que funciona como una válvula de derivación que controla la presión de vapor en todos los tanques de carga. Para ello, la entrada de la válvula se conecta a la línea de gas inerte de los tanques y la salida se conecta al palo de venteo.

La función de este sistema es reducir la salida de gases a la atmosfera durante el viaje en carga y minimizar la expulsión a la atmosfera de los gases VOC. Esto se consigue con esta válvula que permite mantener una presión más alta en los tanques para limitar la evolución de vapor en el crudo hasta alcanzar la presión de saturación de la

fase gaseosa durante las operaciones de carga y durante el posterior viaje. La válvula VOCON permitirá el paso de gases de manera automática cuando se alcanzan los 19 kpa como máximo, aunque suele estar configurada desde el control de carga para un intervalo de entre 18 y 16 kpa. Del mismo modo, en vacío esta tarada para funcionar entre -3 y -2,5 kpa.

### **3.1.12. Válvula Anti-Cavitación (ACV).**

El buque cuenta con un sistema de válvulas anti-cavitación instaladas en el fondo de las líneas verticales de carga que conectadas a un sistema de control y monitorización minimizan la generación de gases VOC durante las operaciones de carga. Durante los primeros momentos de la carga en la parte alta de la línea, que tiene 21 mts, la presión del crudo es menor que la presión atmosférica. Si la presión es menor que la presión de vapor total del crudo comienza la evaporación y se generan gases VOC.

Las válvulas tienen la función de controlar la presión en la línea vertical y mantenerla siempre por encima de la presión de vaporización además su función anti-cavitación evita que se generen gases VOC al paso del crudo por la válvula. La válvula va a permitir mantener la presión de la línea en 105 kpa, accionándose en caso de que caiga por debajo de 100 kpa durante 5 segundos.

### **3.1.13. Vecs.**

El Vapour emission control system VECS es el conjunto de equipos que controlan la emisión de gases durante el desarrollo de las operaciones. Todos estos sistemas están aprobados por la IMO. Entre estos sistemas podemos encontrar acumuladores de gases procedentes de la carga, equipos de monitoreo, control y procesado de gases. También se engloba en este sistema el equipo de gas inerte del buque.

Del mismo modo consideramos como sistema perteneciente al VECS a la línea de retorno de gases. Esta línea permite que los gases que se emiten durante las operaciones sean trasladados a la terminal a través de las conexiones que existen en los colectores.

### **3.1.14. ODME.**

El oleómetro (ODME, Oil Discharge Monitoring Equipment) es un sistema con el que el buque es capaz de descargar a la mar una mezcla de agua con hidrocarburo, pero siempre cumpliendo con la normativa estipulada. Es decir, el sistema es capaz de detectar la cantidad de agua y de hidrocarburo que hay en una muestra y según fuera la lectura accionaria las válvulas del sistema permitiendo o no su descarga.

Este sistema se encuentra conectado a los tanques de decantación que son los que presumiblemente podrían quedar con trazas de agua al finalizar las operaciones de descarga y continua por la cámara de bombas, donde se encuentran la mayoría de las válvulas y líneas. La descarga al mar se realiza por el costado de babor al nivel de cubierta. El elemento que se encarga de realizar la medición de la mezcla es una célula fotosensible que actúa como sensor y es capaz de realizar mediciones de la mezcla de manera continua.

La descarga al mar de aguas oleosas está altamente controlada por la administración marítima y es por eso por lo que este equipo no tiene como única variable la mezcla a medir. El equipo cuenta un total de 3 variables distintas para decidir si permite la descarga al mar o no. Por un lado, como ya comentamos el equipo mide la cantidad de ppm de hidrocarburo que tiene la mezcla y nunca permite la descarga al mar si la mezcla contiene al menos 15 ppm de hidrocarburos. Otro de los parámetros es la velocidad del buque, la normativa no permite realizar descargas al mar si el buque se encuentra sin movimiento. Para ello, el equipo está conectado a la corredera y es capaz de leer en todo momento la velocidad del buque. El sistema está enlazado con el sistema de posicionamiento del buque para comprobar también que no se encuentra a la distancia adecuada de la costa, permitiendo o denegando la descarga de aguas oleosas (IMO, Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos., 2009).

### **3.1.15. Automatic unloading system.**

En este buque existe un sistema llamado Automatic Unloading System, AUS. Diseñado por shinko LTD este sistema permite realizar parte de las funciones de la

bomba de stripping con las bombas de carga agilizando así en gran medida la duración de las operaciones de descarga. Las bombas de carga tienen una capacidad muy superior a la bomba de stripping permitiendo descargar mucha más cantidad de crudo por hora. El objetivo es poder exprimir al máximo los tanques con las bombas de carga. El sistema permite no tener que estrangular las válvulas de descarga de las bombas para aumentar la succión de estas, lo que puede ser complejo y crítico. En definitiva, el sistema está diseñado para evitar en mayor medida la operación de eductado y de stripping de los tanques de carga, evitando una de las partes más complejas de las operaciones de descarga de este tipo de buques.

El sistema está integrado por varios equipos entre los que se incluyen los separadores de las bombas, distintas válvulas neumáticas de tipo mariposa y unas bombas de vacío. El separador como ya hemos explicado permite que se separe el gas y el líquido que pueda venir desde los tanques permitiendo que las bombas trabajen siempre de manera adecuada, además lo hace de manera totalmente automática como parte del sistema AUS. Las bombas de vacío son las encargadas de extraer, también de manera automática, el gas que se acumula en los separadores. El gas sobrante de los separadores se deposita finalmente en los SLOP. Las válvulas de mariposa neumáticas regulan la descarga de la bomba en función del nivel del separador permitiendo regular el flujo de las bombas. Si el nivel del separador sube la válvula se abre y permite aumentar el flujo, en caso de que baje el nivel del separador la válvula se estrangula permitiendo llenar el separador para que se evacúen los gases. Las válvulas se pueden operar de manera automática en conjunto con el resto del sistema o manualmente desde el control de carga. Estas válvulas permiten trabajar con toda la presión sobre ellas y no sobre las válvulas convencionales que se sitúan después de la bomba, las cuales van a quedar siempre abiertas. En el momento que el nivel del separador baja del 50% se activa automáticamente la bomba de vacío y se abre la válvula de extracción de los gases. Mientras se extrae el gas del separador, el nivel de líquido va aumentando. Cuando el nivel se sitúa al 70% se cierra la válvula de extracción y 20 segundos después se para automáticamente la bomba. Este proceso

se va repitiendo de manera automática y sin la necesidad de ser operado en todo momento.

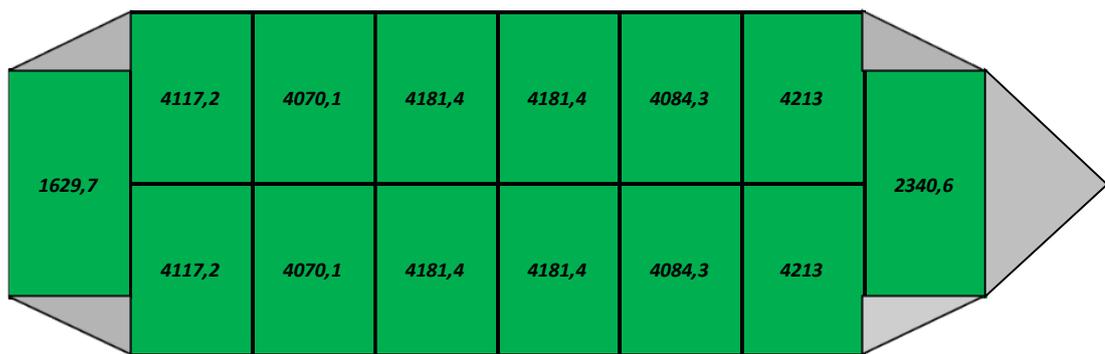
### 3.2. Elementos de lastre.

El lastre es parte fundamental de los buques modernos y así lo es del mismo modo del buque objeto de este estudio. El lastre en estos buques tiene como principal función de mantener el control del asiento, escora, calados, estabilidad y esfuerzos en los momentos en los que el buque no se encuentre con carga.

#### 3.2.1. Tanques de lastre.

Este buque cuenta con un total de 14 tanques de lastre. 12 tanques principales y 2 tanques de menores dimensiones en los extremos, el peak de propa y el peak de popa. Los tanques de lastre en el buque se encuentran a los costados de los tanques de carga y en forma de L los protegen de las colisiones, dotando así al buque de su característica de doble casco. El total de la capacidad del buque en sus tanques es de  $53665.2 \text{ m}^3$  al 100% de su capacidad. La distribución completa de volumen por tanques es la siguiente:

Ilustración 15: Capacidad tanques de lastre.



Fuente: Planos del buque.

Según MARPOL todos los buques tanque por encima de 20000 toneladas de peso muerto y construidos después de 1982 deben ser capaces de mantener solo con lastre un calado en el medio nunca menor de  $d_m = 2.0 + 0.02L$  que en el caso de

este buque sería de 7,48 metros. Además de nunca tener un trimado que supere 0.015L siendo 4,1 metros y que la hélice siempre quede sumergida en situación de lastre. Este buque cuenta con un sistema complejo de lastre con diversos equipos y elementos que son operados por los oficiales del buque y que garantizan siempre cumplir con las regulaciones y normativas internacionales (IMO, Ballast water management convention, 2005).

El tanque más a popa conocido como peak de popa tiene una serie de consideraciones especiales. Este tanque no está englobado en el sistema de lastre como los demás, se encuentra en la sala de máquinas y no está alimentado por las bombas de lastre principales. El peak de popa es alimentado por las bombas de contra incendios y servicios generales. Estas bombas cuentan con sus propias succiones a la mar y dan servicio de agua salada a cubierta, a la línea contra incendios y al peak de popa. Por norma general este tanque se suele mantener con lastre en casi todas las condiciones de carga del buque.

### **3.2.2. Bombas de lastre.**

Teniendo en cuenta que este buque maneja unas cantidades elevadas de lastre durante sus operaciones debe contar con una potente instalación que le permita lastrar y deslastrar rápidamente. Para llevar a cabo de manera satisfactoria las operaciones de lastre este buque cuenta con 2 bombas de lastre de la marca japonesa SHINKO LTD. A diferencia de las bombas de carga del buque, las cuales eran movidas por turbinas de vapor, las bombas de lastre de este buque son bombas de tipo centrifugas de doble succión que son movidas gracias a un motor eléctrico. Las bombas tienen una capacidad máxima de  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ , lo que supone una capacidad total de  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Con semejante capacidad de carga el buque es capaz de lastrar o deslastrar la totalidad del agua de lastre en tan solo 11 horas a máximo caudal.

*Ilustración 16: Bomba de lastre.*



*Fuente propia.*

Cuando hablamos concretamente de la operación de deslastre, de igual modo que en la descarga de crudo, llega un momento a bajas sondas en que las bombas principales ya no son capaces de trabajar correctamente y realizar una succión óptima. En ese momento es cuando entran a trabajar los eductores, en este caso de lastre. Para ello el buque cuenta con 2 eductores de lastre independientes, uno por bomba, de la marca KIWON. Cada eductor tiene una capacidad de  $350 \text{ m}^3/\text{h}$  que nos va a permitir dejar los tanques de lastre completamente secos cuando se necesite.

### **3.2.3. Tratamiento de lastre.**

La protección del medio ambiente es algo que está omnipresente en todas las actividades del buque y como no puede ser de otro modo también en el lastre. El agua de lastre puede contener organismos acuáticos que pueden causar riesgos en el medio ambiente, a la salud y a los recursos naturales de un país. Se ha demostrado que multitud de especies son capaces de sobrevivir en el agua de lastre y ser transportadas por el mundo a través de los buques (Anwar, 2011).

Para evitar esta circunstancia el buque cuenta con un sistema de tratamiento de agua de lastre de última generación. El buque cuenta con el sistema llamado NK-03 BlueBallast System diseñado para eliminar, reducir o evitar la absorción o descarga de organismos acuáticos que se transportan en el agua de lastre.

Este sistema es un generador de ozono  $O_3$ . El ozono es un gas natural y un agente oxidante muy potente, que de manera muy rápida neutraliza los virus, bacterias, hongos y material orgánico. Cuando el  $O_3$  se inyecta en el flujo del lastre mueren un porcentaje de las especies arrastradas, el resto muere cuando el ozono reacciona de forma natural con otros elementos del agua de mar. Para generar el ozono el sistema toma aire del exterior y elimina el nitrógeno, concentrando el contenido de oxígeno. El oxígeno circula a través de un campo eléctrico de alta frecuencia para producir el ozono. Posteriormente el ozono se inyecta en el flujo de agua.

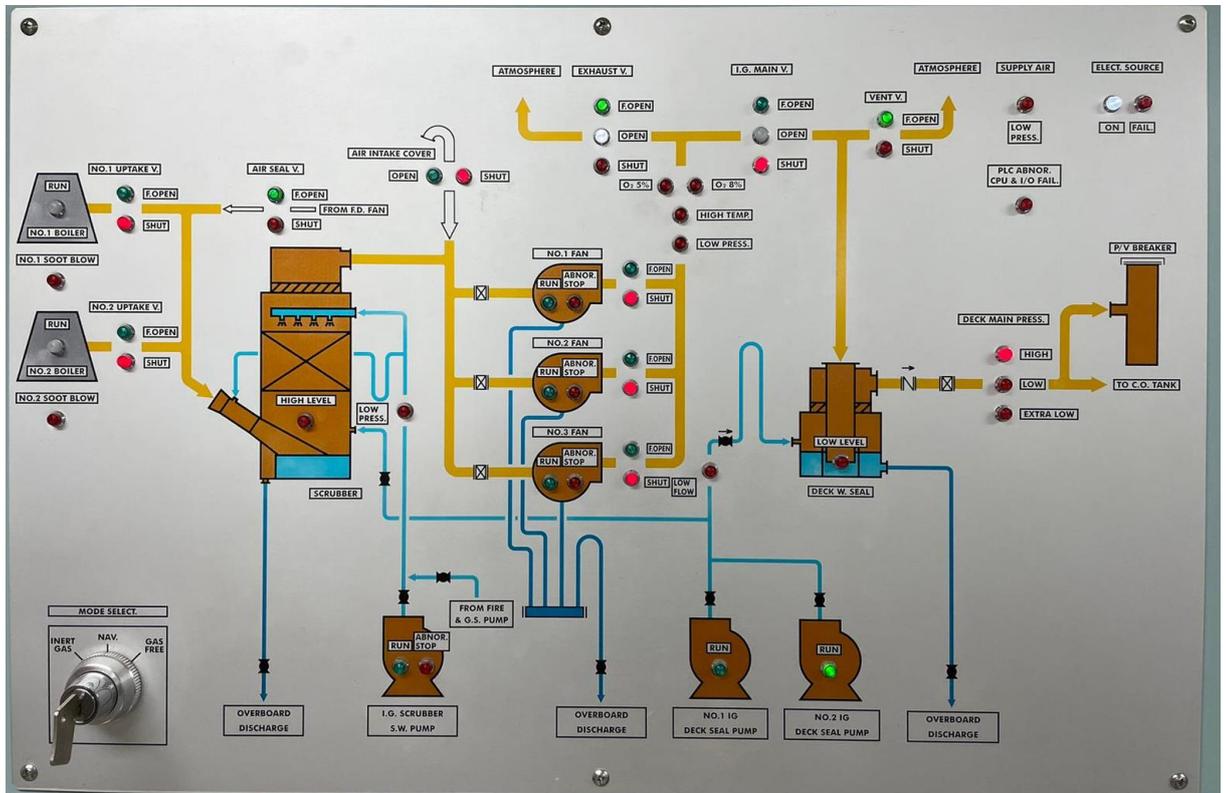
El equipo está compuesto por el sistema de alimentación de gas, el sistema de ozono, el sistema neutralizador y el sistema de control y monitorización. El sistema de alimentación produce el aire comprimido con el aire ambiental, concentra el oxígeno y proporciona la materia prima para producir el ozono. El sistema de ozono produce el  $O_3$  de la manera comentada anteriormente y se suministra a través de un inyector. El inyector proporciona una distribución uniforme de las burbujas de gas a través de todo el volumen de agua. El neutralizador de ozono se utiliza para convertir cualquier cantidad de ozono sobrante en oxígeno antes de que se libere a la atmósfera, esta parte del sistema es utilizada durante la fase de deslastre. Previamente a realizar la descarga al mar se inyecta el agente neutralizador desde un tanque a la línea destinada al deslastre y neutralizando el ozono sobrante. El sistema de control cuenta con varios sensores, alarmas, medidores y válvulas que desde una central informática permiten controlar todo el sistema de manera integrada (INTERTANKO, 2018).

