

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Técnica Naval**

**DEFINICIÓN Y CÁLCULO DE SISTEMA DE LASTRE DE
UN BUQUE LNG DE 176.000 M³. SELECCIÓN PLANTA
TRATAMIENTO PARA CUMPLIMIENTO CONVENCION
IMO AGUAS DE LASTRE**

José Daniel USERO GARCÍA



Centro: **E. U. I. T. NAVAL**
Titulación: **I. T. NAVAL**
Fecha: **Julio 2014**



AVISO IMPORTANTE:

El único responsable del contenido de este proyecto es el alumno que lo ha realizado.

La Universidad de Cádiz, La Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Naval, los Departamentos a los que pertenecen el profesor tutor y los miembros del Tribunal de Proyectos Fin de Carrera así como el mismo profesor tutor **NO SON RESPONSABLES DEL CONTENIDO DE ESTE PROYECTO.**

Los proyectos fin de carrera pueden contener errores detectados por el Tribunal de Proyectos Fin de Carrera y que estos no hayan sido implementados o corregidos en la versión aquí expuesta.

La calificación de los proyectos fin de carrera puede variar desde el aprobado (5) hasta la matrícula de honor (10), por lo que el tipo y número de errores que contienen puede ser muy diferentes de un proyecto a otro.

Este proyecto fin de carrera está redactado y elaborado con una finalidad académica y nunca se deberá hacer uso profesional del mismo, ya que puede contener errores que podrían poner en peligro vidas humanas.

Fdo. La Comisión de Proyectos de Fin de Carrera
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Naval
Universidad de Cádiz

Contenido

Capítulo 1. Introducción al proyecto	11
1.1. Objetivos del proyecto.....	11
1.2. Introducción.....	11
1.3. English Introduction.....	13
Capítulo 2. Gaseros.....	17
2.1. Introducción a los gaseros.....	17
2.2. Introducción a los gaseros.....	19
2.2.1. SEGÚN EL MÉTODO PARA CONTENER EL GAS	20
2.2.2. SEGÚN EL TIPO DE TANQUE.....	21
2.2.2.1 GASERO DE MEMBRANA	22
2.2.2.2 GASERO INDEPENDIENTE	24
2.3. Elección de materiales para los tanques	26
Capítulo 3. Buques LNG	27
3.1. Introducción buques LNG	27
3.2. Introducción buques LNG	29
3.2.1. EFECTO BOIL OFF	29
3.2.2. INERTIZACIÓN DE LOS TANQUES.....	30
3.2.3. CONSERVACIÓN DE LA FLOTABILIDAD.....	31
3.2.4. SISTEMA DE GAS INERTE	31
3.2.5. SISTEMA DE ESPUMA EN CUBIERTA.....	31
3.2.6. SEPARACIÓN DE LA ZONA DE CARGA	31
3.2.7. UBICACIÓN DE LA CARGA	32
3.2.8. LÍMITE DE LLENADO DE LOS TANQUES DE CARGA	32
3.2.9. SISTEMAS DE RESPIRACIÓN DE LA CARGA	32
3.2.10. MEDIDAS DE SEGURIDAD CARGA Y DESCARGA	32

3.3. Ejemplos de los buques LNG más grandes que operan en la actualidad	34
3.3.1. MOZAH.....	34
3.3.2. AL GHUWAIRIYA.....	34
3.3.3. AL HUWAILA.....	34
3.3.4. AL GATTARA	34
3.3.5. AL GHASHAMI	35
3.3.6. UTOURIYA	35
3.3.7. AL RUWAIS	35
3.3.8. ENERGY HORIZON	35
3.3.9. CASTILLO DI SANTISTEBAN	35
3.3.10. BARCELONA KNUTSEN.....	36
3.4. Descripción del buque base	36
3.4.1. PRINCIPALES DIMENSIONES.....	37
3.4.2. CAPACIDADES DE DISEÑO.....	38
3.4.3. PESOS	38
3.4.4. PROPULSIÓN.....	39
3.4.5. VELOCIDAD	39
3.4.6. AUTONOMIA	39

Capítulo 4. Normativa aplicable. Gestión y tratamiento de aguas de lastre.41

4.1. Introducción.....	41
4.2. IMO (OMI, ORGANIZACIÓN MARITIMA INTERNACIONAL)	44
4.2.1. CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y LOS SEDIMENTOS DE LOS BUQUES.....	45
4.2.1.1 SECCIÓN A: Disposiciones Generales:	48
4.2.1.2 SECCIÓN B: Prescripciones de gestión y control aplicables a los buques: 49	
4.2.1.3 SECCIÓN C: Prescripciones especiales para ciertas zonas:	50

4.2.1.4	SECCIÓN D: Normas para la gestión de agua de lastre:.....	51
4.2.1.5	SECCIÓN E: Prescripciones sobre reconocimiento y certificación para la gestión de agua de lastre:	52
4.2.2.	PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y SEDIMENTOS DE LOS BUQUES POR LA ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL.	53
4.3.	SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN	54
4.3.1.	APLICACIÓN DE LA NORMATIVA SEGÚN AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS)	54
4.3.2.	APLICACIÓN DE LA NORMATIVA SEGÚN DET NORSKE VERITAS (DNV)	71
4.3.3.	APLICACIÓN DE LA NORMATIVA SEGÚN LLOYD'S REGISTER (LR).....	88
4.4.	CONCLUSIÓN A LA NORMATIVA IMO Y LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN	104
Capítulo 5. Guía para el desarrollo de la planta de lastre.....		109
5.1.	Introducción.....	109
5.2.	Cálculo capacidad de lastre.....	110
5.3.	Aplicación de la norma según la capacidad de lastre.	110
5.4.	Dimensionamiento del sistema de lastre.	111
5.5.	Elección y desarrollo de la planta de tratamiento.	112
5.6.	Definición del sistema de lastre definitivo.	113
5.7.	Sistemas de tratamiento de aguas de lastre (aprobados por la IMO)	113
5.7.1.	TRATAMIENTOS MECÁNICOS.....	114
5.7.2.	TRATAMIENTOS FÍSICOS	115
5.7.3.	TRATAMIENTOS QUÍMICOS	120
5.8.	Fabricantes de sistemas de gestión de agua de lastre.	124
5.8.1.	ALFA LAVAL.....	124
5.8.2.	TEHCROSS	125
5.8.3.	OCEAN SAVER	128

5.8.4. NEI TREATMENT	129
5.8.5. HYDE MARINE.....	130
5.8.6. NUTECH 03, INC.....	131
5.8.7. OPTIMARIN	132
5.8.8. HITACHI PLANT TECHNOLOGIES	133
5.8.9. PANASIA.....	134
5.8.10. JFE ENGINEERING	135
5.8.11. MARINE WATER TECHNOLOGIES (RWO).....	135
5.8.12. HAMWORTHY	136
5.8.13. HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES	138
5.8.14. MITSUI ENGINEERING	139
5.8.15. ECOCHLOR	140
5.8.16. SUNRUI MARINE ENVIRONMENT ENGINEERING CO., LTD	141
5.8.17. HEADWAY TECHNOLOGY CO., LTD	142
5.8.18. SEVERN TRENT DE NORA	143

Capítulo 6. Dimensionamiento del buque y cálculo de la capacidad de lastre 145

6.1. INTRODUCCIÓN.....	145
6.2. DEFINICIÓN DEL BUQUE	147
6.2.1. PM:	147
6.2.2. ESLORA:.....	148
6.2.3. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	150
6.2.4. MANGA.....	151
6.2.5. PUNTAL	152
6.2.6. CALADO	153
6.2.7. DESPLAZAMIENTO	154
6.2.8. CALCULO PRELIMINAR DE CAPACIDAD DE LASTRE	155

6.2.9. CARACTERISTICAS DEL BUQUE:	156
6.3. COEFICIENTES ADIMENSIONALES.....	156
6.3.1. COEFICIENTE DE BLOQUE:.....	157
6.3.2. COEFICIENTE DE LA MAESTRA.....	157
6.3.3. COEFICIENTE PRISMÁTICO.....	158
6.3.4. COEFICIENTE DE FLOTACIÓN	159
6.3.5. OTRAS RELACIONES ADIMENSIONALES.....	159
6.4. ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA CONDICIÓN DE DISEÑO	160
6.4.1. CANTIDAD DE LASTRE PARA LA CONDICIÓN DE DISEÑO	164
6.5. CALCULO CAPACIDAD DE LASTRE	165
6.5.1. INMERSIÓN DEL BULBO	166
6.5.2. INMERSIÓN DE POPA	170
6.5.3. ESTUDIO DE ESTABILIDAD INICIAL (condición lastre)	172
6.6. DISPOSICIÓN DEL LASTRE.....	175
6.6.1. DOBLE FONDO	175
6.6.2. DOBLE CASCO.....	176
6.6.3. CAPACIDAD TOTAL DE LOS TANQUES DE LASTRE	177
6.7. CONCLUSIÓN.....	179

Capítulo 7. Definición del sistema de lastre según la normativa.
..... **181**

7.1. Introducción.....	181
7.2. Normativa aplicable al buque debido a su año de fabricación y capacidad de lastre.....	182
7.3. Método a implantar para el cambio de aguas de lastre.....	184
7.3.1. PLANTA DE TRATAMIENTO	185
7.3.2. CAMBIO DE AGUA DE LASTRE.....	188
7.3.3. BOMBAS Y RED DE TUBERÍAS	189

7.4. Conclusión: Pasos a seguir para diseño del sistema de lastre del buque. ... 190

Capítulo 8. Diseño y dimensionamiento del sistema de lastre. .. 193

8.1. Introducción.....	193
8.2. Bombas.	194
8.3. Disposición.....	195
8.3.1. ZONA DE CARGA:	196
8.3.2. ZONA FUERA DE CARGA:.....	198
8.4. Tubería.....	206
8.4.1. ZONA DE CAMARA DE MAQUINAS.	207
8.4.2. ZONA DE CARGA.	210
8.4.3. RAMAL ZONA DE CARGA.	212
8.5. Pérdidas de carga.....	213
8.5.1. PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUA	214
8.5.2. PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS:.....	226
8.5.3. PÉRDIDA DE CARGA TOTAL.....	233
8.6. Cálculo de presión de la bomba.	234
8.7. Espesor de la tubería.....	243
8.8. Espesor de la tubería de GRP:.....	245
8.9. Consumo eléctrico.	245
8.10. Conclusión.	246
8.11. Alternativa: Disposición y dimensionamiento del sistema de lastre si el buque con túnel en el doble fondo.	247
8.11.1. DISPOSICIÓN.....	247
8.11.2. TUBERÍA.....	251
8.11.3. PÉRDIDAS DE CARGA.	252
8.11.4. CALCULO DE LA PRESIÓN DE LA BOMBA.	254
8.11.5. CONCLUSIÓN.....	254

Capítulo 9. Planta de tratamiento.....	255
9.1. Introducción.....	255
9.2. Descripción del sistema.....	256
9.2.1. FILTRADO:	258
9.2.2. UNIDAD UV	264
9.2.3. INSTALACIÓN SUMINISTRO ELECTRICO	266
9.2.4. PANEL DE CONTROL.....	268
9.2.5. OTROS ACCESORIOS	269
9.3. Conclusión	272
Capítulo 10. Conclusión.....	275
10.1. Introducción.....	275
10.2. Definición del sistema de lastre.....	276
10.3. Descripción del sistema.....	279
10.4. Estimación del coste.....	280
Referencias	283
Tablas.....	285
Figuras.....	287
Formulación tema 6.....	291
Formulación tema 8.....	293
Anexos.....	295

Lista de Acrónimos

E.I.N.O.	Escuela de Ingeniería Naval y Oceánica
ABS	American Bureau of Shipping
DNV	Det Norske Veritas
IMO	International Maritime Organisation
LR	Lloyd's Register

Capítulo 1. Introducción al proyecto

1.1. Objetivos del proyecto.

El presente proyecto se ha elaborado con la intención de llevar a cabo los siguientes objetivos:

- Analizar la normativa internacional aplicable y los reglamentos de las principales sociedades de clasificación, estableciendo una guía propia de aplicación que sirva para diseñar y dimensionar el sistema de lastre (bombas, tuberías, diámetros, espesores, planta de tratamiento de agua de lastre, etc) de un buque gasero.
- Aplicar dicha guía al buque del proyecto estimando de manera razonada todos los datos necesarios.
- Aplicar de una manera práctica los conocimientos adquiridos en los estudios de grado.

1.2. Introducción.

En el presente trabajo “Definición y Cálculo del Sistema de Lastre de un Buque LNG de 176.000 m³. Selección Planta Tratamiento para Cumplimiento Convención IMO Aguas de Lastre” se estudiará la implantación del sistema de lastre a bordo de un buque LNG de 176.000 metros cúbicos, el cual tendrá que cumplir con la normativa sobre el tratamiento de agua de lastre expuesta por la IMO tras la firma de dicho convenio en 2004.

La idea que se ha llevado a cabo a la hora de la realización de este proyecto fin de grado es la siguiente: partir de una idea general e ir indagando de más a menos hasta llegar al objeto del mismo, osea, definir el sistema de lastre con una planta de tratamiento para un buque LNG.

Así a lo largo del mismo se abordarán los siguientes temas:

- Se hará una introducción a los buques gaseros en general, sus principales características así como una clasificación de los mismos.
- Se describirá el tipo de gasero LNG en particular con sus principales características y los principales requisitos a considerar cuando hablemos de este tipo de navío.
- Se hablará del problema de la contaminación del agua de lastre, con las consecuencias que esto conlleva haciendo un estudio de la nueva normativa aplicada a este problema, junto con lo que aplican al respecto tres de las principales sociedades de clasificación más influyentes de la actualidad.
- Se elaborará una guía a partir de la normativa en la cual quedarán reflejados los pasos a seguir a la hora de diseñar el sistema de lastre a implantar junto con la planta de tratamiento para el buque. También se explicarán los diversos métodos permitidos para elaborar el proceso y aportaremos una lista con los principales fabricantes que podemos encontrar en el mercado.
- Se calculará y se llevará a cabo el dimensionamiento y disposición de los tanques de lastre a bordo del buque. Para ello se tendrá como referencia buques similares (haciendo regresiones para aplicarlos al buque proyecto) y haciendo un estudio de estabilidad del mismo así como comprobando que el calado de proa y popa sea el adecuado.
- Calculada la capacidad de lastre y teniendo en cuenta el año de fabricación del buque se desarrollará la normativa aplicable al mismo para realizar la planta de lastre.
- Una vez conocida la capacidad de lastre del buque se calculará el sistema de bombas a implantar, así como diámetro y material de las tuberías, colocación de las mismas... todo lo necesario para completar el sistema de lastre.
- Se diseñará una planta de tratamiento en función de la capacidad de lastre de las bombas.

- Por último, una vez conocido todo lo referente al sistema de lastre, se diseñará e implantará un sistema de tratamiento de agua de lastre para el buque, haciendo una estimación del coste que supondría

Este es un tema bastante interesante puesto que relaciona un sistema fundamental para la navegación y la seguridad del buque con un problema del que hay que concienciarse e intentar mejorar que es la contaminación.

1.3. English Introduction.

In this work “Definition and calculation of the Ballast system of a 176,000 m³ LNG ship with a treatment plant onboard compliance with the IMO Ballast Water Convention” we will study the ballast system to get it into the vessel to clean the water before throwing it into the sea.

We have divided the degree project in some sections to follow an order to reach the goal: Ballast systems with treatment plant onboard the LNG ship.

Next we could read the section:

- Firstly, we will talk about gas carrier in general. We want to inform about the main characteristics of gas carrier before we start our project. In this section we will talk about their cargo and we appoint the different types of gas carrier by the gas and by how it is transported onboard. We will also talk about its different tanks.
- In second part we will concentrate on LNG ships in particular. We are going to make a brief summary about the characteristics of gas and after this we will talk about the main consideration we should know when we talk about LNG.

Also we can see some examples of LNG in this section and we will explain the base vessel.

- In third part we will see the normative. In this section we will explain the new normative to avoid vessel sailing without having a treatment ballast system onboard or other type of system to change the water.

We will compare this normative with the regulation of the Classification Societies aswell. We will see three Classification Societies:

- ABS: American Bureau of Shipping.
- DNV: Det norske Veritas.
- LR: Lloyd's Register.

We will make a brief summary about this section in the end and we will make a guideline to make the other section project.

- In the fourth part we will calculate the main dimensions of the vessel. We do not know how the ship is. For this reason we need to estimate the main characteristic with information about other LNG ships.
- When we have the main characteristic of our vessel, we will calculate the ballast system capacity. This information is very important to estimate the capacity of the pumps, the diameters of tubes... and to make the treatment system plant.
- After that, we will study the normative to apply our ship with the ballast capacity and building date. This part is very important for the following section.
- When we know the normative to apply to the vessel, we will estimate the number and capacity of pumps, diameter of tubes and the arrangement systems. This part will be made without treatment plant and, after we've done it, we will put in the plant.

- We will design the treatment plant in the next section and afterwards it will be installed with the ballast system into the ship.

When we know all characteristic about ballast system we will make a brief summary about its components, where we will estimate the cost.

The main objective of this work is to apply the knowledge that we have learned during the degree in a real situation. This work can be one example about our future job and can be a good way to know if we are already prepared to work in one company.

Capítulo 2. Gaseros.

2.1. Introducción a los gaseros.

Los buques gaseros conforman un sub-grupo de lo que se denomina Buques tanque, es decir, “un buque de carga construido o adaptado para el transporte a granel de cargamentos líquidos de naturaleza inflamable” según el SOLAS (Safety of Life at Sea).

Así la definición de gasero según el SOLAS es la siguiente: “ es todo buque de carga construido o adaptado y utilizado para el transporte a granel de cualquiera de los gases licuados u otros productos enumerados en el capítulo 19 del Código Internacional de Gaseros”.

El transporte de gases licuados a granel comenzó hacia 1920 con barcos que transportaban butano y propano en barcos presurizados a temperatura ambiente. En 1950 estos buques comienzan a tolerar las bajas temperaturas sin perder su calidad estructural y ya en 1960 aparecen los buques full-refrigerados para el transporte del LPG a presión atmosférica y el transporte del LNG y Etileno.

En líneas generales estos barcos son soportes de grandes depósitos que llevan en su interior el gas a altas presiones o incluso a bajas temperaturas.

La estructura de los cascos se adapta a las exigencias de los depósitos que pueden ser esféricos, cilíndricos, formas combinadas de ambos, etc. y pueden estar dispuestos, de forma vertical u horizontal. Los depósitos pueden ser muchos y pequeños o ser grandes y en número reducido. Siendo estas consideraciones las que indican la variedad de las soluciones para la estructura del casco.

Sin embargo, el problema constructivo de estos barcos no es su casco, en general, sino los propios depósitos que exigen aceros especiales, técnicas de soldaduras difíciles, máxima calidad de los trabajos, tensiones internas atenuadas, etc.

El apoyo de los depósitos sobre el fondo o doble fondo obliga a estructuras no convencionales; el soporte y sujeción plantea problemas técnicos, pero actualmente todos ellos están resueltos.

La cámara de máquinas y la superestructura de estos buques suele estar a popa.

Las instalaciones para la carga y descarga de estos buques es complicada y las exigencias de seguridad son muy rigurosas. Las reglamentaciones exigen que estos buques posean una barrera secundaria para contener temporalmente cualquier pérdida proveniente del tanque o de la barrera primaria.

Para mantener las bajas temperaturas de los tanques deberán estar perfectamente aislados de la estructura, existiendo diversas soluciones como el sistema de membrana de Kockums o la esfera de Moos-Rosenberg.

La temperatura de condensación de un gas depende de la presión de la presión, por eso la combinación entre la presurización y enfriamiento es fundamental para la contención de la carga.

En la siguiente tabla se representa el transporte de cargas en buques gaseros según el tipo de gas:

Carga	Punto de ebullición en °C a presión atmosférica	Presión de vapor a 45°C en bar absolutos	Condiciones de transporte
n-Butano	-0,5	4,3 bar a	Full presurizado, semi-presurizado o full refrigerado
i-Butano	-12	5,2 bar a	
Butadieno	-5	5,1 bar a	
Cloruro de Vinilo	-14	6,8 bar a	
Amoniaco	-33	17,8 bar a	
Propano	-43	15,5 bar a	

Propileno	-48	18,4 bar a	
Etano	-89	Sobre la temperatura crítica	Semi-presurizado o Full refrigerado
Etileno	-104	Sobre la temperatura crítica	Semi-presurizado o Full refrigerado
Metano/LNG	-161	Sobre la temperatura crítica	Full refrigerado

Tabla 2-1 (Características de gases transportados en gaseros)

Las cargas que se transportan en mayor cantidad son el Metano/LNG (butano, propano o mezclas) y amoníaco. Hay que tener en cuenta que si un gas supera su temperatura crítica no existe ninguna condición de presión capaz de transformar dicho gas en líquido. Por ello dicho gas natural debe de ser refrigerado para su posterior transporte.

2.2. Introducción a los gaseros

Estos buques gaseros se pueden clasificar de acuerdo a dos parámetros:

- De acuerdo con la carga transportada:
 - Buques para el transporte de gases licuados de petróleo, LPG.
 - Buques para el transporte de gases licuados de etano, LEG.
 - Buques para el transporte de gases licuados naturales, LNG.
 - Buques para el transporte de Cloro.
 - Buques para el transporte de LEG/LPG/Químicos

- De acuerdo con el método que utilizan para contener el gas licuado:
 - Totalmente Presurizados.
 - Semi-presurizados/refrigerados.
 - Totalmente refrigerados.
 - Totalmente aislados.

En la clasificación entregada por la IMO, se identifican cinco tipos diferentes de tanques:

- Tanques independientes.
- Tanques de membrana.
- Tanques de semi-membrana.
- Tanques integrales.
- Tanques con aislamiento interno.

2.2.1. SEGÚN EL MÉTODO PARA CONTENER EL GAS

Los tipos de buques gaseros se pueden agrupar en cuatro diferentes categorías, de acuerdo con el tipo de carga y de las condiciones de transporte:

- Totalmente presurizados (Fully pressurised ships). Estas naves son las más simples de todas. Transportan sus cargas a temperatura ambiente y de manera general en tanques de carga independientes tipo C con una presión de unos 18 bar. No necesitan aislamiento térmico ni planta de relicuado. El producto suele ser descargado y cargado mediante bombas y compresores.

Sus tanques son extremadamente pesados. Estos barcos suelen ser pequeños con capacidades de 4.000 a 6.000 metros cúbicos. Suelen transportar amoniaco y LPG.

- Semi-presurizados (semi-pressurised ships). Estos buques son similares a los presurizados con tanques independientes tipo C. Están diseñadas para una presión máxima de 7 bar.

Estos barcos necesitan una planta de relicuado y aislamiento de la carga para controlar el Boil-off.

Estos buques varían desde 3.000 a 20.000 metros cúbicos y sus tanques están diseñados para transportar el gas a baja temperatura. Suelen transportar LPG y algunos gases químicos.

- Totalmente refrigerados (Fully refrigerated ships). Los buques refrigerados transportan sus cargas a presiones casi atmosféricas y son diseñados para transportar grandes cantidades de LPG y Amoniaco. Se suelen utilizar diferentes sistemas de carga:
 - Tanques independientes con casco simple o doble fondo.
 - Tanques independientes con doble casco.
 - Tanques integrales.
 - Tanques de semi-membrana.

El diseño más utilizado es el primero con una presión de 0.7 bar y temperaturas de -48°C. Poseen capacidades desde los 20.000 a 100.000 metros cúbicos de carga.

- Buques LNG. Son un tipo especial de gasero ya que transportan grandes volúmenes de LNG a presión atmosférica y levemente sobre su punto de ebullición (-162°C).

Las capacidades de estos buques se encuentran en torno a los 130.000 metros cúbicos con un periodo de vida de entorno a 25 años.

La construcción de los buques LNG, ha sido liderada por los siguientes diseños:

- Membrana Gaz-Transport.
- Membrana tipo Technigaz.
- Independientes tipo B – Kvaerner Moss Spherical.
- Tanques IHI SPB-Prismaticos.

2.2.2. SEGÚN EL TIPO DE TANQUE

Los tanques de tipo independiente y membrana se consideran los más importantes en los buques LNG, por los que son los dos tipos que definiremos a continuación.

2.2.2.1 GASERO DE MEMBRANA

Los tanques de membrana forman parte de la estructura del casco de la nave, ya que la parte inferior de este soporta los estanques de carga. Por ello estos sistemas de contención deben contar con barreras secundarias capaces de aguantar posibles fugas.

Estos tanques consisten en una delicada pared estanca, denominada membrana, separada de la estructura del buque por una capa de aislamiento. Las membranas se diseñan de manera que son capaces de absorber las dilataciones y contracciones térmicas simultáneamente. La membrana constituye una barrera primaria que se complementa con otra secundaria capaz de retener al LNG en caso de fuga o accidente.

- Membrana “Gaz Transport”: Poseen dos barreras de contención idénticas de 0,5 mm cada una. Estas barreras se construyen de acero Invar (30%). Este sistema se utiliza para el transporte de cargas totalmente refrigeradas.

Entre cada barrera existe un aislante que suele ser relleno de perlita de aproximadamente 200 mm.

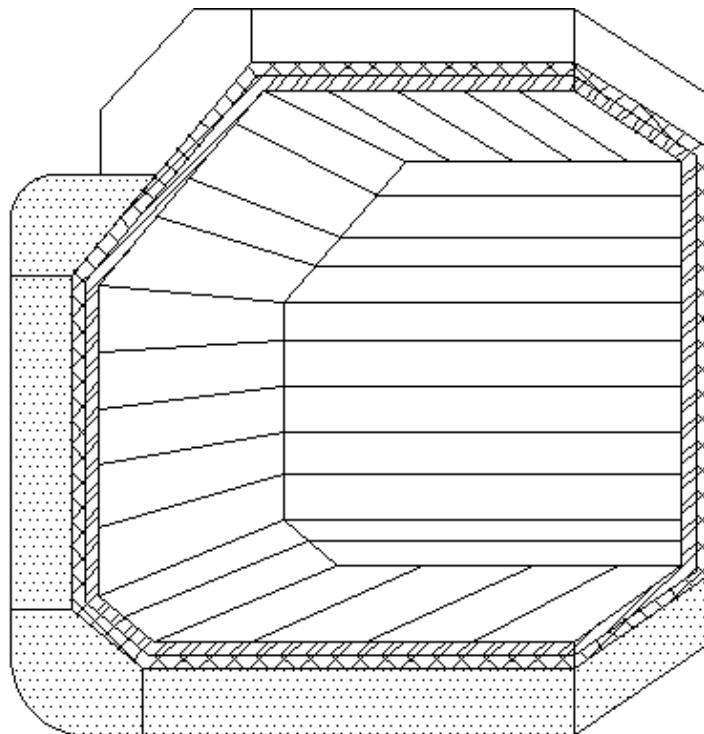


Figura 2.1 (Sección transversal tanque membrana “Gaz Transport”)

Los diseños más recientes de tanques de membrana transport, utilizan membranas de Invar de 0,7 mm de espesor y cajas de triplay reforzado con el objetivo de retener el aislante de perlita. La perlita es siliconizada para hacerla impermeable al agua y la humedad.

- Membrana “Technigaz”: Posee una barrera principal de acero inoxidable de 1,2 mm de espesor con corrugaciones elevadas (wables) que permiten la expansión y la contracción de los tanques de carga. En este sistema la carga se transporta totalmente refrigerada.

El aislamiento está constituido de paneles de madera de balsa laminada que se encuentran entre dos capas de triplay, la primera de ellas conforma la barrera secundaria del tanque de carga en la cual los paneles de madera laminada se encuentran interconectados a través de juntas especialmente diseñadas, soportadas sobre el casco inferior de la embarcación por medio de plantillas de madera. En la segunda capa de triplay el aislamiento de madera se reemplaza por una espuma celular y una tela de fibra de vidrio- laminado de aluminio.

(En general, algunas de las principales características que poseen los buques metaneros con sistema de membrana, es que debido al efecto slosing los tanques de carga deben de estar siempre cargados en cantidades menores al 10% de su capacidad máxima o bien en cantidades mayores al 90% de la misma).