Para realizar la inyección controlada de ozono en la línea de lastre el sistema cuenta con un total de 3 inyectores que se encuentran en distintos puntos. Los dos más importantes se encuentran conectados a las líneas principales de las dos segregaciones del sistema de lastre. Se encuentran en la última plataforma de la cámara de bombas, en el mamparo de proa antes de pasar a los tanques. El otro inyector se encuentra en la sala de máquinas, es independiente y solo presta servicio al tanque del peak de popa.

### 3.3. Gas inerte.

Como ya hemos explicado en párrafos anteriores una de las principales medidas de seguridad que se toman en los buques tanques es el control exhaustivo de la atmósfera del interior de los espacios de carga. Para mantener la atmósfera siempre segura utilizamos el gas inerte. El gas inerte por definición es un gas o una mezcla de gases que no contiene el oxígeno suficiente para mantener la combustión. Gracias al gas inerte el buque se puede mantener alejado del peligro de una explosión en un tanque, manteniendo bajo el contenido de  $O_2$  y reduciendo concentraciones de gases de hidrocarburos. Uno de los momentos más críticos dentro de un tanque es el momento de realizar el lavado de tanques debido a la posible generación de descargas de electricidad estática, es uno de los momentos en los que más importancia tiene el gas inerte.

Ilustración 17: Esquema planta de gas inerte.



Fuente propia.

### **3.3.1. Planta de gas inerte.**

En la planta de gas inerte englobamos todo el equipamiento diseñado para producir, presurizar, limpiar, monitorear y controlar el gas inerte que se utilizará en los tanques de carga.

Según la regulación vigente los buques deben contar con instalaciones de gas inerte capaces de producir unos estándares mínimos de funcionamiento, estos estándares buscan mantener siempre los tanques de carga en una condición segura. Para asegurarse de esta condición la normativa exige que las instalaciones de los buques deben ser capaces de suministrar gas inerte con un contenido menor del 5% de oxígeno a cualquier condición de flujo. También se regula que los buques sean capaces de mantener siempre una presión positiva dentro de los tanques y que su atmósfera nunca tenga un contenido que supere el 8% de  $O_2$ . La instalación con la que cuenta este buque cumple con estos criterios ya que es capaz de generar esta presión positiva y es capaz de generar gas inerte con un contenido de oxígeno que puede llegar al 4% (IMO., 1990).

### **3.3.2. Calderas.**

En la sala de máquinas del buque encontramos 2 calderas de grandes dimensiones. Estas calderas son las encargadas de generar vapor y gas inerte para el uso del buque a través de la combustión de fuel. Las calderas son de la marca Mitsubishi del modelo Kashiwa. El sistema es capaz de suministrar el total  $15000 \text{ m}^3/\text{h}$  de gas inerte para proteger la atmosfera de los tanques de carga.

Las calderas de este buque trabajan a través de la combustión de fuel oil o de diesel oil. Cada caldera cuenta con un quemador o mechero que se encarga de combustionar el fuel. Los gases generados por la combustión alcanzan temperaturas muy altas, temperaturas cercanas a los  $400^\circ\text{C}$ , y debido a su bajo contenido de oxígeno son los que se utilizan como gas inerte. La caldera también sirve para generar vapor para distintos equipos del buque, esto se consigue haciendo circular por el

interior de la caldera una serie de tubos con agua. Estos tubos se calientan al contacto con la combustión del fuel y generan vapor de agua.

### **3.3.3. Scrubber.**

Este sistema se sitúa posteriormente al escape de la caldera generadora de gas inerte y se encarga de lavar los gases generados por la caldera. Por un lado, se encarga de retirar las partículas de polvo presentes en el gas, también es capaz de retirar el sulfuro y el dióxido de sulfuro del gas inerte, así como enfriarlo. Consiste principalmente en una torre de lavado de Venturi que en su interior tiene unos rociadores de agua de mar a modo de ducha. El gas que sale de la caldera a una temperatura muy alta se introduce por un tubo de Venturi que lo acelera. Una vez acelerado choca violentamente contra las partículas de agua que se rocían en spray por toda la columna desde la parte alta del sistema. Es en ese momento cuando las partículas del gas se adhieren en las gotas de agua del spray, y el  $SO_2$  se absorbe de igual manera en el agua para ser posteriormente drenado. Posteriormente el gas inerte asciende por la torre pasando por los filtros de polipropileno. El sistema es capaz de bajar la concentración de dióxido de sulfuro hasta el 10% y dejarlo listo para realizar su función en los tanques de carga.

Ilustración 18: Scrubber.

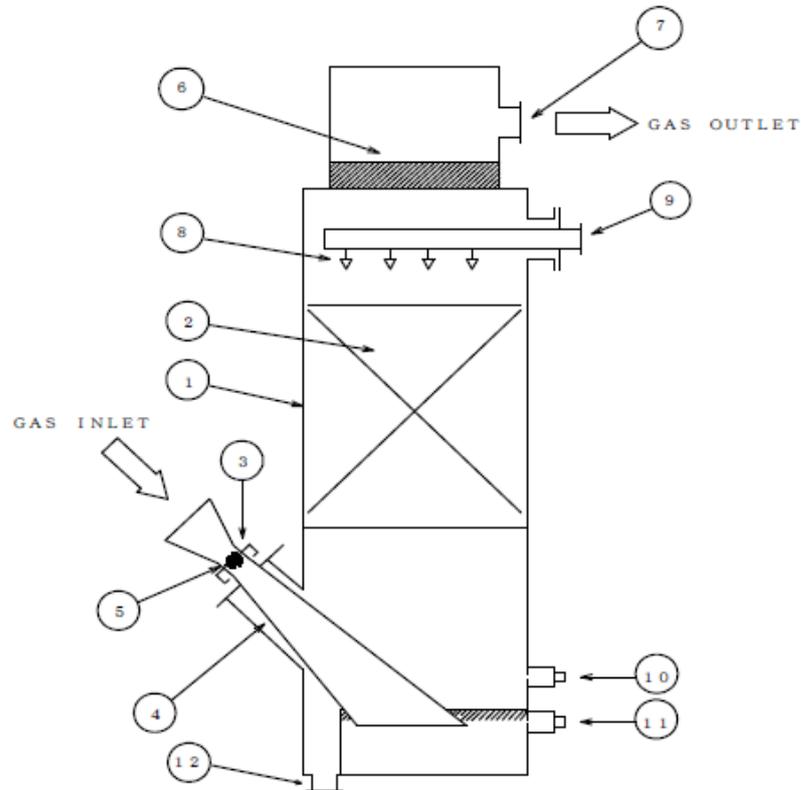


Fig.2

- |                        |  |
|------------------------|--|
| ① Scrubber body        | ⑧ Tower spray nozzle                     |
| ② Packed Tower         | ⑨ Tower spray header                     |
| ③ Venturi              | ⑩ High Level switch of sea water         |
| ④ Venturi duct         | ⑪ Low Level switch of sea water (OPTION) |
| ⑤ Venturi spray nozzle | ⑫ Drain outlet                           |
| ⑥ Demister element     |  |
| ⑦ Gas outlet           |  |

Ilustración 19: Fuente: Manual del sistema.

### 3.3.4. Ventiladores.

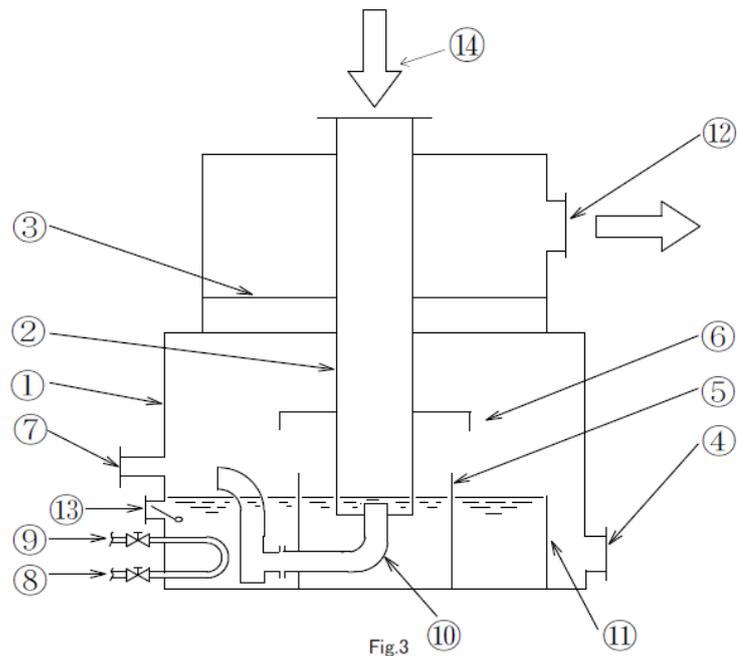
Para impulsar el gas inerte desde la scrubber hasta el deck seal el buque cuenta con un set de tres potentes ventiladores. Cada uno de estos ventiladores tiene la capacidad de mover nada menos que  $7500 \text{ m}^3/h$  lo que permite dotar al sistema con suficiente flujo de gas inerte para que llegue perfectamente a los tanques de carga.

### **3.3.5. Deck seal.**

El sistema de gas inerte está directamente conectado con los tanques y las líneas de carga. Para evitar que los gases de hidrocarburos presentes en los tanques de carga puedan retornar cuando el sistema no está en uso contamos con el conocido como sello de gas inerte, que hace el trabajo de una gran válvula antirretorno, permitiendo el paso del gas inerte hacia los tanques, pero no el flujo en el sentido contrario.

Cuando el sistema se encuentra fuera de funcionamiento la admisión de gas inerte del sello se encuentra sellada con agua, sin permitir que los gases de retorno accedan al sistema. Cuando se arranca el sistema el gas fluye por la admisión empujando el agua del sello y permitiendo el paso. De esta manera se cuenta con un elemento de seguridad que impide el retorno de gases de manera independiente sin necesidad de tener que accionar manualmente ningún equipo o válvula, el sistema trabaja de una u otra manera con el sentido del flujo y sin necesidad de ayuda exterior.

Ilustración 20: sello de cubierta.



- |                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| ① Body           | ⑦ Seal water inlet               |
| ② Seal pipe      | ⑧ Heating steam inlet            |
| ③ Demister pad   | ⑨ Heating steam outlet           |
| ④ Overflow drain | ⑩ Escape pipe                    |
| ⑤ Guide pipe     | ⑪ Weir                           |
| ⑥ Baffle plate   | ⑫ Gas outlet                     |
|                  | ⑬ Low level switch of seal water |
|                  | ⑭ Gas inlet                      |

Ilustración 21: Fuente: Manual del sistema.

### 3.3.6. Métodos de inertización.

Principalmente se conocen dos métodos diferentes para inertizar un tanque de carga, estos métodos pueden variar ligeramente la forma en la que se llevan a cabo según las características de cada buque, pero siempre siguen los mismos principios. Se puede inertizar un tanque siguiendo el método de desplazamiento o por el método de dilución.

El método de desplazamiento necesita una interfaz horizontal que sea estable entre el gas inerte que entra y los gases de hidrocarburos del tanque. El gas inerte por norma general es más ligero que los hidrocarburos y entra desde la línea de

suministro que se encuentra en la parte alta del tanque. Al entrar se desplaza hacia la parte inferior del tanque empujando los gases de hidrocarburos que son más pesados y que van siendo evacuados. Para que se desarrolle de manera correcta se debe controlar el flujo de entrada de gas inerte en el tanque para que no se generen turbulencias rompiendo así la interfase entre el gas inerte y los hidrocarburos.

Con el método de dilución se busca conseguir una mezcla homogénea entre el gas inerte y la atmósfera del tanque. El resultado de esta mezcla es que la concentración final del gas que había en el tanque se reduzca exponencialmente. Conseguir esta reducción depende del volumen de gas inerte que entra y de la velocidad con la que entra y las dimensiones del tanque. Por esto es necesario que el gas inerte entre en el tanque con la velocidad necesaria para llegar hasta el fondo del tanque. Este método se lleva a cabo introduciendo el gas inerte también por la parte alta del tanque con alta velocidad para conseguir la mezcla con los hidrocarburos. A la vez el gas va saliendo por el otro extremo del tanque consiguiendo así una dilución de los hidrocarburos del tanque. Este es el método usado habitualmente en el buque que es objeto de este estudio.

### **3.4. Lavado con crudo.**

Antiguamente los buques tanques lavaban sus tanques con agua de mar durante el viaje en lastre hacia la siguiente carga. La mezcla de agua y crudo resultante se decantaba en los Slop y después se descargaba al mar. Esto producía habitualmente la contaminación del medio marino. Actualmente la regulación internacional obliga a que los buques tanques realicen un procedimiento de lavado muy diferente (ASHLAND, 2005).

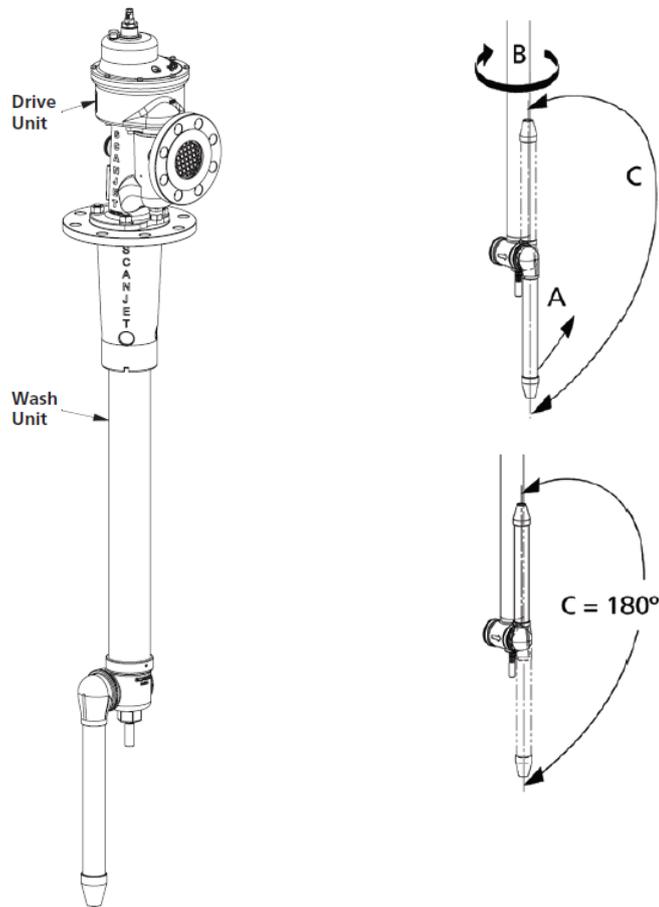
Como no podía ser de otra manera en este tipo de buques, debido la naturaleza de la carga que transportan, una vez que finaliza la descarga siempre quedan restos de esta en los tanques, impregnando los mamparos, en esquinas y recovecos de los refuerzos. Con el objetivo de que los tanques queden lo más limpios posible los buques cuentan con sistemas especializados para lavar sus tanques. La forma más común de lavar un tanque de carga es hacerlo con la propia carga, el proceso de lavar

los tanques con la propia carga se conoce por las siglas en inglés COW, Crude Oil Washing. Para ello, se cuenta con un sistema fijo de líneas y de máquinas de lavado que son capaces de lavar gran parte del tanque con la parte final de la carga, obteniendo grandes resultados. De forma menos habitual estos sistemas también son capaces de lavar con agua caliente, este procedimiento se usa cuando se debe dejar los tanques sin ningún resto de crudo generalmente cuando se procede a astillero. El uso de crudo como agente de lavado supone una gran mejoría en materia medioambiental, evitando la descarga al mar de agua con trazas de crudo y además se ha demostrado que es altamente efectivo a la hora de reducir los residuos que quedan dentro del tanque.

El buque que es objeto de este estudio cuenta con un sistema de COW de última generación compuesto por las máquinas fijas de lavado, las líneas y un calentador de vapor. Cuenta con dos modelos distintos de máquinas de lavado, ambos de la marca Scanjet Marine AB. En total se cuenta con 32 máquinas que se distribuyen por todo el buque. Por un lado, los tanques de carga cuentan con dos máquinas cada uno del modelo SC 90T2 y los tanques de decantación cuentan con cuatro máquinas, una del modelo SC 90T2 y otras tres del modelo SC 45TW. Todas estas máquinas están suministradas por la línea de COW que es una tubería de 250 mm suministrada por las bombas de carga y que mueve el producto a todo el buque.

El modelo SC 90T2 es el principal modelo del buque, presente en los tanques de carga y en los slop. Se encuentra fija en cubierta en la parte alta del tanque y está formada por dos partes. Una de las partes es la turbina que se encuentra a nivel de cubierta y la otra es la lanza que se encuentra en el interior del tanque. El crudo entra en la turbina desde la línea de suministro pasando por la turbina, continúa bajando por la tubería y llega hasta la lanza por la que se pulveriza al tanque. Este modelo de máquina de lavado permite usar distintos programas de lavado, con distintas duraciones, ángulos y velocidades de pulverización. Todo se puede regular en función de las condiciones que se desee en el momento de proceder a lavado. Se vierte en el tanque el rango de 40 a 125 m<sup>3</sup>/h en función del programa que se use.

Ilustración 22: Esquemas máquina de lavado.

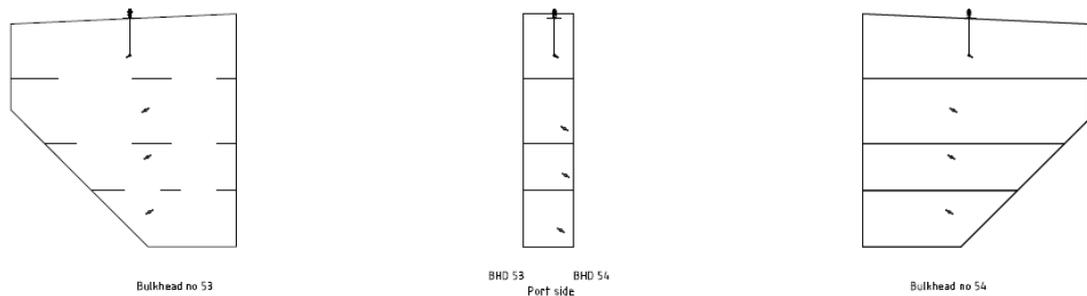


Fuente: Manual del sistema.

La lanza se sitúa al final de la tubería a unos 3,5 metros dentro del tanque y tiene un diámetro de 28 milímetros. La lanza se mueve sobre un eje horizontal que le permite subir y bajar a lo largo de 180° y un eje vertical que le permite girar 360° generando un alcance de prácticamente la totalidad del tanque. Todos los ángulos de giro son regulables en función del programa seleccionado y permiten distintas configuraciones. Los movimientos de la lanza producen un espray helicoidal sobre las superficies del tanque que es capaz de llegar a casi la totalidad de los espacios. En la turbina de la máquina, que se sitúa en cubierta, se puede observar una escala en la que se indica cual es la posición de la lanza en cada momento, permitiendo así conocer en qué estado se encuentra.

Las máquinas de limpieza del modelo SC45TW se encuentran únicamente en los dos tanques de decantación con los que cuenta en el buque. En cada uno de estos tanques encontramos tres máquinas de este modelo que trabajan en conjunto con una del modelo anterior. La principal particularidad de este tipo de máquina es que no son accesibles desde la cubierta, se encuentran en el interior del tanque. Por el propio diseño del buque los tanques de decantación tienen un “sector de sombra” mayor que el de los tanques principales y para realizar una limpieza realmente efectiva necesitan de la ayuda de estas máquinas interiores.

*Ilustración 23: Disposición máquinas de lavado en SLOP*



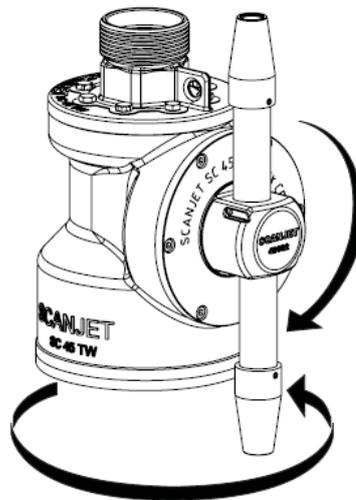
*Fuente: Manual del sistema.*

En la imagen anterior podemos ver la disposición según el plano de las máquinas de lavado en un tanque de decantación. Podemos observar la máquina del modelo SC 90T2 en la parte alta del tanque y las tres del modelo SC45TW en el interior. Esta disposición es de vital importancia ya que consigue dejar los tanques Slop prácticamente limpios en su totalidad. El sector ciego o de sombra es un cálculo que el fabricante y diseñador del plan de lavado de tanques de este buque realiza durante la construcción del buque y en él se indica, para cada tanque, que porcentaje del área del tanque no se vería afectada por la acción del lavado. De este modo, el fabricante nos indica que en cada tanque hay un porcentaje de este que no quedaría lavado correctamente con la problemática que esto supone. Según el fabricante con la distribución de máquinas especial que tienen los tanques de decantación tienen un 0.0 % de su área afectada por el sector sombra. Esto supone una mejora amplia

teniendo en cuenta que el resto de los tanques de carga con la distribución convencional tiene sectores ciegos que van desde el 10 al 15 % de su área.

El funcionamiento de la máquina comienza cuando el producto de limpieza entra a través de la turbina, la cual guía el producto hacia dos lanzas que se encuentran en la parte exterior. En pleno funcionamiento la máquina desarrolla un movimiento giratorio combinado, por un lado, gira el cuerpo del equipo y por el otro giran las lanzas. Para conseguir un lavado completo las máquinas realizan varios ciclos en los que va incrementando el área total de lavado. La velocidad de giro varía en función del flujo de producto, cuanto más producto sea suministrado a la máquina, mayor será la velocidad de giro.

*Ilustración 24: Máquina de lavado SC45TW.*



*Fuente: Manual del sistema.*

Como ya comentamos anteriormente, el producto principal que se usa para lavar los tanques en este buque es el propio producto, en los momentos finales de la descarga se utiliza el producto que queda en los tanques de decantación para lavar el resto de los tanques del buque. No obstante, el crudo no es el único producto que se puede

utilizar para lavar los tanques. El buque está perfectamente diseñado y preparado para lavar los tanques con agua de mar. En este trabajo está implicado las bombas de lastre, las cuales van a tomar agua de mar desde la toma de fondo y la lanzan por la línea de descarga al mar. Esta línea cuenta con un punto en el que se puede derivar hasta un intercambiador de calor. El intercambiador se encuentre en la cámara de bombas y esta suministrado por vapor proveniente de las calderas de la sala de máquinas. En el calentador el agua sube su temperatura y cuando tiene la temperatura requerida sigue su paso hasta los tanques. Para lavar con agua de mar se utilizan las mismas máquinas de lavado ya que estas están diseñadas para trabajar del mismo modo con este producto.

## **4. Estudio de operaciones.**

### **4.1. Procedimientos de operaciones de carga.**

Después de haber comentado en profundidad los distintos elementos estructurales y equipamientos con los que cuenta el buque y que están presentes principalmente durante las operaciones de carga y descarga, continuaremos entrando en profundidad en el desarrollo de la primera parte del viaje de un buque petrolero, la operación de carga.

#### **4.1.1. El viaje en lastre.**

El viaje en condición de lastre es la primera parte de lo que podemos considerar un viaje redondo de un buque tanque. Este estado comienza en el momento en el que el buque abandona el puerto de descarga y se hace a la mar en dirección al próximo puerto de carga en condición generalmente de lastre. Durante este viaje, como no debe ser de otra manera, el buque debe encontrarse en su máximo estado de operatividad y cumpliendo siempre con todas las medidas de seguridad establecidas.

Durante el viaje en lastre, que en este buque suele durar entre 10 y 15 días, es un momento que generalmente se utiliza para realizar mantenimientos y actividades que no se pueden realizar cuando el buque está en condición de carga, generalmente debido a su peligrosidad. Es un buen momento para la mayoría de los trabajos en

caliente o trabajos específicos en equipos relacionados con la carga. De esta manera, es durante el viaje en lastre cuando la compañía dueña de este buque hace cumplir unos requerimientos y trabajos específicos que podemos resumir en:

- Se implementa un sistema de gestión que cubre todos los tanques y los equipos relacionados con las operaciones de carga, donde se incluyen fechas de inspecciones de equipos, descripciones de pruebas realizadas, condición de los tanques y los equipos, reparaciones y trabajos para corregir deficiencias.
- Los tanques de carga siempre se mantendrán inertizados y con presión positiva.
- Se sondan diariamente tanques de lastre, cajas de cadenas y sentinas del buque.
- Se sondan semanalmente y previo a la llegada todos los tanques de carga.
- Se inspeccionan los tanques de carga si lo indica el plan de mantenimiento implementado.

Desde el momento en el que se abandona el puerto de descarga todas las miradas del buque están puestas en el puerto y la operativa de carga y en algún momento del viaje, generalmente en función de los intereses comerciales, el buque recibirá por parte del charter o de la compañía las instrucciones de la futura operación. En las instrucciones suele aparecer, de manera general, la siguiente información:

- Tipo de producto, API y cantidad a cargar.
- Puerto de carga e identificador del cargador.
- Puerto de descarga e identificador del receptor.
- “Laycan” (laydays cancelation), fechas en que el buque debe estar dispuesto para cargar.
- Instrucciones sobre “NOR” (notice of readiness) o “Aviso de Disposición”.
- Requerimientos de preparación de los tanques.
- Agentes.

Una vez que el buque recibe estos y otros datos se comienza a trabajar en la preparación de la operación, comenzando por el plan de carga, que trataremos próximamente.

#### **4.1.2. Plan de carga.**

El plan de carga es un cálculo previo que debe realizar el primer oficial del buque una vez que se han recibido las instrucciones de carga por parte de la compañía o del fletador. El objetivo de este cálculo es el de crear una secuencia que pueda seguirse durante la operación y en la que se refleje las condiciones generales del buque en todo momento. Con las instrucciones del fletador se pueden añadir cálculos y la distribución de la carga, que en ocasiones pueden ser la mejor opción de la carga, pero es importante no llevar a cabo estos planes hasta que desde el buque se compruebe personalmente que son correctos.

El plan de carga suele ser realizado en un formato de Excel específico y está compuesto por distintas partes entre las que podemos añadir:

- API y temperatura.
- Distribución de la carga, por grados o tanques.
- Líneas y válvulas que se van a utilizar.
- Secuencia de carga, separada por parcelas si fuera necesario.
- Secuencia de lastre.
- Rate de carga al inicio, máximo y de topeo.
- Esfuerzos, momentos y GM calculados a los que se someterá el buque.
- Momentos en los que se usaran las bombas o la stripping, en operación de descarga.
- Secuencia de lavado con crudo, en descarga.

Realizar el plan de carga es tarea del primer oficial, pero todos los oficiales puente del buque debe ser conocedor de su contenido, así mismo el personal envuelto en la operación como el bombero o personal de máquinas. En el buque que es objeto de

este estudio el plan de carga comienza con una infografía en la que se indica la condición exacta del buque a la llegada y al finalizar la operación, con calados, desplazamiento, estado de los tanques de carga, lastre, así como esfuerzos cortantes y momentos flectores en esa condición. Las siguientes partes del plan contienen un formato concreto utilizado por la compañía en la que se indica la cantidad de lastre por tanques en la condición de llegada y en la condición de salida. También se añade un apartado en el que se indica por escrito paso a paso todo el proceso que se llevará a cabo en la operación. Se indica paso a paso las válvulas que se van a manipular y cuando se hará, hasta donde quedan los vacíos de los tanques o los procedimientos de emergencia que se deben realizar si fuese necesario.



En la tabla anterior vemos una de las partes más importantes del plan de carga. En esta tabla se indica la evolución completa de los vacíos de los tanques de carga y de las sondas de los tanques de lastre a lo largo de una operación. En este caso hemos utilizado como ejemplo una operación de carga con una duración de 16 horas, en la que podemos ver cómo van avanzando los vacíos y sondas con una periodicidad de dos horas. La primera columna la utilizamos de leyenda ya que nos indica los tanques de carga y de lastre ordenadamente, y en la parte inferior importantes valores de referencia que debemos conocer en cada estado de la carga, como los calados, esfuerzos, GM, cantidades, desplazamiento y DW. La siguiente columna sería la condición inicial de llegada y posteriormente se va indicando como van variando los valores a lo largo de las horas. La última columna ya nos indica el estado del buque al final de las operaciones.

Esta tabla es de especial importancia dentro del plan ya que siempre está presente en el control de carga durante las operaciones. Es una guía completa de cómo se tienen que desarrollar los acontecimientos y puede ayudar a los oficiales encargados a intentar alcanzar las condiciones lo mejor posible cada dos horas, de ese modo podemos tener constancia de que la operación se está desarrollando de acuerdo con lo establecido en el plan.

La siguiente parte importante del plan de carga o descarga es la secuencia. En esta parte se indica a través de unos gráficos de barras la secuencia de la operación. Para cada pareja de tanques de carga y de lastre tenemos una barra que se mueve por un eje temporal. El tamaño de esta barra nos indica la duración del procedimiento que se lleve a cabo en esa pareja de tanques. Así se puede tener una vista general de cómo se debe desarrollar la operación y llega a tener mucha importancia a la hora del topeo, además de mostrar también esfuerzos, momentos flectores, GM y otra información vital. De un solo vistazo se puede ver cuáles son los tanques que se van a topear primero según el plan para así llevar la carga correctamente y ajustarse lo máximo posible al plan.

Ilustración 26: Plan de carga.

|                   | Initial Condition | 2      | 4      | 6      | 8      | 10      | 12      | 14      | 16      | 18    | 20    |
|-------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| <b>1 P/S</b>      | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 1,90    | 1,20    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 2,082  | 5,490  | 8,935  | 12,268 | 15,602  | 18,935  | 22,157  | 22,945  | 0     | 0     |
| <b>2 P/S</b>      | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 1,90    | 1,20    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 2,596  | 6,955  | 11,339 | 15,581 | 19,825  | 24,068  | 28,169  | 29,184  | 0     | 0     |
| <b>3 P/S</b>      | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 1,90    | 1,20    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 2,713  | 7,084  | 11,468 | 15,712 | 19,954  | 24,198  | 28,300  | 29,286  | 0     | 0     |
| <b>4 P/S</b>      | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 1,90    | 1,20    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 2,547  | 6,898  | 5,625  | 15,526 | 19,769  | 24,012  | 28,114  | 29,104  | 0     | 0     |
| <b>5 P/S</b>      | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 1,90    | 1,20    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 2,621  | 6,982  | 11,367 | 15,609 | 19,853  | 24,095  | 28,197  | 29,227  | 0     | 0     |
| <b>6 P/S</b>      | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 1,90    | 1,20    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 2,366  | 6,154  | 10,278 | 14,480 | 18,722  | 22,965  | 27,066  | 28,049  | 0     | 0     |
| <b>SLOP-P</b>     | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 2,00    | 3,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 122    | 317    | 552    | 823    | 1,124   | 1,427   | 1,710   | 1,609   | 0     | 0     |
| <b>SLOP-S</b>     | Ullage [mts]      | 20,10  | 16,90  | 13,80  | 10,80  | 7,80    | 4,80    | 2,00    | 3,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [M3]     | 122    | 323    | 559    | 831    | 1,132   | 1,435   | 1,718   | 1,617   | 0     | 0     |
| <b>F.P.</b>       | Sound [mts]       | 14,42  | 14,00  | 14,00  | 14,00  | 14,00   | 10,21   | 10,21   | 10,21   | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 1,961  | 1,961  | 1,961  | 1,961  | 1,801   | 1,343   | 1,343   | 1,343   | 0     | 0     |
| <b>1W</b>         | Sound [mts]       | 20,80  | 2,70   | 1,40   | 0,30   | 0,15    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 7,693  | 5,140  | 2,786  | 1,338  | 1,12    | 0       | 0       | 0       | 0     | 0     |
| <b>2W</b>         | Sound [mts]       | 22,20  | 2,80   | 1,40   | 0,40   | 0,20    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 8,064  | 6,142  | 4,110  | 2,084  | 2,78    | 0       | 0       | 0       | 0     | 0     |
| <b>3W</b>         | Sound [mts]       | 22,25  | 2,80   | 1,40   | 0,60   | 0,20    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 8,260  | 6,304  | 4,226  | 2,158  | 904     | 295     | 0       | 0       | 0     | 0     |
| <b>4W</b>         | Sound [mts]       | 22,20  | 3,00   | 1,40   | 0,80   | 0,30    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 8,259  | 6,304  | 4,318  | 2,158  | 1,214   | 446     | 0       | 0       | 0     | 0     |
| <b>5W</b>         | Sound [mts]       | 22,70  | 4,35   | 2,18   | 1,48   | 0,93    | 0,68    | 0,68    | 0,68    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 8,030  | 6,519  | 4,594  | 3,177  | 2,161   | 1,339   | 980     | 980     | 0     | 0     |
| <b>6W</b>         | Sound [mts]       | 21,95  | 4,00   | 2,20   | 1,50   | 0,70    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 8,086  | 5,820  | 3,634  | 2,548  | 1,651   | 712     | 0       | 0       | 0     | 0     |
| <b>A.P.</b>       | Sound [mts]       | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
|                   | Quantity [MT]     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0     | 0     |
| <b>MEAN DRAFT</b> | [mts]             | 8,15   | 8,75   | 9,60   | 10,73  | 12,11   | 13,60   | 15,22   | 15,62   | 0,00  | 0,00  |
| <b>TRIM</b>       | [mts]             | 2,90   | 3,41   | 3,61   | 3,51   | 2,47    | 1,56    | 0,40    | 0,00    | 0,00  | 0,00  |
| <b>BM</b>         | [%]               | 71%    | 64%    | 51%    | 48%    | 44%     | 37%     | 45%     | 51%     | 0%    | 0%    |
| <b>SF</b>         | [%]               | 71%    | 58%    | 49%    | 43%    | 41%     | 38%     | 46%     | 48%     | 0%    | 0%    |
| <b>GoM</b>        | [mts]             | 18,15  | 18,25  | 15,61  | 10,77  | 9,18    | 8,28    | 7,24    | 5,68    | 0,00  | 0,00  |
| <b>UKC</b>        | [mts]             | 37,40  | 37,20  | 36,52  | 35,60  | 34,52   | 33,66   | 32,62   | 31,58   | 47,00 | 47,00 |
| <b>CARGO</b>      | [Bbls]            | 15,169 | 40,203 | 60,123 | 90,830 | 115,981 | 141,135 | 165,431 | 171,021 |       |       |
| <b>BALLAST</b>    | [MT]              | 50353  | 38,190 | 25,629 | 15,424 | 8,697   | 4,983   | 2,323   | 2,323   |       |       |

Fuente: Manual de carga.