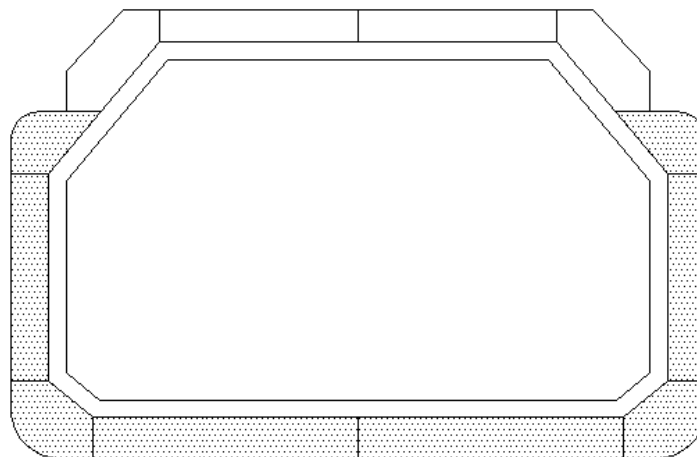


Figura 2.2 (Sección transversal membrana “Technigaz”)

Debido a su estructura resulta complicado encontrar posibles fugas en los tanques, lo que complica el mantenimiento.

2.2.2.2 GASERO INDEPENDIENTE

Estos tanques se caracterizan por ser completamente independientes, ya que no forman parte del casco y no aportan nada a su resistencia estructural. Por ello dependen principalmente de la presión de diseño. En esta clasificación existen tres tipos de tanques independientes:

- Tipo A: Este tipo se caracteriza por transportar cargas en condiciones totalmente refrigeradas a presión atmosférica. Sus capacidades varía desde los 15.000 a los 85.000 metros cúbicos.

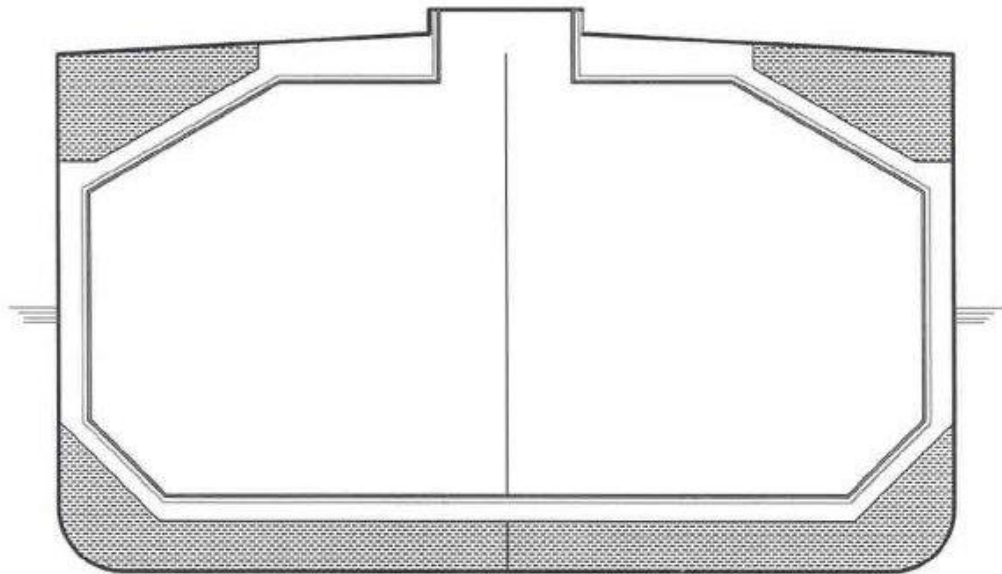


Figura 2.3 (Sección transversal tanque independiente tipo A)

Estos tanques están diseñados para transportar LPG, amoniaco y algunos productos químicos.

- Tipo B: Un tanque tipo B posee sólo una barrera secundaria parcial, la cual consiste generalmente de una bandeja de goteo y una barrera de salpicadura, esto se debe a que el diseño de este sistema de contención está sujeto a un análisis de esfuerzo más preciso que en el tipo A. Este tanque es totalmente autoportable y se construyen con aleaciones de aluminio o acero-níquel al 9% con aislación externa, tal como se muestra en la figura. Los buques que utilizan este diseño transportan cargas totalmente refrigeradas, en especial los LNG.

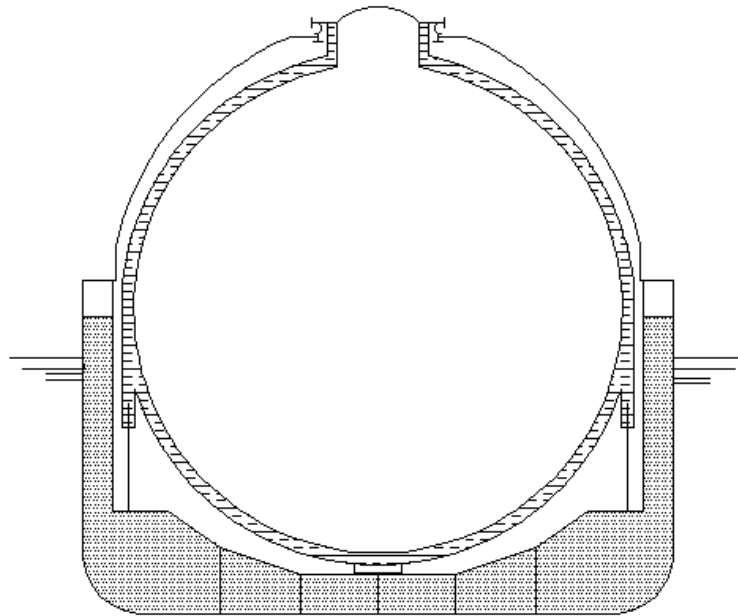


Figura 2.4 (Sección transversal tanque independiente tipo B)

El void space, en este tipo de tanques, se llena normalmente de gas inerte seco, en caso de que algún sistema de vapor detecte alguna fuga en estos espacios es posible ventilar, previa inertización de los espacios de bodega.

- Tipo C: Este tipo de tanque está diseñado para transportar cargas semi-presurizadas y a veces totalmente refrigeradas. Cuando la carga sea totalmente refrigerada los tanques deben de ser construidos con aceros adecuados para transportar la baja temperatura de la carga.

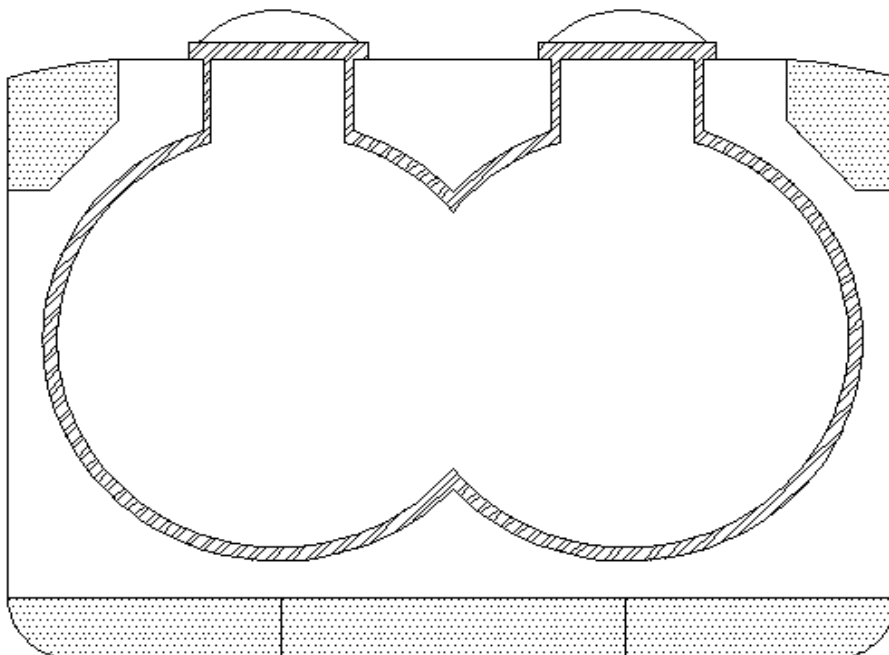


Figura 2.5 (Sección transversal tanque independiente tipo C)

Cuando el tanque está diseñado para llevar cargas totalmente presurizadas este toma el siguiente aspecto:

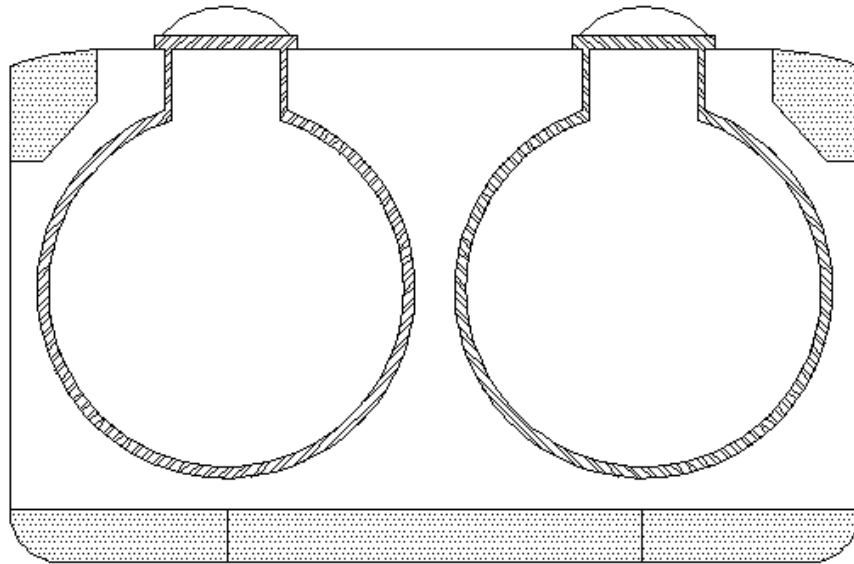


Figura 2.6 (Sección transversal independiente tipo C totalmente presurizadas)

Pudiendo soportar cargas de hasta 17 bar de presión y capacidades entorno a los 3.000 metros cúbicos.

2.3. Elección de materiales para los tanques

Los parámetros que rigen la selección de los materiales de construcción de los tanques de contención está determinada por la temperatura mínima de servicio y la compatibilidad de las cargas que se transportan. Comúnmente, en el transporte de LNG, se utilizan aceros especiales capaces de soportar bajas temperaturas (-163°C) sin perder sus propiedades mecánicas. Entre ellos se encuentran:

- Aceros inoxidable austeníticos.
- Aceros aleados (níquel 36% y 9%).
- Manganeso-Aluminio (Aleación).

Capítulo 3. Buques LNG

3.1. Introducción buques LNG

Se entiende por LNG (Liquefied Natural Gas) como un gas que ha sido enfriado hasta su punto de condensación, siendo esta temperatura aproximadamente de -161°C a presión atmosférica. Con esto conseguimos reducir su volumen hasta 600 veces, permitiendo un mayor almacenamiento en el buque.

El comercio de gas natural cuenta con lo que se denomina “cadena integrada del LNG” formada por tres eslabones:

- **Licuación del Gas:** Se extrae el gas mediante gaseoductos y es transformado en líquido alcanzando la temperatura de -161°C con un proceso del 90% de rendimiento.
- **Transporte en buques:** Se transporta el gas licuado de un lugar a otro.
- **Regasificación e introducción a la red de transporte de país importador:** Se da el gas a la presión necesaria para que ingrese a las redes de los gaseoductos.



Figura 3.1 (Proceso LNG)

Teniendo en cuenta esto, a continuación hablaremos de los buques LNG, los cuales utilizamos para el transporte del gas de un lugar a otro.

Un buque LNG o metanero es un buque dedicado al transporte de gas natural licuado desde los países productores a los consumidores. La principal característica de este barco, es que debe mantener el gas a una temperatura de -160°C durante su viaje. Su capacidad oscila entre 30.000 y 266.000 m^3 .

Hay esencialmente dos tipos de tanques que se desarrollan actualmente para este tipo de buques: esféricos (explicados anteriormente como tipo B) y de membrana (También explicados anteriormente).

- Los esféricos son tipo Moss Rosenberg por ser diseñados por esta empresa noruega. Están contruidos en acero inoxidable y son autoportantes.
- Los de membrana están hoy día diseñados y licenciados por Gaz Transport & Technigaz's, que es la unión de dos empresas. El peso de la carga se transmite al casco a través de las membranas y aislamientos.

Aproximadamente el 60% de los buques LNG cuentan con un sistema de contención de carga de tipo membrana, siendo reconocidos por la elevada cubierta sobre la cubierta principal.

El LNG se transporta a presión ligeramente superior a la atmosférica. Para poder transportar este a esta presión, el gas se licua enfriándolo hasta -161°C .

El sistema de contención de carga está diseñado para mantener el gas a esta temperatura. Este gas tiene un peso específico de entre 0,43 y 0,46 t/m^3 por lo que la estabilidad será un factor de gran importancia a estudiar en este tipo de buques.

Uno de los problemas que presentan este tipo de naves, es que debido a la baja gravedad específica de la carga, tienen un calado reducido en comparación con otras embarcaciones de similares características requiriendo una especial atención puesto que afectan de una manera considerable a la estabilidad del buque.

En 2008 la flota de buques LNG se situaba alrededor de 160, pero según estudios realizados se cree que para el 2015 esté número se duplique.

3.2. Introducción buques LNG

3.2.1. EFECTO BOIL OFF

A lo largo del viaje, debido al leve calentamiento que se va a producir en la carga a través del casco, parte del líquido tiende a evaporarse por ebullición (efecto conocido como Boil Off). El gas evaporado suele ser utilizado para propulsar el buque, bien mediante calderas que alimenten una turbina de vapor o mediante motores duales; o simplemente es quemado en una mecha. La evaporación también produce el enfriamiento de la carga. La cantidad máxima diaria de gas evaporado suele ser de 0,12 a 0,15% del volumen total.

Algunos buques LNG poseen sistemas basados en la extracción del gas evaporado mediante compresores que consiguen bajar la temperatura de los tanques hasta -160°C.

También es bueno saber que algunos propietarios prefieren no descargar todo el gas, con la idea de mantener los tanques “fríos” durante la vuelta en lastre y no perder tiempo en enfriar los tanques a la hora de cargar el buque.

La propulsión de este tipo de buques ha sido hasta hace muy poco mediante turbina de vapor. Mediante este sistema el buque aprovechaba el gas evaporado para consumirlo en una caldera, calentar agua y tras su evaporación mover una turbina de vapor. Así además, se podrían abastecer todos los sistemas del buque que necesitasen de calefacción y demás. Claro está que estos sistemas también podían funcionar con fuel oil.

Actualmente, debido a los avances de la tecnología mediante los cuales un motor puede funcionar tanto con fuel oil como con gas natural (motores duales), estos barcos tienden a ser propulsados mediante motores, ya que son más económicos y poseen un mayor rendimiento.

Algunos armadores prefieren colocar un motor lento en el barco que consuma fuel oil y quemar el gas evaporado en una mecha o incinerador de gas.

El incinerador de gas es obligatorio en estos buques, para en caso de fallo de la planta, el gas sea quemado antes de su expulsión a la atmósfera.

3.2.2. INERTIZACIÓN DE LOS TANQUES

Antes de introducir metano en las líneas y tanques de carga que hayan sido aireados anteriormente, las líneas y tanques deben de ser inertizados con nitrógeno. Si tenemos en cuenta las tres sustancias a tratar y sus pesos específicos (Temperatura de 15°C y presión de 1atm) las sustancias quedarían ordenadas de mayor a menor de la siguiente manera:

1. Aire ($1,28 \text{ Kg/m}^3$).
2. Nitrogeno $1,25 \text{ Kg/m}^3$.
3. Gas natural $0,7 \text{ Kg/m}^3$.

El proceso de inertizado debe de hacerse tanto a la hora de la carga como la descarga, por tanto a la hora de cargar introduciremos nitrógeno para desplazar al aire y a la hora de descargar introduciremos nitrógeno para desplazar al gas natural. La manera de hacerlo será la siguiente:

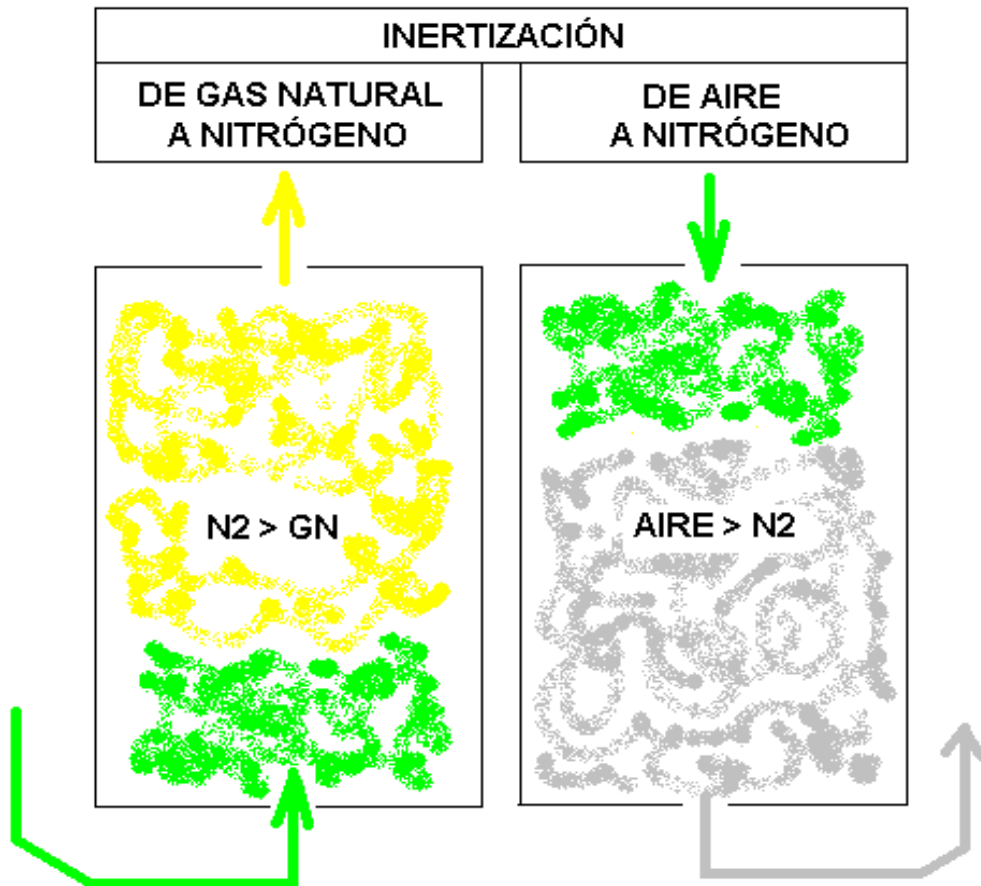


Figura 3.2 (inertización de tanques)

A la hora de introducir nitrógeno para desplazar al gas natural, introduciremos el mismo por la parte inferior del tanque. Como el peso específico del nitrógeno es mayor que el del gas natural este tenderá a quedarse posado en el fondo, y conforme vaya subiendo el nivel el gas natural irá saliendo por la parte superior del tanque.

A la hora de introducir nitrógeno para desplazar el aire, introduciremos el mismo por la parte superior del tanque. Como el peso específico del nitrógeno es menor que el del aire, el aire tenderá a quedarse bajo este, y debido a la entrada de nitrógeno tenderá a salir por la parte inferior del tanque.

Así tanto si el fluido a desplazar es aire o gas natural, mediante uno u otro método el tanque quedará inertizado totalmente.

3.2.3. CONSERVACIÓN DE LA FLOTABILIDAD

Según la normativa aplicada a este tipo de buque, en caso de inundación el agua no alcanzara ninguna abertura por la que pueda entrar el agua de manera continúa por encima de la flotación con una escora inferior a 30° y si la alcanza estas aberturas deberán de ser estancas.

3.2.4. SISTEMA DE GAS INERTE

En buques con más de 20.000 toneladas de peso muerto deberá de haber instalado un sistema de gas inerte.

3.2.5. SISTEMA DE ESPUMA EN CUBIERTA

Según el SOLAS este tipo de buques deberá de tener un sistema de espuma en la cubierta para complementar al sistema de polvo seco y de aerosol de agua.

3.2.6. SEPARACIÓN DE LA ZONA DE CARGA

En este tipo de buques los espacios de carga siempre están a proa de los espacios de carga y estos tendrán que estar separados con algún tipo de barrera secundaria como por ejemplo un cofferdán para que no exista ningún riesgo de ignición, ya que este es un tema de especial importancia en los buques LNG.

3.2.7. UBICACIÓN DE LA CARGA

Dependiendo del tipo de buque LNG que sea, los tanques de carga deberán de cumplir con unas determinadas normas para delimitar la dimensión de los mismos y su distancia al forro y al fondo. Estos datos quedan registrados en cualquier sociedad de clasificación o en el SOLAS.

3.2.8. LÍMITE DE LLENADO DE LOS TANQUES DE CARGA

Estos barcos podrán llenar sus tanques hasta llegar al 98,5% de la carga. Así, una vez lleguen a esta capacidad, una válvula cerrará automáticamente la entrada principal del gas.

3.2.9. SISTEMAS DE RESPIRACIÓN DE LA CARGA

Para posibles sobre-presiones en el interior de los tanques, estos dispondrán de unos respiraderos que sobresaldrán más de seis metros por encima de la pasarela más alta, los cuales tienen una válvula de seguridad tarada a una determinada presión.

3.2.10. MEDIDAS DE SEGURIDAD CARGA Y DESCARGA

En la siguiente página se encuentra una figura con las principales medidas de seguridad que es necesario tener en este tipo de buques:

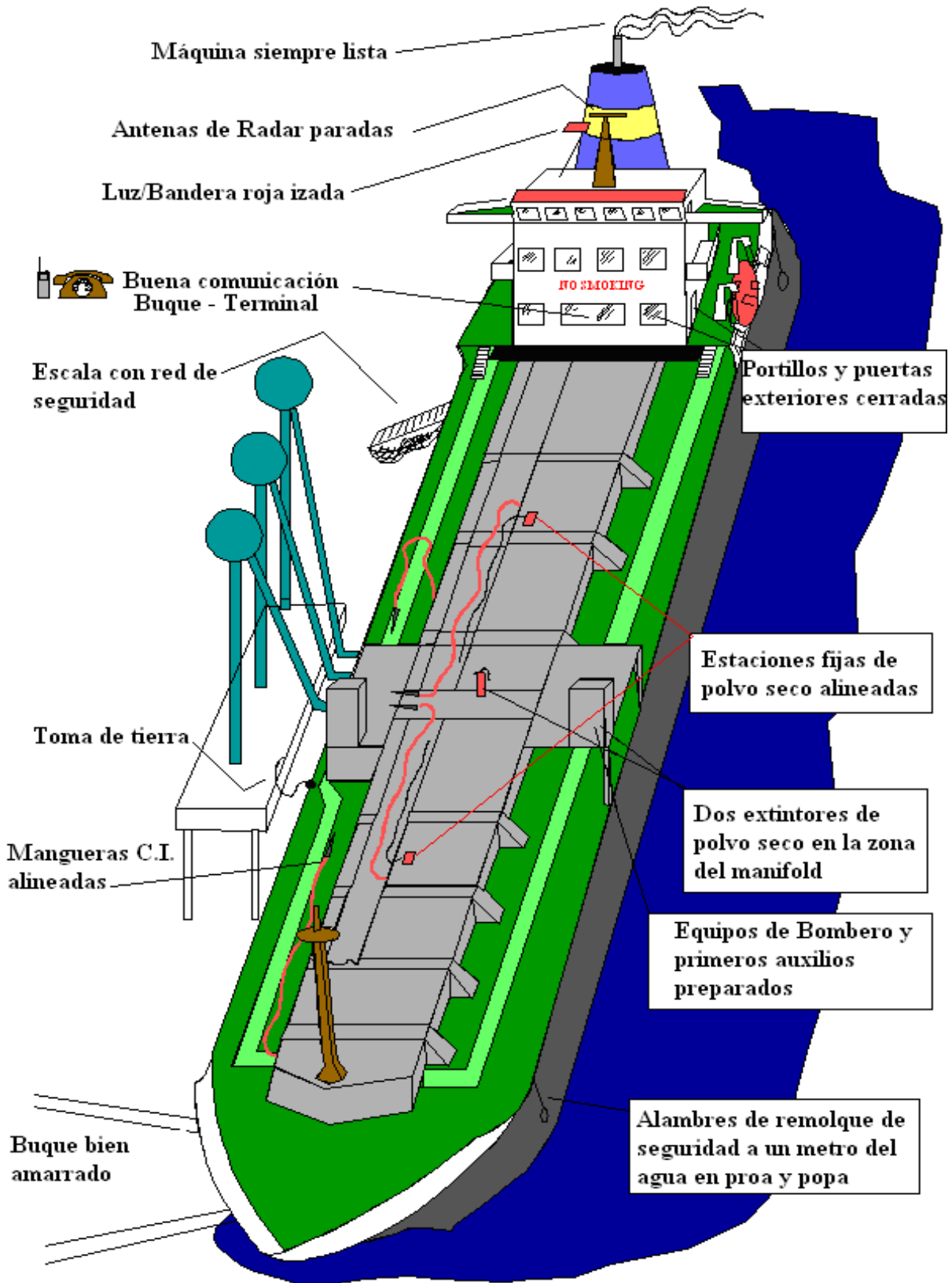


Figura 3.3 (Seguridad a bordo del buque carga-descarga)

3.3. Ejemplos de los buques LNG más grandes que operan en la actualidad

3.3.1. MOZAH

El Mozah fue el primer LNG construido dentro de la familia de los Q-Max.

Tiene una eslora de 345 metros, una manga de 53,8 metros y un puntal de 34,7 metros clasificado por el Loyd's Register. Está propulsado por dos motores MAN B&W de 21.700 KW cada uno. Su capacidad asciende a 266.000 metros cúbicos siendo el más grande de su tipo en la actualidad.

Posee un sistema de re-licuefacción para manejar el gas que ayuda a reducir las pérdidas de gas.

3.3.2. AL GHUWAIIRIYA

El Al Ghuwairiya tiene 345 metros de eslora, 55 metros de manga, 159.000 toneladas de peso muerto y 168.189 gt, siendo capaz de almacenar hasta 261.700 metros de gas natural licuado.

Fue construido por Daewoo en Corea. Dispone de 5 tanques y alcanza los 19,5 nudos de velocidad.

3.3.3. AL HUWAILA

El Al Huwaila tiene 315 metros de eslora, 50 metros de manga y es capaz de almacenar hasta 217.000 metros cúbicos de gas natural.

Fue construido en Corea por Samsung Heavy Industries. Para el almacenaje de gas dispone de 4 tanques cisterna. Este buque alcanza una velocidad de 19.2 nudos.

3.3.4. AL GATTARA

El Al Gattara tiene una eslora de 315 metros, una manga de 50 metros y está propulsado por dos motores diésel MAN B&W siendo capaz de almacenar hasta 216.200 metros cúbicos de gas natural licuado.

Este buque dispone también de planta de re-licuefacción para transformar el gas en líquido.

Fue construido en 2007 por Hyundai Heavy Industries.

3.3.5. AL GHASHAMI

El Al Ghashami tiene una eslora de 315 metros, una manga de 50 metros y 135.423 gt siendo capaz de almacenar 216.000 metros cúbicos de gas natural licuado en sus cuatro tanques de almacenamiento.

Fue construido en Corea por Samsung Heavy Industries.

3.3.6. UTOURIYA

El Al Utouriya tiene una eslora de 315 metros, una manga de 50 metros y es capaz de desarrollar una velocidad de 19,5 nudos.

Tiene una capacidad para transportar 215.000 metros cúbicos de gas licuado.

Fue construido por Huyundai Heavy Industries en Corea en 2008.

3.3.7. AL RUWAIS

El Al Ruwais tiene una eslora de 315 metros, 50 metros de manga, siendo capaz de alcanzar una velocidad de 19,5 nudos con un desplazamiento de 121.963 toneladas.

Tiene capacidad para transportar 210.100 metros cúbicos de gas natural licuado en cuatro tanques.

Fue construido en Corea en 2007.

3.3.8. ENERGY HORIZON

El Energy Horizon tiene una eslora de 300 metros, una manga de 52 metros y es capaz de alcanzar una velocidad de 18,5 nudos. Dispone de cuatro tanques que pueden almacenar hasta 177.000 metros cúbicos de gas natural licuado.

Fue construido en Japón en 2011.

3.3.9. CASTILLO DI SANTISTEBAN

El Castillo di Santisteban tiene una eslora de 299,9 metros, una manga de 48,5 metros y un puntal de 26 metros, pudiendo alcanzar una velocidad de 19,5 nudos mediante cinco motores MAN 8L51/60DF.

Puede almacenar 173.600 metros cúbicos de gas natural licuado en sus cuatro tanques.

Fue construido por los astilleros STX Offshore & Shipbuilding de Corea.

3.3.10. BARCELONA KNUTSEN

El Barcelona Knutsen tiene una eslora de 290 metros, una manga de 46 metros y 97.730 toneladas de peso muerto. Dispone de un sistema dual-fuel-diesel-electric suministrado por Wärtsila-Italia capaz de proporcionarnos una velocidad de 20 nudos mediante dos hélices.