### **4.1.3. Conexión.**

Una vez que el buque ha llegado a la localización donde va a recoger su cargamento se procede con el comienzo de cualquier operación, conectar el colector con los elementos suministradores de la terminal. Esta operación se realiza de la misma manera en las operaciones de carga y en las de descarga.

Hay dos tipos principales de conexiones a los que se enfrenta un buque de estas características, siendo la diferencia principal el elemento que hace la conexión entre el buque y la terminal. Cuando el buque procede a operar en un puerto la conexión en el manifold se realiza mediante brazos de carga y cuando la operación se realiza en una FPSO o una SBM se utilizan unas mangueras de grandes dimensiones que deben ser izadas por las grúas del propio buque. En ambos casos en la operación de conexión colabora personal de la terminal que tiene la tarea de dirigir las operaciones con la colaboración de la tripulación.

Una vez que el buque se encuentre atracado en puerto y en la posición indicada los brazos se posicionan correctamente y se conectan en el colector. A la hora de la operación se debe tener en cuenta el peso del brazo sobre el colector, para controlar esto de manera general los brazos cuentan con soportes que se van a apoyar sobre las bandejas de drenaje. Estos soportes se colocan sobre tacos de madera de dimensiones considerables para ampliar la zona de presión sobre la propia bandeja. Cuando se trabaja con mangueras en operaciones de FPSO o SBM la grúa es la encargada de recoger las mangueras que se encuentran generalmente flotando en el agua. Las mangueras son de grandes dimensiones y muy pesadas es por ello por lo que siempre se asegura que el peso esté dentro del SWL de la grúa, ya que en ocasiones con mala mar el peso de las mangueras se puede incrementar hasta 1,5 veces. Gracias a la pericia del operador de grúa se consigue dejar la manguera en la posición adecuada frente al colector y sobre el burro del costado del buque, una sección semicircular que se extiende por la eslora del manifold con el objetivo de que descansen sobre ella las mangueras. Posteriormente se abren las tapas de las

reducciones, se comprueba el estado del interior y las juntas, tanto de la conexión del buque como del brazo o manguera.

*Ilustración 27: Manguera sobre manifold.*



*Fuente propia.*

Como ya se comenta en partes anteriores el buque cuenta con distintos tamaños de reducciones para adaptarse a las condiciones de las terminales, estas reducciones se intercambian durante el viaje cuando se conocen las especificaciones de la terminal. Una vez que hemos finalizado la conexión el buque se encuentra listo para recibir cargamento.

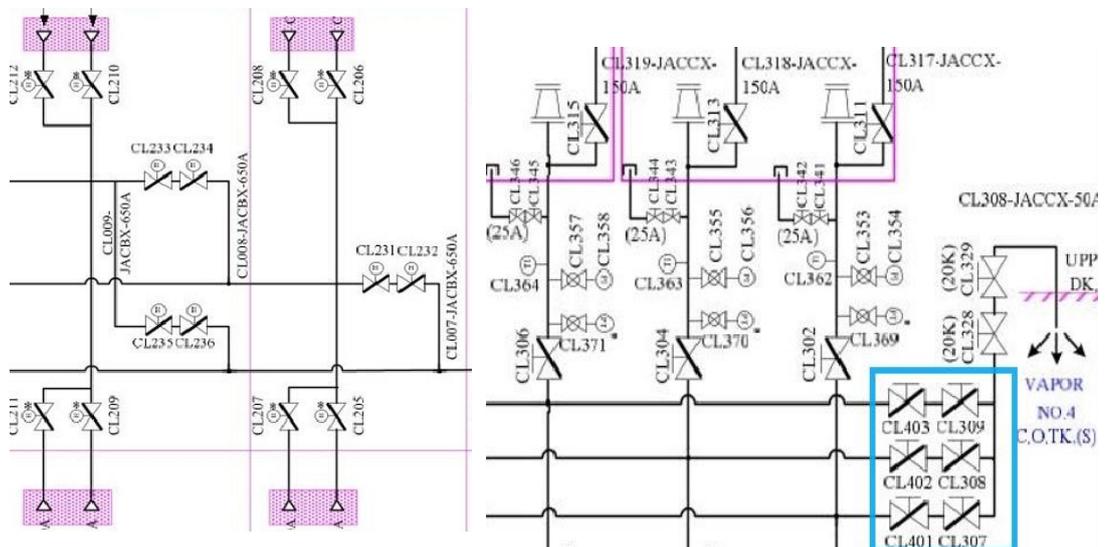
#### **4.1.4. Inicio y control durante la operación.**

Una vez que finaliza la operación de conectar el buque con la terminal a través de brazos de carga o de mangueras el buque se encuentra listo para recibir el cargamento en las condiciones previamente acordadas entre el representante de la terminal y el buque. La clásica disposición utilizada durante las operaciones es la de conectar por dos de las tres líneas del colector. Para realizar una estimación más

adecuada de esta operación vamos a establecer que el buque se encuentra conectado por las líneas I y III del colector de babor.

Es el momento en que se alinean las válvulas necesarias para comenzar con la operación. Para ello, se realiza un chequeo doble entre el primer oficial y el oficial de guardia o el bombero. En este chequeo se va revisando una a una todas las válvulas que deben estar abiertas para comenzar la operación. Comenzamos abriendo las válvulas del crossover para que desde las líneas I y III podamos suministrar cargamento a las 3 segregaciones a la vez, estas válvulas son la *CL307*, *CL308*, *CL309*, *CL401*, *CL402*, *CL403*. Continuamos operando y abriendo las válvulas de las caídas del manifold a los tanques, que como hemos abierto el crossover podremos abrir las válvulas de las 3 caídas siendo estas *CL375*, *CL376*, *CL377*. En este momento se abren desde el control de carga las válvulas que conectan las 3 segregaciones, pero en el interior de los tanques, conectando las líneas bajas del buque. Estas válvulas son *CL231*, *CL232*, *CL233*, *CL234*, *CL235*, *CL236*.

Ilustración 28: Crossover interior y Crossover del manifold.



Fuente: Planos del sistema.

Una vez comprobado que estas válvulas están abiertas podemos comenzar a recibir cargamento. Al comienzo de la operación la terminal suministra la carga a baja velocidad mientras se realizan las comprobaciones oportunas de que todo funciona,

este procedimiento se conoce como cargar el primer pie y es un proceso que puede durar una o varias horas. En este primer momento solo se abren los tanques 4 de cada costado y son los que recibirán este primer pie. Para abrir los estos tanques operamos las válvulas hidráulicas *CL214, CL213*. El caudal estimado en este momento inicial no suele superar los  $2400 \text{ m}^3/h$ . La terminal comienza a suministrar carga y el personal de guardia del buque realiza una inspección por toda la cubierta, revisando todas las conexiones y las juntas en busca de alguna posible pérdida o deficiencia. cuando desde el buque nos cercioramos de que todo está correcto la terminal procede a incrementar el caudal hasta lo acordado previamente y en ese momento comenzaremos a abrir los tanques y a seguir la secuencia establecida en el plan de carga. Salvo en ocasiones especiales, como una carga por parcelas, la secuencia de la operación de carga suele seguir los mismos pasos. Después del aumento de caudal por parte de la terminal se abren todos los tanques y se va monitoreando sus vacíos. Para controlar que se siga la secuencia se manipula desde el control de carga el porcentaje de apertura de las válvulas de los tanques. Durante el desarrollo de la operación se acuerda con la terminal mantener un mínimo de tanques siempre abiertos, es muy importante que, para evitar subidas de presión en las líneas y las mangueras o brazos, siempre antes de cerrar un tanque o una pareja de tanques se abra previamente otros tanques. Por norma general se debe buscar que los tanques que lleguen en primer momento al momento del topeo sean los de las cabezas, es decir topear desde las cabezas al centro del buque de la siguiente manera:  $6 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ , dejando los tanques 4 como los últimos en topear. El desarrollo del topeo se comentará más adelante (OCIMF, Guidelines for offshore tanker operations, 2018).

Por otra parte, debemos tener las líneas de gas inerte totalmente operativas a pesar de que la planta no esté en funcionamiento. Como no puede ser de otra manera durante el proceso de introducir carga en los tanques vacíos el gas inerte, que se encuentra en el interior de estos y que los mantiene en condiciones seguras, irá siendo desplazado. Para conseguir evacuar los gases de manera efectiva y no se genere un aumento de la presión en el interior del tanque nos debemos cerciorar de

que todas las válvulas de la línea principal de gas inerte se encuentran abiertas, además del palo de venteo que su válvula será operada desde el control de carga según se requiera desalojar a mayor o menor velocidad, siempre dependiendo del caudal que suministra la terminal. Las válvulas que se mantienen abiertas son las que conectan los tanques de carga y la línea principal de gas inerte, son las siguientes: *IG001, IG002, IG003, IG004, IG005, IG006, IG007, IG008, IG009, IG010, IG011, IG012, IG013, IG014*. Por otro lado, la válvula que opera el palo de venteo desde el control de carga es la *IG016*. Durante el desarrollo de la operación se realiza una monitorización constante de las presiones en los tanques de carga, siempre se juega con el trabajo del Mast Riser para mantenerla entre 5 y 8 Kpa.

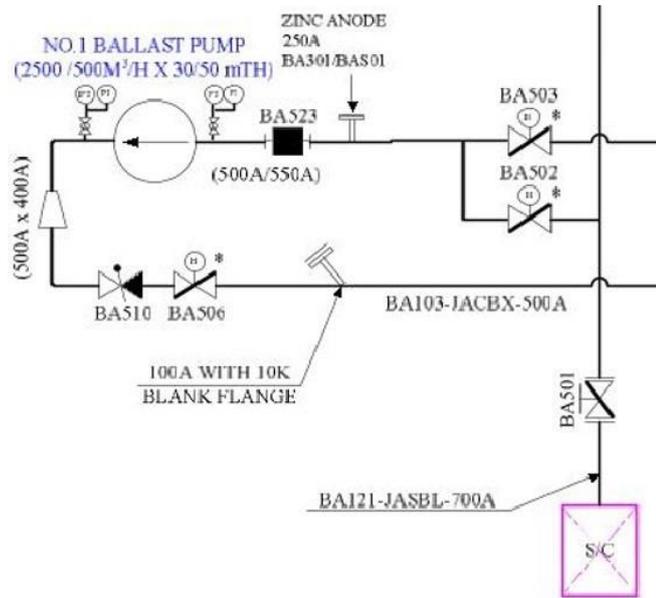
Cuando el buque llega a la terminal se encuentra en condición de lastre, es decir, sin carga y con los tanques de lastre completamente llenos. Esto requiere que durante el desarrollo de la carga se lleve a cabo una operación de deslastre que está incluida en el plan de carga ya que es una parte fundamental de la operación y requiere el monitoreo constante desde el control de carga de los oficiales de guardia y del primer oficial. Al comienzo del deslastre los tanques se encuentran completamente llenos, con la sonda a gran altura lo que posibilita que se desarrolle un deslastre por gravedad.

La principal característica de este método es que no requiere emplear bombas para desalojar el agua de los tanques, el agua sale sola de los tanques por efecto de vasos comunicantes al encontrarse más alto que el nivel del mar. Para preparar el buque para descargar por gravedad se debe arrancar el sistema del neutralizador, alinear y abrir la comunicación de las dos líneas de lastre, se abrirá las válvulas que conectan a la línea baja de lastre, el bypass del eductor y finalmente la descarga al mar, estas válvulas son las siguientes: *BA508, BA509, BA519, BA512, BA536*. Una vez abiertas estas válvulas solo será necesario abrir las válvulas de los tanques y el efecto de vasos comunicantes hará que comience el deslastre.

Durante el transcurso del tiempo se irá deslastrando por parejas de tanques de acuerdo con lo estipulado en el plan de carga. El deslastre por gravedad se mantendrá

aproximadamente hasta que los tanques alcancen la sonda de 12 metros, en ese momento ya será necesario arrancar las bombas de lastre y deslastar a través de ellas. Para hacer uso de las bombas de lastre se debe seguir una secuencia y alinear las válvulas de diferente manera. Nunca debemos dejar que las bombas trabajen en vacío, es decir, sin un flujo de agua constante a través de ellas. El procedimiento de arranque de las bombas comienza con abrir al menos una pareja de tanques, posteriormente abrir la admisión de la bomba. Una vez tenemos la certeza de que bomba está siendo suministrada con agua podemos arrancarla y unos segundos después cuando observemos que aumenta ligeramente la presión a la salida de la bomba, entre 4 y 5 bares, abriremos la descarga, a esto le llamamos dejar que la bomba levante la presión. El cambio de deslastre por gravedad a deslastre con bomba lo realizaremos operando las siguientes válvulas: cerramos *BA508* y *BA509*, abrimos la admisión de las bombas *BA503* y *BA505* y abrimos la descarga de las bombas *BA506* y *BA507*, el resto de la planta la dejamos con la misma disposición que anteriormente. La planta a plena capacidad descarga  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$  lo que permite realizar la operación muy rápidamente. La gestión del lastre es fundamental para que el buque siempre cumpla con las prescripciones acordadas con las terminales, que suelen indicar un trimado máximo al buque.

Ilustración 29: Bomba de lastre.



Fuente: Plano del sistema de lastre.

Durante todo el proceso de carga y deslastre se realizan una serie de comprobaciones de parámetros y de cálculos para garantizar que se está siguiendo el plan de carga y que se ajusta a los parámetros de seguridad establecidos en él. En todo momento se realiza un monitoreo de los vacíos, la presión en los tanques y la temperatura de la carga, todos estos datos los recibimos en las pantallas gracias a los sensores del TankRadar. Cada hora se toman anotaciones de distintos parámetros en formatos de la compañía, anotamos el ritmo de carga que suministra la terminal en toneladas métricas por hora, en barriles por hora y en metros cúbicos por hora, del mismo modo la cantidad de lastre desalojado del buque. Dependiendo de la terminal el ritmo de carga se medirá con parámetros distintos entre los que encontramos:

- TOV – Total observed volumen: volumen total de sustancia en el tanque, incluyendo carga, sedimentos, agua, etc. Medido a temperatura y presión observada.
- GOV – Gross observed volumen: TOV menos la cantidad de agua y sedimentos a la temperatura y presión observadas.

- GSV – Gross standard volumen: volumen de crudo, de sedimentos y de agua en condiciones de 15 y presión atmosférica. En la práctica es el GOV multiplicado por un factor de corrección.

Todos estos parámetros son tomados por los oficiales utilizando el calculador de carga que monitoriza estos parámetros en tiempo real. En otro formato anotaremos la presión en el manifold que es monitoreada in situ por personal del buque desde el y por los oficiales de guardia desde el control. Monitoreamos las lecturas de los sensores de temperatura de las bombas de lastre, en el caso de la descarga. Del mismo modo se anota la lectura de la presión en la línea principal de gas inerte y del porcentaje de oxígeno en la línea.

Con la ayuda del ordenador de carga y de distintos sensores también vamos a realizar un monitoreo de la condición general del buque cada hora. Este control lo reflejamos de dos maneras, haciendo una anotación den el diario de carga en las horas impares y guardando un reporte del ordenador de carga de carga en las horas pares. En estas anotaciones reflejamos el estado de los calados de proa y de popa, los momentos flectores y esfuerzos cortantes, el GM, el desplazamiento, el peso muerto y el agua que tenemos bajo la quilla. De este modo en todo momento controlamos que el buque siempre se encuentre dentro de los parámetros de seguridad establecidos por la compañía y la normativa.

#### **4.1.5. Topeo.**

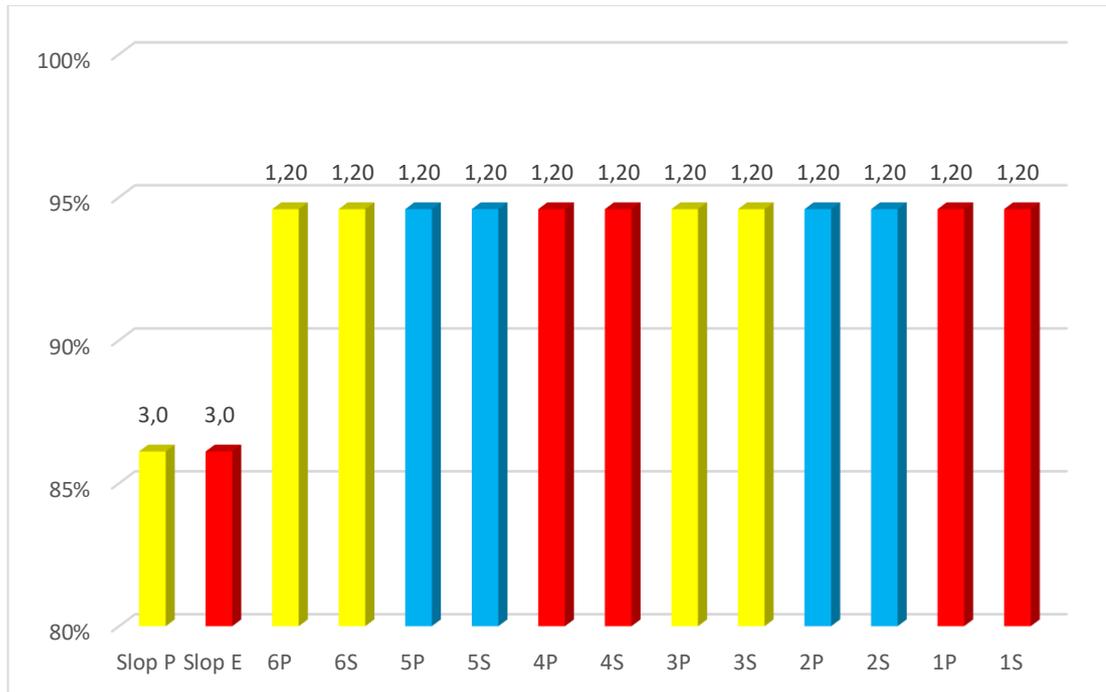
El topeo es la parte final de la operación de carga del buque y consiste en llevar las sondas de los tanques a la medida acordada según el plan y las condiciones de carga recibidas por el charter. Es la parte más crítica de la operación de carga, en la que existe el mayor riesgo de rebose de los tanques. La forma habitual de topear este buque, como citamos en puntos anteriores, es desde las cabezas hasta los tanques centrales. Comenzaríamos topeando los tanques de decantación que son los de menores dimensiones, continuando con los tanques 6, los 1, los 5, los 2, los 3 y en último lugar los tanques 4. Debemos añadir que este procedimiento es para una carga

con un solo producto, en una carga en parcelas se debería seguir otra secuencia, que siempre estará recogida en el plan de carga.

Por norma general, durante el proceso de carga el buque se encuentra en aporado. Esta condición se debe intentar corregir para que el buque llegue al momento de realizar el topeo en aguas iguales o lo más cercano posible. El topeo comienza aproximadamente cuando se alcanza un vacío de 2,5 metros en el tanque, es en ese momento cuando se debe prestar especial atención a ese tanque o pareja de tanques. Cabe destacar que cuando se va a comenzar el topeo la terminal será avisada de esta situación para que puedan reducir el caudal y que la operación se realice con más seguridad. El rate de topeo se suele estimar en  $2400 \text{ m}^3/\text{h}$ , lo que supone una velocidad de carga más manejable para el primer oficial o el encargado de realizar el topeo. Cuando avanza el topeo y algunos tanques ya están alcanzando el vacío deseado es importante asegurarse que antes de cerrar estos tanques hay otros que se encuentran abiertos, ya que a pesar del rate reducido se puede sufrir un aumento brusco de la presión. Del mismo modo, cuando un tanque ha alcanzado su nivel y pasamos al siguiente, debemos comprobar habitualmente que el tanque cerrado no continúa recibiendo carga, asegurándonos así que su válvula está cerrada correctamente.

Un ejemplo del estado típico en el que quedan los tanques en el momento final del topeo es que los tanques de decantación quedan con un vacío aproximado de 3 metros mientras que los tanques principales quedan a 1,20 metros.

Tabla 17: Situación tanques.



Fuente propia.

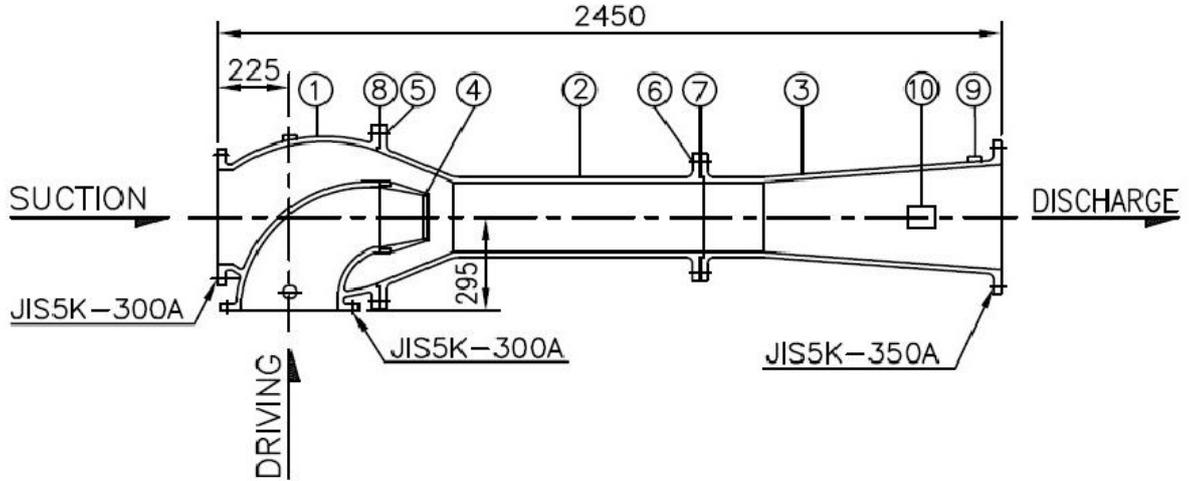
Del mismo modo que los tanques de carga alcanzan su máximo nivel en el final de la operación, los tanques de lastre deben quedar secos o en la condición que requiera el plan de carga. El secado de los tanques de lastre se suele realizar antes de que comience el topeo de los tanques de carga, para que esa operación reciba toda la atención por parte de los encargados.

Cuando la sonda de los tanques de lastre comienza a situarse en niveles bajos debemos de tener precaución con que la bomba no comience a trabajar en vacío, recibiendo aire. Las bombas de lastre cuentan con un amperímetro en el que podemos observar el trabajo normal de la bomba. Cuando la corriente medida por el amperímetro comienza a oscilar significativamente es una indicación de que la bomba comienza a tener dificultades para trabajar y puede ser señal de que está trabajando con aire. El primer paso para evitar esta situación es abrir las válvulas pequeñas de los tanques, las cuales tienen una succión menor y es más difícil que se desceben. En este buque las bombas son capaces de trabajar hasta que los tanques

tienen una sonda de apenas 0,5 metros, y cuando desde el control de carga detectamos que la bomba de lastre ya no es capaz de desalojar más agua debido al bajo nivel del tanque debemos pararla, es el momento de alinear la planta y comenzar a trabajar con el eductor.

Ya hemos explicado con anterioridad que los eductores funcionan gracias al principio de Bernoulli, creando una succión de vacío a través de generar un flujo de agua con una velocidad determinada. El flujo de alimentación del eductor se genera gracias a las bombas de lastre, para ello es necesario alinear de una forma determinada que permita que la bomba succione de la toma de mar y la descargue en el eductor. La alimentación del eductor a través de la bomba genera el vacío que hará que se desalojen lo último que queda en los tanques. A modo de ejemplo para eductar con el eductor número 1 y la bomba numero 1 alinearíamos la planta de la siguiente manera. Se debe abrir la toma de mar y la admisión de la bomba de lastre BA501 y BA502, se cierra el bypass del eductor BA536, se abre la alimentación del eductor y la succión del mismo BA514 y BA515. Con todo el sistema alineado podemos arrancar la bomba de lastre y una vez levanta presión le abrimos la descarga, así tenemos alimentación en el eductor. Con el eductor en funcionamiento iremos secando los tanques por parejas abriendo únicamente las válvulas pequeñas. Cuando tenemos un tanque totalmente seco lo cerramos y cuando nos aseguramos de que está completamente cerramos abrimos la siguiente pareja. Se puede proceder de esta manera ya que en esta ocasión no corremos el riesgo de que la bomba de lastre se descebe ya que se encuentra trabajando directamente con la toma de mar, incluso podemos dejar el sistema funcionando con todos los tanques cerrados ya que la bomba únicamente se encontraría recirculando el agua desde la toma de mar, pasando por el eductor y saliendo por la descarga al mar (Rishel, 2002).

Ilustración 30: Eductor de lastre.



Fuente: planos.

Una vez que nos cercioramos de que tanto los tanques de carga como los de lastre se encuentran en la situación acordada en el plan de carga podemos dar por finalizada la operación de carga.

#### 4.1.6. Precauciones y comprobaciones finales.

En el momento que la terminal ha cesado por completo el flujo de carga hacia el buque se debe drenar el crudo que se encuentra en las mangueras o brazos. Para realizar esta operación en ocasiones las terminales soplan las líneas con aire comprimido para desplazar el crudo, para ello podemos alinear los drenajes de los colectores a los tanques 4 y se dejara que el contenido de la línea caiga en ellos. Posteriormente ya con todas las válvulas del colector cerradas el contenido del colector y de las líneas de carga se drena de igual manera a los tanques número 4.

Una vez que todos los elementos de carga han sido drenados y comprobados se procede a realizar la desconexión de las mangueras o brazos. Se comprueba que las bandejas del manifold están completamente limpias y no tienen restos de la carga. El siguiente caso es colocar las bridas ciegas de las mangueras y cerrar todas las válvulas y purgas que se hayan utilizado para el drenaje de las mangueras o brazos. Cuando ya se han desconectado la conexión se debe poner las bridas ciegas al manifold con total prontitud con todos sus pernos. Durante esta operación es muy importante que

todo el material que deba ser utilizado ante un derrame este preparado y desplegado para ser usado en caso necesario.

El último paso de la operación de carga sucede ya en la oficina del buque y con la presencia del capitán, del primer oficial y de los representantes de la terminal se realizan los documentos finales entre los que se encuentran:

- Vapour recovery checklist.
- Hoja de control de muestras.
- Ullage report.
- Loading rate recorder.
- OBQ calculation.
- Vessel experience factor.
- Conocimiento de embarque o Bill of lading.
- Statement of facts.
- Ship shore safety checklist.

## **4.2. Procedimientos de la operación de descarga.**

### **4.2.1. El viaje en carga.**

Finalizada la carga, el buque se hace a la mar con destino un puerto o una terminal de carga y es durante este viaje que el buque debe ejercer una custodia segura del cargamento y garantizar siempre la seguridad de las personas, la carga y el medioambiente. Para ello se deben realizar una serie de comprobaciones y trabajos rutinarios previos a la llegada al puerto de descarga.

El buque debe cumplir con las obligaciones estipuladas en el conocimiento de embarque (B/L) y en la póliza de fletamento. Las cláusulas o “due diligence” y “proper care of cargo” son aplicables en todas las fases de la gestión del cargamento. Estas cláusulas implican una supervisión constante, comprobaciones rutinarias y mantenimiento preventivo, ajustándose en la medida de lo posible con las

condiciones del cargamento. En resumidas cuentas, las principales obligaciones por parte del buque son:

- Seguir las instrucciones de la póliza de fletamento.
- Tomar vacíos y medir agua libre en los tanques de carga regularmente.
- Mantener y registrar las temperaturas de la carga.
- Mantener los tanques de carga a presión positiva de gas inerte.
- Vigilar la emisión de vapores de la carga a la atmósfera.

En caso de que el buque, siguiendo las indicaciones del charter, no necesite calentar la carga, se vacían, secan y soplan con aire todos los serpentines y las tuberías del sistema. Cuando si se requiere calentar la carga se debe comenzar con la calefacción antes de llegar a una zona fría y siguiendo un plan de calefacción realizado por el primer oficial que garantice que el cargamento llegara al puerto de descarga con la temperatura indicada. Cuando se finalice con la calefacción se secarán y soplarán todas las tuberías del sistema.

Otra de las comprobaciones principales que se realizan en el viaje en carga es la prueba del sistema de COW. Esta prueba consiste en probar la línea principal de COW, subiendo la presión de la línea. También se aprovecha para probar las tres bombas de carga después de que no hayan sido utilizadas durante la operación de carga. Para esta prueba se puede utilizar, por ejemplo, el tanque de decantación de estribor. Comenzaremos alineando el tanque de decantación con la *COP1*, la línea de COW y el eductor, abrimos las válvulas que conectan el tanque y la bomba *CL130*, *CL104* y *CL404*. Se abre la descarga de la bomba *CL147* y *CL447*. Abrimos las válvulas del eductor *CL114* y *CL154* y la descarga del eductor al tanque de decantación *CL129*. De este modo una parte del producto usado en la prueba será recirculado desde el tanque de decantación por la bomba y el eductor y la otra parte quedará en los tanques que se prueben las maquinillas, siempre asegurándonos que estos tanques tengan la sonda suficiente para que no genere un rebose de producto. Con todo alineado, se arranca la bomba y el crudo comienza a circular mezclado con algo de gas. El bombero abrirá poco a poco algunas maquinillas para que salga el gas, hasta

que se siente que ya sale producto por la maquinilla, entonces cierra. A continuación, se comienza a subir las revoluciones de la bomba hasta que la descarga de la bomba se situó en unos 10 bares. La presión de la línea de lavado se debe subir hasta los 8 bares, cuando el bombero realiza una ronda por toda la línea de cubierta para observar que no haya pérdidas. Con la línea revisada finalizamos la prueba de la línea de COW y bajaremos las revoluciones de la *COP1*, procediendo luego de la misma forma con las otras dos bombas.

Durante el viaje, se da el primer paso de una descarga comienza del mismo modo que la operación de carga, recibiendo en el buque las ordenes de descarga y realizando el plan de descarga. Las instrucciones se reciben normalmente por correo electrónico y van a indicar todas las particularidades e indicaciones que tiene que seguir el buque para descargar. En base a estas órdenes es que el primer oficial realiza el plan de descarga.

El desarrollo del plan de descarga se realiza de la misma manera que el de carga y utilizando el mismo formato. Nos ayudamos del calculador de carga y siguiendo las instrucciones recibidas para descargar el buque siempre de manera segura y dentro de los parámetros de seguridad, capacidades y ritmos que permite el buque. La principal diferencia con el plan de una operación de carga es que en este caso se incluye todos los procedimientos de lavado de tanques, indicando en qué momento se comienza a lavar cada pareja de tanques, con los tiempos y ciclos estimados que se prevé que se vayan a utilizar. Es importante desarrollar un plan de carga minucioso y en el que se refleje las condiciones de la forma más real posible buscando siempre las mejores condiciones de calados, trimados, esfuerzos y demás variables. Una de las principales preocupaciones del plan de descarga es la de adecuar el desalojo de carga de los tanques con la entrada de lastre en el buque, del modo que en todo momento se cumpla la condición de navegabilidad y el buque siempre se encuentre por encima del 30 por ciento de su SDW. El plan siempre incluiría las condiciones de llegada y de salida con las sondas de todos los tanques de carga y lastre en ambos momentos. Incluirá del mismo modo los valores de los calados, momentos de corte

y flectores, desplazamiento, así como cantidad de carga y lastre en ambas condiciones.

#### **4.2.2. Safety meeting.**

Cuando el buque ya se encuentra en el puerto o la terminal de descarga, amarrados y en posición acuden al buque los representantes de la terminal para reunirse con el primer oficial y tener la reunión previa de seguridad. En esta reunión se realiza un intercambio de información entre el buque y la terminal en la que se indican diferentes variables de la operación como: (ICS).

- Caudales máximos al inicio, durante y al final de la descarga.
- Presión máxima aceptada por la terminal.
- Desplazamiento de líneas o paradas previstas, si las hay.
- Sistema de comunicación entre buque y terminal. Añadiendo procedimientos de emergencia y números de teléfono de medios de seguridad locales.
- Previsión meteorológica.
- Detalles de la carga como cantidad, API, etc.
- Otras operaciones por realizar como toma de combustibles, provisiones o intercambio de personal.