Es capaz de almacenar 173.400 metros cúbicos de gas licuado.

Fue construido en Corea en 2010.

3.4. Descripción del buque base

Este buque ha sido diseñado para llevar gas licuado a granel. Para su propulsión posee un sistema dual con dos líneas de ejes que pueden funcionar bien mediante dos motores diésel lentos que pueden funcionar bien con fuel-oil o con el gas natural transportado en el buque.

El barco ha sido diseñado y construido con una cubierta superior continua, cubierta a popa de la superestructura y bulbo en proa sin castillo de proa.

Todos los alojamientos incluyendo el puente de navegación y la cámara de maquinas están localizados en la sección de popa no incluyendo en esta la acomodación para minimizar las vibraciones en esta última parte.

El buque ha sido dividido por mamparos, cubiertas y plataformas en los siguientes espacios y compartimentos:

- Cuerpo de popa: El cuerpo de popa del barco junto con el travesaño de popa es utilizado para alojar el sistema de gobierno, los tanques de agua dulce, tanques MDO, tanques de aceite lubricante, tanques del pique de popa para lastre y reserva.
- Cámara de maquinas: Donde se encuentra alojada la maquinaria de propulsión y la maquinaria auxiliar... junto con los tanques de fuel, diésel, aceite lubricante.

También se alojara el HFO en el doble casco de esta sección.

El doble fondo contendrá aceite lubricante, sumideros, tanques de sentina... y otros tanques necesarios.

- Zona de carga: La zona de carga dispone de doble casco, dobles cubiertas y doble fondo. La zona de carga consiste en cuatro tanques de tipo GTT Membrana (No. 96-L03) en los cuales se transporta el gas natural licuado a presión atmosférica a una temperatura de -162°C . Cada tanque esta separado de los otros y de la sección de popa y de proa mediante cofferdams.

El agua de lastre se encuentra alojada en el doble fondo y doble casco. Estos son esenciales en este tipo de buque debido a la poca densidad del gas para asegurar el control control del trimado, la escora y la estabilidad del buque.

- Cuerpo de proa: En el cuerpo de proa nos encontramos los tanques del pique de proa (espacio vacío), tanques de fuel oil (los cuales tienen doble forro), la caja de cadenas, y tanques de lastre junto a los de fuel oil a popa de la caja de cadenas.

3.4.1. PRINCIPALES DIMENSIONES

Eslora total	292,00 m
Eslora entre perpendiculares	280,00 m
manga	46,00 m
Puntal cubierta principal	26,00 m
Puntal cubierta puente	33,33 m
Calado diseño	11,45 m
Calado de escantillonado	12,70 m

Tabla 3-1 (Principales dimensiones buque base)

El calado de diseño ha sido calculado para la condición de máxima carga de gas natural con una densidad de $0,450 \text{ t/m}^3$ de peso específico y suficiente combustible para un trayecto de

13.000 millas a 19,5 nudos y los motores al 90% de potencia.

El calado de diseño puede ser ajustado de 11,45 a 11,65 metros como máximo para cumplir con los requisitos de peso muerto y velocidad.

3.4.2. CAPACIDADES DE DISEÑO

Todas estas capacidades citadas abajo serían al 100% del volumen:

TANQUES DE CARGA (a -162°C y presión atmosférica):

- Tanque nº1: 28.721 metros cúbicos.
- Tanque nº2: 48.093 metros cúbicos.
- Tanque nº3: 48.093 metros cúbicos.
- Tanque nº4: 48.093 metros cúbicos.

Total (excluyendo el espacio ocupado por la estructura y encajes): 173,000 metros cúbicos.

Total (excluyendo el espacio ocupado por la estructura y encajes al 98,5%) 170,405 metros cúbicos.

OTROS TANQUES:

- Tanques de lastre incluido el tanque del pique de popa: 58.000 metros cúbicos.
- Tanques de combustible pesado incluyendo el tanque de servicio: 3.500 metros cúbicos.
- Tanques de combustible ligero incluyendo almacenamiento y tanques de servicio: 400 metros cúbicos.
- Tanque de agua dulce: 350 metros cúbicos.
- Tanque de aceite lubricante incluyendo tanques de almacenamiento y sumideros: 320 metros cúbicos.

3.4.3. PESOS

Este barco tiene un peso muerto de 81,900 MT con el calado de diseño (11,45 m) y navegando en agua salada con un peso específico de 1,025 t/m³.

3.4.4. PROPULSIÓN

La propulsión consiste en dos motores diésel lentos de 13.860 KW a 66 RPM acoplados a dos líneas de ejes con hélices de cuatro palas de paso fijo.

Los propulsores están diseñados para absorber una potencia de 12.474 KW a 66 RPM cada uno.

3.4.5. VELOCIDAD

El buque está diseñado para ir a una velocidad de 19,50 nudos al 90% de MCR y con un margen de mar del 21% en la condición de diseño (calado 11,45 m) teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

- Casco limpio.
- Agua sin restricciones. En aguas profundas y mar abierta.
- Mar y viento en calma.
- Temperatura del agua de 15°C.
- Peso específico del agua de $1,025 \frac{T}{m^3}$.

3.4.6. AUTONOMIA

Este buque tiene autonomía para navegar 13.000 millas náuticas a 19,5 nudos (90% MCR) considerando los tanques de combustible al 98% de su capacidad.

Capítulo 4. Normativa aplicable. Gestión y tratamiento de aguas de lastre.

4.1. Introducción.

Desde que las civilizaciones antiguas comenzaron a navegar por los mares, los organismos acuáticos tienen la oportunidad de viajar a través de los barcos. En el pasado la flora y la fauna (Fouling) eran transportadas en la quilla de los buques. Estas naves siempre mantenían las mercancías a bordo, la cual era cargada y descargada o transbordada en un puerto para luego zarpar a otro lugar y así consecutivamente. Cuando no se permitía hacer este intercambio, para conservar la estabilidad en el navío, los espacios de este eran cargados con cargas inertes sólidas como podrían ser piedras o rocas.

Con la introducción del vapor y la hélice, a finales del siglo XIX se comenzaron a utilizar los tanques para almacenar el agua como lastre. El empleo del agua como lastre facilitó el transporte marítimo, ya que este es un recurso en abundancia, sin coste adicional y puesto que es un fluido es cargado fácilmente en el barco.

Por otro lado, dependiendo de donde se tome el agua, o mejor dicho, donde se lastre el barco, las especies contenidas en el agua de lastre pueden ser tomadas a bordo en un país y descargadas en otro con la consecuencia de producir problemas económicos y medioambientales de gran envergadura.

Con el aumento del comercio y del transporte marítimo se estima que unas 7000 especies son transportadas cada día por todo el mundo en el agua de lastre y 10 mil millones de toneladas se transfieren cada año a nivel mundial. Existen más de 6.000 petroleros navegando por aguas internacionales. Por el Estrecho de Gibraltar pasan 600 petroleros diarios y borda nuestras costas. Unos por el Mar Alborán, y otros, a escasos metros de la costa de la muerte (Galicia). Esto supone el 10% del tráfico marítimo internacional. Por el mar mediterráneo ya transportan fuel sobre 800 buques diarios.

Por este motivo existe un grave problema con las aguas de lastre. La introducción de organismos extraños que no son propios de otros ecosistemas puede conllevar a pérdidas de Biodiversidad muy significativas. Las especies invasoras causan sobre 39% de las extinciones conocidas lo cual deriva en futuros desembolsos millonarios para la solución de los problemas causados.

Las aguas de lastre se componen de agua y esta llena de piedras, de sedimento y de millares de especies vivas. Alrededor de 4000 especies marinas viajan diariamente alrededor del mundo. Organismos grandes y pequeños, desde bacterias hasta peces se han documentado en las muestras del agua de lastre de los barcos. Estas especies son exóticas, extranjeras o invasoras, esto significa que un miembro, o miembros de un grupo o de una población de una especie se incorpore en un ecosistema acuático fuera de su habitat nativa, entonces se prepara el escenario para una posible invasión biológica que podría tener un impacto ecológico y económicamente significativo.

Desde principios del siglo XX, el número de especies introducidas en el Mediterráneo se ha duplicado cada 20 años y en la actualidad existen unas 450 especies exóticas. Este es sin duda el mar más castigado del mundo en cuanto a especies introducidas.

Algunos ejemplos de invasiones son los siguientes:

- La medusa del Mar Rojo (*Rhopilema nomadica*) entró en el Mediterráneo a través del Canal de Suez. La industria pesquera y la infraestructura costera se ven afectadas por los enormes enjambres de medusas, ya que la pesca se ve imposibilitada para la clasificación. Las zonas afectadas son Israel, Egipto, Líbano, Turquía y Chipre.
- El mejillón (*Dreissia polymorpha*) es una especie nativa del Mediterráneo de agua dulce. A través de aguas de lastre ha viajado hasta América del Norte y Reino Unido y ha invadido las vías fluviales. Como consecuencia de su introducción, está afectando al ecosistema, asfixiando a los mejillones nativos y provocando un costo de 1000 millones de dolares en los últimos 10 años.

- La medusa peine (leđiyi missipelt) ha provocado una de las peores invasiones. Es una especie americana y fue introducida en el Mar Negro y el Mar de Azov a través de las aguas de lastre. El Mar negro es un mar muy rico en alimentos y estaba libre de depredadores, la medusa tomó rápidamente fuerzas y en pocos años había varias poblaciones. Como consecuencia de la introducción, la pesca de anchoas ha desaparecido casi por completo y ha alterado completamente la red alimenticia en el Mar negro.
- El telesto blanco (Carijoa Rooseo) es un coral blanco. Su hábitat natural y originario es en el Atlántico occidental, desde Florida hasta Brasil. Es un coral que come con voracidad, consume grandes cantidades de zooplancton, crece y se reproduce rápidamente y tiene la capacidad de adherirse y adaptarse a cualquier superficie dura, comunidades de corales, plástico, metal... Fue reportado en Hawái en 1972 y acualmente es una de las especies invasoras que ha causado graves daós al ecosistema y a las ventas de joyas y souvenir de coral.
- El alga Undaria pinnatifida es nativa de las costas de Japón, China y Corea donde se cosecha para la alimentación, es conocida como alga wakame. Tiene la capacidad de crecer en cualquier superficie dura (cuerdas, boyas, cascos de barcos...) y de formar densos bosques. Fue introducida intencionalmente a Bretaña y Francia, luego se extendió al Reino Unido, España y Argentina. También se introdujo involuntariamente a Australia, Nueva Zelanda e Italia. Los efectos del alga van desde la maricultura hasta el funcionamiento y mantenimiento de un buque.
- La Caulerpa Taxifoliaes una alga originadria del norte de Australia. Mónaco obtuvo un híbrido de esta alga para su acuario, sin embargo una cepa escapó invadiendo el Mediterráneo, EE.UU. Y las costas australianas. Su introducción a afectado al turismo recreativo, la pesca y la maricultura.
- El colera (Vibrio Choleare) es un microorganismo que afecta a los seres humanos provocando en muchos casos la muerte. Los síntomas son deshidratación, deposiciones diarreicas, vómitos, hipotensión, taquicardias, manos de lavandera, colapso vascular, insuficiencia renal, etc. La última pandemia, la octava, se produjo en Madrás, Bangladés, China, Tailandia y Malasia en el año 1992 provocando graves pérdidas económicas en la erradicación y por la falta de turismo, debido al miedo de contagio. Existe una gran probabilidad que el virus se propagará por diferentes zonas a través de las aguas de lastre, ya que se ha detectado en algunos buques su presencia.

Los océanos del mundo comenzaron biológicamente a ser homogeneizados hace siglos. En las décadas pasadas se puede decir que hubo un movimiento aparentemente acertado de centenares de especies. Hoy en día hay dos factores: la velocidad de las naves modernas y el volumen de agua de lastre que están abrumando el éxito de las invasiones.

4.2. IMO (OMI, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL)

La organización marítima internacional, es el primer organismo internacional dedicado exclusivamente a cuestiones marítimas. Los objetivos generales de la OMI se recogen en el lema: Una navegación segura, protegida y eficiente en mares limpios.

La OMI es el único organismo especializado de las Naciones Unidas con sede en el Reino Unido. Está integrado por 170 Estados Miembros y tres Miembros Asociados (a fecha de Junio 2013). El órgano rector de la OMI es la Asamblea, que se reúne una vez cada dos años. Entre los periodos de sesiones de la Asamblea, el Consejo, integrado por 40 Gobiernos Miembros elegidos por la Asamblea, ejerce las funciones de órgano rector.

La OMI es una organización técnica cuyo trabajo, en su mayor parte, lo realizan varios comités y subcomités. El Comité de seguridad marítima (MSC) o el Comité de protección del medio marino (MEPC) son sus órganos principales. El MEPC se encarga de coordinar las actividades de la Organización, encaminadas a la prevención y contención de la contaminación del medio marino por los buques.

Para prevenir la contaminación, se crearon varios convenios. En 1973, la OMI convocó una importante conferencia para examinar en su totalidad el problema de la contaminación del mar procedente de los buques. Como resultado, se adoptó el primer convenio exhaustivo para combatir la contaminación concertada hasta la fecha: **Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL).**

Este convenio no sólo se ocupa de la contaminación ocasionada por los hidrocarburos, si no que abarca, además, otras formas de contaminación como la originada por productos químicos y otras sustancias perjudiciales, las basuras y aguas sucias.

A lo largo de los años la OMI ha ido adoptando varios convenios:

- En 1990 adoptó el convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos (SNPP).
- En 1996 adoptó el convenio internacional sobre responsabilidad e indemnización de daños en relación con el transporte marítimo de sustancias nocivas y potencialmente peligrosas (SNP).
- En 2001 adoptó el convenio internacional sobre el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales para buques.
- En 2004 adoptó el convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques. (El cual desarrollaremos más adelante).
- En 2009 adoptó el convenio internacional de Hong Kong para el reciclaje seguro y ambientalmente racional de los buques.

El convenio para el control y gestión del agua de lastre y sedimentos del buque tiene como fin evitar efectos potencialmente devastadores debido a la propagación de organismos acuáticos transportados en el agua de lastre de nuestro buque.

4.2.1. CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y LOS SEDIMENTOS DE LOS BUQUES

La Convención Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos del buque, fue aprobada de forma consensuada en la Conferencia Diplomática de la OMI en Londres, el 13 de febrero de 2004.

La conferencia contó con la participación de 74 Estados, un Miembro Asociado de la OMI y como observadores, dos organizaciones intergubernamentales y 18 organizaciones no gubernamentales internacionales.

Las principales características de la Convención fueron las siguientes:

El preámbulo de la Convención hace referencia a las siguientes cuestiones:

- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, de 1992.

En dicha conferencia la OMI realizó una petición para desarrollar normas sobre la descarga del agua de lastre. La necesidad de un enfoque preventivo solicitado por el Principio 15, en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Las obligaciones de los Estados bajo la Convención para prevenir la propagación de especies exóticas, la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad marina, deben cumplir con el marco del régimen del “Convenio sobre la Diversidad Biológica”. También se hizo referencia a la Cumbre Mundial de 2002 sobre Desarrollo Sostenible (CMDS), que en el párrafo 34 (b) de su Plan de Aplicación, llama a la acción, a todos los niveles, para acelerar el desarrollo de medidas para hacer frente a las especies exóticas invasoras en el agua de lastre.

El preámbulo conecta firmemente el tema y la Convención a la estrategia de la OMI, hacia la regulación sobre la seguridad de los bosques, los mares más limpios y las normas acordadas internacionalmente.

Como resultado de sus deliberaciones, y según consta en el Acta de las decisiones del Pleno (BWM/CONF/RD/2/Rev.1) y en el Acta final de la Conferencia (BWM/CONF/37), la Conferencia adoptó el Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques en 2004, la cual consta de 22 artículos y sus correspondientes reglas para llevar a cabo el cumplimiento del convenio.

Dichos artículos plasmados en el primer anexo son los siguientes:

1. Definiciones.
2. Obligaciones de carácter general.
3. Ámbito de aplicación.
4. Control de la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por el agua de lastre y los sedimentos de los buques.
5. Instalaciones y recepción de sedimentos.
6. Investigación científica y técnica y labor de vigilancia.
7. Reconocimiento y certificación.
8. Infracciones.
9. Inspección de buques.
10. Detección de infracciones y control de buques.
11. Notificación de las medidas de control.

12. Demoras innecesarias causadas a los buques.
13. Asistencia técnica, cooperación y cooperación regional.
14. Comunicación de información.
15. Solución de controversias.
16. Relación con el derecho internacional y con otros acuerdos.
17. Firma, ratificación, aceptación, aprobación y adhesión.
18. Entrada en vigor.
19. Enmiendas.
20. Denuncia.
21. Depositario.
22. Idiomas.

La Convención entrará en vigor 12 meses después de su ratificación por 30 Estados, que representen el 35 por ciento del tonelaje mercante mundial (artículo 18). Actualmente, hay más de 35 Estados que han ratificado la normativa pero sólo cumplen con el 27,5 del tonelaje mundial.

Los estados que han ratificado la normativa son: Albania, Antigua & Barbuda, Barbados, Brazil, Canada, Cook Islands, Croatia, Denmark, Egypt, France, Iran, Kenya, Kiribati, Lebanon, Liberia, Malaysia, Maldives, Marshall Islands, Mexico, Mongolia, Montenegro, Netherlands, Nigeria, Niue, Norway, Palau, Republic of Korea, Russian Federation, Saint Kitts and Nevis, Sierra Leone, South Africa, Spain, Sweden, Syrian Arab Republic, Trinidad and Tobago, Tuvalu.

Según el artículo 2 (Obligaciones generales), las partes se comprometen a dar pleno efecto a las disposiciones de la Convención y el anexo con el fin de prevenir, minimizar y, finalmente, eliminar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos mediante el control y la gestión del agua de lastre de los buques y sedimentos.

Los Estados tiene derecho de adoptar, de forma individual o conjuntamente con otras partes, las medidas más estrictas con respecto a la prevención reducción o eliminación de la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos mediante el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos, de acuerdo con el derecho internacional. Las partes deberían asegurarse de que las prácticas de gestión del agua de lastre no causen un daño mayor hacia el medio ambiente, la salud humana, los bienes o recursos, u otros del Estado.

Según el artículo 7 (Reconocimiento y certificación) los buques deberán de ser objeto de reconocimiento y certificación y estos como dice el artículo 9 (Inspección de buques), podrán ser inspeccionados por funcionarios encargados para el control. Si existe alguna duda de incumplimiento se procederá a llevar a cabo una inspección más detallada tomándose las medidas oportunas.

Por otro lado según el artículo 13 (asistencia técnica), las partes se comprometen, directamente o a través de la Organización y otros organismos internacionales, según proceda, en lo que respecta al control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, a facilitar a las Partes que soliciten asistencia técnica apoyo a las partes que soliciten asistencia técnica para capacitar al personal, para asegurar la disponibilidad de la tecnología pertinente, equipos e instalaciones, para iniciar la investigación conjunta y los programas de desarrollo, y para llevar a cabo otras medidas encaminadas a la planificación efectiva del presente Convenio y de otras orientaciones elaboradas por la Organización relacionadas con el mismo.¹

Una vez habiendo hecho una breve descripción de los artículos pasamos a describir brevemente las reglas para el control y la gestión de aguas de lastre y sedimentos en los buques aprobada en dicho convenio. Este anexo se divide en varias secciones:

4.2.1.1 SECCIÓN A: Disposiciones Generales:

En esta sección nos encontramos la regla A-1 (definiciones) la cual nos aporta las definiciones de los principales conceptos para el entendimiento de la norma (Fecha de vencimiento, compañía, construido, etc).

La Regla A-2 (Aplicación general) la cual establece que la descarga de lastre sólo se realizará mediante la gestión del agua de lastre apropiada.

La Regla A-3 (excepciones) la cual establece las excepciones donde no se llevará a cabo la gestión del agua de lastre como puede ser en caso de emergencia, avería, evitar sucesos de contaminación o habiendo lastrado y deslastrado en una misma zona siempre que el agua no se haya contaminado una vez almacenada.

La Regla A-4 (Exenciones) la cual describe cuando se podrán hacer exenciones al convenio.

¹ Para una mejor comprensión del convenio, mirar [11] (CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y LOS SEDIMENTOS DE LOS BUQUES 2004) con los 21 artículos definidos al final del proyecto: APENDICE 1

La Regla A-5 (Cumplimiento equivalente) la cual establece que diversas embarcaciones como las usadas para ocio, competencias, salvamento... con eslora menor de 50 m y capacidad de lastre menor de ocho metros cúbicos el cumplimiento equivalente será determinado por la Administración teniendo en cuenta las directrices de la Organización.

4.2.1.2 SECCIÓN B: Prescripciones de gestión y control aplicables a los buques:

Regla B-1 (Plan de gestión del agua de lastre): Los buques deben llevar a bordo un plan de gestión del agua de lastre aprobado por la Administración. El plan de gestión de agua de lastre es específico para cada buque e incluye una descripción detallada de las acciones que se deben tomar para implementar los requisitos de la gestión del agua de lastre y las practicas complementarias.

Regla B-2 (Libro registro del agua de lastre): Los buques han de tener un Libro de Registro de Aguas de Lastre para registrar cuando el agua de lastre sube a bordo, su distribución o tratamiento con el fin de gestionarla, y la descarga en el mar. También se debe registrar cuando se descarga el agua de lastre en una instalación receptora y los vertidos accidentales o excepcionales.

Regla B-3 (Gestión del agua de lastre para los buques):

Los buques construidos antes del 2009 con una capacidad de agua de lastre de entre 1500 y 5000 metros cúbicos deben llevar a cabo la gestión del agua de lastre para que cumpla como mínimo con las normas de intercambio o los estándares del funcionamiento hasta el 2014, después del 2014 deberá cumplir con la normativa estándar vigente.

Los buques construidos antes del 2009 con una capacidad de lastre menor de 1500 o mayor a 5000 metros cúbicos deben llevar a cabo la gestión del agua de lastre que cumpla como mínimo las normas de intercambio de agua de lastre o los estándares del agua de lastre que haya en funcionamiento hasta el 2016, después el cual deberá cumplir al menos con la normativa vigente.

Los buques construidos en o después del 2009 con una capacidad de lastre de menos de 5000 metros cúbicos deben llevar una gestión de agua de lastre que cumpla como mínimo el estándar en funcionamiento.

Los buques construidos en 2009 o posteriormente, pero antes de 2012, con una capacidad de agua de lastre igual o mayor a 5000 metros cúbicos, han de llevar a cabo la gestión del agua de lastre que cumpla como mínimo con el estándar de funcionamiento.

Los buques construidos en o después de 2012, con una capacidad de agua de

lastre igual o mayor a 5000 metros cúbicos, deben llevar a bordo una gestión de aguas de lastre que cumpla como mínimo con el estándar de funcionamiento.

A causa de las dudas sobre la disponibilidad inmediata de la tecnología de tratamiento del agua de lastre para buques, la asamblea de la OMI decidió aplicar las reglas B-3.3 a los buques construidos a partir del 2009. El acuerdo al que llegaron fue que un buque construido en el 2009, está regido por la regla B-3.3 y no está obligado a cumplir con la regla D-2 hasta su segundo reconocimiento anual, pero a más tardar el 31 de diciembre de 2011.

También pueden ser aceptados otros métodos de gestión de agua de lastre, siempre que dichos métodos garanticen como mínimo el mismo grado de protección del medio ambiente, salud de los seres humanos, bienes o recursos y sean aprobados por el Comité.

Regla B-4 (cambio del agua de lastre) : Siempre que sea posible se efectuará el cambio del lastre a por lo menos 200 millas de la tierra más próxima y en aguas de más de 200 metros de profundidad, en caso de no poderse efectuar se efectuara tan lejos como sea posible en aguas de mas de 200 metros de profundidad y nunca a menos de 50 metros de la costa.

Si la distancia o la profundidad es menor se consultará a los estados adyacentes.

No se exigirá el desvío de un viaje previsto o su retraso y siempre y cuando el capitán considere que el cambio de lastre pueda poner en peligro la seguridad o estabilidad del buque, a la tripulación o a los pasajeros no tendrá que cumplir con lo explicado anteriormente. Todo quedará anotado en el libro de registro.

Regla B-5 (Gestión de sedimentos de los buques): Todos los buques extraerán y evacuarán los sedimentos de acuerdo al plan de gestión del agua de lastre del buque.

Regla B-6 (Funciones de los oficiales y tripulantes): Los oficiales y tripulantes estarán familiarizados con el sistema y con el plan de gestión de agua de lastre.

4.2.1.3 SECCIÓN C: Prescripciones especiales para ciertas zonas:

Regla C-1 (Medidas adicionales): Las partes, individual o conjuntamente con otras, podrán imponer a los buques otras medidas para prevenir, reducir o eliminar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos a través del agua de lastre y los sedimentos de los buques.

En éstos casos, la parte o partes deberán consultar con los Estados adyacentes o cercanos que puedan verse afectados por dichas normas o requisitos y deben comunicar su intención de establecer medidas adicionales a la Organización por lo menos 6 meses antes de su vigencia, excepto en situaciones de emergencia o epidemia, antes de la fecha prevista de la aplicación de la medida. Cuando proceda, las partes deberán obtener la aprobación de la OMI.

Regla C-2 (Avisos sobre la toma de agua de lastre en ciertas zonas y medidas conexas del Estado de abanderamiento): Las partes se esforzarán por notificar a los navegantes las zonas bajo su jurisdicción en las que los buques no deberían tomar agua de lastre por existir en ellas condiciones conocidas incluyendo las coordenadas exactas y la posible situación de zonas alternativas. Además estas partes informarán a la Organización y a todo estado ribereño que pueda ser afectado.

4.2.1.4 SECCIÓN D: Normas para la gestión de agua de lastre:

Hay un estándar de intercambio de agua de lastre y una norma de funcionamiento. Para poder hacer uso del intercambio del agua de lastre y realizarlo con éxito, se ha de tener conocimiento de la normativa vigente:

Regla D-1 (Norma para el cambio del agua de lastre). Los buques que efectúen el cambio del agua de lastre lo harán con una eficacia del 95% del agua de lastre. Para los buques que cambien el agua mediante el método de bombeo, el bombeo ha de ser tres veces el volumen de cada tanque de agua. El bombeo puede ser inferior siempre que el buque pueda demostrar que se cumple el 95% del cambio volumétrico.

Regla D-2 (Norma de eficacia de la gestión del agua de lastre) Los buques que realizan la gestión del agua de lastre deberán cumplir con menos de 10 organismos viables por metro cúbico, los organismos deben tener un tamaño superior o igual a 50 micrómetros de tamaño mínimo. Menos de 10 organismos viables por milímetro, con un tamaño menor de 50 micrómetros y superior o igual a 10 micrómetros de dimensión mínima.

Los microbios a efectos de la salud humana comprenderán:

- *Vibrio Cholerae* toxicógeno: menos de 1 unidad por 100 mililitros o menos de 1 ufc por gramo.
- *Escherichia coli*: menos de 250 ufc por 100 mililitros.
- Enterocos: menos de 100 ufc por 100 mililitros.

Regla D-3 (Prescripciones relativas a la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre). Los sistemas de gestión de agua de lastre estarán aprobados por la administración de conformidad con las directrices de la Organización. Si el procedimiento utiliza sustancias activas o preparado se incluirá tanto la aprobación de sustancias activas como la revocación de dicha aprobación y la forma de aplicación prevista para tales sustancias.

Regla D-4 (Prototipos de tecnologías de agua de lastre). Para el establecimiento y aprobación de cualquier programa de prueba y evaluación de las tecnologías de tratamiento, las partes tendrán en cuenta las directrices aprobadas por la Organización y solo permitirán participar a un número limitado de buques.

Regla D-5 (Examen de normas por la organización) La OMI debe revisar las normas de funcionamiento del agua de lastre, teniendo en cuenta una serie de criterios, entre ellos las consideraciones de seguridad, aceptabilidad ambiental, es decir, que no esté provocando más impactos ambientales de los que resuelve; la viabilidad, es decir, la compatibilidad con el diseño de los buques y las operaciones; rentabilidad y eficacia biológica en términos de eliminación, o de lo contrario realizar una inactivación de los organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos en el agua de lastre.

La revisión debe incluir una determinación de si las tecnologías apropiadas están disponibles para lograr la norma, una evaluación de los criterios mencionados anteriormente, así como una evaluación de los efectos socioeconómicos, concretamente en relación con las necesidades de desarrollo en particular los pequeños Estados insulares.