Una vez que finaliza la reunión de seguridad se puede comenzar con la conexión entre el buque y la terminal. Esto se desarrolla de la misma manera que en la operación de carga y se llevan a cabo las mismas comprobaciones de que todo está perfectamente acoplado y no existe riesgo de fuga. Así mismo, se puede realizar con brazos de carga o a través de mangueras, según la distribución de la terminal.

También después de la reunión de seguridad se realiza una inspección de tanques a la que acude un representante de la terminal, el primer oficial y el bombero, este último encargado de realizar las sondas en los tanques con la UTI. Esta inspección consiste en ir tanque por tanque realizando una sonda para comprobar principalmente que los vacíos que aporta el buque en sus cálculos de llegada se corresponden con la realidad, y que el buque cuenta con la cantidad de carga

acordada. Además, también se realiza una comprobación de la temperatura a varias alturas, ya que la UTI permite la lectura de temperatura. Esta comprobación es de gran importancia en terminales que exigen una determinada temperatura de la carga para proceder a descargar. Por último, se comprueba la presencia de residuos, sedimentos o agua en la carga esto se comprueba cuando la sonda de la UTI llega al plan del tanque. Según la sonda va bajando por el tanque la UTI va generando un sonido característico y ante la presencia de otro material que no sea crudo, si lo hubiera, cambia el sonido que emite. De este modo y con la pasta indicadora que el bombero ya aplicó previamente en la sonda antes de introducirla en el tanque se puede saber si hay sedimento, que cantidad y hasta que tipo.

*Ilustración 31: UTI.*



*Fuente: MMC IC.*

Después de la inspección de tanques y de la reunión de seguridad entre buque y terminal, después de asegurarnos de que la conexión en el manifold está en perfectas condiciones, es el momento de empezar la descarga. La operativa de descarga tiene mayor grado de dificultad que la de descarga, todo el personal se emplea al máximo

y se utilizan otros elementos complejos y de vital importancia en el buque para lograr que la descarga se realice de forma rápida, segura y dejando los tanques lo más secos posible, si así lo indican las instrucciones.

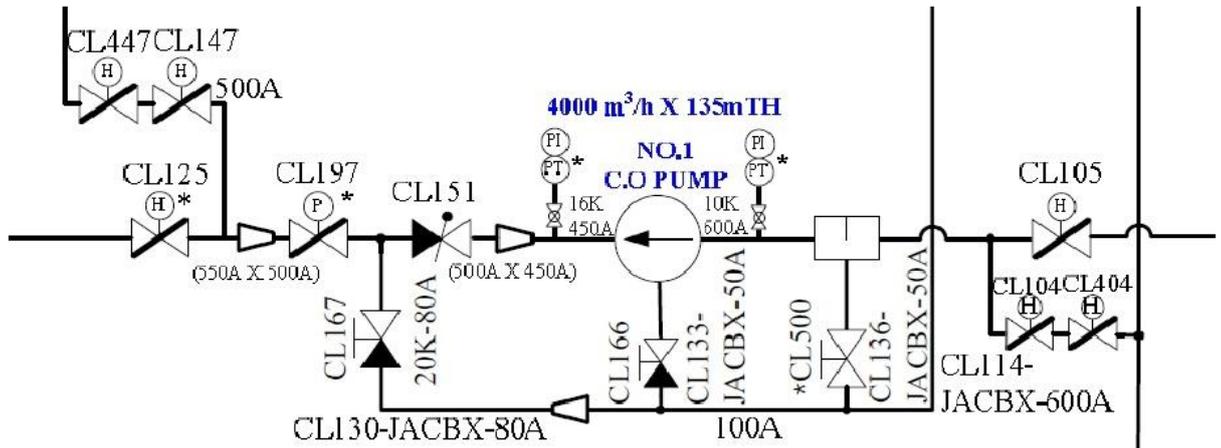
### **4.2.3. Inicio y desarrollo.**

El primer paso de la descarga consiste en poner en funcionamiento la planta de gas inerte. Es fundamental mantener una atmosfera segura dentro de los tanques en todo momento, pero en especial en la operación de descarga. Durante la descarga el vacío de los tanques va en aumento, esto implica que se genera un espacio libre en la parte alta de los tanques donde se acumulan los gases y se genera una atmósfera potencialmente peligrosa, es por eso por lo que se arranca la planta de gas inerte para salvar esta situación. Comenzamos alineando todas las válvulas de la instalación de gas inerte, previamente a poner la planta en funcionamiento. Deben estar abiertas la salida del sello de gas inerte *IG131*, conocida como mil vueltas, y la válvula principal de gas inerte *IG018*. También deben estar abiertas todas las válvulas de los tanques: *IG01, IG02, IG03, IG04, IG05, IG06, IG07, IG08, IG09, IG10, IG11, IG12, IG13* y *IG14*. Con la certeza de que todo se encuentra perfectamente alineado el departamento de máquinas ya puede poner en funcionamiento la planta. Se introduce gas inerte en los tanques de carga siguiendo las instrucciones de la terminal, por lo general se debe cumplir con mantener el  $O_2$  por debajo del 5 por ciento y siempre mantener una presión constante de 7 kPa.

Con el gas inerte en funcionamiento ya podemos comenzar a alinear válvulas para comenzar la descarga. La descarga comienza del mismo modo que la carga, siguiendo el principio del primer pie. Se arranca una sola bomba, por ejemplo, la *COP1*, y se lleva a bajas revoluciones buscando un ritmo de descarga de unos  $2400 m^3/h$ . en estas condiciones abrimos únicamente los tanques número 4 a la espera de que la terminal autorice aumentar el ritmo. Primero alineamos en la cámara de bombas las siguientes válvulas de la línea 1 comenzando por la válvula que conecta las líneas de los tanques con la cámara de bombas, también llamada pasamamparos, la *CL131*. Se abre la entrada bomba *CL105*, la descarga de la bomba *CL125* y la *CL378* que es la

línea principal de cubierta. Alineamos las válvulas del crossover en el colector *CL307*, *CL308*, *CL309*, *CL401*, *CL402*, *CL403*. Debemos tener abiertas las válvulas de los tanques 4 antes de arrancar las bombas, son las *CL213* y *CL214*.

Ilustración 32: Bomba de Carga 1 y válvulas.



Fuente: Planos del sistema.

Para arrancar las bombas de carga se debe tener en cuenta que las bombas utilizadas en este buque no se autoalimentan, es decir, no aspiran, se debe dejar que el crudo fluya hacia las bombas. Antes de arrancar las bombas se deben abrir las válvulas de los tanques y la entrada de la bomba para que el crudo pueda llegar hasta el impeler. Al comenzar la descarga, los tanques llenos ofrecen una columna líquida suficiente para alimentar a las bombas, pero, a medida que el tanque se va vaciando esto puede cambiar. Es por eso por lo que se debe mantener un asiento adecuado en todo momento durante la descarga, para que la aspiración de la bomba siempre esté por debajo de la superficie del líquido. En este momento el oficial de máquinas puede arrancar la turbina de la bomba y comenzara a hacerla rodar durante unos minutos. Cuando la bomba ya está caliente y alcanza las 600 revoluciones se considera que ya está en funcionamiento (Murdoch & Sciacca, 2010).

*Ilustración 33: Bomba de carga.*



*Fuente propia.*

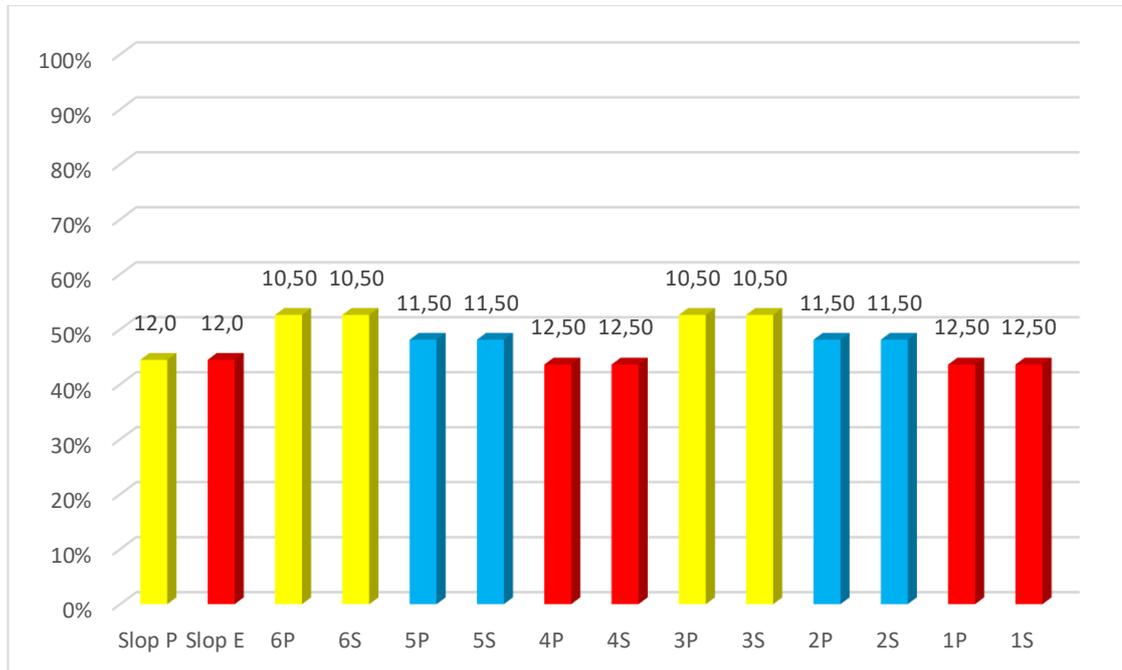
Para comprobar que la bomba trabaja correctamente se comprueba que las sondas del tanque que está abierto bajan mientras las de los tanques cerrados se mantienen sin variar. Cuando se comprueba que todo transcurre con normalidad y la terminal confirma la recepción de producto, se solicita incrementar el régimen de la bomba. Con el visto bueno de la terminal se van aumentando las revoluciones hasta el caudal requerido. Una vez alcanzado el ritmo inicial y comprobado que no hay pérdidas en ninguna conexión se da por terminado el primer pie y se procede a abrir más tanques y poner más bombas en funcionamiento, después de avisar a la terminal.

En este momento el buque se encuentra preparado para utilizar las otras dos bombas y abrir el resto de los tanques. Para poner en funcionamiento las bombas *COP2* y *COP3* se debe alinear la planta de la siguiente forma. Comenzaremos por abrir las válvulas de todas las segregaciones, abriendo la *CL201*, *CL202*, *CL205*, *CL206*, *CL209*,

*CL210, CL217, CL218, CL221, CL222*. Abriremos los respectivos pasamamparos de las segregaciones II y III, *CL137* y *CL139*. Las entradas de las bombas *CL107* y *CL109* y las descargas *CL126* y *CL127*. Por último, abriendo las líneas principales de cubierta *CL379* y *CL380*. De este modo la planta está lista para descargar de todos los tanques y con las 3 bombas de manera simultánea. Dependiendo de las particularidades del cargamento que se está transportando, si está dividido por parcelas o es el mismo producto en todos los tanques, se puede proceder abriendo las válvulas que comunican todas las segregaciones bajo cubierta, estas válvulas son las *CL231, CL232, CL233, CL234, CL235, CL236*. Los tanques de decantación se abrirán en función de las indicaciones del plan de descarga y se debe llevar un control exhaustivo cuando estén abiertos ya que debido a su menor tamaño el vacío aumenta con gran facilidad.

Con toda la planta operativa y la descarga procediendo de manera normal se busca seguir la secuencia establecida en el plan de descarga, que salvo casos especiales suele ser la misma. La secuencia clásica nos indica que debemos llevar adelantados, es decir con un vacío mayor, los tanques que corresponden a la segregación I de los tanques de la segregación II y estos adelantados de los tanques de la segregación III. En los primeros momentos intentaremos llevar las segregaciones separadas entre si un metro, a modo de ejemplo:

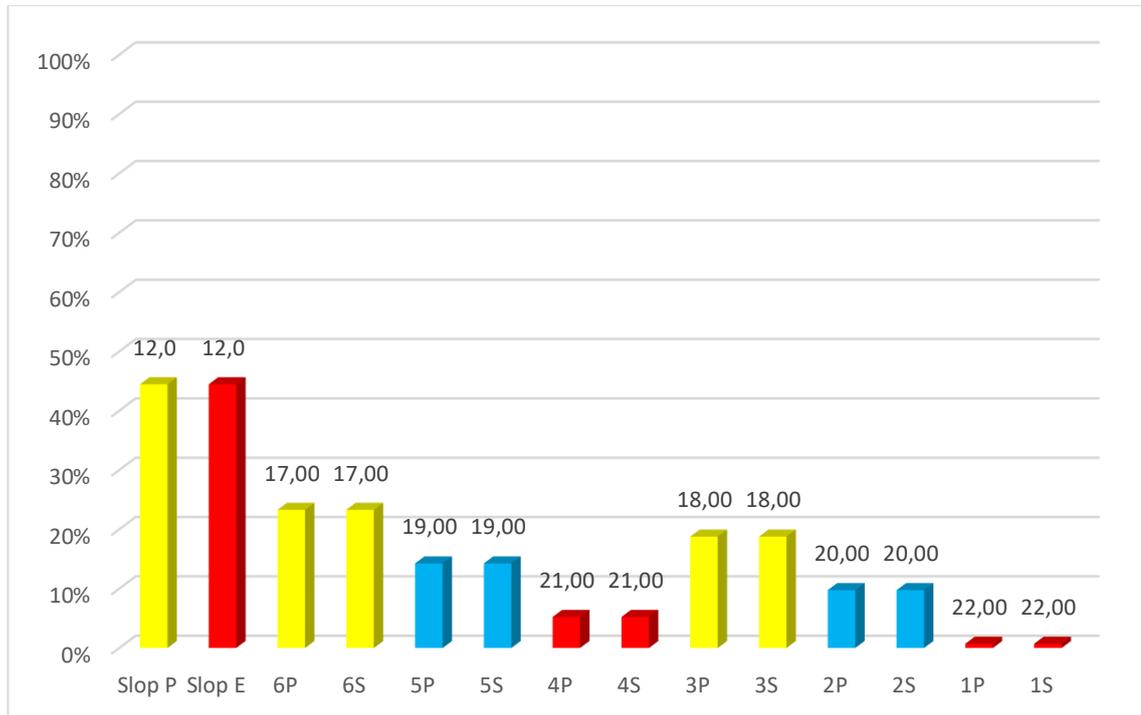
Tabla 18: Situación tanques.



Fuente propia.

Con la descarga más avanzada se buscará otra configuración, pero manteniendo siempre que se lleve la segregación I adelantada de la segregación II y esta última de la segregación III. En este caso se buscará tener una separación de dos metros entre segregaciones y de un metro entre parejas de la misma segregación. El objetivo de estas configuraciones es posibilitar que el buque siempre cuente con el trimado necesario para abastecer las bombas de carga. Estos vacíos siempre son una indicación, pero los oficiales de guardia durante las operaciones deben intentar aproximarse a ellos al máximo. Quedando a modo de ejemplo de la siguiente manera:

Tabla 19: Situación tanques.



Fuente propia.

Por otro lado, en una operación de descarga a medida que el buque se va desprendiendo de su cargamento va perdiendo desplazamiento y calado, para contrarrestar esta pérdida iniciaremos el a cargar el buque con agua de lastre lo antes posible. En un primer momento comenzaremos lastrando el buque por gravedad, ya que el buque tiene un calado bastante amplio y permite lastrar por gravedad durante un largo periodo de tiempo. De este modo lastramos por gravedad todos los tanques por igual hasta que estos tienen una sonda aproximada de unos 10 metros. El primer paso es arrancar la planta de tratamiento de agua de lastre, esta operación requiere unos 30 minutos. Cuando ya está lista la planta seleccionamos en el panel de control el modo “Gravedad” y podemos comenzar a lastrar por gravedad.

Ilustración 34: Sistema de tratamiento de lastre.



Fuente propia.

Para alinear la instalación y lastrear por gravedad debemos abrir la válvula principal de la toma de fondo, también llamada “sea chest”, BA501. Continuaremos abriendo las válvulas BA502 y BA503 y por último las válvulas de todos los tanques de lastre. Mientras estamos realizando el lastre por gravedad podemos operar con la seguridad de que no se van a producir golpes de ariete y no hay problema con dejar cerrados cuantos tanques queramos ya que el agua no está siendo impulsada por una bomba. En cualquier caso, es sencillo detectar el momento en el que ya no entra más agua por gravedad en el buque. Cuando observamos que la sonda de los tanques ya no continúa aumentando querrá decir que ya se ha igualado el nivel del agua entre los tanques y el exterior, ese será el momento de poner en funcionamiento las bombas de lastre.

Mantendremos esta disposición hasta que lo indique el plan de carga, pero como indicamos anteriormente, se suelen llevar las sondas hasta los 10 metros

aproximadamente, siempre y cuando no haya consideraciones especiales. Es el momento de dejar de lastrar por gravedad y hacerlo con las bombas. El primer paso consiste en cambiar el modo de operación de la planta de tratamiento, en la pantalla del sistema simplemente cambiamos el modo "Gravedad" por el modo "Bomba". Antes de arrancar las bombas debemos asegurarnos de que los tanques están abiertos, después podemos abrir la válvula de la aspiración de las bombas *BA502* y *BA504*, pero es importante que mantengamos cerradas las descargas de las bombas. Alineamos el resto de la planta de la siguiente manera: cerramos *BA503* y *BA505*, abrimos *BA508* y *BA509*. Mantenemos abierta la válvula de la toma de fondo y claramente las válvulas de los tanques que queremos lastrar. Con todo alineado podemos arrancar la bomba utilizando los pulsadores que tenemos en el panel del control de carga. Arrancamos la bomba y mantenemos la descarga cerrada hasta que la presión de descarga se situé entre 4 y 5 bares, en ese momento abrimos las válvulas de las descargas *BA506* y *BA507*, procediendo de esta forma evitamos que se produzcan golpes de ariete. Para realizar cambios entre tanques, sin necesidad de parar las bombas, siempre abriremos primero las válvulas de los siguientes tanques antes de cerrar los anteriores. Ya con las bombas de lastre operativos seguiremos con las pautas marcadas en el plan de descarga. En condiciones de una descarga genérica, como esta que estamos describiendo, buscamos dar preferencia a los tanques de lastre de popa. Con esto intentaremos mantener un asiento apopante en torno a los 4 o 5 metros para ayudarnos con el reachique de los tanques y siempre respetando los límites establecidos por las regulaciones de las terminales.

Lo ideal en una buena operación de descarga es llegar al comienzo del lavado de tanques con el lastre finalizado o muy próximo a finalizar, ya que el lavado con crudo requiere mucha atención por parte del personal presente en el control de carga y los procedimientos recomiendan no trabajar juntamente con el lastre. En una descarga tipo se llevan todos los tanques de lastre a su máxima sonda, que ronda los 22,30 metros. Debido a la situación de los tanques de combustible y de agua fresca en el buque normalmente el buque puede quedar con una ligera escora en el momento final de la descarga, con todos los tanques de lastre llenos y los de carga totalmente

vacíos. Para evitar esta situación se utilizan los tanques número 4, es decir los centrales, dejando alguno de ellos con una sonda inferior al resto y así corregir la indeseada escora. Esta situación siempre va a debidamente reflejada en el plan de descarga.

Cuando hemos alcanzado la situación final deseada podemos parar las bombas de lastre. El procedimiento para parar las bombas consiste en cerrar la válvula de la descarga, con la bomba todavía en funcionamiento. Luego cerramos la aspiración de la bomba y por último paramos la bomba desde el pulsador del control. Con esta secuencia conseguimos dejar los filtros de las bombas llenos de agua para que en la siguiente operación no estén secos en el momento de arrancar la bomba.

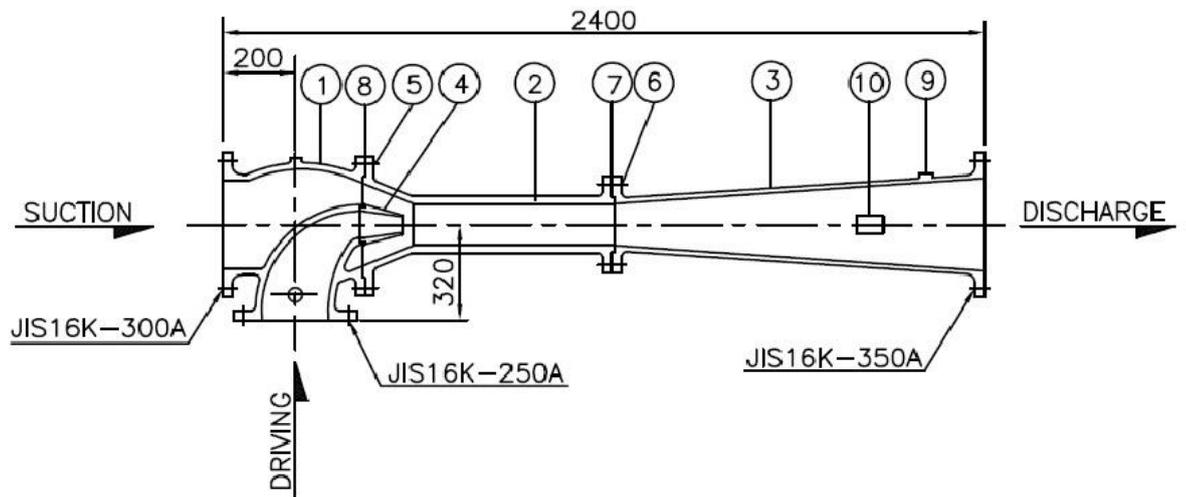
#### **4.2.4. Lavado con crudo.**

Con el paso de las horas y el avance normal de la operación llega el momento de comenzar el lavado con crudo en la segregación I, para ello vamos a utilizar el tanque de decantación de estribor, la bomba número 1 y lavaremos los cuatro tanques de la segregación. La compañía establece un calendario de lavado en el que estipula que se deben lavar al menos el 25% de los tanques en cada descarga, de manera rotativa. El objetivo de este calendario es lavar todos los tanques en un periodo de cuatro meses. Si se considera que durante el viaje en lastre existe la posibilidad de utilizar lastre pesado, en los tanques de carga cuatro, se deben lavar también estos tanques. A pesar de esta recomendación por parte de la compañía, desde el buque se intenta lavar todos los tanques en cada descarga, siempre previa autorización de la terminal. En cada plan de descarga el primer oficial añade un plan específico para el lavado con crudo en el que se especifican los tanques a lavar, la duración, el programa utilizado o la temperatura del producto en el momento del lavado.

Cuando los tanques de la segregación I hayan alcanzado los 22 metros de sonda es el momento de comenzar el lavado en ellos, además tenemos el Slop de estribor en 12 metros de sonda. En ese momento se independiza la *COP1* del resto de las segregaciones, la descarga del resto de tanques continuará su proceso normal gracias a que hemos dejado los tanques de la segregación I por delante.

Durante el proceso de lavado utilizaremos conjuntamente la *COP1*, las líneas de lavado y el eductor de carga. El objetivo es utilizar el contenido del tanque de decantación para lavar los tanques, debemos alinear las líneas para que la *COP1* se alimente con el tanque de decantación y envié el crudo por las líneas de lavado hasta las maquinillas de los tanques. El eductor lo utilizaremos para recoger el producto que va cayendo en el tanque durante el lavado y lo descargaremos en el propio Slop. Para esta operación hay que realizar varios cambios de válvulas en todo el sistema sin parar la bomba, siempre que sea posible. Primero bajamos las revoluciones de la bomba al mínimo, establecido en 500 revoluciones, luego cerramos manualmente la válvula neumática y procedemos rápidamente a alinear todas las válvulas. El primer paso es abrir las válvulas que durante la operación normal alimentan a la bomba, la *CL105* y del mismo modo la descarga de la bomba hacia el colector, *CL125*. Seguidamente podemos abrir las válvulas que alimentan la bomba desde el slop que se utiliza para lavar, en este caso el de babor, siendo las *CL200*, *CL404*, *CL104*. Comprobamos que está todo correcto porque el nivel del separador irá en aumento a medida que recibe el crudo del tanque. Abriremos la alimentación del eductor, válvula *CL144*. Abrimos la succión del eductor, así como la conexión de este con la línea de los tanques, *CL113*, *CL110*, *CL410*. Por último, abrimos la descarga del eductor hacia el slop de babor, *CL154* y *CL144*, además de la válvula neumática de la bomba. De este modo tenemos la planta lista para recircular el crudo con la bomba y el tanque de decantación a la vez que el eductor está recogiendo lo último que queda en los tanques. De este modo también podemos tener la bomba trabajando sin inconvenientes gracias a la recirculación (Wahren, 1997).

Ilustración 35: Eductor de carga.



Fuente: Planos.

Ya con la bomba recirculando el crudo del tanque de decantación podemos comenzar con el lavado con crudo de los tanques de la segregación I. El bombero acude a su puesto en cubierta para comenzar con la operación y comienza abriendo las válvulas de la línea de COW en los tanques a lavar, recordemos que son los tanques 1, 4 y el tanque de decantación de estribor. Desde la máquina de lavado se selecciona el programa utilizado, por norma general, se utiliza el programa que es capaz de lavar el fondo del tanque con un ciclo de  $40^\circ - 0^\circ - 40^\circ$  y una duración de 18 minutos por tanque. Después de seleccionar el programa se comienza a suministrar crudo a la línea abriendo la válvula *CL124*. Con la válvula ya abierta podemos subir las revoluciones de la bomba, que habíamos dejado trabajando al mínimo. Subiremos las revoluciones de la bomba hasta que la presión en la línea de COW se sitúe en 8 bares. A medida que avance el programa de lavado mantendremos los tanques abiertos para que puedan ser drenados por el eductor los restos del lavado (Verwey, 2004).

Finalizado del programa de lavado podemos dar por prácticamente terminada la descarga de la segregación I, aunque en el momento del drenado interno volvamos a reparar todos los tanques con la bomba stripping. Con los tanques lavados podemos volver a bajar las revoluciones de la bomba al mínimo sin necesidad de pararla, se

encuentra recirculando con el slop y el eductor, en ningún momento debería quedarse en vacío. En este momento el bombero comienza a sondar los tanques lavados con la UTI. El objetivo es confirmar que los tanques han quedado lo más secos posible y comprobar si hay sedimentos en el fondo. Es normal que la sonda indique que quedan unos pocos centímetros de producto, en cualquier caso, es una cantidad despreciable, que con el drenaje interno se puede incluso recuperar, y normalmente no supone un inconveniente para la terminal y los representantes de la carga.

Durante el lavado de los tanques de la segregación I la descarga de las otras segregaciones ha continuado de manera normal. El lavado de la segregación I requiere aproximadamente 100 minutos, incluyendo el drenado final, según el plan que desde el buque se remite a la terminal. Con este intervalo de tiempo hemos conseguido que cuando se termina de lavar la segregación I los tanques de la segregación II han llegado al nivel de sonda apropiado para comenzar a lavar en ellos. Solamente hay que alinear nuevamente el sistema para que el eductor ahora recoja de los tanques 2 y 5. Volver a seleccionar los programas en las máquinas y volver a subir las revoluciones de la *COP1*. Antes de comenzar ya deberemos tener parada la *COP2*, puesto que no se va a utilizar, realizaremos el lavado con la *COP1* y el tanque de decantación de babor. La segregación III continúa descargándose a través de su bomba. El proceso es el mismo que en el lavado anterior y del mismo modo ocurrirá que cuando acabe se podrá continuar con el lavado de la segregación III. Utilizando este sistema damos por finalizado el lavado de todos los tanques del buque, que en condiciones normales suele tener una duración de unas 6 horas. Nos situamos en el último estadio de la operación de descarga, el drenaje interno y posterior descarga a tierra con la bomba de stripping.

Con el lavado de los tanques finalizado se le comunica a la terminal que se va a paralizar la descarga y cuando los representantes de la terminal lo autorizan se cierra el colector. En este momento comienza el reachique interno, utilizando la *COP1* y el eductor se realiza un último repaso a todos los tanques de carga y a las líneas. Todo el producto que pueda ser recogido con esta operación se descarga desde el eductor al slop de babor, que es el que se ha utilizado para todo el lavado y que todavía

contiene carga. De este modo iremos alineando el eductor para cada pareja de tanques y la línea de su segregación, cuando ya observamos que la succión del eductor no trabaja podemos dar por finalizado el drenaje de esa parte. El siguiente paso será informar nuevamente a la terminal de que reanudamos la descarga y con la autorización previa abriremos el colector.

A continuación, se va a descargar lo que queda de producto del slop a través de la COP1, para ello ya el eductor no será necesario. Recordemos que previamente bajaremos las revoluciones de la bomba al mínimo para hacer el cambio de válvulas. Cerraremos las válvulas del eductor *CL113*, *CL114* y *CL154*, también se cierra la descarga del eductor al slop *CL144*. Alineamos el sistema para descargar el tanque de decantación de babor con la bomba número 1, abriendo la *CL200*, *CL404* y *CL104*. En ese momento podemos observar que aumenta nuevamente el nivel del separador lo que indica que el producto del tanque llega a la bomba y el sistema está bien alineado. Cerramos la descarga de la bomba que comunica con la línea de COW y el eductor, *CL147* y *CL447*, abrimos la descarga hacia el manifold, *CL125*. Con todo alineado abrimos la válvula neumática, abrimos el colector y comenzamos a subir revoluciones a la bomba.

Ilustración 36: Válvula Neumática.



*Fuente propia.*

De este modo, el tanque de decantación se descarga con normalidad con la bomba, esta operación no requiere demasiado tiempo por las dimensiones del tanque y la capacidad de la bomba, aproximadamente puede durar unos 30 o 40 minutos. Con la descarga produciéndose pedimos al personal de guardia en la sala de máquinas que prepare el vapor para calentar la bomba de stripping. El tiempo necesario para dejar la bomba de stripping lista para el servicio es de unos 30 minutos, por eso requerimos avisar al personal de máquinas para que se encuentre lista cuando finalice la descarga del slop con la *COP1*. Llegado el momento el tanque de decantación ya tiene una

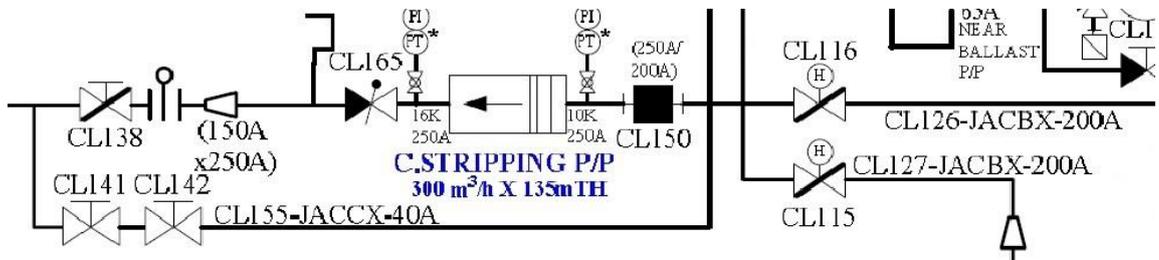
sonda demasiado baja, el nivel del separador de la *COP1* también comienza a bajar, indicando que ya la bomba no es capaz de sacar más carga. El siguiente paso es finalizar la descarga con la *COP1* y el colector principal, alinear la planta para utilizar la bomba de stripping para sacar todo el crudo que falta a través de la línea de MARPOL del colector.

#### **4.2.5. Reachique interno y secado de líneas.**

El bombero acude a la cámara de bombas para determinar que la stripping se encuentra con la temperatura adecuada para comenzar a trabajar. Conjuntamente procedemos a parar la *COP1* de la forma habitual, bajamos sus revoluciones al mínimo, cerramos la válvula neumática y comenzamos a cerrar todas las válvulas de admisión desde el tanque *CL200*, *CL404* y *CL104*. Cerramos la descarga de la bomba *CL125* y el manifold. Paramos finalmente la bomba con el pulsador del control de carga. Hasta el final de la descarga utilizaremos la bomba de stripping y preparamos la planta para descargar por ella. Comenzamos alimentando la bomba con el tanque de decantación abriendo la válvula del tanque *CL140* y la admisión de la bomba por los Slops, *CL116*. Del mismo modo, tenemos alineada la línea de descarga de la stripping *CL138* y *CL374*. La bomba de stripping es de tipo alternativa, como ya hemos especificado con anterioridad, va realizando una serie de ciclos para mover el producto fuera del buque. Desde el control de carga se cuenta con un regulador que permite aumentar o disminuir los ciclos de la bomba, de este modo conseguiremos ajustar los ciclos para que la bomba trabaje adecuadamente. Cuando ya tenemos la bomba preparada y lista para operar podemos informar a la terminal de que vamos a continuar la descarga por la línea de MARPOL realizando los últimos drenajes. Con el visto bueno de la terminal se indica a la tripulación que está de guardia en el manifold que abra las válvulas que conectan los manifolds principales con la línea de MARPOL, que coinciden con los drenajes. En caso de estar descargando por el costado de babor estas válvulas serían la *CL311*, *CL313* y *CL315*. En cualquier caso, solo se abrirán las válvulas de los colectores que estén conectados a la terminal. Con todo alineado comenzaremos a subir las revoluciones de la bomba, seguidamente la tripulación de guardia debe informar cuando se note que el producto está circulando,

esto se manifiesta con un aumento del ruido y la vibración por la propia línea. Durante la operación normal mantendremos la bomba trabajando entre 20 y 30 revoluciones por minuto.