4.2.1.5 SECCIÓN E: Prescripciones sobre reconocimiento y certificación para la gestión de agua de lastre:

Requisitos para la renovación inicial, reconocimientos anuales, intermedios y adicionales, además de los requisitos de certificación.

Regla E-1 (Reconocimientos).

Regla E-2 (Expedición o referendo del Certificado).

Regla E-3 (Expedición o referendo del Certificado por otra Parte).

Regla E-4 (Modelo del Certificado).

Regla E-5 (Duración y validez del Certificado).

4.2.2. PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE Y SEDIMENTOS DE LOS BUQUES POR LA ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL.

En relación a la convención, se han desarrollado un conjunto de 14 procedimientos a través de la OMI en el Comité para la Protección del Ambiente Marino (CPAM).

El objetivo de los procedimientos es ayudar a los gobiernos y a las autoridades, capitanes de buques, operadores, propietarios y a las autoridades portuarias con la disminución del riesgo de introducir Organismos Nocivos Acuáticos y Patógenos procedentes de aguas de lastre y sedimentos de buques, sin alterar con la seguridad del buque. Los procedimientos son los que se enuncian a continuación:

- Procedimientos para las Facilidades de Recepción de Sedimentos (G1).
- Procedimientos para el Muestreo de Aguas de Lastre (G2).
- Procedimientos para el Cumplimiento de las Directrices para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques(G3).
- Procedimientos para la Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques y Desarrollo de planes para el Control y gestión del agua de Lastre (G4).
- Guía sobre el cambio de agua de lastre (G6).
- Procedimientos para la evaluación de riesgos bajo la regulación A-4 (G7).
- Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (G8).
- Procedimientos para la aprobación de los sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques que usan sustancias activas (G9).

² Para una mejor comprensión del convenio, mirar [11] donde se explican con más detalle las diversas secciones.

- Procedimientos para la aprobación y supervisión de los prototipos de programas de tecnologías para el tratamiento de aguas de lastre (G10).
- Procedimientos para el diseño de Intercambio de Agua de Lastre y Estandarización de Construcciones (G11).
- Procedimientos para el control de los sedimentos en los buques (G12).
- Procedimientos para la Designación de Áreas para el Recambio de Aguas de Lastre (G14).
- Procedimientos para la Revisión del Convenio Internacional para Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques.
- Procedimientos de Control del Estado del Puerto bajo el Convenio Internacional para Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques 2004.

A continuación vamos a comparar lo aprobado en el convenio con lo que establecen algunas sociedades de clasificación.

4.3. SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

4.3.1. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA SEGÚN AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS)

American Bureau of Shipping (ABS) es una Sociedad de clasificación con sede en Houston, Texas. Fue fundada en 1862 y actualmente es una de las tres empresas líderes en el sector naval a nivel mundial, a su vez formando parte de la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS).

Esta sociedad de clasificación opera por medio de tres divisiones localizadas en Houston (ABS Americas), Londres (ABS Europe) y Singapur (ABS Pacific), contando con más de 150 oficinas en 70 países.

Debido al convenio tratado por la IMO en 2004 sobre el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos el ABS lanzo una guía con los principales objetivos que deben de cumplir sus buques, para que estos sean certificados por dicha sociedad de clasificación y estén de acuerdo con lo establecido en el convenio.

Esta guía nos ofrece diferentes alternativas y diferentes normas que se deben de cumplir con un mismo objetivo, cumplir con los requerimientos del convenio y evitar la contaminación, invasiones y demás ocasionadas por el agua de lastre de los buques.

En el siguiente esquema queda recogido el alcance que abarca esta guía, la cual haremos una breve descripción a continuación.

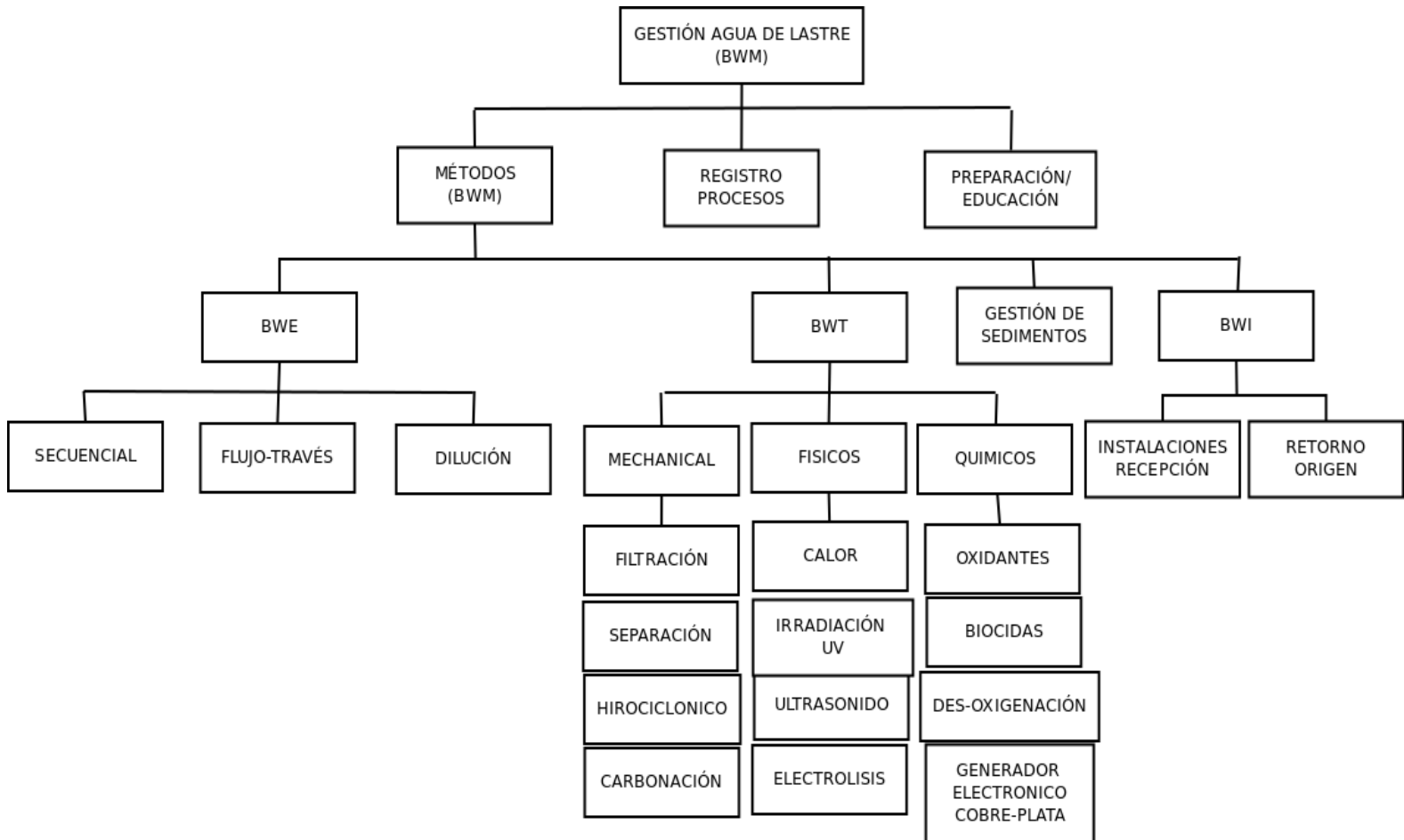


Figura 4.1 (esquema BWM según ABS)

Nosotros nos vamos a centrar especialmente en dos secciones de este diagrama: BWE (relacionado con el cambio) y el BWT (relacionado con el tratamiento).

4.3.1.1 BALLAST WATER EXCHANGED, BWE:

Lo primero que nos encontramos cuando comenzamos a leer esta guía, es una serie de definiciones de los términos principales que nos vamos a encontrar para una buena comprensión de la misma. Estos términos coinciden con los descritos en el convenio.

En segundo lugar, nos encontramos los diferentes documentos que se han tenido en cuenta a la hora de elaborar esta guía. En este caso los documentos tenidos en cuenta han sido los siguientes:

- La convención sobre el control y gestión de los sedimentos y agua de lastre en los buques adoptada por la IMO en 2004.
- La guía sobre el cambio de agua de lastre (G6) adoptado el 22 de Julio de 2005 por la IMO.
- Desarrollo y planes sobre la gestión de agua de lastre (G4) adoptada en Julio de 2005 por la IMO.
- Procedimientos para el diseño de Intercambio de Agua de Lastre y Estandarización de Construcciones (G11), adoptada por la IMO el 13 de Octubre 2006.
- Procedimientos para el control de los sedimentos en los buques (G12), adoptada por la IMO en 2006.

Una vez que tenemos esto en cuenta los documentos que se han abordado para llevar a cabo la guía se describen dos métodos a partir de los cuales uno puede conseguir la certificación de esta sociedad de clasificación, estos son:

- Mediante la construcción de los sistemas bajos un supervisor, es decir, donde un supervisor relacionado con la sociedad estará presente en el diseño, construcción y pruebas del equipo dando el certificado de BWE si todo se lleva a cabo correctamente.
- Mediante la construcción sin supervisión, mediante la cual se puede llevar a cabo la construcción teniendo en cuenta esta guía, sin supervisión, obteniendo el certificado de BWE una vez terminado el mismo, aportando la documentación necesaria para demostrar que se ha llevado a cabo el procedimiento o equivalente del mismo y que cumplen con lo establecido por el ABS, siendo demostrado todo esto durante el periodo de un año.

Por lo tanto, los buques que hayan obtenido el certificado de BWE deberán de haber cumplido con una serie de requisitos y llevar a cabo una serie de procedimientos. Para la supervisión y aprobación mediante ABS. A lo largo de la elaboración del proyecto será necesario llevar a cabo las siguientes pautas:

1. Se hará una revisión inicial de la ingeniería a llevar a cabo, la cual se describirá más adelante. Así se tendrán que entregar, bien mediante tecnología electrónica o mediante copias impresas, diferentes planos, demostraciones de cálculos, localización de los tanques y demás... para demostrar que cumplen con las reglas establecidas.
2. Se hará una inspección inicial a los equipos antes de ser montados para comprobar que cumplen los requisitos que explicaremos más adelante.
3. Se hará una supervisión después del montaje de los mismos dónde:
 - Se examinarán el sistema de tubería, válvulas...
 - Se hará una prueba de funcionamiento, controlando los tiempos, volumen de lastre...
 - Se comprobarán los servicios de alarmas y salvamento.
4. Se hará un estudio de que los sistemas implantados cumplen con las regulaciones gubernamentales que se imparten en las zonas por donde va a navegar el barco.

Una vez descritas las pautas de actuación, vamos a dar paso a definir los requisitos que se han de cumplimiento para estar conforme con esta sociedad de clasificación.

Básicamente, la sociedad de clasificación al igual que el convenio, nos establece tres requisitos fundamentales a la hora de operar nuestro barco según el BWE. Estos podríamos enunciarlos como:

- Como tengo que cambiar el agua de lastre: Donde se explica que debo de conseguir cambiar el 95% del lastre o ser capaz de cambiar el agua de lastre a los tanques por lo menos tres veces establece la regla D-1 del convenio BWM.

Ballast Cpty (m3)	Build Date	® First Intermediate or Renewal Survey, whichever occurs first, after the anniversary date of delivery in the respective year									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
<1500	< 2009	D1 or D2								D2 ®	
	in 2009	D1; D2 by "2nd Annual but not beyond 31 Dec 11" or EIF, whichever is later (Note)									
	>2009	D2 (at delivery or EIF, whichever is later)									
≥1500 or ≤5000	< 2009	D1 or D2						D2 ®			
	in 2009	D1; D2 by "2nd Annual but not beyond 31 Dec 11" or EIF, whichever is later (Note)									
	>2009	D2 (at delivery or EIF, whichever is later)									
>5000	< 2012	D1 or D2								D2 ®	
	≥ 2012	N/A			D2 (at delivery or EIF, whichever is later)						

Figura 4.2 (Aplicación de regla D-1 o D-2 según capacidad de lastre y año de fabricación)

- Donde puedo procederá al cambio: A 200 millas de la costa y 200 metros de profundidad o si esto fuera imposible nunca a menos de 50 millas de la costa ni a menos de 200 metros de profundidad como dice la regla B-4 del convenio.
- Cuándo entra esta regla en vigor, para lo cual alude a la regla B-3 del convenio aportándonos una tabla resumen donde nos sitúa en el tiempo la entrada en vigor de la regla D2 y D1 con respecto a la capacidad de lastre y a la fecha de construcción del buque.

Así esta guía nos aporta tres métodos a llevar a cabo para el cambió de agua de lastre, los cuales definiremos a continuación:

- Método secuencial. Mediante este proceso, el tanque previsto para el transporte de agua de lastre es vaciado y llenado de nuevo con la idea de lograr el 95% del cambio volumétrico.
- Método a través de flujo. Mediante este método el agua de lastre de un tanque fluye a través de los reboses hacía otros tanques para conseguir el cambio de agua. Mediante este método hay que bombear por lo menos tres veces el volumen del tanque.
- Método de dilución. Mediante este método el agua de lastre es cargada por la parte superior del tanque a la misma vez que este es vaciado por su parte inferior manteniendo por lo tanto el nivel de este constante. También hay que bombear por lo menos tres veces el volumen del tanque.

En la guía se describe además los estudios que deberemos de hacer según tratemos con un método u otro. Por ejemplo: Si tenemos en cuenta el método secuencial, debemos de tener en cuenta que tanques que en un determinado momento están llenos, pasarán a estar completamente vacíos y tanques que estén vacíos pasarán a estar llenos por lo que habrá que hacer unos estudios en profundidad sobre la estabilidad, esfuerzos longitudinales, el chapoteo en los tanques a media carga, posibles vibraciones, efectos ocurridos por la superficie libre del fluido... y mantener siempre el calado apropiado en proa y popa junto con la inmersión correcta de la hélice para un buen funcionamiento.

Si hablamos de los otros dos métodos no hará falta ser tan rigurosos con el tema de la estructura y demás, puesto que se considera que los tanques llenos van a ser siempre los mismos y va a estar siempre en las mismas condiciones, pero en este caso tendremos que poner más énfasis en la disposición de los tubos, medida de estos, respiración de los tanques... válvulas, que nos aseguren el correcto funcionamiento y operar siempre de una forma eficaz y que no ponga en peligro la estabilidad ni la vida del barco y su respectiva tripulación.

Una vez descritos los métodos esta guía también nos ofrece las pautas sobre cómo hemos de hacer el diseño y la construcción de los sistemas relacionados con el lastre para llevar a cabo el cumplimiento de la regla D1 desarrollada en el convenio de la IMO en conjunción con los requerimientos de Steel Vessel Rules.

Así nos describe como diseñar y construir según lo anteriormente comentado:

- Tubos de lastre. Donde utilicemos el método a través de flujo o el de dilución el diseño de los tubos deberán de estar diseñados para soportar sobre-presión en el sistema. Cuando los tanques de lastre estén llenos al máximo de su capacidad, incluyendo el rebose, la presión en los tubos podría ser mayor que la presión para la que estos han sido diseñados, por lo que tendremos que tener especial atención en este tema a la hora del diseño.
- Bombas de lastre. Se instalarán como mínimo dos bombas de lastre, pudiendo ser una de ellas dirigida por la unidad de propulsión. Todo deberá de estar de acuerdo con el apartado 4-6-1/7.33 del libro Steel Vessel Rules o 4-4-2/1 de el Under 90m Rules.

Donde se adopte el método secuencial, el sistema será capaz de bombear los tanques más grandes de lastre simultáneamente.

El periodo de tiempo para llevar a cabo el cambio de agua completo será el que se especifica en el punto 2-3/ii) del documento que se está describiendo, siendo normalmente 24 horas.

La potencia de las bombas de lastre se tendrá en cuenta a la hora de calcular el balance eléctrico como si estas actuaran normalmente.

- Válvulas. Todos los servicios de tubería del sistema de lastre tendrán instaladas válvulas.

Estas válvulas estarán siempre cerradas excepto cuando se estén realizando operaciones de lastre en el mismo.

Para barcos que operen en zonas con temperaturas muy bajas, las válvulas instaladas tendrán que estar aprobadas según el documento del ABS (Guide for Vessels Operating in Low Environment).

En tanques de Oil que sean cargados con agua de lastre, antes del cambio de lastre tendrá que verificarse que el agua no se encuentra contaminada y que esta no vaya a contaminar al medio.

- Aberturas destinadas al cambio de agua de lastre. Las aberturas hechas para el carga o descarga del agua estarán dispuestas en lugares donde esta no se contamine a la hora del remplazo.
- Disposición de los sistemas. El diseño del sistema de lastre será tal que este sea capaz de realizar las operaciones de cambio del lastre con el mínimo numero de etapas, es decir, con la menor complicación.

La disposición interna, los tanques de lastre, los tubos de lastre y la situación de los tanques de sedimentación estarán de acuerdo con la directriz G12 (Procedimientos para el control de los sedimentos en los buques) del convenio.

El diseño de las líneas de succión tendrá colocados coladores o mallas metálicas para impedir pasas sustancias pesadas al interior del sistema.

- Control de las características. Las válvulas asociadas podrán ser operadas por control remoto o manualmente al igual que las bombas del sistema.

Cada bomba operando durante el cambio de lastre estará controlada desde la sala de control.

La estación del control de lastre incluirá:

- Sistema de indicador de posición de las válvulas.
 - Nivel de los tanques.
 - Calado y trimado del buque.
 - Medios de comunicación entre el control del sistema de lastre con la estación de control de buque.
 - Equipamiento para la monitorización del sistema pudiendo funcionar estos sin depender de ningún otro sistema.
- Tanques de lastre. Para buques que operen en zonas con temperaturas frías habrá que desarrollar el sistemas según la Guide for Vessels Operating in Low Temperature Environments del ABS.
 - Muestras. El diseño del sistema de lastre se hará de acuerdo que puedan tomarse muestras de la cantidad de sedimentos en el agua de lastre por los organismos autorizados del puerto.

El sistema estará equipado para que se tenga un fácil acceso a la realización de estas pruebas.

Los tanques de muestra dispondrán de sondas, tubos de aire, manómetros usados por bombas...siendo tomadas las muestras a partir de ellos.

4.3.1.2 PLAN SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE

El buque tiene que tener una planificación sobre el sistema de gestión de agua de lastre a bordo del buque el cual pueda ser usado por el capitán, la tripulación o cualquier persona del estado. Este plan incluirá:

- Particularidades del barco.
- Disposición de los tanques de lastre.
- Consideraciones para la seguridad a bordo.
- Descripción de las actuaciones requeridas por la tripulación para el método de cambio de agua de lastre.
- Detalles de los procedimientos para la disposición de sedimentos.
- Operaciones de comunicación con otras instituciones como con puerto, operarios a bordo...

También se incluirá una sección dedicada al mantenimiento del sistema de gestión del agua de lastre, certificado y aprobado por el ABS el cual tendrá que ser revisado periódicamente por el propietario, operador o capitán.

También se incluirá a bordo el desarrollo sobre gestión de agua de lastre basada en la resolución de la IMO según establece en la G4 (Desarrollo de planes para el Control y gestión del agua de Lastre).

A continuación se muestra la tabla de contenidos de este plan:

- Portada.
- Preámbulo.
- Introducción.
- Particularidades del buque.
- Deberes de la tripulación/Historial.
- Tabla de contenidos.
- Intención y propósito de la gestión de agua de lastre.
- Dibujos y datos del sistema de agua de lastre.
- Puntos principales agua de lastre.
- Guía de operaciones.
- Procedimientos de salvamento de la tripulación y el buque.
- Operaciones de salvamento según la restricción.

- Descripción del método utilizado.
- Control de sedimentos.
- Procesos de disposición de sedimentos.
- Métodos de comunicación.
- Deberes designados a oficiales y capitán del buque con respecto al lastre.
- Libro de registro e informes.
- Entrenamiento de la tripulación y familiarización con el sistema.
- Documentación de respaldo.

4.3.1.3 BALLAST WATER TREATMENT, BWT

Los requerimientos que se aplican en esta guía van a ir dirigidos a buques equipados con equipos de tratamiento del agua de lastre que cumplan con la regla B-3 desarrollada en el convenio de la IMO sobre la gestión del agua de lastre en los buques de 2004.

Para adquirir el certificado de BWT (Ballast Water Treatment) o BWT+ (Ballast Water Treatment Plus) por esta sociedad de clasificación es necesario que el desarrollo del proyecto sea supervisado por un miembro de la misma.

La instalación del sistema de gestión de agua de lastre requiere la presencia de un organismo de la Convención del BWM, debe de ser aprobado por el mismo y por el país o administración de bandera al que pertenezca.

Los requerimientos de esta guía, pueden ser aplicados tanto a nuevos buques, como a buques ya existentes que tenga que ser modificados.

Esta guía se ha elaborado mediante las reglas aprobadas por el ABS (Rules for Building and Classsing Steel Vessels y (Rules for Building and Classsing Vessels Under 90 Meters in Lenght) y lo establecido por la IMO en los siguientes documentos:

- El convenio sobre el control y gestión del agua de lastre y los sedimentos en 2004.

- Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (G8) adoptados por la IMO en 2008.
- Procedimientos para la aprobación de los sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques que usan sustancias activas (G9) adoptados por la IMO en 2008.
- Procedimientos para la Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques y Desarrollo de planes para el Control y gestión del agua de Lastre (G4), adoptados por la IMO en 2005.
- Procedimientos para el control de los sedimentos en los buques (G12), adoptada por la IMO en 2006.
- Procedimientos para el Muestreo de Aguas de Lastre (G2), adoptado por la IMO en 2008.

Según queda representado en la guía, para obtener la notificación de la sociedad de clasificación hay dos maneras:

- Sistema instalado bajo supervisión:
 - Donde un miembro de la IMO apruebe el BWMS, es decir, un miembro de la IMO aprueba el tipo de sistema a instalar, lo supervisa y da el certificado de BWT al buque.
 - Bajo la supervisión de un miembro del ABS. Donde el sistema es aceptado y supervisado por un miembro de la sociedad de clasificación en acuerdo con lo descrito en esta guía y se le asignara el certificado de BWT+ de forma que cumpla con lo descrito por el BWMS.
- Sistema no instalado bajo supervisión. Cuando el sistema no sea implantado bajo supervisión, para conseguir el certificado se deberá de demostrar que el sistema cumple con lo descrito en esta guía y que los equipos también y que cumple con lo descrito en el Convenio de la IMO, más en concreto con la regla D-2.

Además de llevarse a cabo bajo supervisión o no, estos sistemas tendrán características especiales según naveguen por un estado u otro, por lo que sus propietarios deberán de tener en cuenta estos requerimientos y pedir su aprobación a la administración de dichos estados.

En caso de aplicar cualquier sistema no descrito en esta guía, puede ser aceptado, pero tendrá que realizarse bajo supervisión y comprobando que es equivalente con cualquier sistema expuesto por esta sociedad de clasificación.

A continuación vamos a describir los requerimientos que son necesarios para que nuestro buque tenga la certificación de BWT o BWT+.

4.3.1.3.1. Requerimientos:

- Por un lado ha de cumplir con lo especificado en la Convención de la IMO según la norma de eficacia de la gestión del agua de lastre (D-2) resumida en la siguiente tabla:

Tamaño organismos/indicador microbios	Descarga
Tamaño $\geq 50 \mu\text{m}$ mínima dimensión	< 10 organismos viables/m ³
$10 \leq$ Tamaño < $50 \mu\text{m}$ mínima dimensión	< 10 organismos viables/mililitro
Tamaño < $10 \mu\text{m}$ mínima dimensión	No limitado
Vibio cholerae toxicógeno (O1 and O139)	< 1 cfu * / 100 mililitros, o < 1 cfu * / gramos zooplankton samples
Escherichia coli	< 250 cfu * / 100 mililitros
Enterococos intestinales	< 100 cfu / 100 mililitros

Tabla 4-1 (Requerimiento tratamiento)

- Entrada en vigor de la normativa según la capacidad del lastre y la fecha de construcción del mismo los cuales quedan resumidos en la siguiente tabla. (es la misma tabla que hemos expuesto anteriormente):

Ballast Cpty (m3)	Build Date	® First Intermediate or Renewal Survey, whichever occurs first, after the anniversary date of delivery in the respective year								
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<1500	< 2009	D1 or D2								D2 ®
	in 2009	D1; D2 by "2nd Annual but not beyond 31 Dec 11" or EIF, whichever is later (Note)								
	>2009	D2 (at delivery or EIF, whichever is later)								
≥1500 or ≤5000	< 2009	D1 or D2						D2 ®		
	in 2009	D1; D2 by "2nd Annual but not beyond 31 Dec 11" or EIF, whichever is later (Note)								
	>2009	D2 (at delivery or EIF, whichever is later)								
>5000	< 2012	D1 or D2							D2 ®	
	≥ 2012	N/A			D2 (at delivery or EIF, whichever is later)					

Figura 4.2 (Aplicación de regla D-1 o D-2 según capacidad de lastre y año de fabricación)

- El sistema que montemos a bordo para el proceso tiene que estar certificado como dice la directriz G8 (Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques).

Los sistemas que empleen sustancias activas, también tendrán que ser aprobados como dice la directriz G9 (Procedimientos para la aprobación de los sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques que usan sustancias activas).

Los certificados deberán de ser acreditados por un miembro de la IMO.

- Para que la sociedad de clasificación (ABS) de su certificación (BWT+), el sistema deberá de cumplir con las reglas dispuestas por la IMO y además con las reglas de la sociedad de clasificación. Todo producto construido con las siglas PDA (Product Design Assessment) será considerado aceptado para formar parte de sistemas y componentes.
- Además se deberá de llevar a cabo una serie de registros y presentación de informes para obtener una de las dos certificaciones (WBT O WBT+):
 - Plan de gestión de agua de lastre (BWMP), como establece la regla B-1 desarrollada en el Convenio.
 - Registro y presentación de informes, como establece la regla B-2 del convenio mediante la cual deberemos de llevar a bordo un libro donde quede constancia de todo lo que tenga que ver con el sistema de lastre.

A continuación de esto, la guía pasa a describir las principales consideraciones o criterios que tenemos que tener en cuenta a la hora de equipar el barco con un sistema de tratamiento de agua de lastre de acuerdo con la sociedad de clasificación.

4.3.1.3.2. Equipamiento exigible del buque:

En él se describen aspectos:

- Generales: Como que debe de cumplir con las regulaciones internacionales, ser seguro para la tripulación y maniobras del barco y no ser degradable para el medio ambiente.
- Criterios comunes con las demás reglas del ABS como puede ser el radio de operación del sistema e lastre, la capacidad de las bombas, localización de las mismas, sistema de ventilación, consideraciones a tener en cuenta en la estructura, efectos de corrosión que tenemos que tener en cuenta, sistema de agua de lastre a implantar para el tratamiento, materias y componentes de los tubos, válvulas de control a instalar, sistema eléctrico, instrumentación, cumplir con los requerimientos de la OMI, etc.
- El método de tratamiento a utilizar aceptado por el ABS:
 - Sistemas de separación mecánica.
 - Sistemas de tratamiento físico.
 - Cavitación o ultrasonido.
 - Sistemas térmicos.
 - Sistemas de gas inerte de des-oxigenación.
 - Sistema de irradiación ultravioleta.
 - Sistemas de tratamiento químico/sistemas de sustancias activas.
 - Sistemas de tratamiento químico.
 - Sistemas de inyección de Ozono.
 - Sistemas de electroclorinación.

- Combinación de tratamientos.
- Otros tratamientos que no están especificados en la guía pero que pueden tener una consideración especial.
- Equipos para combatir el fuego.
 - Donde se da una explicación general.
 - Se describe el manual a llevar a bordo para el conocimiento de los tripulantes, capitán... junto con el manual de salvamento.
- Sistema de control de sedimentos, donde se describe el control de los sedimentos y lo explicado en G12 de la guía del convenio (Procedimientos para el control de los sedimentos en los buques), la G4 (Procedimientos para la Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques y Desarrollo de planes para el Control y gestión del agua de Lastre).

En la sección 5 de esta guía, esta pasa a describirnos las consideraciones que debemos de tener en cuenta si trabajamos con buques que transporten oil o productos químicos. Así a continuación enunciaremos los temas a tratar por esta sección:

- Requerimientos básicos. Los requerimientos aplicados para áreas peligrosas donde habitan productos químicos o algún tipo de combustible son las que aparecen en los capítulos 1 y 2 (Parte 5C) del Steel Vessel Rules (Vessels Intended to Carry Oil in Bulk (150 meters (492 feet) or more in Length) y Vessels Intended to Carry Oil in Bulk (Under 150 meters (492 feet) in Length))
- Localización de los equipos de BWMS. El cual según nos describe siempre deberá de estar localizado fuera de la zona peligrosa teniendo especial consideración con lo que nos dirá la administración de bandera.
- Requerimientos de ventilación. Se refiere a los requerimientos que se tendrán en cuenta con respecto al BWMS los cuales son descritos en el punto 4/3.3 de esta guía.