Ilustración 37: Stripping y válvulas.



Fuente: Planos del sistema.

Con el paso del tiempo habremos acabado de secar el tanque de decantación con la bomba de stripping. Detectaremos que la bomba ya no está trabajando adecuadamente porque el sistema emite la alarma de “overstroke”. Esta alarma suele activarse cuando la bomba se sobre revoluciona debido a que ya no está absorbiendo producto, indicando así que no queda más que sacar. Otra manera de saber que ya no tenemos producto que sacar es que la presión de la succión de la bomba baja demasiado. En este momento damos por finalizada la descarga del tanque de decantación y comenzaremos a drenar las líneas y las bombas, el último paso de la descarga. Ante cualquier cambio de válvulas no podemos mantener la stripping trabajando a las revoluciones normales, utilizaremos el regulador para llevar las revoluciones a 0. Con las revoluciones a cero realizaremos el cambio de válvulas y cuando este todo listo volveremos a subir las revoluciones de la bomba. Cerraremos la descarga del slop *CL140* y comenzaremos a drenar todas las líneas de las distintas segregaciones y sus bombas por tramos, empezando por la separación entre los pasamamparos y las bombas. Abriremos las válvulas *CL110*, *CL410*, *CL111*, *CL411*, *CL112*, *CL412* y la succión de la bomba, la *CL115*. De este modo estaremos drenando esa parte de la planta que seguramente ha quedado con producto después de ser usadas por las bombas principales. Del mismo modo continuaremos pendientes de la presión de la bomba, del contador de revoluciones y de la tripulación del manifold para saber cuándo ya las líneas están secas por completo.

El siguiente paso es drenar las bombas, los separadores y las líneas entre ellos. Para ello, todos estos elementos cuentan con drenajes conectados directamente a la línea de la stripping. Desde el control se abre la *CL128*, que es la válvula que conecta los drenajes de las tres líneas con la admisión de la bomba de stripping. El bombero acude a la cámara de bombas para abrir los drenajes manualmente y se irá haciendo línea por línea. Para la línea de la *COP1* el bombero abre las válvulas *CL166*, *CL167*, *CL500* y seguiremos monitoreando los distintos valores habituales para detectar que se drene por completo. También podemos observar el indicador del nivel del separador, lo cual nos ayudara a estimar cuando este se encuentre seco. Cuando finalizamos con la *COP1* pasaremos a la *COP2* cerrando las válvulas anteriores y abriendo las *CL163*, *CL164* y *CL501*. Finalizamos con la *COP3* que son las válvulas *CL160*, *CL161* y *CL502*. Entre cada cambio de drenajes también reduciremos las revoluciones de la bomba hasta el mínimo.

Con la finalización de los drenajes de las bombas y las líneas damos por terminada la descarga del buque. Es a partir de este momento en el que el primer oficial junto con los representantes de la terminal, además de autoridades pertinentes, comienzan con el trabajo de documentación, apoyándose en formatos estándar del ISGOTT, formatos propios de la compañía y formatos de la terminal.

## **5. Conclusiones.**

Una vez analizado en profundidad las distintas etapas de una operación de descarga y de una operación de carga, en este último apartado vamos a exponer las conclusiones a las que el autor llega con la realización de este trabajo de fin de grado.

La necesidad de la presencia de un manual que contenga por un lado las operaciones habituales de carga y descarga de un buque tanque y por otro una explicación de las principales características del buque y de los equipos y elementos con los que cuenta para realizar estas operaciones y para la correcta custodia de la carga era el principal problema que se planteaba en este documento. Queda demostrado con el contenido de este trabajo que se puede realizar un manual de este tipo, que sea cómodo, de fácil uso y entendimiento por parte de todos los tripulantes. La principal ventaja de

un documento de este tipo es la visión completa que se puede ofrecer sobre el funcionamiento del buque, ahorrando tiempo en consultar infinidad de manuales distintos, uno para cada equipo o fabricante.

Por lo general los manuales que llegan al buque a la hora de instalar los equipos pueden resultar en ocasiones complicados para un tripulante que se enfrenta a ellos por primera vez o no está habituado al uso de un equipo. No hay duda de que estos manuales contienen una grandísima cantidad de información y que se debe consultar siempre ante cualquier duda de funcionamiento o algún problema que pueda surgir. El objetivo de un manual como el presentado por el autor no es sustituir los manuales de los fabricantes, en ningún caso. Se presenta este escrito como una ayuda, un complemento a los manuales de los fabricantes y a los utilizados por las compañías. El transporte por vía marítima de petróleo ocupa un lugar fundamental en el comercio internacional, es una tarea imprescindible para la sociedad actual. Esta tarea debe ser realizada por personal cualificado, con los mejores medios técnicos y con los últimos avances que la industria pueda aportar. En cuanto a la capacidad de las tripulaciones para operar los buques de acuerdo con la legalidad impuesta por todos los estamentos internacionales, es fundamental conocer las características y peligros que tiene un cargamento de este tipo, información que también se ofrece en este mismo escrito.

En base a la experiencia personal del autor como alumno de puente en un buque tanque, se considera que hubiera sido una ayuda notable el poder disponer de un manual de estas características. Una lectura como esta en los primeros meses de la estancia a bordo, incluso como una lectura previa a la llegada al buque es un apoyo que puede facilitar el aprendizaje y el conocimiento total del buque. En definitiva, se considera útil que los buques cuenten con un documento de este tipo, adaptado siempre a cada buque para la utilización y consulta de todos los tripulantes interesados.

## **Ilustraciones y tablas.**

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1: Dimensiones. ....                           | 11  |
| Tabla 2: Dimensiones. ....                           | 11  |
| Tabla 3: Dimensiones. ....                           | 11  |
| Tabla 4: Dimensiones. ....                           | 12  |
| Tabla 5: Dimensiones. ....                           | 12  |
| Tabla 6: Dimensiones. ....                           | 13  |
| Tabla 7: Dimensiones. ....                           | 13  |
| Tabla 8: Dimensiones. ....                           | 14  |
| Tabla 9: Dimensiones. ....                           | 15  |
| Tabla 10: Especificaciones Monte Urquiola. ....      | 15  |
| Tabla 11: Países productores de petróleo. ....       | 23  |
| Tabla 12: Variantes de crudo. ....                   | 27  |
| Tabla 13: Límites de inflamabilidad. ....            | 30  |
| Tabla 14: Efectos en distintas concentraciones. .... | 34  |
| Tabla 15: Efectos H <sub>2</sub> S. ....             | 35  |
| Tabla 16: Valores umbrales. ....                     | 37  |
| Tabla 17: Situación tanques. ....                    | 93  |
| Tabla 18: Situación tanques. ....                    | 105 |
| Tabla 19: Situación tanques. ....                    | 106 |
| <br>   |     |
| Ilustración 1: Vista transversal. ....               | 9   |
| Ilustración 2: Vista longitudinal. ....              | 10  |
| Ilustración 3: Monte Urquiola. ....                  | 16  |
| Ilustración 4: Vista transversal. ....               | 18  |
| Ilustración 5: Plano general. ....                   | 21  |
| Ilustración 6: Triángulo del fuego. ....             | 29  |
| Ilustración 7: Capacidades tanques de carga. ....    | 39  |
| Ilustración 8: Plano manifold. ....                  | 41  |
| Ilustración 9: Reducciones. ....                     | 42  |

|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 10: Sección de una bomba de carga.....               | 45  |
| Ilustración 11: Sistema TankRadar.....                           | 49  |
| Ilustración 12: Mast raiser.....                                 | 52  |
| Ilustración 13: Calculador ANKO.....                             | 55  |
| Ilustración 14: Pantallas CCR.....                               | 57  |
| Ilustración 15: Capacidad tanques de lastre.....                 | 62  |
| Ilustración 16: Bomba de lastre.....                             | 64  |
| Ilustración 17: Esquema planta de gas inerte.....                | 66  |
| Ilustración 18: Scrubber.....                                    | 69  |
| Ilustración 19: Fuente: Manual del sistema.....                  | 69  |
| Ilustración 20: sello de cubierta.....                           | 71  |
| Ilustración 21: Fuente: Manual del sistema.....                  | 71  |
| Ilustración 22: Esquemas máquina de lavado.....                  | 74  |
| Ilustración 23: Disposición máquinas de lavado en SLOP.....      | 75  |
| Ilustración 24: Máquina de lavado SC45TW.....                    | 76  |
| Ilustración 25: Plan de carga.....                               | 81  |
| Ilustración 26: Plan de carga.....                               | 83  |
| Ilustración 27: Manguera sobre manifold.....                     | 85  |
| Ilustración 28: Crossover interior y Crossover del manifold..... | 86  |
| Ilustración 29: Bomba de lastre.....                             | 90  |
| Ilustración 30: Eductor de lastre.....                           | 95  |
| Ilustración 31: UTI.....   | 100 |
| Ilustración 32: Bomba de Carga 1 y válvulas.....                 | 102 |
| Ilustración 33: Bomba de carga.....                              | 103 |
| Ilustración 34: Sistema de tratamiento de lastre.....            | 107 |
| Ilustración 35: Eductor de carga.....                            | 111 |
| Ilustración 36: Válvula Neumática.....                           | 114 |
| Ilustración 37: Stripping y válvulas.....                        | 116 |

## Bibliografía

- [1] Hubber, M. (2018). *Tanker operations. A handbook for the person in charge.* Atglen: Cornell maritime press.
- [2] Baptist, C. C. (2000). *Tanker handbook for deck officers.*
- [3] Ricardo Gadea, G. (2004). *Los buques tanque y su clasificación.* Obtenido de <http://exchange.dnv.com/>.
- [4] Bahadori, A., Nwaoha, C., & William Clarck, M. (2013). *Dictionary of oil and petrochemical processing.*
- [5] Administration, U. E. (s.f.). *Energy Information Administration.* Obtenido de <https://www.eia.gov/international/rankings/world?pa=173&u=0&f=A&v=m%20apbubble&ev=false&y=01%2F01%2F2021>
- [6] Bhanawat, A. (Diciembre de 2012). *Marine Insight.*
- [7] LTD, W. S. (2009). *Crude oil tanker basics. The theory and practice of crude oil cargo operations.* Edinburgo.
- [8] OCIMF, ICS. (2020). *International safety guide for oil tankers and terminals 6th edition ISGOTT.*
- [9] Devold, H. (2013). *Oil and gas production handbook.*
- [10] OCIMF. (1995). *Guidelines for the protection of personnel from exposure to benzene vapours.*
- [11] OCIMF. (1991). *Recommendations for oil tanker manifolds and associated equipment.*
- [12] Karassik, I., Messina, J., Cooper, P., & Heald, C. (2014). *Pump Handbook.*
- [13] Emerson Process Management Marine Solutions. (2007). Rosemount Tank Radar AB. göteborg, Suecia.

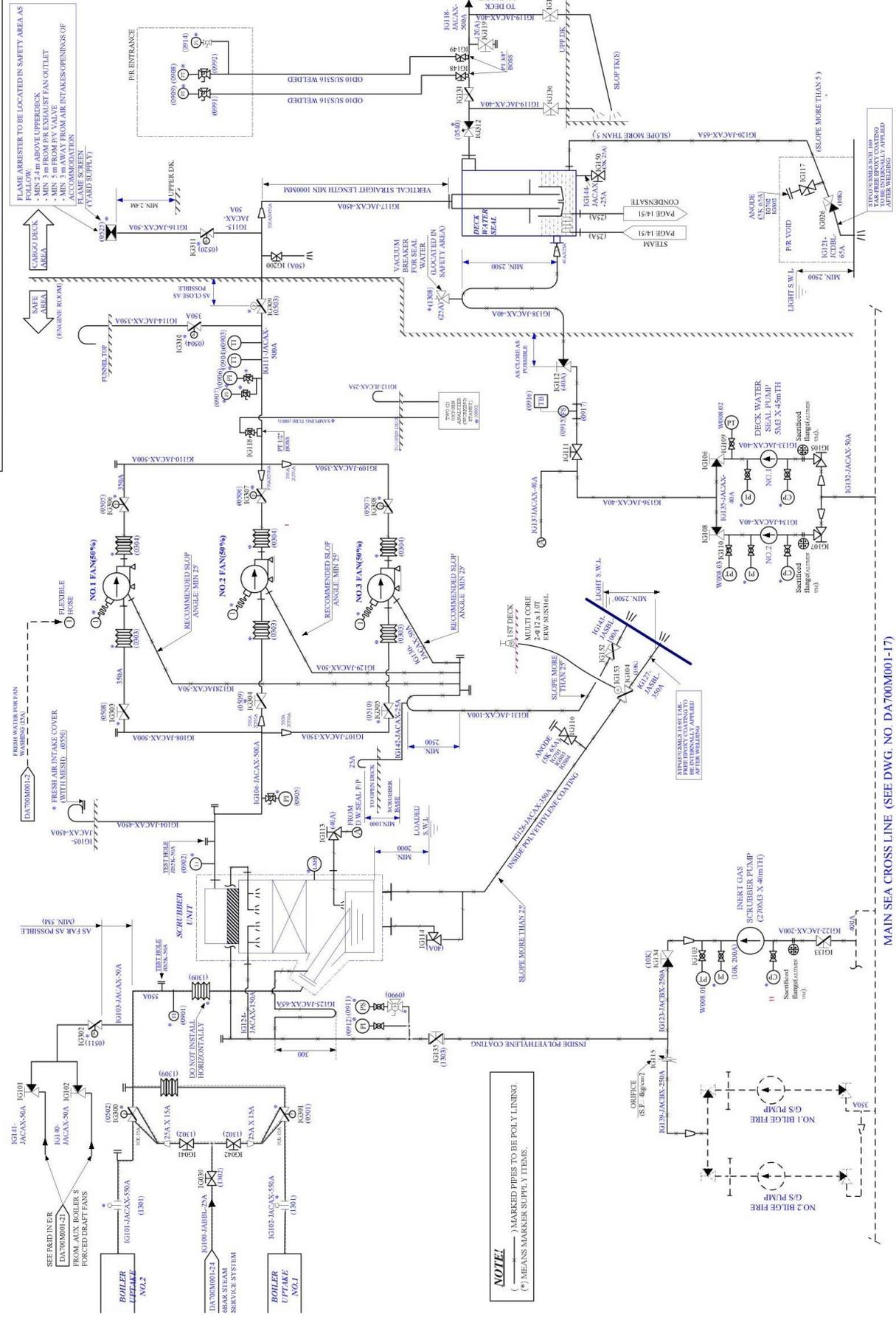
- [14] IMO. (2009). *Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos.*
- [15] IMO. (2005). *Ballast water management convention.*
- [16] Anwar, N. (2011). *Ballast water management.*
- [17] INTERTANKO. (2018). *Ballast water contingency measures for tankers.*
- [18] IMO. (1990). *Inert Gas System 1990.* Londres.
- [19] ASHLAND. (2005). *Tank cleaning manual.*
- [20] OCIMF. (2018). *Guidelines for offshore tanker operations.*
- [21] Rishel, J. (2002). *Water pumps and pumping system.*
- [22] ICS. (s.f.). *Ship shore safety check list guidelines.*
- [23] Murdoch, E., & Sciacca, F. (2010). *A master's guide to ship piping.*
- [24] Wahren, U. (1997). *Practical introduction to pumping technology .*
- [25] Verwey, A. (2004). *Tank cleaning guide.*







DWG TITLE : P/D OF CARGO TANK VENT / INERT GAS SYSTEM



FLAME ARRESTER TO BE LOCATED IN SAFETY AREA AS FOLLOW:  
 - MIN 2.4m ABOVE UPPER DECK  
 - MIN 3 m FROM PR EXHAUST FAN OUTLET  
 - MIN 3 m AWAY FROM AIR INTAKES/OPENINGS OF ACCOMMODATION  
 - FLAME SCREEN (WARD SUPPLY)

SAFE AREA  
 (ENGINE ROOM)

CARGO DECK AREA

FRESH WATER FOR FAN WASHING (DA) (0655)

FRESH AIR INTAKE COVER (WITH MESH) (0655)

AS FAR AS POSSIBLE (MIN. 5M)

DO NOT INSTALL HORIZONTALLY

SEE P&ID IN ER FROM AUX BOILERS FORCED DRAFT FANS

INSIDE POLYETHYLENE COATING

SLOPE MORE THAN 2%

INSIDE POLYETHYLENE COATING

MAIN SEA CROSS LINE (SEE DWG. NO. DA700M001-17)



## **Anexo V: AVISO DE RESPONSABILIDAD**

### **AVISO DE RESPONSABILIDAD:**

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

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

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

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

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