- El sistema de tubería donde se distinguirán dos partes:
 - General: Donde podremos encontrar los requerimientos en la sección 5C-1-7 del Steel Vessel Rules (Cargo Oil and Associated Systems).
 - Consideraciones de interconexión: Las debemos de aplicar lo expuesto en la sección 5C-1-7/1.7.2 del Steel Vessel Rules (Spaces Adjacent to cargo tanks) para las zonas no peligrosas y se describen los requisitos necesarios a aplicar cuando estos se dispongan en zonas peligrosas como por ejemplo no conectar un servicio considerado peligroso a través de uno que sea no peligroso...
 - Equipos de salvamento. Donde queda descrito todo lo necesario por ABS. El alcance de estos equipos a instalar incluye entre otros:
 - Localización de los equipos y zonas peligrosas.
 - Sistemas de monitorización, control y salvamento.
 - Procedimientos de operación del BWMS.
 - Potencia del equipo.
 - Conexiones entre sistemas de tubería y zonas peligrosas.
 - Operaciones del buque durante el lastre y deslastre.

En la sección 6 de este documento se describe el procedimiento de gestión de operaciones a llevar a cabo. Así se van a describir la documentación que vamos a llevar a bordo, junto con las obligaciones tanto del oficial al mando como de la tripulación a bordo de este. Esta sección queda dividida así en tres partes:

4.3.1.3.3. Gestión de operaciones.

- Operaciones y manual de salvamento. Donde se detallan las operaciones y el manual de salvamento que debe de estar a bordo del buque como se ha indicado en la sección 2 de este mismo documento. En este manual deben de estar incluidas las operaciones, los servicios de mantenimiento y los requerimientos de salvamento tanto de las zonas peligrosas como de los tratamientos del sistema de agua de lastre. Todo estará reflejado en un índice, a partir del cual podremos llegar con rapidez a cualquier consulta del documento.

Cualquier modificación del mismo debe de ser aprobada por el ABS anteriormente.

- Oficial del BWM. Debe de ser asignado un oficial del BWM a bordo del buque recibiendo la notificación de BWT o BWT+, el cual será responsable del proceso y de llevar a cabo todo lo establecido en el reglamento.
- Deberes del personal y formación. Donde se nos da una idea de los principales puntos de los cuales se tiene que tener conocimiento a bordo del buque a nivel general (como consideraciones de salvamento, información sobre la convención de gestión de agua de lastre, etc) como aspectos específicos (como detalles del sistema de gestión de lastre del buque, mantenimiento, operaciones, etc).

En la sección 7 de este documento pasamos a hablar de los requerimientos de supervisión.

4.3.1.3.4. Supervisión.

Haremos las siguientes inspecciones:

- Una supervisión inicial. Donde un supervisor de ABS supervisara la instalación, con su correspondiente estructura, materiales, planos... los cuales estarán de acuerdo con esta guía y se aportara la documentación necesaria que el buque deberá de llevar a bordo aplicando la directriz G8 (Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques) si todo está correctamente.
- Supervisión después de la construcción. Está supervisión será la que tendremos que llevar a cabo para conseguir la notificación de BWT o BWT+ en nuestro buque. Para ello habrá tres tipos de supervisiones:
 - Supervisión anual. Anualmente el sistema tendrá que ser examinado junto con la documentación llevada a bordo. Así se comprobará que todo cumple con lo descrito en esta guía, el registro de operaciones y mantenimiento, la gestión del agua de lastre y el control y monitorización del equipo.
 - Supervisión especial periódica. Dónde el supervisado irá en función de lo descrito en la parte 7 del Steel Vessel Rules (Survey After Construction), sobre el casco, la maquinaria, automatización y sistemas de control en el buque.

- Supervisión adicional. Se podrá hacer una supervisión adicional porque tenga que hacerse o se haya hecho alguna modificación en el buque como puede ser en la estructura, casco, algún sistema... los cuales tendrán que cumplir con las reglas del ABS, lo descrito en la convención y lo descrito en esta guía.

4.3.2. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA SEGÚN DET NORSKE VERITAS (DNV)

DNV o Det Norske Veritas es una sociedad de clasificación de ámbito mundial con sede en Noruega y fundada en 1864. Es una fundación independiente.

Actualmente, 5800 empleados trabajan para DNV en 100 países a través de 300 oficinas alrededor del mundo. Su sede central se localiza en Hovik, en las cercanías de Oslo, Noruega.

El sistema de lastre junto con el sistema de sentina son considerados por esta sociedad de clasificación como sistemas críticos necesarios para la seguridad del buque. Este sistema es necesario y esencial para el funcionamiento del buque, jugando un papel muy importante sobre la estabilidad del mismo.

Aunque el sistema de lastre este conectado a otros sistemas (como el de sentina, fuel oil...) este tendrá un comportamiento independiente, es decir, cualquier fallo en uno de los otros sistemas no tendrá ninguna consecuencia en el funcionamiento de este. Además en las interconexiones de los sistemas se dispondrán de válvulas de seguridad anti-retorno, para que el fuel, sentina... o cualquier otro fluido no se mezcle nunca con el agua de lastre y viceversa.

A continuación vamos a describir la guía que nos aporta el DNV para obtener el certificado correspondiente de BWM-E o BWM-T de nuestro barco.

Este documento va a estar dividido en cuatro secciones:

1. Requerimientos generales (aplicados a la documentación del barco).
2. Requerimientos generales (aplicado al barco en sí).
3. Cambio de agua de lastre BWM-E.
4. Tratamiento de agua de lastre BWM-T

4.3.2.1 REQUERIMIENTOS GENERALES.

En esta parte del documento se definen un poco los requerimientos necesarios de documentación y de sistemas a instalar que hacen falta para adquirir los diversos certificados de cumplimiento en el buque. Así nos cita que la normativa se va a basar en lo expuesto en el Convenio de la IMO de 2004, más en concreto en las guías de dicho convenio.

A continuación esta sociedad de clasificación pasa a describirnos las diversas notaciones que se nos va a adjudicar dependiendo del sistema que implantemos:

- BWM-E: Para buques que utilicen el sistema de cambio de agua de lastre.
- BWM-EP: Para buques que utilicen el sistema de cambio de agua de lastre pero bajo unas circunstancias especiales, más “estrictas” que las del anterior.
- BWM-T: Para buques que utilicen el sistema de tratamiento de agua de lastre.

Una vez explicado esto, esta guía nos informa de los tres métodos existentes si utilizamos el sistema de cambio de agua de lastre los cuales designa mediante letras:

- d: Método de dilución.
- s: Método secuencial.
- f: Método a través de flujo.

También nos notifica, que si el sistema a implantar es el de tratamiento de aguas de lastre, la sociedad de clasificación se va a basar en la guía G8 (Guía para la aprobación del sistema de gestión de agua de lastre) para dar el certificado.

Toda la documentación que debe de ser suministrada queda especificada en la tabla C1 de este documento.

Tabla C1: Documentación requerida				
Objeto	Tipo de documentación	Descripción adicional	Info	Notación para los calificadores
Sistema de lastre	Diagrama de tubería	Sobre-carga del sistema	AP	EP
	Tiempo de Carga/descarga	Tanques	FI	E
	Plano de disposición	Agua de lastre y puntos de muestra de sedimentos	AP	All
	Gestión de agua de lastre		AP	All
Sistema de tratamiento de agua de lastre.	Plano del esquema eléctrico		AP	T
	Diagrama del sistema	Sistema de control	AP	T
	Diagrama de tubería	Conexión al sistema de lastre	AP	T
	Plano de disposición	Accesos, espacios de emergencia y ventilación para el compartimento del sistema de tratamiento	AP	T
	Lista de equipos	Incluyendo diseño, condiciones, descripción de la automatización	FI	T
	Procedimientos de prueba en	Procedimientos específicos del	FI	T

	muelle y mar abierto	sistema de acuerdo con la Guía G8		
	Operación manual	Aprobada por la administración	FI	T
	Informe de cálculos	Estudios y test realizados	FI	T
	Certificado de aprobación	Tipo aprobado por la administración	FI	T
Sistema de tratamiento de agua de lastre < sistema de inyección química/sistema de neutralización	Planos estructura	Tanques que contienen productos químicos	AP	T
	Diagrama de tubería	Tubos de aireación, sonda, drenaje que contienen productos químicos	AP	T
	Diagrama de tubería	Sistema de inyección de líquidos	AP	T
	Diagrama de tubería	Disposición de carga para tanques que contiene líquidos químicos peligrosos	AP	T
	Plano de disposición	Bandeja de goteo para tanques que contienen líquidos químicos peligrosos	AP	T
	Plano de disposición	Espacios para tanques que contienen líquidos químicos peligrosos	AP	T
	Datos de la chapa	Líquidos químicos usados	FI	T
	Operación	Tanques de carga,	FI	T

	manual	procedimientos de emergencia, etc.		
Sistema de tratamiento de agua de lastre > Control y monitorización del sistema de tratamiento > Unidad de electrolisis/ Sistema de ozono/sistema de inyección química/ sistema de desoxigenación	Documentos del sistema de control y monitorización	Si conecta con el control y monitorización del barco	AP	
	Informe de pruebas de fabricante	Informes de corrosión	FI	T
	Lista de instrumentos y equipos	Detectores de sustancias inflamables o toxicas producidas por el proceso	AP	T
	Diagrama de tubería	Sistemas auxiliares: ventilación...	AP	T
	Plano de disposición	Detectores y alarmas para sustancias inflamables y toxicas generadas por el proceso	AP	T
	Datos de acero	Tratamiento residual y productos incluyendo gases generados	FI	T

Tabla 4-2 (Documentación requerida DNV)

4.3.2.2 REQUERIMIENTOS GENERALES

En esta sección se describen los requerimientos aplicables al buque:

- Requerimientos de esfuerzos.
- Estabilidad.
- Visibilidad, inmersión del propulsor y de la proa.

- Muestras
- Gestión de los sedimentos: Detallados en el plan de procesos y aceptados según las recomendaciones de la guía G12 (Diseño y construcción para facilitar el control de los sedimentos en el barco).

4.3.2.3 CAMBIO DE AGUA DE LASTRE (BWM-E o BWM-EP)

La opción de implantar el sistema de cambio de agua de lastre es posible de acuerdo con la fecha de fabricación y la capacidad de carga de lastre del mismo como se explica en el convenio. Los requerimientos dados en este apartado son exclusivamente para buques que lleven implantado esta manera de manejar el lastre a bordo.

Así en este documento se describen requerimientos generales aplicados a:

- Válvulas: las cuales estarán colocadas de manera que el sistema opere con la mayor facilidad y de forma que estas se encuentren cerradas cuando el sistema este inactivo.
- Disposición del sistema: De forma que este opere con la mayor facilidad posible y a su vez cumpla con los requerimientos del sistema de cambio de agua de lastre y el control de los sedimentos.
- Control del proceso: Mediante el cual las válvulas deberán de poder ser controladas por control remoto desde la central del control del lastre, desde el local de bombas o de forma manual.

También este nos indicara aspectos como: posición de las válvulas, nivel de los tanques... además de poder comunicarnos desde la central de control del lastre con otros locales de control.

Además, según el método a utilizar tendremos que cumplir diferentes requerimientos:

- BWM-E (f): El sistema de tubería y bombas que utilicen este método junto con los tanques deberán de estar preparados para soportar sobrepresiones debidas al paso del flujo a través de los reboses. Esto tendrá que ser demostrado y calculado como se explica en la parte 4, capítulo 6, sección 4 (Sistema de tubería del barco) K201.

- K201: Para tanques que se bombeen mediante los reboses, la sección de los tubos de aire estará dimensionada de forma que las bombas puedan operar a su máximo flujo y en el tanque no se produzca ninguna sobre-presión. Los cálculos quedan reflejados en la Pt.3 Ch.1(Diseño de cargas) Sec.4 C300 o Pt.3 Ch.2 Sec.5 (Estructura del fondo) B100.
- BWM-E (d): Se tendrá que utilizar un sistema monitorizado mediante el cual se controle que siempre haya el mismo nivel en los tanques para la seguridad del buque durante el cambio de lastre.
- BWM-EP: En barcos que tengan que navegar con bajas temperaturas el sistema de lastre deberá de estar de acuerdo a lo descrito en Pt.5 Ch.1 Sec.3 (Fortalecimiento por hielo para el norte del Báltico) and Sec.6 (Reglas provisionales para el invierno) obteniendo este certificado. Dependiendo del método a utilizar tendrá más requerimientos:
 - (s): La capacidad de cada bomba deberá de ser capaz de cambiar el agua de el mayor tanque dedicado al agua de lastre igual que si de un grupo de bombas se tratara, por lo tanto la capacidad de esta será mayor. También se deberá de poder hacer el cambio completo con un grupo de bombas en un tiempo de tres horas cuando generalmente son 24 para adquirir el BWM-E.

En compartimentos de carga se considera un tiempo de cuatro horas si tuviéramos que llenarlos para adquirir el certificado.

- (f): Este método no estará permitido si los reboses sueltan aguas a la cubierta ya que corre el peligro de que se congelen. Para esto se suelen conectar los reboses mediante tubos entre los tanques.
- (d): Cuando se utiliza este método, la sociedad de clasificación nos obliga a tener un sistema que controle el nivel de los tanques y en caso de fallo o cualquier mal función en el sistema este se desconecte automáticamente.

4.3.2.4 TRATAMIENTO DE AGUA DE LASTRE BWM-T

En esta sección la guía habla sobre cómo conseguir la notación de BWM-T cuando el sistema implantado a bordo es el de tratamiento de agua de lastre, o lo que es lo mismo, el correspondiente con la regulación D2 de la convención.

Según la guía, para obtener este certificado el sistema debe de cumplir con lo descrito en la guía G8.

En esta sección podemos distinguir dos partes: La primera que nos habla del sistema de bombas y tuberías para el lastre y la segunda la cual nos habla del sistema de tratamiento.

El sistema de tratamiento de lastre deberá de tener como mínimo capacidad para poder operar con el consumo de una de las bombas de lastre, además de tener un control de flujo automático si el sistema de bombeo es mediante bombas centrifugas.

En caso de que la capacidad del sistema de tratamiento este diseñada para una sola bomba, en el Plan de gestión de agua de lastre deberá de incluirse instrucciones específicas donde se nos comunique que no es posible trabajar con más de una bomba. Además en el plan se deberán de especificar el control de las válvulas, secuencias del tratamiento, estabilidad y esfuerzos a soportar por el barco ya que esto tendrá una especial consideración en el sistema de lastre.

El sistema de tratamiento irá conectado mediante un sistema en by-pass y con un sistema de alarma para cuando haya un problema en el mismo y debamos de mantener la seguridad del buque, el sistema de lastre pueda operar sin la necesidad de llevar a cabo el tratamiento de agua de lastre, saltando la alarma y avisándonos del problema. Los procedimientos y demás para llevar a cabo el proceso deberán de ser especificados en el libro del Plan de gestión de agua de lastre.

Toda la instrumentación y automatización del sistema, incluyendo ordenadores, bases de control y monitorización deberán de estar de acuerdo con lo descrito en la Pt. 4 Ch 9 (Sistemas de control y monitorización) así como las instalaciones eléctricas deberán de estar de acuerdo con las reglas dadas por el DNY en el mismo documento o por la guía del convenio G8.

Podrán estar combinados los sistemas de lastre y los de carga mediante tubería común entre ellos siempre y cuando los tranques de carga estén limpios y los procesos de ejecución aparezcan especificados en el Plan de gestión de agua de lastre.

Por otro lado, todas las partes del sistema de tratamiento deberán de ser accesibles para una posible inspección o cualquier reparación necesaria en el sistema.

Los requerimientos C300 y C403 serán aplicados a sistemas de tratamientos que usen gases o líquidos químicos inflamables, explosivos o sustancias peligrosas. Estos sistemas utilizarán siempre productos con un flash point superior a 60°C y separados de los compartimentos por cubiertas y mamparos de acero de como mínimo 300 mm de espesor. Si el flash point es inferior deberá de ser considerado peligroso y tendrán que aplicarse reglas especiales DNV Rules Pt.5 Ch.4 Sec.10 (Ventilación mecánica en áreas de carga) B300.

Deberán de ser localizados los espacios donde puedan desarrollarse productos químicos, explosivos o peligrosos a causa del tratamiento. Estos espacios no estarán localizados nunca donde haya maquinaria como puede ser la sala de maquinas; donde sea un espacio de acomodación para los tripulantes, como la acomodación del barco, el puente de navegación; y en caso de no haber mas remedio siempre poseerá un dispositivo de alarma que nos informa de la mas mínima fuga en el sistema. El material de tubería utilizado para estos productos químicos, peligrosos o inflamables vendrán reflejados en el DNV Rules Pt.4 Ch.6 (Sistema de tubería).

Por último, lo que nos encontramos en esta guía es una descripción de los requerimientos necesarios para una inspección inicial sobre el sistema de tratamiento. La inspección se llevará de acuerdo a lo descrito en la Pt7 Ch.1 Sec.6 (Opciones de las supervisiones de la sociedad de clasificación)V y de acuerdo con las reglas 102 – 106 descritas en este documento.

Será fundamental aportar la siguiente información a la hora de realizar la inspección:

- Aprobación de los planos del sistema de tratamiento y la modificación del sistema de lastre por la instalación del mismo.
- Especificación de la instalación, procedimientos y puesta en marcha del sistema de tratamiento.

Posteriormente se verificará que la instalación se ha llevado a cabo de acuerdo a estos documentos, se comprobaran que las areas peligrosas cumplen con su correspondiente normativa y la verificación de la toma de muestras para comprobar que está de acuerdo con el convenio.

Este sistema será verificable que es capaz de operar durante un periodo de 24 meses.

4.3.2.5 FACILIDADES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DEL SISTEMA DE LASTRE.

Esta sociedad de clasificación también nos aporta dos documentos en los que quedan descritos los requisitos a llevar a cabo con mayor facilidad la toma de pruebas del sistema de gestión de agua de lastre:

- Test Facilities Engaged in Testing of Ballast Water Management Systems (Environmental Testing).
- Test Facilities Engaged in Testing of Ballast Water Management Systems (Land-based and Shipboard Testing).

Estos documentos serán los que se describirán a continuación.

4.3.2.5.1. Test Facilities Engaged in Testing of Ballast Management System (Environmental Testing)

Este documento se divide en cinco partes según su contenido:

- General.
- Requisitos para facilidad de las pruebas.
- Procedimientos para la aprobación.
- Alteraciones.
- Referencias.

4.3.2.5.1.1. *General:*

En esta parte podemos describir los ámbitos que hay que tener en cuenta:

- El alcance para la aprobación por la sociedad de clasificación: Mediante la cual la sociedad de clasificación nos dará su aprobación mediante la decisión de un supervisor que comprobará que el sistema cumple con el

programa del DNV 771.91.

- Alcance para la aprobación reglamentaria: Un supervisor del DNV comprobará que todo está de acuerdo con la directriz G8 (Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques) donde el DNV estará autorizado por la administración de abanderamiento para dar su criterio sobre el tema.

A veces puede ser necesario una acreditación adicional si el buque tiene que navegar por diferentes estados con diferentes administraciones de bandera, pero tendrá que cumplir igualmente con lo descrito en el convenio y con las reglas del DNV.

- Alcance para la aprobación como laboratorio independiente de la Guardia Costera de los Estados Unidos: Mediante el que tendrá que cumplir con lo siguiente:
 - Test que deben de cumplir con lo dispuesto en USCG 46 CFR 162.060 y/o US Environmental technology verificando lo descrito en el documento Generic Protocol for de Verification of Ballast Water Treatment Technologies (2010).
 - Ser aprobado por los criterios estándar del DNV.
 - Ser aprobado por la USCG como sub-contrata del DNV.
- Objetivo: El objetivo es comprobar que el programa cuenta con personal cualificado y equipos para la formación, control, verificación y presentación de informes, además de las instalaciones y el equipamiento técnico necesario.
- Validez: La aprobación será válida durante tres años.

4.3.2.5.1.2. Requisitos para las pruebas:

Para obtener el certificado el sistema debe de llevar a cabo todo lo descrito a continuación. Este test tiene como fin verificar que se cumple: Lo dictado por la directriz G8 del convenio, el Standard for Certification 2.4 del DNV y USCG 46 CFR 162.06 y el ETV Protocol.

Se deberá de suministrar el certificado de validación ISO 17025. Este nos asegurará la calidad del sistema mediante un miembro de IAF/EA, siendo esta acreditación relevante y claramente definida.

Se dará información de la disposición y de cualquier parte provista mediante sub-contratación. Esta información deberá de ser reflejada en el QAPP (Quality Assurance Project Plan) y en el QMP (Quality Management Plan) incorporándose todos los sub-contratas, incluyendo nombre, dirección, certificaciones, etc.

Así se redactará un informe sobre cada prueba describiendo el trabajo, las deficiencias en el funcionamiento, lo conforme con el reglamento y lo no conforme para la adquisición del certificado, junto con el diseño, análisis de resultados, etc.

4.3.2.5.1.3. Procedimiento para aprobación:

Mediante los test hechos y la documentación aportada, incluyendo la de los sub-contratas y viendo que se cumplen los requisitos, el DNV actuará como IL de USCG.

4.3.2.5.1.4. Alteraciones:

Todas las alteraciones a los procedimientos o documentos de las pruebas tendrán que ser reportados inmediatamente a la sociedad de clasificación. Cuando se considere necesario por DNV se podrá realizar una reunión para una mejor información.

4.3.2.5.1.5. Referencias:

- DNV Rules for Classification of Ships Pt.6 Ch.18
- DNV Standard for Certification 2.4
- DNV Type Approval Programme 771.91
- IMO Res. MEPC.174(58) Guidelines G8 of the Ballast Water Management Convention
- IMO Res. MEPC.169(57) Guidelines G9 of the Ballast Water Management Convention
- USCG 46 CFR 162.060 – Ballast Water Management Systems
- US Environmental Protection Agency's Environmental Technology Verification (ETV) Program
- document Generic Protocol for the Verification of Ballast Water Treatment Technologies November 2010
- — ISO 17025:2005 Standard.

4.3.2.5.1. Test Facilities Engaged in Testing of Ballast Management System (Land-Based and Shipboard Testing)

El contenido de este documento se divide en seis partes:

- General.
- Requisitos para pruebas.
- Procedimientos de aprobación.
- Alteraciones.
- Cancelación del certificado de aprobación.
- Referencias.

En esta parte podemos describir los ámbitos que hay que tener en cuenta igualmente que el documento anterior:

- El alcance para la aprobación por la sociedad de clasificación: Mediante la cual la sociedad de clasificación nos dará su aprobación mediante la decisión de un supervisor que comprobará que el sistema cumple con el programa del DNV 771.91.
- Alcance para la aprobación reglamentaria: Un supervisor del DNV comprobará que todo está de acuerdo con la directriz G8 (Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques) donde el DNV estará autorizado por la administración de abanderamiento para dar su criterio sobre el tema.

A veces puede ser necesario una acreditación adicional si el buque tiene que navegar por diferentes estados con diferentes administraciones de bandera, pero tendrá que cumplir igualmente con lo descrito en el convenio y con las reglas del DNV.

- Alcance para la aprobación como laboratorio independiente de la Guardia Costera de los Estados Unidos: Mediante el que tendrá que cumplir con lo siguiente:
 - Test que deben de cumplir con lo dispuesto en USCG 46 CFR 162.060 y/o US Environmental technology verificando lo descrito en el documento Generic Protocol for de Verification of Ballast Water Treatment Technologies (2010).

- Ser aprobado por los criterios estándar del DNV.
- Ser aprobado por la USCG como sub-contrata del DNV.
- **Objetivo:** El objetivo es comprobar que el programa cuenta con personal cualificado y equipos para la formación, control, verificación y presentación de informes, además de las instalaciones y el equipamiento técnico necesario.
- **Validez:** La aprobación será válida durante tres años.

4.3.2.5.2.1. Requisitos para las pruebas:

Para obtener la certificación por la sociedad de clasificación se tendrán que tener en cuenta todos los requisitos mostrados a lo largo de este punto. Además se tendrá que verificar que el sistema cumple con lo dictado en: La directriz G8 (Procedimientos para la aprobación de sistemas para el Control y gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques), el programa de aprobación del DNV 771.91 y estar de acuerdo con el USCG 46 CFR 162.060 y el ETV Protocol.

- **Documentación.** Tendrá que ser aportada la siguiente documentación:
 - QAPP (Quality Assurance Project Plan) y SOP (Standar Operating procedures).
 - QMP (Qualitiy Management Plan).
 - ESH (Environmental Safety and Heald plan).
 - Diagramas de planificación de tubería e instrumentación.
 - Detalles de las instalaciones de muestreo y disposición en puerto y localización.
 - Plano de disposición general.
 - Lista de equipos de bombas, sensores y válvulas.
 - Validación del test de prueba.

- seguridad de las cualidades del sistema:
 - Acreditación: Se dará la acreditación por el DNV de que el sistema cumple con los requerimientos de la ISO 17025, si no cumple también será aportado por este.
 - Plan de aseguramiento de las cualidades del proyecto. Se comprobará que todo está conforme con los documentos a entregar en la sección de comunicación descrita anteriormente.
 - Procedimiento estándar de operación: Donde se elaborara el documento SOP (Standar Operating Procedures) donde se describirá el proceso a seguir. Este tendrá como mínimo los siguientes temas:
 - Preparación al cambio de agua (Parámetros biológicos y físicos/ Químicos).
 - Volúmenes y manejo de los mismos.
 - Análisis de los procedimientos.
 - Manejo de los resultados.
 - Cualidades del plan de gestión (QMP), describiendo la estructura y las cualidades del sistema, procedimientos, zonas de aplicación, reglas, responsabilidades, etc. Esta debe de estar de acuerdo con ISO/IEC 17025.
 - Plan salud medioambiental y salud humana. Debe de estar de acuerdo con lo descrito en el ESH.
- Personal: Se asegurará un número suficiente de personal cualificado disponible para realizar las pruebas. El personal deberá de reunir como mínimo los requisitos enunciados a continuación:
 - Posición: Será responsable de llevar a cabo las siguientes pruebas.
 - Cualificaciones: Tendrá que tener cualificación de químico, ingeniero o biólogo/microbiólogo para poder llevar a cabo las pruebas.
 - Formación: Será responsable de la cualificación y formación del personal.
 - Informes del personal: Se hará un registro sobre la edad, educación, experiencia...

- Procedimientos, equipamiento y permisos. Las pruebas comprobarán que todo está de acuerdo a lo tratado en el convenio sobre BWM viendo que las siguientes partes son correctas o cumplen con lo establecido:
 - Procedimientos. Se supervisa que el equipo funciona correctamente durante el test de operación.
 - Equipamiento. Se asegura que este cumple con los requerimientos de BWMS comprobando la temperatura, salinidad, pH y cantidad de cloro entre otros que contiene el agua en su descarga para comprobar que todo se encuentra según los reglamentos. Se lleva a cabo también la comprobación de organismos microscópicos.
 - Premisas. Se comprueba que los tubos, bombas, válvulas... son los adecuados de acuerdo con los reglamentos, comprobándose la cantidad de tanques almacén, el control sobre el sistema de agua de lastre y se comprueba que todo está correcto de acuerdo a lo descrito en la directriz G2 (Procedimientos para el Muestreo de Aguas de Lastre)
- Requerimientos del cambio de agua. Para proceder al cambio de agua se deberá de comprobar las condiciones de esta (temperatura, salinidad, organismos y minerales que contiene) de acuerdo con lo descrito anteriormente.

En caso de que existan organismos, sedimentos... antes de cambiar el agua será necesario establecer unos métodos y procedimientos antes de su descarga los cuales estarán descritos en el QAPP Y SOPs.

- Sub-contratistas: Se incluirá toda información sobre estos.
- Presentación de informes: Se presentará un informe sobre cómo se ha desarrollado la prueba describiendo el trabajo, deficiencias encontradas en los componentes...

También se incluirá información sobre las pruebas de diseño, métodos y análisis de resultados. El informe incluirá una copia del certificado de aprobación.

4.3.2.5.2.2. Procedimientos de aprobación:

Los procedimientos para llevar a cabo la aprobación del sistema será el siguiente:

- Aplicación y aprobación de la misma.
- Revisión inicial.
- Pruebas para validación.
- Aplicación de un subcontratado por DNV actuando como IL de USCG.
- Revisión.
- Certificación

4.3.2.5.2.3. Alteraciones:

Cualquier alteración en el proceso tendrá que ser comunicada de inmediato al DNV y tendrá que volver a ser revisada siempre que la sociedad de clasificación lo considere conveniente.

4.3.2.5.2.4. Cancelación del certificado de aprobación:

DNV estará de acuerdo en cancelar el certificado de aprobación en los siguientes casos:

- Donde el servicio se lleve a cabo de manera inadecuada o los resultados se obtengan de forma incorrecta.
- Donde un inspector detecte fallos en las instalaciones en comparación con la documentación a tener en cuenta.
- Donde no se informe de una alteración en el proceso.
- En caso de revisión inmediata, si se solicita y esta no es llevada a cabo.
- Cuando una autoridad nacional haya retirado su aprobación de la instalación que se está probando.

4.3.2.5.2.5. Referencias:

Las siguientes referencias se tendrán que tener en cuenta para llevar a cabo las pruebas y dar la aprobación de la sociedad de clasificación:

- DNV Rules for Classification of Ships Pt.6 Ch.18

- DNV Standard for Certification 2.4
- DNV Type Approval Programme 771.91
- Guidelines G8 of the Ballast Water Management Convention
- Guidelines G9 of the Ballast Water Management Convention
- USCG 46 CFR 162.060 – Ballast Water Management Systems
- US Environmental Protection Agency's Environmental Technology Verification (ETV) Program document
- "Generic Protocol for the Verification of Ballast Water Treatment Technologies" November 2010.
- 8) ISO/IEC 17025:2005 Standard.

4.3.3. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA SEGÚN LLOYD'S REGISTER (LR)

Lloyd's Register es una Sociedad de clasificación y una organización de análisis de riesgos. Está siempre ha sido de ámbito marítimo aunque a finales del siglo XX se extendió a varios sectores.

4.3.3.1 CLASIFICACIÓN Y ASPECTOS GENERALES:

A continuación vamos a describir los requisitos que utiliza el Lloyd's Register a la hora de clasificar nuestro buque o mejor dicho, nuestra manera de operar el agua de lastre.

Los buques que cumplan con las normas exigibles por esta sociedad, adquirirán la certificación de BWMP (Ballast Water Management Plant, o posesión del mismo). Esta sociedad de clasificación hace distinción en si el buque lleva instalada planta de tratamiento o no, lo que hace es que considera esta última como un método más a utilizar en el cambio de agua de lastre. Así según el método que utilicemos esta sociedad nos aportará la siguiente certificación:

- (S) : Método secuencial: Mediante el cual se exigirá que sea capaz de intercambiarse como mínimo el 95% del volumen del agua de lastre.
- (F): Método de flujo: Mediante el cual el agua será intercambiada introduciendo fluido en los tanques de lastre y saliendo el sobrante mediante los reboses u otras disposiciones.

- (D): Método de dilución: Mediante el cual se cargara agua por la parte superior del tanque a la misma vez que se descarga por el fondo manteniendo el nivel constante.
- (T): Método de tratamiento: El cual el sistema de tratamiento tendrá que estar aprobado de acuerdo con la regla D-3 del convenio del BWM (Prescripciones relativas a la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre).

De esta forma dependiendo del método a utilizar a bordo o combinación de ambos obtendrá una certificación u otra, por ejemplo:

- Si nuestro buque utiliza el método secuencial sería: BWM (S).
- si nuestro buque está preparado para usar el método secuencial y el de flujo: BWM (S+F).

Para cumplir con los requisitos de la sociedad de clasificación el buque deberá de tener un Plan de Gestión de Agua de Lastre en concordancia con lo descrito en la regla B-1 del convenio.

El Lloyd's Register nos aporta un modelo de este plan, el cual será explicado más adelante. En este plan deberán de aparecer las secuencias de operación desde la puesta en marcha del proceso hasta su cierre y los estudios para la seguridad del buque sobre los siguientes aspectos:

- Esfuerzos longitudinales, momentos...
- Efectos sobre la estabilidad.
- Inercia del lastre.
- Superficie libre del lastre en los tanques.
- Mínimo calado de la proa.
- Calado del propulsor para su correcto funcionamiento.

Además se deberá de hacer un estudio y aportar los datos para que desde el puente de gobierno haya siempre buena visibilidad como establece el SOLAS V/22.

Dependiendo del método a utilizar tendremos que poner más énfasis en un estudio u otro. Por ejemplo:

- Si usamos el método de flujo tendremos que poner énfasis en comprobar que los tanques van a ser capaz de soportar las altas presiones producidas por el llenado de los tanques hasta el rebose.
- Si usamos el método secuencial habrá que hacer un estudio en profundidad sobre la estabilidad del buque, ya que tanques que estaban completamente llenos pasarán a estar vacíos y viceversa, lo cual ocasionará tremendos esfuerzos en la estructura que tendrán que ser comprobados.
- Si usamos el método de dilución no hará falta hacer ningún cálculo de estabilidad, ni esfuerzos en la estructura, puesto que se supone que el nivel de los tanques va a ser constante, pero deberemos de instalar un sistema que nos asegure que el procedimiento se está ejecutando correctamente.

A continuación en esta guía se desarrollan los principales criterios que deberán de ser valorados para cada método:

4.3.3.1.1. BWMP (T):

La instalación deberá de ser aprobada de acuerdo con la guía G8 de la IMO (aprobación del sistema de gestión de agua de lastre).

Si este sistema se trata de un prototipo o un sistema bajo supervisión este deberá de ser aprobado de acuerdo con lo descrito en la regla D-4 del Convenio de la IMO (Prototipos de tecnologías de agua de lastre).

4.3.3.1.2. BWMP (F):

En esta sección se deben de distinguir tres tipos de situaciones según el estado del barco:

Nueva construcción: El escantillonado de los tanques, la estructura... será tomado en cuenta a la hora de su diseño incluyendo el rebose de los tubos.

Donde la descarga del agua se lleve a cabo por debajo de la cubierta de intemperie será suficiente con diseñarlo para esta altura.

Para ver la formulación aplicable, esta estará explicada en Pt4, Ch1 y en la tabla 1.9.1 del Rules for Ships.

Barcos en servicio: Este método no será utilizado a no ser que se demuestre que la estructura de los tanques es capaz de soportar los requisitos de este método. Los cálculos a aplicar en esta sección se encuentran explicados en el mismo lugar que los del apartado anterior.

Todos los casos: Este método será aceptado tan solo para los tanques del pique de proa y popa cuyo diseño no cause inconvenientes en los criterios de estabilidad del buque y en la estructura del mismo.

Se tomarán también algunas consideraciones como:

- Las entradas y salidas de la tubería estarán dispuestas que se permita una correcta circulación del agua.
- En grandes descargas el tubo estará colocado en posición que el fluido alojado en el mismo circule hacia la salida.
- La sección total del área de los tubos de descarga del lastre sera dos veces la sección del area de los tubos de carga con la idea de evitar sobre-presiones en el sistema.
- El uso de dos bombas en el sistema no estará recomendado a no ser que el sistema se haya diseñado para operar de esta manera.
- Se distribuirá una bomba de lastre para varios tanques para evitar sobre-presiones.
- Se colocarán manómetros en la descarga y los reboses de los tubos contendrán codos de 90 grados los cuales podrán ir conectados a otros tubos o tendrán acceso libre a la cubierta.

4.3.3.1.3. BWMP (S):

Este sistema tendrá que estar de acuerdo con los siguientes apartados:

- Los tanques de lastre estarán equipados con válvulas de presión aceptadas por el Lloyd's Register. Estas válvulas se encargarán de controlar el correcto funcionamiento del sistema. El sistema podrá estar dispuesto para descargar los tanques por gravedad.
- Durante los procesos del cambio de lastre, la maquinaria operativa no se verá alterada por las posibles inclinaciones del barco.
- Si el sistema contiene dos bombas para bombear el lastre, una de estas se desactivará automáticamente cuando se haya desalojado del 80 al 90 por ciento del fluido, y el restante deberá de ser desalojado por la otra individualmente.

- El cambio de lastre no deberá de ocasionar esfuerzos mayores del 85% de los permisibles.

4.3.3.1.4. *BWMP (D)*:

Donde se use este método se deberá de disponer de las bombas, sistema de control y demás medidores necesarios para asegurarnos de que se produce el cambio con el mismo nivel en los tanques y en caso de que se produzca algún fallo o esto no se esté realizando de esta forma este se parará automáticamente.

A continuación se explica la documentación que tendrá que ser aportada en general y para cada uno de los sistemas en todos los casos:

- Una copia de la aprobación del plan de gestión de agua de lastre que reúna todos los requisitos.
- El plan de aprobación del Lloyd's Register diciendo que cumple con los requisitos.
- Disposición de bombas y tubería.
- Aireación y disposición de los tubos de sonda.
- Especificaciones y las curvas de capacidades de las bombas de lastre usadas para el lastre, tanques, etc.
- Disposición general y planos de capacidad.
- Capacidades de los tanques y de las bombas con los tiempos de descarga y carga de lastre.
- Una copia del certificado de aprobación de los instrumentos de carga.
- Una copia del manual de carga aprobado del barco.

Además, si hablamos de:

- (T): Se tendrá que llevar un certificado que demuestre que el sistema de tratamiento esta aprobado de acuerdo a los requisitos de la IMO y que ha sido supervisado por un miembro de la sociedad de clasificación y certificado como válido.

Además de aportarse los planos y diagramas de la instalación del sistema en el lastre incluyendo conexiones, tubos...

- (F): Se deberá de aportar de que los reboses o las partes superiores de los tanques están o no comunicadas entre sí.

- (S): Los buques en servicio tendrán que aportar documentación relacionada con la inercia de los tanques, datos sobre el volumen de los compartimentos y curvas de las mismas...velocidad de navegación y coeficiente de bloque.

Donde el Lloyd's Register considere oportuno podrá pedir que se aporte un certificado que asegure la estabilidad y garantice que el buque está preparado para soportar los sobre-esfuerzos longitudinales.

Así podrá pedir también los siguientes documentos:

- Dimensiones de tubería de lastre así como su suportación.
- Longitud de los reboses y su tamaño.
- Componentes del tubo, conexiones, válvulas...
- Curva de ventilación de los tanques.

Cualquier modificación en el sistema de lastre deberá de ser descrita en el barco y deberá de ser supervisada o revisada por un supervisor que nos certifique que cumple con lo dispuesto por la sociedad de clasificación para que sigamos teniendo el certificado de BWMP.

Esta sociedad de clasificación nos ofrece un modelo del plan de gestión de agua de lastre, el cual vamos a describir a continuación.

4.3.3.2 PLAN DE GESTIÓN DE AGUA DE LASTRE:

Este documento está dividido en 18 apartados, los cuales se muestran a continuación:

1. Particularidades del barco.
2. Introducción.
3. Registro de circulación.
4. Registro de enmiendas.
5. Propósito del plan.
6. Planos y dibujos del sistema de lastre.
7. Descripción del sistema de lastre.

8. Puntos de muestreo del agua de lastre.
9. Operaciones del sistema de gestión de agua de lastre.
10. Procedimientos de salvamento para la seguridad del buque y de la tripulación.
11. Restricciones de seguridad u operacional.
12. Descripción del método utilizado a bordo para el sistema de gestión y control de sedimentos en el agua de lastre.
13. Procedimiento de disposición de los sedimentos.
14. Métodos de comunicación.
15. Deberes del oficial de gestión de agua de lastre.
16. Requisitos de registro.
17. Formación y familiarización de la tripulación.
18. Excepciones.

En los apartados 1, 3, 4 y 7 lo que nos ofrece esta guía es una plantilla de cómo debería de ser el documento que contenga la información referente al título del apartado. El 7 a su vez se divide en tres apartados: Datos del tanque de lastre, datos de bombas, datos de desbordamiento y llenado de los tanques. Así vamos a pasar a describir lo que se muestra en los demás apartados.

4.3.3.2.1. Introducción:

En este apartado lo que podemos ver es una breve introducción acerca de los documentos y reglas que se han tenido en cuenta para elaborar este documento junto con el propósito del mismo.

Así para desarrollar este plan, se ha tenido en cuenta la descripción de la regla B-1 del convenio sobre el control y gestión del tratamiento de agua de lastre y sedimentos en buques de la IMO de 2004 (Plan de gestión del agua de lastre) la cual hemos desarrollado anteriormente en el apartado 4.2.1.2.

También se especifica que el plan ha sido revisado por la sociedad de clasificación y que no estará permitida ninguna modificación en el mismo sin la aprobación del Lloyd's.

4.3.3.2.2. Propósito del Plan:

Este punto nos informa acerca de la necesidad del lastre en el buque (control del trimado, calado, escora, estabilidad...) el problema que existe de especies invasivas, bacterias y demás que son transportadas en el agua de lastre y el propósito del plan y de la convención de la IMO el cual es solucionar este problema.

4.3.3.2.3. Planos y Dibujos del Sistema de Lastre:

En este apartado podemos contemplar una lista con los diversos planos y certificados que debemos de aportar de acuerdo con este plan. Estos son los siguientes:

- Disposición de los tanques de lastre.
- Plano de capacidad de los tanques de lastre.
- Disposición de la tubería y de las bombas, incluyendo tubos de aire y disposición de las sondas.
- Capacidades de las bombas de lastre.
- Gestión del sistema de agua de lastre usado a bordo con detalles operacionales y manual de gestión de ayuda a bordo.
- Sistema de tratamiento de agua de lastre instalado con detalles sobre su operación y manual de gestión de ayuda a bordo (Cuando este regulado por la regla B-3 del convenio (Gestión de agua de lastre para los buques, apartado 4.2.1.2).
- Certificado del sistema de tratamiento de agua de lastre.
- Planos y dibujos del barco, o esquemas de la disposición del lastre.
- Lista y/o diagramas indicando la localización de lugares para la toma de muestras y accesos a los tubos y tanques de lastre.

+

4.3.3.2.4. Puntos de Muestreo del Agua de Lastre:

En este punto el plan aporta información esencial que tenemos que tener en cuenta a la hora de proceder al muestreo de los del agua de lastre y de los sedimentos. Así, el oficial al mando tendrá que facilitar información y dar su consentimiento para la realización de las pruebas no interfiriendo estas en las operaciones del buque (interfiriendo en alguna operación, retrasando el viaje...).

Las autoridades estatales, podrán prohibir la descarga del agua al mar si no se han realizado las pruebas o si estas pruebas no están de acuerdo con lo descrito en la directriz G2 (Guía para el muestreo del agua de lastre).

4.3.3.2.5. Operaciones del Sistema de Gestión de Agua de Lastre:

Este apartado a su vez se divide en tres sub-apartados:

- Cambio agua de lastre.
- Sistemas de tratamiento de agua de lastre.
- Prácticas preventivas.

4.3.3.2.5.1: Cambio agua de lastre:

Para el cambio de agua de lastre la sociedad de clasificación requiere las mismas condiciones que se establecen en el Convenio en la regla B-4 a la hora de realizar el cambio de agua de lastre:

- A 200 millas de la costa y con una profundidad mayor de 200 metros.
- Si no es posible, a más de 50 millas de la costa y con una profundidad mayor de 200 metros.
- O en áreas designadas por el estado de la zona.

Así el buque no deberá de desviarse de su ruta fijada para realizar el cambio y este no deberá de realizar el mismo si el capitán cree que puede poner en peligro al barco o a la tripulación.

Para realizar el cambio de agua de lastre se distinguen tres métodos:

4.3.3.2.5.1.1. Método secuencial.

Este método consiste en cambiar el 95% del agua de lastre de cada tanque. Así vaciaremos más del 95% del agua contenida en un tanque y lo volveremos a llenar. Puede existir el caso de que los organismos queden en el fondo y re-emerjan de nuevo, por eso es necesario cambiar la máxima cantidad de agua posible.

Debido al vaciado por completo de un tanque de lastre, usando este método pueden aparecer problemas como:

- Esfuerzos longitudinales.
- Cargas dinámicas.
- Excesivo trimado.
- Golpes en el fondo de proa.
- Emergencia del propulsor.
- Poca estabilidad.
- No visibilidad en el puente.

4.3.3.2.5.1.2. Método a través de flujo.

Este método consiste en cambiar el agua de lastre a través de los reboses de los tanques. El agua irá entrando en el tanque y esta irá saliendo a través de los reboses hacia otros tanques y posteriormente al mar. Como con este método no podemos cambiar el 95% del agua, ya que los tanques siempre permanecen llenos, para asegurarnos el cambio de la misma, las bombas tienen que ser capaz de bombear tres veces el agua contenida en cada tanque para cumplir este requisito.

Este método tiene la ventaja de que puede ser usado en cualquier situación, puesto que el volumen de agua en los tanques de lastre siempre va a ser el mismo, pero tiene la desventaja de que los tanques de lastre no suelen estar preparados para ser llenados hasta el rebose y pueden surgir problemas de sobrepresión en el sistema. Además en condiciones bajo cero, el agua podría congelarse y al no disponer de superficie de expansión podría ser peligroso para el buque y para la tripulación.

4.3.3.2.5.1.3. Método de dilución:

Este método consiste en un proceso mediante el cual reemplazamos el agua de lastre por su parte superior mientras introducimos agua por su parte inferior, siendo el nivel del tanque constante.

Como en el anterior método, las bombas tienen que ser capaces de cambiar tres veces el volumen de agua de cada tanque para demostrar que se intercambia al menos el 95% de agua del tanque.

4.3.3.2.5.2. Sistemas de tratamiento:

El sistema de tratamiento de agua de lastre (BWMS) es el sistema que se utiliza para procesar el agua de forma que esta cumpla con la regulación aprobada en el Convenio D-2 (...). El BWMS incluye el equipo de tratamiento, el control del equipamiento, la monitorización y la facilitación de muestras.

Para el tratamiento se pueden usar equipos que actúen mediante procedimientos mecánicos, físicos o químicos, solos o combinados entre ellos, en cualquier situación del buque.

Este sistema tiene que estar instalado a bordo del buque y tener los certificados de aprobación del mismo, diciendo que cumple con los requerimientos del BWM del Convenio y las operaciones del buque.

Un fallo en este sistema no interferirá en el sistema de lastre, es decir, la red tiene que estar dispuesta de forma que si existe una avería en el sistema de tratamiento el buque pueda ser deslastrado o lastrado sin que el agua pase por este sistema siempre en caso de emergencia.

4.3.3.2.5.3. Prácticas de prudencia:

- Minimización de la captación de organismos acuáticos perjudiciales, agentes patógenos y sedimentos.
- No liberación o liberación mínima del agua de lastre.
- Descarga en instalaciones facilitadas.

4.3.3.2.6. Procedimientos para la seguridad del barco y la tripulación:

En este apartado se van a describir los procedimientos que tienen que se tienen que tener en cuenta para la seguridad del barco y de la tripulación. Así la guía nos divide los procedimientos en varios apartados:

- Cambio en el mar.

Donde tendremos que tener en cuenta las diferentes situaciones que podrían surgir y afectar al sistema de lastre como las condicionadas por el ambiente, fallo en las bombas, pérdida de potencia...

- Consideraciones de seguridad según el método a utilizar:

Según empleemos el método secuencial, flujo a través o dilución, tendremos que tener en cuenta una serie de características que surgen a consecuencia de ello. Por ejemplo: Si utilizamos el método secuencial sabemos que nuestro buque va a estar expuesto a sobre-esfuerzos, momentos, cambio de calado, trimado y escora... con las consecuencias que esto puede tener.

Si hablamos del de flujo, los tanques tendrán que estar preparados para aguantar sobre-presiones ocasionadas por la acumulación de agua...

- Condiciones en las cuales el cambio de agua de lastre no se debería de llevar a cabo.

En esta sección se describen situaciones críticas donde no se debería de llevar a cabo el cambio de lastre como podría ser situaciones de temperaturas bajo cero, donde podría congelarse el agua en los tubos y romper el sistema o situaciones donde se podría comprometer la estabilidad del buque.

- Métodos de tratamiento.

En esta sección pone especial interés en cosas que se deberían de tener en cuenta cuando estemos hablando de sistemas que utilicen productos químicos.

- Sistemas protegidos contra el deterioro de esos productos químicos.
- Uso apropiado de equipamiento para la protección del personal.
- Evitar posibles descargas de estos productos al mar.
- Procedimientos de emergencia y disposición en by-pass en caso de una mala función del sistema de tratamiento.

- Precauciones a tomar por el capitán cuando procedamos al cambio de agua de lastre.

En esta sección se describen las precauciones que debe de tener en cuenta el capitán que pueden ocurrir como consecuencia del proceso de cambio de agua de lastre.

4.3.3.2.7. Restricciones de seguridad u operacionales:

11.1. Cambio agua de lastre.

Lo que podemos deducir de este apartado, es que para proceder a realizar el cambio de agua de lastre, antes es debemos de realizar un plan para el lastre, igual que realizamos en el caso de la carga, teniendo en cuenta las circunstancias explicadas en el apartado anterior.

Este plan deberá de ser siempre considerado a la hora de realizar el cambio de agua en el mar, ante el fallo de algún sistema, incidente, rotura de alguna tubería...

Estos procedimientos deberán de estar aprobados por el LR según el SERS (Ship Emergency Response Service).

11.2. Tratamiento agua de lastre.

Cuando utilicemos productos químicos para el tratamiento, se pueden desarrollar otros derivados de estos los cuales tienen que tenerse en cuenta a la hora de llevar a cabo el proceso.

Si hay productos químicos a bordo, la tripulación requerirá de formación y utensilios para manejar estos productos. Además deberá de haber abordo un documento donde se especifique su método de utilización y las consecuencias que puede tener entran en contacto con este producto.

Para asegurar que el sistema de lastre siempre estará disponible, el sistema de tratamiento irá instalado en by-pass con el de lastre, para ante un fallo del sistema de tratamiento el sistema de lastre pueda seguir funcionando.

Este sistema también debería de incorporar un sistema de alarma el cual debería de estar conectado al control del equipo y llevar un seguimiento de las mismas. Este sistema debería de ser automatizado, y poder ser manejado desde la sala de control de lastre del buque.

La salinidad, temperatura, turbidez... del agua podría afectar a la unidad de tratamiento por lo que este tema también debe de tener una consideración especial.

11.3 Procedimientos para la seguridad en la entrada de tanques.

La información de esta sección está incluida en los procedimientos de la compañía de tanques.

4.3.3.2.8. Descripción de métodos usados a bordo sobre la gestión y el control de los sedimentos del agua de lastre:

En este apartado nos muestra una plantilla de como deberá de realizarse el plan de cambio de agua de lastre y de tratamiento de agua de lastre (si es aplicable o no), es decir, una plantilla para llevar a cabo la descripción de los dos sistemas implantados a bordo.

4.3.3.2.9. Procedimientos para la disposición de sedimentos:

En este apartado se describe donde deberían de ser descargados los sedimentos, bien en mitad del océano (a más de 200 metros de la costa y a más de 200 de profundidad), bajo dispositivos controlado en puerto, o en dique seco.

También se explica cómo debería de ser evacuados los sedimentos o como debería de limpiarse el sistema una vez hemos introducido el buque en dique seco.

El volumen de sedimentos en los tanques de lastre debería de ser controlados regularmente.

Hace una breve referencia a las cosas que deberían de tenerse en cuenta a la hora de desarrollar el proceso.

4.3.3.2.10. Métodos de comunicación:

Esta sección contiene información sobre los procedimientos del capitán a la hora de coordinar la descarga del lastre con la costa estatal, el gobierno, etc. Así hace referencia a que debemos de poseer una comunicación efectiva entre el barco y la costa.

En la mayoría de los estados, la responsabilidad de las actuaciones sobre este tema, caen directamente sobre el armador o sobre el capitán del barco, así todos los requerimientos de comunicación y los procesos de la misma deberán estar estipulados en el plan de cambio de agua de lastre del buque.

El estado debería de estar en contacto con los requerimientos de la descarga de agua de lastre y responder al buque antes de que este llegue a su territorio, así el capitán del navío tiene la obligación de facilitar toda esta información, facilitar el plan y demás al estado del puerto antes de su llegada.

A continuación en la guía se explican las acciones que deben de ser tomadas cuando:

- El buque tiene unos procedimientos específicos de descarga del agua de lastre.
 - Seguir de acuerdo a sus procedimientos.
 - Contactar con la agencia del barco para obtener información sobre la descarga del agua de lastre en el estado al que se dirige.
 - Comunicar a la compañía los requerimientos necesarios para su descarga.
 - Asegurarse de que todas las acciones del plan se llevan a cabo según las restricciones operacionales y de seguridad tanto del plan del lastre del buque como del estado al que se dirige.
- El buque no tiene unos procedimientos específicos de descarga del agua de lastre.
 - Contactar con el estado al que se dirige y obtener la información necesaria sobre los requerimientos de descarga de lastre en ese territorio.
 - Llevar a cabo la descarga mediante el cambio de lastre o mediante tratamiento según se disponga.
 - Tener especial consideración respecto a la seguridad y a las operaciones que hay que llevar a cabo para la descarga.
 - Mantener una base de datos para posibles inspecciones.

4.3.3.2.11. Deberes del oficial de gestión de agua de lastre:

En esta sección de la guía se describen los pasos que tendría que seguir el oficial al mando del sistema de lastre del buque, los cuales resumidamente se basan en asegurar el correcto funcionamiento del sistema de lastre, asegurando la seguridad del buque y la tripulación y llevando un registro de todas las operaciones que se van a llevar a cabo mediante este sistema, si lleva planta de tratamiento como si no dispones de la misma.

4.3.3.2.12. Requisitos de registro:

El oficial al mando del sistema de gestión de agua de lastre deberá de asegurarse de que se posee la documentación necesaria a bordo y que se llevará un registro total de las operaciones en el libro de registro de agua de lastre.

4.3.3.2.13. Formación y familiarización de la tripulación:

Es esencial que el capitán y el oficial al mando junto con la tripulación posean los conocimientos esenciales sobre el sistema de gestión de agua de lastre.

Si los miembros entienden el sistema y se encuentran familiarizados con el mismo estará asegurada una operación eficiente y efectiva.

Estos conocimientos pueden ser los siguientes:

- Disposición de las bombas incluyendo los tanques de lastre.
- Localización de los tubos de sonda y los tubos de aireación de los tanques junto con los reboses de los mismos.
- Métodos usados para el cambio de agua de lastre o sistema de tratamiento implantado.
- Condiciones para operaciones de cambio de lastre.

En este apartado se muestra una plantilla de cómo debería de ser el documento de registro de estas operaciones.

4.3.3.2.14. Excepciones:

En la guía este documento alude a las excepciones mencionadas por el convenio en la regla A-4.

En la guía se adjuntan algunos anexos donde se nos explica con más énfasis lo explicado anteriormente.

4.4. CONCLUSIÓN A LA NORMATIVA IMO Y LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

Tras haber explicado el convenio aprobado por la IMO en 2004 y haber visto las reglas o procedimientos que llevan a cabo el ABS, DNV y LR sobre el sistema de tratamiento de agua de lastre, en esta sección se va a desarrollar un resumen de los procedimientos y los diversos requisitos que se tendrán en cuenta a la hora de desarrollar el proyecto.

Como podemos ver en cualquier sociedad de clasificación de las anteriores, estas dan dos opciones a la hora de aludir a la gestión del agua de lastre en el mismo:

- Mediante el cambio del agua de lastre, con el cual el buque debería de estar de acuerdo o seguir los requisitos que se atribuyen a la regla D-1 del convenio (4.2.1.4). Para ello el buque debe de cumplir con los requisitos de volumen de lastre y año de fabricación que se atribuyen a este sistema. Si este no cumple con los requisitos ni con ninguna de las excepciones explicadas este debería de utilizar otro método de gestión de agua de lastre.

Los buques que efectúen el cambio de agua de lastre deberán de poder cambiar el 95% del volumen del agua de lastre de cada tanque o en caso de no poder deberán de lograr esto mediante un proceso equivalente (bombear tres veces el volumen del tanque). Para ello estas sociedades nos ofrecen tres maneras de operar:

- Cambio secuencial: Vacío el tanque por completo y lo lleno de agua nueva.
- Cambio mediante flujo: Introduzco agua por el fondo y elimino la sobrante mediante los reboses del tanque bombeando hasta tres veces el volumen del tanque.

- Cambio dilución: Introduzco agua por su parte inferior y desalojo por su parte superior simultáneamente de manera que el nivel de agua en el tanque es constante.

- Mediante el tratamiento del agua de lastre, con el cual nuestro buque debe de tener a bordo un sistema de tratamiento del agua de lastre y cumplir con los requisitos de la regla D-2 del convenio de la IMO (4.2.1.4) por el cual se asegura que el agua que descargamos al mar está totalmente libre de organismos viables, microbios, bacterias, etc.

Para llevar a cabo el proceso las sociedades de clasificación dan la opción de utilizar procedimientos mecánicos, físicos y químicos aceptados por la misma y mediante los cuales se pueden lograr el objetivo.

Tanto si se utiliza una manera de gestionar el agua de lastre como la otra, el sistema deberá de estar aprobado por la sociedad de clasificación, las cuales siguen las guías dictadas por la IMO (4.2.2), en el caso de la aprobación del sistema la G8 (Procedimientos para la aprobación de sistemas para el control y gestión del agua de lastre y sedimentos en los buques).

Dependiendo de si se utiliza un procedimiento o el otro, y si cumplimos con el mismo, la sociedad de clasificación nos dará un certificado con las iniciales BWM (Ballast Water Management) lo cual nos certifica que el buque posee un plan de Gestión de Agua de Lastre, y a continuación las letras E o T dependiendo del método que utilicemos. Estas últimas pueden variar según la sociedad de clasificación.

El utilizar un método u otro, como hemos dicho antes estará condicionado por el año de fabricación del buque y la capacidad del lastre del mismo. Esto queda resumido en la siguiente tabla:

Capacidad del lastre	Fecha de construcción										
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
<1500	<2009	D1 o D2								D2	
	en 2009	D1 o D2 (con excepciones, D1 no más allá del 31 diciembre)									
	>2009	D2									
≥1500 o ≤ 5000	<2009	D1 o D2						D2			
	en 2009	D1 o D2 (con excepciones, D1 no más haya del 31 diciembre)									
	>2009	D2									
>5000	<2012	D1 o D2								D2	
	≥2012	D2									

Tabla 4-3 (aplicación de la normativa D1 o D2 según capacidad de lastre y año de fabricación)

La idea principal es implantar poco a poco la regla D-2 para intentar contaminar lo menos posible las aguas ajenas mediante el lastre de los buques.

Por otro lado, tanto las sociedades de clasificación como la IMO nos obliga a tener un plan sobre la gestión del agua de lastre a bordo del buque donde deberá de aparecer todo lo relacionado con el sistema de lastre y donde se registrarán todas las operaciones, movimientos, reparaciones y demás llevadas a cabo en el mismo. Este deberá de poder ser usado por el capitán, tripulación o cualquier persona del estado que tenga acceso al barco.

En el aparecerán:

- Particularidades del barco.
- Registro de circulación.
- Registro de enmiendas.
- Propósito del plan.
- Planos y dibujos del sistema de lastre.
- Descripción del sistema de lastre.

- Puntos de muestreo del agua de lastre.
- Operaciones del sistema de gestión de agua de lastre.
- Procedimientos de salvamento para la seguridad del buque y de la tripulación.
- Restricciones de seguridad u operacional.
- Descripción del método utilizado a bordo para el sistema de gestión y control de sedimentos
- en el agua de lastre.
- Procedimiento de disposición de los sedimentos.
- Métodos de comunicación.
- Deberes del oficial de gestión de agua de lastre.
- Requisitos de registro.
- Formación y familiarización de la tripulación.
- Excepciones.

Dependiendo de la sociedad de clasificación podrá ser que este documento posea más información o menos.

Por otro lado a la hora de supervisar el barco, este podrá ser construido bajo supervisión de un miembro de alguna sociedad de clasificación o no. En todo caso se tendrá que aportar toda la documentación necesaria para comprobar que todo está en concordancia con la sociedad de clasificación y con la normativa IMO, realizándose además todas las pruebas necesarias.

Una vez el barco en navegación este tendrá que seguir siendo sometido a supervisiones periódicas para comprobar que todo funciona correctamente y poder seguir manteniendo su certificado.

El tiempo entre revisión y revisión tanto como la validez del certificado depende de la sociedad de clasificación.

El buque también puede ser sometido a una revisión del sistema en cualquier momento siempre y cuando no perjudique la travesía del mismo.

En las supervisiones de la sociedad de clasificación el buque no solo tendrá que obedecer a lo relacionado con el convenio de la IMO sobre el sistema de tratamiento, si no que este tendrá que estar de acuerdo con las pautas de las sociedades en el tema de capacidad de bombeo, diámetro y disposición de las tuberías y elementos montados a bordo, etc. Además se hará un estudio del buque relacionado con:

- Esfuerzos.
- Estabilidad.
- Visibilidad, inmersión del propulsor y de la proa.
- Muestras.
- Gestión de los sedimentos de acuerdo con el apartado G12 de la guía.

En la siguiente sección se desarrollará una guía con los pasos a seguir teniendo en cuenta todo lo explicado a modo de resumen en este apartado.

Capítulo 5. Guía para el desarrollo de la planta de lastre.

5.1. Introducción.

A lo largo de esta sección se desarrollará una guía sobre los puntos a seguir para llevar a cabo el desarrollo de la planta de lastre desarrollada en los capítulos posteriores.

El objetivo es desarrollar un punto de referencia para llevar a cabo el desarrollo aplicando la normativa aplicada por la IMO (sección 4.2) y teniendo en cuenta lo descrito por las sociedades de clasificación (sección 4.3).

Los pasos a seguir serán los siguientes:

- Cálculo capacidad de lastre.
- Aplicación de la normativa según la capacidad de lastre.
- Dimensionamiento del sistema de lastre.
- Elección o desarrollo de la planta de tratamiento (si el buque debe disponer o no de planta de tratamiento de aguas de lastre).
- Definición del sistema de lastre definitivo (Con o sin planta de tratamiento).

Al final del capítulo se desarrollarán los métodos posibles para llevar a cabo el tratado del agua de lastre y ejemplos de plantas de tratamiento existentes en el mercado actualmente.

5.2. Cálculo capacidad de lastre.

El primer paso a realizar será el cálculo de la capacidad de lastre del buque dato necesario como referencia para la normativa a aplicar al buque.

Para llevar a cabo este punto del proyecto será necesario estimar las principales dimensiones y características del buque a partir de buques con las mismas características tomando como referencia principal el buque base.

Una vez obtenidas las dimensiones principales del buque y principales características se estimará la capacidad de lastre del buque a partir de tres requisitos esenciales a tener en cuenta para el buque:

- Buena estabilidad.
- Buena inmersión del bulbo.
- Buena inmersión de la hélice.

Teniendo en cuenta estas tres consideraciones se obtendrá la capacidad de lastre (capítulo 6).

5.3. Aplicación de la norma según la capacidad de lastre.

Una vez obtenida la capacidad de lastre del buque se deberá comparar esta capacidad con la normativa y sociedades de clasificación desarrollada en el punto 4.3 de este capítulo.

Como se ha comentado anteriormente la normativa a aplicar al buque queda condicionado por la capacidad de lastre y la fecha de construcción del mismo según se especifica en la figura 4.3.

Según la capacidad de lastre y la fecha de construcción el buque deberá de cumplir con la regla D-1 o D-2 desarrollada por la IMO y necesario no solo para cumplir con los requisitos de la IMO si no para la aprobación si queremos que el buque este aprobado por alguna de las sociedades de clasificación desarrolladas en la sección 4.3.

De esta manera si al entrar en la figura 4.3 el buque puede navegar de acuerdo a la regla D-1, el sistema de lastre deberá de estar diseñado para realizar el cambio de lastre según uno de los métodos aprobados y explicados en la sección 4.3:

- Método secuencial.
- Método de flujo.
- Método de dilución.

Si por el contrario el buque a de estar de acuerdo con lo descrito por la regla D-2 este deberá de disponer de una planta de tratamiento a bordo la cual trate el agua antes de su descarga al mar.

Los métodos aprobados para realizar dicha operación y plantas de tratamiento desarrolladas por algunas marcas estarán reflejados en el capítulo 5.7 de este capítulo.

Este apartado estará desarrollado en el capítulo 7 del proyecto.

5.4. Dimensionamiento del sistema de lastre.

Para llevar a cabo este apartado deberá de tenerse en cuenta la capacidad de lastre del buque junto con el tiempo requerido para lastrar el buque (12 horas³).

Con estos dos datos y teniendo en cuenta los requerimientos sobre el lastre y tubería descritos por las sociedades de clasificación:

- ABS: Parte 4, Capítulo 6 (*Piping systems*).
- LR: Parte 5, Capítulo 13 (*Ship piping systems*).
- DNV: Parte 4, Capítulo 6 (*Piping systems*).

³ Las 12 horas para el lastrado o deslastrado han sido estimadas a partir de buques LNG de características similares los cuales tardan sobre 12 horas en realizar la carga y descarga del gas. Algunos armadores consideran como requisito debido a esto un tiempo de 12 horas para el lastrado y deslastrado del buque.

Se llevará a cabo el dimensionamiento y la disposición del sistema de lastre del buque.

Para ello se deberá de hacer una disposición general y cálculo de la capacidad de las bombas del sistema. Posteriormente se realizará un estudio de:

- Pérdidas de carga en:
 - Tubería.
 - Accesorios.
- Aumento de presión por diferencias de altura.

Para estimar la presión de las bombas a implantar.

Por último se hará una estimación de la potencia consumida por el sistema de lastre.

Lo anteriormente descrito quedará reflejado a lo largo del capítulo 8.

5.5. Elección y desarrollo de la planta de tratamiento.

En este punto se tendrá que realizar la elección del método a implantar para la planta de tratamiento tomando como referencia plantas desarrolladas por fabricantes para el desarrollo de la misma.

En el capítulo 5 estarán reflejados los métodos y algunos sistemas desarrollados por algunos fabricantes.

Así se deberá de llevar a cabo la descripción de la planta dimensionándola de acuerdo a la capacidad para la que hemos diseñado el sistema de lastre, es decir, según la capacidad de las bombas.

Este apartado será desarrollado en el punto 7.3.1 y desarrollado en profundidad en el capítulo 9 del proyecto.

5.6. Definición del sistema de lastre definitivo.

En caso de que el buque deba de disponer de planta de tratamiento para el agua de lastre se definirá el sistema de lastre a implantar, es decir, se acoplará la planta de tratamiento al sistema de lastre de manera que quede definida toda la planta de lastre del buque.

Una vez definido todo el sistema se podrá realizar una estimación del presupuesto para elaborar dicha planta.

Esto será desarrollado a lo largo del capítulo 10.

A continuación se elaborará un apartado con los principales métodos de tratamiento para depurar el agua y otro con ejemplos de fabricantes y plantas actuales en el mercado.

5.7. Sistemas de tratamiento de aguas de lastre (aprobados por la IMO)

Para poder asegurar la continuidad de las especies autóctonas en sus zonas de hábitat, evitar la invasión por otras especies provenientes de otras áreas del planeta y eliminar los riesgos que supone el traslado de bacterias, enfermedades y contaminación de los organismos vía marítima, la OMI pide a los buques y fabricantes de los sistemas de tratamiento de aguas de lastre, que el agua de lastre que se devuelva al mar debe contener unos parámetros máximos en cuanto a sustancias y organismos como hemos descrito anteriormente. Algunos equipos ya se han desarrollado y están comercialmente disponibles pero otros están en un estado de desarrollo o son simplemente conceptos teóricos.

Es importante tener en cuenta que ciertas tecnologías son más adecuadas que otras para tratar algunas especies invasoras, por eso, para seleccionar la tecnología a utilizar es necesario identificar el organismo a eliminar. El problema surge cuando el barco no tiene una ruta fija, pasa por diferentes ecosistemas y se encuentra con diferentes especies invasivas. Por esta razón, algunos sistemas incluyen más de un método a la hora de tratar el agua de lastre.

Los diferentes sistemas de tratamiento que existen pueden dividirse en tres grupos:

- Tratamientos mecánicos.
- Tratamientos físicos.
- Tratamientos químicos.

5.7.1. TRATAMIENTOS MECÁNICOS

Los tratamientos mecánicos son los procesos más simples que hay para prevenir la entrada de partículas de gran tamaño dentro de los tanques de agua de lastre. Estos tratamientos tienen el objetivo de adaptar el fluido para un tratamiento posterior más efectivo.

Las tecnologías usadas no utilizan ninguna sustancia activa y tampoco cambian las propiedades físicas o químicas del fluido.

Hay dos procesos de tratamiento mecánico:

5.7.1.1 El separador hidrociclónico:

También conocido como separador centrífugo. Es un tratamiento que se basa crear un movimiento rotativo al fluido que está dentro de él, empujando a los sedimentos y otros organismos al exterior de la toma de la tubería. Cuando el fluido entra el flujo tiene un movimiento tangencial y en el separador adopta un movimiento rotativo quedando las partículas pesadas en el exterior de la corriente debido a la fuerza centrífuga adoptada. El agua pura sale a través del centro y los sedimentos caen al fondo.

Este tratamiento elimina del 5 al 10% de las partículas pesadas que se encuentran en el caudal de agua, siendo estas desalojadas a través de tubos que hay al final de la descarga.

Este dispositivo tiene una forma acampanada y su diámetro va disminuyendo a la vez que aumenta su velocidad de flujo.

El hidrociclónico tiene que estar instalado verticalmente, con la toma de entrada arriba. Los pequeños ángulos de inclinación podrían ser necesarios para encajar el equipo en la parte superior o para hacer más compacto el equipo, pero si se llegará a instalar en posición horizontal su rendimiento se vería gravemente alterado. No se puede utilizar con un llenado por gravedad ya que la velocidad de flujo sería insuficiente.

Ventajas del sistema:

- Es un sistema que puede eliminar las partículas arrastradas y solidos en suspensión.
- Reduce la densidad de organismos vivos.
- Reducción de la turbidez con el consecuente incremento de transmisión de luz del agua.
- Tecnología con una capacidad de reajuste muy sencilla.
- Poco empacho y permite un uso automático de la instalación.

Desventajas:

- Partículas de densidad menor que el agua no son eliminadas.
- No es eficaz para materiales disueltos.
- No eficaz para reducción de bacterias, virus o fitoplancton y zooplancton.

5.7.1.2 El filtro:

Es un tratamiento basado en una malla la cual discrimina los organismos por tamaños. El agua bombeada cruza el filtro y los organismos de un mayor volumen quedan retenidos.

Los filtros tienen una capacidad de retención de hasta 50 micrómetros de filtración durante una operación normal de lastre. Estos normalmente están diseñados para proveer una filtración y limpieza del mismo sin ninguna interrupción. Son muy utilizados.

5.7.2. TRATAMIENTOS FÍSICOS

Los tratamientos físicos son procesos de desinfección del agua a través de dispositivos que actúan sobre los componentes del agua. Son tratamientos que no añaden ninguna sustancia a la hora de tratar el fluido y por lo tanto no afectan a su composición química. La tecnología es muy efectiva, aunque normalmente va acompañada de otro tratamiento adicional para mejorar su efectividad. Los tratamientos físicos son los siguientes:

5.7.2.1 Ultravioleta:

Conocido también como Tecnología de Oxidación Avanzada (AOT), es un proceso que hace uso de la potencia fotolítica de la luz ultravioleta para generar radicales de oxidación intermedia para la disociación de contaminantes orgánicos en el agua y en el aire. La luz UV es la parte del espectro electromagnético justo debajo de la porción de onda visible. Se puede dividir en bandas con diferentes longitudes de ondas:

- UV-Vac: 10-200nm.
- UVC (onda corta): 200-280nm.
- UVB (onda media): 280-315nm.
- UVA (onda larga): 315-400nm.

La banda UVC es la porción germicida de luz UV que daña el DNA de los organismos, matándolos posteriormente o haciéndolos incapaces de reproducirse.

Para el uso marino, las luces UV son generadas a través de lámparas UV entre 1000 y 3000 voltios, dependiendo de la potencia. Estas lámparas están envueltas por un cristal o una funda de cuarzo, cada una, que se mantiene limpia a través de un fluido biodegradable o un limpiador mecánico, dentro de una cámara de irradiación. El sistema controla el proceso mediante un procesador.

Ventajas:

- El sistema es automático y tiene poco empacho en el buque.
- El sistema no contribuye a corrosión.
- El sistema no requiere transporte, instalación o manejo de ningún equipo o material peligroso.

- Los organismos no crean resistencia contra el sistema de UV.
- No produce productos tóxicos ni efectos secundarios.
- El tratamiento no requiere una disolución o una desactivación.

Desventajas:

- Las aguas necesitan un pre-tratamiento para conseguir una buena transmisión de luz en el fluido.
- La presencia de algún captador de radical libre, antioxidantes, puede inhibir la eficiencia de la destrucción de las especies invasoras.
- El agua de lastre tratada a través de UV debe estar libre de iones de materiales pesados y aceite o grasa para minimizar el potencial de suciedad que pueda aparecer en las mangas de cuarzo o los cristales.
- Los organismos volátiles pueden volatizarse antes de ser destruidos.
- Las lámparas necesitan un mantenimiento muy alto.

Normalmente este sistema va acompañado de un sistema de filtración en su etapa anterior.

5.7.2.2 Cavitación:

La cavitación es un efecto hidrodinámico producido cuando un fluido con una baja presión pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido, de tal manera que al aumentar la velocidad de este y disminuir la presión interna, se alcanza la presión de vapor del fluido pasando sus partículas al estado de vapor y produciendo burbujas.

La cavitación es lograda cuando las burbujas formadas muestran un gran crecimiento seguidas de un rápido y violento colapso. Este es un método muy eficiente en la reducción del contenido de bacterias. Esta tecnología es usada en la industria alimenticia. El colapso de las burbujas de gas es letal para todos los organismos con una respiración y/o sistema de circulación. Cuando la cavitación es lo suficientemente intensa, las membranas celulares rompen liberando las partículas de las superficies sólidas, destruyendo partículas u organismos a través de las colisiones entre ellas.

Ventajas:

- Erradica el crecimiento bacteriano y de algas.
- Destruye los cationes, como el calcio mediante su precipitación.
- Elimina los sólidos en suspensión.
- Elimina los gases nocivos.

Desventajas:

- Es un suceso indeseable en la mayoría de los casos ya que causa mucho ruido y produce un daño enorme en los componentes del equipo.

5.7.2.3 Calor:

Es uno de los dispositivos más básicos y fáciles de utilizar. El calor puede obtenerse a través de los sistemas de refrigeración del motor principal, de la condensación del vapor cuando el agua se está enfriando, calderas auxiliares y otras fuentes de calor. Dentro de los intercambiadores de calor, el calor se mueve a través de las palas, baja la temperatura de los líquidos que tienen una alta temperatura y eleva la temperatura de los líquidos fríos. En algunos casos puede ser necesario tener un equipo que genere calor cuando el motor principal no está operativo.

El agua de mar o de lastre, previamente es filtrada y posteriormente pasa por los intercambiadores de calor. Muchos de los organismos acuáticos son destruidos cuando el agua es calentada a 40-45°C y esta temperatura es mantenida por un periodo de tiempo. El sistema es más efectivo si se aplica un rango de temperaturas bajas durante un período de tiempo largo, que un intervalo de temperaturas altas durante un período corto.

Ventajas:

- No es necesario el uso ni almacenamiento de sustancias químicas.
- No hay residuos químicos que se descarguen al medio ambiente.
- El mantenimiento y reparaciones es similar al de los demás sistemas del buque.

Desventajas:

- Alto consumo de energía.
- El casco puede estar expuesto a estrés térmico.
- El calor del agua de lastre puede dar lugar a la corrosión del sistema.
- Algunos viajes son demasiado cortos como para calentar tal cantidad de agua y hacer que este sistema sea efectivo.
- Este sistema es muy empachoso en el buque y difícil de acoplar a buques ya construidos.
- El agua caliente descargada puede afectar a la vida marina autóctona.
- Si consumimos fuel para calentar agua repercute en un desembolso económico y contaminación del medio ambiente.

5.7.2.4 Desoxigenación:

El oxígeno es esencial para la supervivencia de los organismos vivos y su ausencia provoca su muerte. El agua contiene oxígeno disuelto, permitiendo la vida a los organismos acuáticos. Muy pocos métodos pueden realizar la eliminación del oxígeno, pero con el uso del nitrógeno en los sistemas de tratamientos de aguas de lastre, es particularmente atractivo, cuando hay un suministro de gas nitrógeno a bordo.

El gas nitrógeno puede ser absorbido del aire a través de un generador de nitrógeno y mezclado en el flujo de agua. En la descarga el mismo proceso es repetido pero con aire normal para evitar la descarga de agua con deficiencia de oxígeno.

Ventajas:

- El uso de nitrógeno o gases inertes en cualquier estado del tratamiento necesita de pocas partes móviles.
- Los grandes volúmenes y caudales de bombeo de las aguas de lastre se pueden manejar independientemente de la salinidad, turbidez, temperatura o carga orgánica.

- Los sistemas permiten una reducción de la corrosión en los tanques de lastre creando una atmosfera con deficiencia de oxígeno que inhibe la corrosión en los tanques.
- No es necesario el transporte o uso de materiales químicos ni la descarga del mismo.

Desventajas:

- La generación de nitrógeno o gases inertes requiere de un equipo muy complejo.

Hay dos formas de producir nitrógeno:

- Absorción por cambio de presión. El aire comprimido es forzado a pasar a través de un tamiz que absorbe las moléculas de oxígeno permitiendo el almacenaje o suministro de nitrógeno al flujo.
- Mediante tecnología de membranas. El sistema utiliza membranas de fibras huecas. El aire es introducido a presión en un extremo de las membranas. Las moléculas de nitrógeno pasan a través de las paredes de la fibra más lentamente siendo recogidas en un orificio y obteniendo el nitrógeno.

5.7.3. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

La desinfección del agua se puede obtener a través de dos tratamientos químicos:

5.7.3.1 Introducción directa de sustancias químicas o biocidas:

Los tratamientos químicos a través de sustancias químicas o biocidas deben seleccionarse cuidadosamente por las sustancias utilizadas. Para su uso se deben considerar muchos factores ya que éstos pueden producir efectos sobre organismos no deseados, buques, vida marina, humanos y/o medio ambiente marino.

Ventajas:

- Facilidad de aplicación. Mediante utilización de bombas de inyección química.
- Escaso mantenimiento.

Desventajas:

- Efectos tóxicos sobre humanos, agua de descarga, vida marina.
- Efectos corrosivos en los humanos, sobre equipos del buque.
- Generación de subproductos de diferentes niveles de toxicidad.
- Liberación de gases

Hay dos tipos de biocidas: los oxidantes y los no-oxidantes. También hay algunos agentes biológicos naturales que actúan como biocidas.

- Oxidantes: Se producen a partir de la destrucción de la membrana de las células provocando la muerte de las mismas. Este grupo incluye:
 - El ozono.
 - La familia de los halógenos.
 - El cloro.
 - El bromo.
 - El iodo.
- No oxidantes: Son extractos y químicos naturales que actúan interfiriendo a través del funcionamiento vital. Aplicando estos químicos hacía el principio del viaje, debe tener un pequeño efecto sobre el medio ambiente cuando las aguas de lastre son liberadas, a medida que se degradan e un producto químico no tóxico en unos días.

Sin embargo, algunos de estos productos se toman un tiempo y como consecuencia no pueden ser una opción para las travesías cortas.

Cualquier residuo generado por biocidas no oxidantes, generalmente, decae muy rápidamente a través de los productos en los no tóxicos. Donde la descarga se produce en grandes cantidades, el agua puede suponer un peligro medio ambiental.

5.7.3.2 Tecnología electroquímica:

Desde 1971, los sistemas de electroclorinación comerciales, para la generación de hipoclorito a partir del agua de mar están aplicados para el control de microorganismos en aguas municipales e industrias de forma segura y económica. La aplicación de estos sistemas de electroclorinación tiene como fin la oxidación y desinfección de las especies acuáticas invasivas.

En el caso del tratamiento de las aguas de lastre, la reacción electroquímica consiste en la división del cloruro de sodio (NaCl) en el agua y para formar cloro en el ánodo e hidróxido de sodio en el cátodo, el cual, una vez formado se recombina para formar NaOCl (hipoclorito de sodio o lejía). En el agua el NaOCl se disocia formando OCl⁻ (el ion hipoclorito) y HOCl (ácido hipocloroso) actúa de desinfectante. La reacción inicial tiene lugar en una celda electrolítica (electrolizador) compuesto de ánodos y cátodos utilizando corriente directa de la fuente de la cual proviene la energía para pasar la corriente eléctrica a través del agua salada entre las placas y el conductor de las reacciones electrolíticas en el ánodo y el cátodo.

Los ánodos son de láminas de titanio o metal expandido de titanio con un revestimiento de óxido de metal precioso. Esto disminuye el potencial de descarga y preferentemente realiza el oxidante. El cátodo, normalmente de titanio o metal Hastelloy, para que la vida del electrodo sea más duradera y estable. En los sistemas comerciales de tratamientos de aguas de lastre, múltiples electrodos pueden ser contenidos en un electroclorinador, para impulsar la producción, o más de un electroclorinador pueden combinarse para tratar los grandes caudales.

Los diseñadores o constructores del sistema de tratamiento de aguas de lastre basado en la electroclorinación utilizan diferentes electrodos, electrolizadores, geometrías... Todos los sistemas de tratamiento de las aguas de lastre comparten principios, sin embargo, debido a las variaciones significativas en los diseños empleados, no todos son capaces de realizar el tratamiento en condiciones extremas del agua, por ejemplo en zonas frías y/o salinidad baja. La forma óptima de la electroclorinación es que el agua de mar de alimentación se encuentre a 15°C.

Normalmente, las concentraciones significativas de cloro se encuentran en los puertos oceánicos, con plena salinidad marina, pero es poco probable que sea operativa en aguas con baja salinidad, como ríos, rías y estuarios con una entrada de agua dulce. Algunas bases están situadas en los ríos provocando que el agua tenga una menor salinidad significativa. La realización de la

generación del hipoclorito también puede verse reducida por las temperaturas del agua, entre 10°C a 15°C y la tecnología no realiza su función si se encuentra por debajo de los 5°C. Por debajo de los 10°C, la formación del hidrato cloro, precipita en hidrato de cloro gas. Significativamente se reduce la eficiencia del generador. Por debajo de 5°C, el electrolítico produce más oxígeno con la no generación de cloro.

Los sistemas de tratamiento en los sistemas de aguas de lastre con electroclorinación, los fabricantes pueden realizar el proceso ya sea haciendo pasar la corriente de lastre del todo o a través de celdas electrolíticas o desviando una corriente lateral pequeña desde la línea de lastre principal, para generar el hipoclorito dentro de los electrolizadores y después volver a inyectar el biocida en la línea de lastre. En aplicaciones de agua fría, cuando el agua de lastre es menor de 15°C, tiene la ventaja de que la corriente lateral puede ser fácilmente calentada para mejorar de manera significativa la tasa de producción de hipoclorito y extender la vida útil de los electrodos.

Además la mayoría de los fabricantes de sistemas electroquímicos han incorporado una etapa de neutralización en el proceso durante el deslastre para neutralizar cualquier resto de biocidas en el agua de los tanques de lastre. Un seguro, fácil de usar, que se inyecta en la descarga en concentraciones muy bajas para neutralizar las especies oxidantes. La reacción crea sulfatos, a una concentración de pocas ppm, para añadir a la existente de origen natural 4000 ppm en el agua de mar. Al proporcionar un sistema de neutralización en conjunción con un sistema electroquímico, todos los oxidantes pueden ser neutralizados en cualquier momento para evitar la descarga del biocida. La descarga es inmediatamente convertida en no tóxica.

(La neutralización del agua de lastre en la descarga permite ahorrar gastos de operación en comparación con las tecnologías basadas en el UV. El UV tiene un biocida residual cero y permite que haya un recrecimiento en los tanques de lastre, como consecuencia, el sistema de tratamiento UV debe funcionar a plena potencia durante las operaciones de carga y descarga para tratar el agua).

5.8. Fabricantes de sistemas de gestión de agua de lastre.

5.8.1. ALFA LAVAL

Alfalaval diseñó un sistema de tratamiento de aguas de lastre llamado PureBallas 2.0. Este Equipo se basa en un sistema de purificación de agua, desarrollado por Alfalaval y Wallenius Water, el cual consiste en un proceso de filtración y tratamiento mediante UV.

El sistema dispone de los siguientes elementos:

- Un filtro de 50 micras para el lastrado.
- Unidad Wallenius AOT (Unidad UV). Esta es una versión patentada de la tecnología de oxidación avanzada, comercializada conjunta entre Alfa Laval y Wallenius Water. Dependiendo del volumen a tratar contendrá una o más unidades. Estas unidades comprenden la etapa activa del tratamiento y pueden lograr caudales de 250-2500 m^3/h .
- Módulo CIP. La ejecución está protegida por un sistema automático de limpieza (CIP), en el cual circula una solución limpiadora (biodegradable y no tóxica) para prevenir incrustaciones de agua de mar dentro de las unidades AOT. Este ciclo dura sobre unos 15 minutos y se ejecuta después del lastrado y deslastrado.
- Flujo métrico. Consiste en un medidor de flujo que controla la velocidad del flujo.
- Sistema de control. Puede ser controlado de forma automática o manual, pudiendo llevar un seguimiento del proceso del mismo.

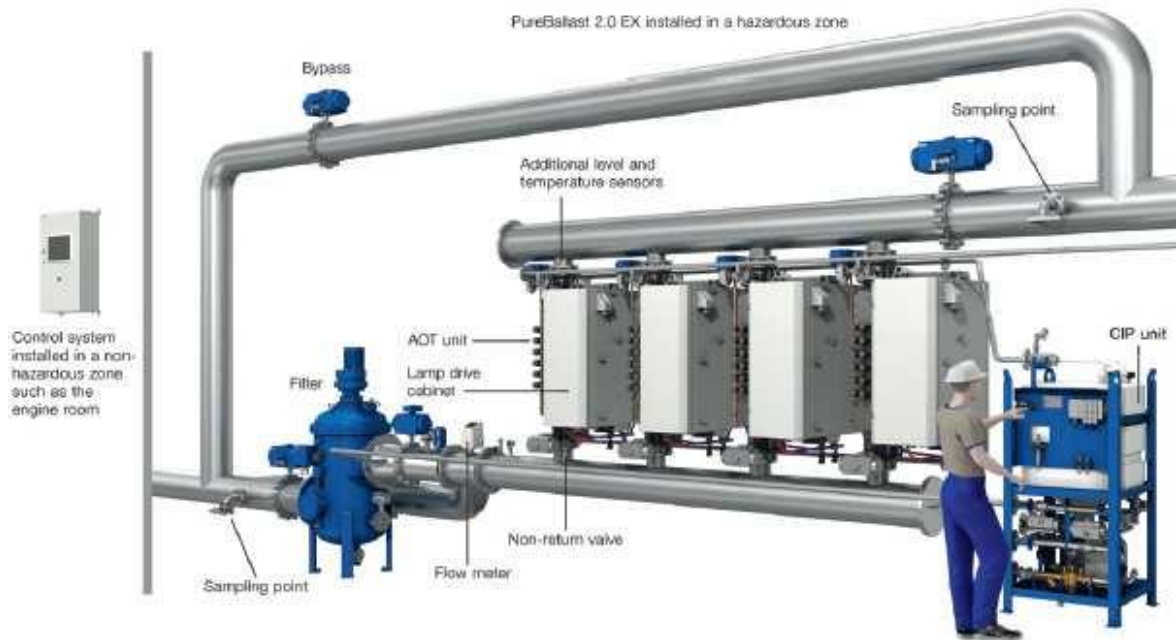


Figura 5.1 (planta de tratamiento Alfa Laval)

Funcionamiento:

- **Lastrado:** El agua pasa a través del filtro limitando la ingesta de organismos y sedimentos. A continuación el agua se trata con el sistema AOT el cual destruye los organismos, rompiendo sus membranas. Una vez completado el lastrado la unidad se limpia automáticamente durante 15 minutos o manualmente después de 30 horas. El filtro también se limpia con agua fresca.
- **Deslastrado:** El agua es tratada de nuevo para eliminar cualquier crecimiento ocurrido en los tanques y posteriormente es descargada al mar.

Este sistema está totalmente automatizado e incluso puede ser integrado completamente en el sistema de control del buque.

5.8.2. TECHCROSS

El equipo que vende esta compañía es el ECS (Electo-Clean System). Este sistema trata el agua de lastre con un tratamiento electroquímico el cual se realiza directamente en la tubería, es decir, trata el agua conforme es cargada en la tubería no en el tanque como otros sistemas.

Este sistema utiliza la electroclorinación para el tratamiento siendo capaz de generar hasta 10 ppm de hipoclorito cumpliendo con el estándar D2 de la OMI (7 ppm).

Además mediante la electrolisis, el potencial eléctrico producido aumenta la eficacia de la desinfección mediante la destrucción de la membrana celular de los microorganismos.

Hay dos sistemas de Electro-Cleen:

- ECS Type A: Con cámara electroquímica, la cual trata el agua de lastre en los tanques. El cual consta de:
 - ECU: Unidad electrolítica. La cual desinfecta el agua de lastre.
 - PDE: Distribuidor de potencial. Suministra la energía al ECS y se ocupa de su supervisión.
 - ANU: Unidad auto-neutralizante. Descarga el neutralizador.
 - TSU: Sensor TRO el cual comprueba los valores de TRO durante el lastrado y deslastrado.
 - Operating S/W (HMI/CPC): Software para el control.
 - FMU: Unidad de flujo métrico. Permite al ECS operar sobre el lastrado.
 - CSU: Sensor de la conductividad.
 - T-strainer: Proteje al ECU de los sedimentos.
 - FTS: Sensor de temperatura del agua dulce el cual mide la temperatura de la misma.



Figura 5.2 (ECS Type A Techros)

- ECS Type B: Integración de la unidad de la cámara electroquímica (ECU) y rectificador de potencia (PRU).

Es un modelo avanzado en el cual el ECS se encuentra integrado en todos los equipos del sistema para reducir el espacio de la instalación y el cableado que hay entre ellos. Este modelo es capaz de manejar diversas capacidades del tanque de agua de lastre. Este sistema consta de:

- ECU: Unidad electrolítica.
- PDE: Unidad de distribución de potencia.
- TRO Sensor unit: Sensor neutralizador.
- TSU: Unidad de auto-neutralización.
- PC (CPC): unidad de control integrada.



Figura 5.3 (Unidad de control)

5.8.3. OCEAN SAVER

El equipo de tratamiento de Ocean Saver consta de dos etapas que se basan en los principios de la filtración y la desinfección:

- **Filtración:** El sistema contiene un filtro equipado con un tamiz de 40 micrómetros el cual dispone de un sistema de auto-limpieza. Este filtro elimina el 60-80% de la carga orgánica mayor de 40 micrómetros. Este es usado solo en el lastrado y lavado automáticamente después del mismo. Su accionamiento puede ser eléctrico o hidráulico.
- **Desinfección electrodiálisis:** En esta etapa el agua queda expuesta a la inyección de un desinfectante producido mediante electrodiálisis mediante una unidad llamada C2E-TM. Esta unidad puede ser localizada en una zona lejana a la línea mediante una conexión con una tubería de pequeño diámetro y un cable de alimentación.

Este sistema tiene el problema de perder eficiencia si el agua de mar tiene un nivel bajo de salinidad, lo cual se suele solucionar llevando agua de mar en los tanques de pique de proa.



Figura 5.4 (Desinfección electrodiálisis Ocean Saver)

Opcionalmente, en el equipo también se puede instalar un sistema de nitrógeno supersaturado para prevenir el efecto de la corrosión en el sistema. Para ello se le acopla un generador de nitrógeno y un compresor para bombearlo.



Figura 5.5 (Desinfección electrodiálítica Ocean Saber con sistema de nitrógeno)

5.8.4. NEI TREATMENT

El sistema de tratamiento de aguas de lastre ofrecido por esta compañía es el Venturi Oxygen Stripping TM (VOS TM). Este sistema por un lado resuelve el problema de los organismos invasores y por otro protege los tanques de lastre contra la corrosión. Este sistema utiliza los métodos de desoxigenación y cavitación. El proceso de operación es el siguiente:

- El generador de gas de decapado (Stripping Gas Generator – SGG) se enciende y se establece un bajo contenido de oxígeno en el gas inerte a los inyectores Venturi.
- Una vez que las bombas de lastre están activadas, el agua pasa a través de los inyectores Venturi, donde se mezcla con el gas inerte desde el SGG.
- Un proceso de cavitación con el gas inerte crea una emulsión de burbujas micro-finas en el agua.
- El oxígeno disuelto difunde de una fase líquida a una fase gaseosa.
- En la descarga se hace pasar una corriente de aire a través del agua de lastre para proveer a la misma de oxígeno antes de la liberación de la misma al medio ambiente.



Figura 5.6 (planta de tratamiento Nei Treatment)

Puesto que el agua queda almacenada en los tanques de lastre sin oxígeno este sistema reduce la corrosión del acero hasta en un 84%.

5.8.5. HYDE MARINE

Esta compañía nos ofrece el equipo de tratamiento de aguas de lastre Hyde Guardian. Este equipo cuenta con un proceso de dos etapas: Un filtro y una unidad de desinfección mediante UV.

- Filtro: El filtro está formado por diversos discos de nylon diagonalmente ranurados en ambos lados con un tamaño específico. Los discos se apilan y se comprimen para crear elementos de filtro. Para limpiar el disco se bombea agua en el sentido opuesto al que circula, girando los discos y siendo liberados los sólidos atrapados. Este proceso está automatizado.
- La unidad de desinfección se compone por un tratamiento ultravioleta de alta intensidad. La velocidad de flujo a través de la cámara de UV está optimizada para estar dentro del rango de 0,5 a 3 metros por segundo.

Durante el lastrado el agua pasa a través del filtro y luego por la unidad de UV quedando almacenada en los tanques de lastre.

Durante el deslastrado el agua fluye a través de la unidad de UV y es descargada.

Esta instalación registra automáticamente los datos de operación y el muestreo de las aguas de los puertos en el sistema.



Figura 5.7 (Planta de tratamiento Hyde Marine)

Este sistema incluye un número y tamaño específico de lámparas de UV en función del flujo de agua de lastre total a ser tratada alojadas en manguitos de cuarzo de alta calidad. También dispone de sensores de temperatura, sensor UV y válvulas de aire de socorro. La cámara cuenta con una inspección y escotilla de acceso.

5.8.6. NUTECH O3, INC

El equipo propuesto por Nutech O3 utiliza el ozono. El ozono mata a la mitad de las especies invasoras en contacto. Para acabar con la otra mitad el ozono interactúa con el agua creando varios compuestos, como son por ejemplo los compuestos del bromo.

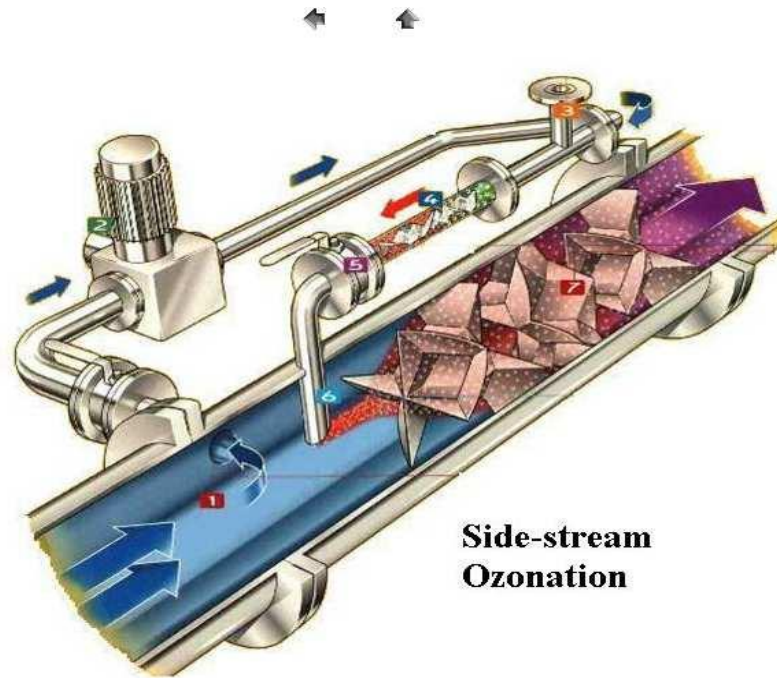


Figura 5.8 (Sistema de ozono Nutech O3, INC)

5.8.7. OPTIMARIN

El equipo de tratamiento de aguas de lastre de Optimarin utiliza dos métodos para la eliminación de organismos:

- Filtración: Este sistema contiene un filtro de auto-enjuague con las siguientes características:
 - Elimina las partículas grandes y organismos.
 - Pérdida de presión baja: 0,1 – 0,5 bar.
 - Montaje horizontal o vertical.
 - Anulado durante el deslastrado.
- Tratamiento UV: Utilizado para la eliminación o inactivación de organismos, bacterias y patógenos contenidos en el agua de lastre. Sus características son:
 - Una lámpara de UV por cámara (167 m³/h por cámara).
 - Sensor de temperatura en cada cámara.
 - Sistema de auto-limpieza, sin pares móviles y sin la necesidad de realizar productos químicos.



Figura 5.9 (Componentes Optimarin)

5.8.8. HITACHI PLANT TECHNOLOGIES

El sistema de tratamiento de aguas de lastre de Hitach Plant Technologies es ClearBallast. Este sistema trata el agua a través de la coagulación y de la separación magnética. No hay introducción de productos químicos y por consiguiente tampoco productos químicos residuales.

La descarga se puede realizar sin ninguna restricción ya que no requiere ningún tratamiento de salida.

Mediante la mezcla de coagulantes y polvo magnético con el agua de mar tomada por la bomba de lastre, forma flóculos magnéticos que incluyen plancton, virus y otros microorganismos, así como barro y arena.

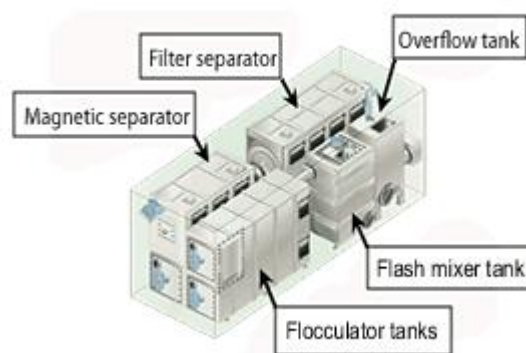


Figura 5.10 (Planta tratamiento Hitachi Plan Technologies)

5.8.9. PANASIA

Panasia ha desarrollado un sistema de gestión modular de aguas de lastre en línea que funciona durante el lastrado del mismo llamado GLOEN-PATROL-TM. El sistema es totalmente automático y realiza el proceso mediante dos etapas:

- Filtración. El cual tiene un sistema de auto lavado por contracorriente que tarda entre 10 y 30 segundos.
- UV: de alta intensidad.

Funcionamiento: Durante el lastrado, el agua pasa a través de un filtro para eliminar cualquier partícula un organismo grande. Antes de ir a los tanques el agua circula a través del sistema UV para eliminar o dañar el DNA de los organismos. Durante el deslastro el agua vuelve a pasar por la unidad de UV, por seguridad, y es descargada al mar.

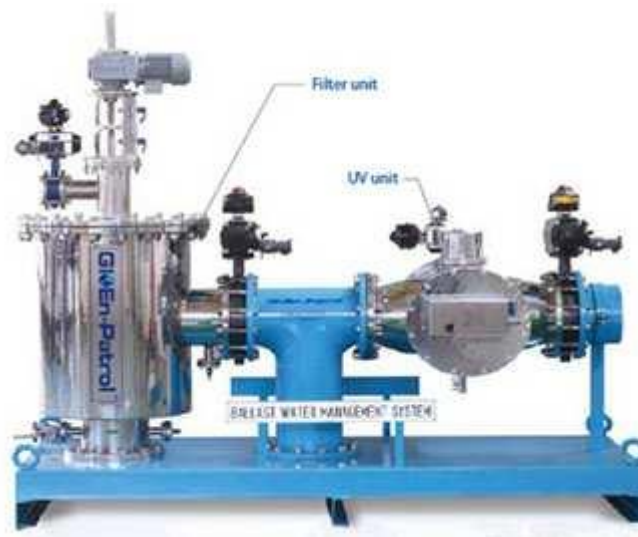


Figura 5.11 (Planta de tratamiento Panasia)

Este sistema no necesita de productos químicos y por consecuente no hay posibilidad de ocasionar productos tóxicos.

Es un sistema que ocasiona poco empacho en el barco, con un fácil mantenimiento y un coste mínimo operativo.

5.8.10. JFE ENGINEERING

El sistema de tratamiento de agua de lastre que nos ofrece esta compañía es el BALLASTACE JFE. Este sistema de gestión hace uso de dos agentes químicos: Cloro y un agente reductor (TG). Para la neutralización del oxidante residual (TRO) utiliza otro producto químico.

Después de la absorción del agua de mar desde la toma de mar, el agua pasa a través de un colador, seguido por un filtro. El filtro elimina las partículas mayores de 50 micras. Los organismos atrapados en este se devuelven al mar mediante un proceso de retro lavado.

A continuación se inyecta el agente reductor (TG), el cual actúa sobre el plancton y bacterias. Este agente se aplica a través de inyectores Venturi.

Este agua queda alojada en los tanques de lastre y debido al oxidante residual (TRO) se impide el crecimiento de cualquier agente bacteriano en su interior.

Cuando el agua se descarga, se inyecta en el agua el neutralizante (TG) aprovechando la agitación que produce la bomba de lastre. Así el agua una vez neutralizada es arrojada al mar de forma segura.

Este sistema consta de un dispositivo que controla el neutralizante a usar teniendo en cuenta la cantidad de lastre a cargar. También mide la cantidad de residuos que contiene el agua para aportar más neutralizante antes de expulsar este agua del barco. Es un tratamiento de control bastante sofisticado.

5.8.11. MARINE WATER TECHNOLOGIES (RWO)

El sistema de tratamiento de aguas de lastre que nos ofrece esta compañía es el CleanBallast. El tratamiento consta de dos etapas:

- Un filtro: La filtración se realiza con DiskFilter. Este filtro no deja pasar las partículas con un tamaño mayor de 55 micras.
- Desinfección electroquímica: Este mecanismo se utiliza para eliminar los organismos microscópicos. Este mecanismo se utiliza tanto a la hora de lastrar el barco, después del filtro, como a la hora del deslastre para asegurarnos de que el agua carece de organismos no deseados.

The two-stage treatment principle

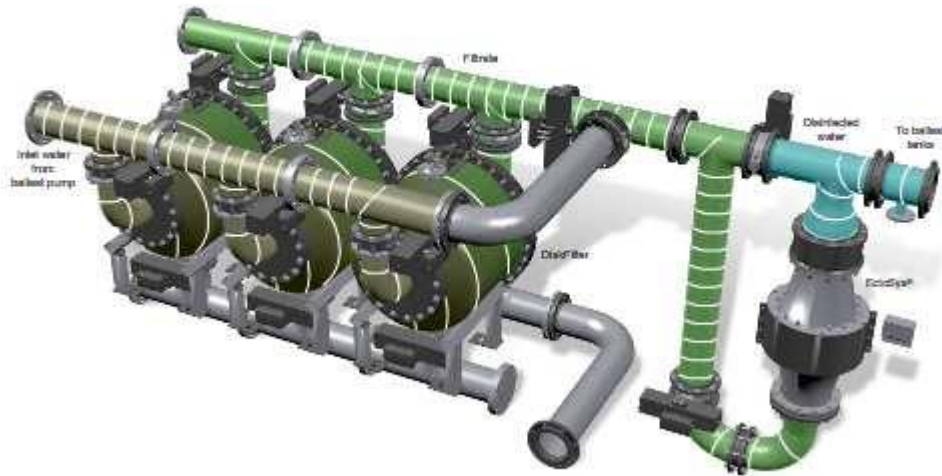


Figura 5.12 (Planta de tratamiento Marine Water Technologies)

5.8.12. HAMWORTHY

Esta compañía nos ofrece el sistema de tratamiento de aguas de lastre llamado AQUARIOS-TM. Este sistema tiene dos etapas de funcionamiento:

- Filtración.
- La segunda etapa nos da a elegir entre:
 - Tratamiento a través de UV.
 - Tratamiento con electro-cloración.

Tratamiento a través de UV:

Tras la absorción de agua de mar, esta pasa en primer lugar a través de un filtro de retro-lavado. En la segunda etapa el agua pasa a través de una cámara de UV donde la luz ultravioleta se utiliza para desinfectar el agua antes de su almacenamiento en los tanques de lastre. Tras su descarga en los tanques esta vuelve a pasar por la cámara de UV para garantizar su desinfección.

Las lámparas UV utilizan mercurio de presión media. Esta presión ofrece un amplio espectro germicida.

El tratamiento no elabora ningún residuo ni ninguna sustancia activa que tenga que ser tenida en cuenta a la hora del deslastro.

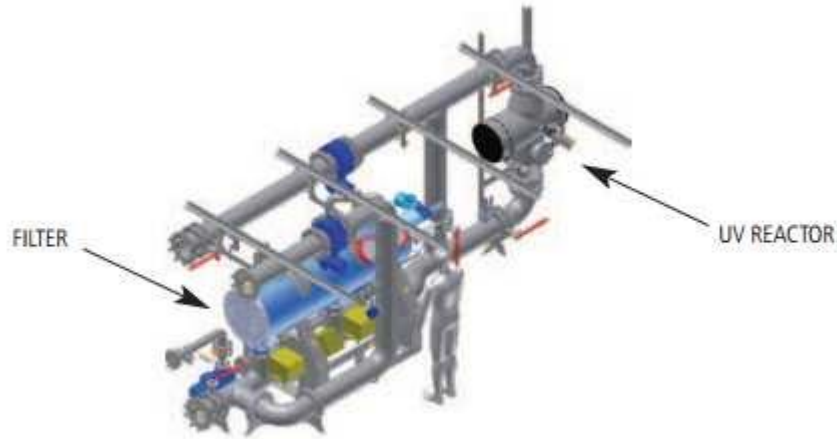


Figura 5.13 (Planta de tratamiento Hamworthy mediante UV)

Tratamiento con electro-cloración:

Tras la absorción de agua de mar se pasa primero a través de un filtro de retrolavado. Posteriormente se inyecta el desinfectante generado en la etapa de electrólisis. En el momento de descarga el agua es neutralizada con bisulfito para asegurar el cumplimiento ambiental con el Convenio MARPOL. El bisulfito es producido a través del agua de mar.

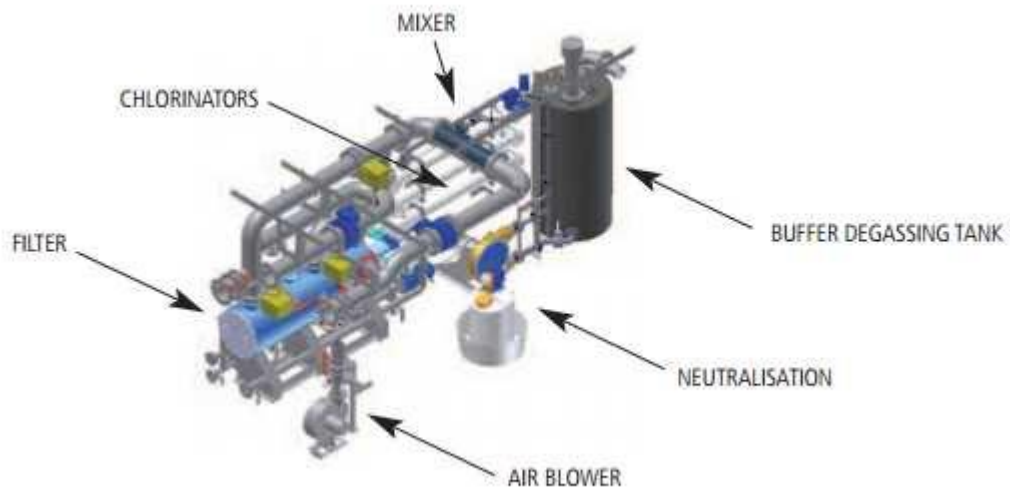


Figura 5.14 (Planta de tratamiento Hamworthy mediante electrocloración)

5.8.13. HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES

Esta compañía nos ofrece dos sistemas de tratamiento de aguas de lastre:

- EcoBallast.
- HiBallast.

5.2.13.1 ECOBALLAST:

Está compuesto por dos unidades principales: Un filtro y un reactor UV. El sistema está controlado por un PLC (Controlador Lógico Programable) instalado en el panel de control. El filtro evita la entrada de organismos mayores de 50 micras. El reactor elimina el resto de los organismos. Las características principales del sistema son:

- Filtro:
 - Pequeña huella.
 - Sistema automático.
 - Fácil mantenimiento.
 - Bajo coste de mantenimiento.
- Reactor UV:
 - Alta eficiencia.
 - Diseño único y robusto.
 - Capacidad de control de la velocidad del tratamiento.
- Dispositivo electrónico de lastre:
 - Alta seguridad y eficiencia.
 - Largo tiempo de vida.

5.2.13.2 HIBALLAST:

Este es un sistema compuesto por tres unidades principales: El filtro, una unidad de electrólisis y la unidad de neutralización. El sistema está controlado por un PLC instalado en el panel de control. El filtro impide la entrada de organismos mayores de 50 micras. Posteriormente en la tubería principal se inyecta el desinfectante producido por la unidad de electrolisis.

Cuando se procede al deslastre, previamente a esta, se le añade el neutralizante al agua para eliminar los agentes dañinos originados por el desinfectante.



Figura 5.15 (Hiballast)

El neutralizante en este caso es una solución de trisulfato de sodio.

5.8.14. MITSUI ENGINEERING

Esta compañía nos ofrece el sistema de tratamiento de agua de lastre llamado FINEBALLAST. Este sistema consiste en un combinación de un sistema especial de tubería y ozono. El uso del ozono, al ser una sustancia activa, puede tener cuatro ventajas:

- Alta eficiencia de desinfección.
- No hay aparición de bacterias resistentes.
- No hay persistencia.
- Facilidad de uso.

El sistema utiliza tres efectos inactivadores sobre los organismos:

- Oxidación efectiva a través del ozono.
- Efecto mecánico a través de la tubería especial.
- Desinfección efectiva a través de químicos producidos por la reacción del ozono con las sustancias del lastre.

El sistema consta de las siguientes partes:

- Una unidad de pretratamiento del agua de lastre, la cual contiene un filtro.
- La unidad de inactivación. La cual mediante el control del caudal del lastre esta controla la producción del ozono. Este es inyectado mediante inyectoros produciendo microburbujas en el agua de lastre a la misma vez que esta pasa por el mecanismo.
- Tubería especial: Consiste en dos pares de placas que inactivan los organismos acuáticos a través de la generación de la fuerza cortante y la cavitación de las palas.
- Monitor de TRO. Este mide la cantidad de oxidantes residuales en agua de lastre antes y después de pasar a través de DWTT.
- Panel de control del tratamiento. Sistema que controla el inicio y final del sistema y su posible intervención.

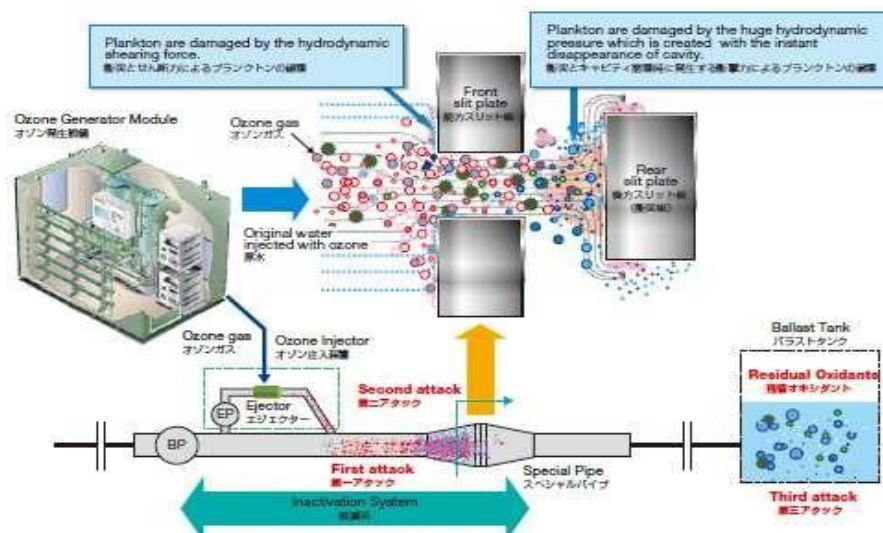


Figura 5.16 (proceso planta de tratamiento Mitsui Engineering)

5.8.15. ECOCHLOR

El sistema que nos ofrece esta compañía se denomina ECOCHLOR, igual que la misma. Este sistema incluye dos etapas, una primera de filtración para eliminar los sedimentos y organismos más grandes y otra de tratamiento o desinfección para acabar con los restantes.

- **Filtración:** Esta etapa contiene un filtro de 40 micras y se limpia automáticamente sin interrupción después de las operaciones de lastrado. Este filtro es de acero inoxidable 904L y puede ser instalado en cualquier posición. El filtro está compuesto por dos etapas de filtración: fina y gruesa. Para realizar el lavado del mismo este lo realiza automáticamente mediante la diferencia de presión ocurrida en el mismo. Cuando esta es superior a 0,5 bar automáticamente el flujo cambia la dirección y empieza el auto-lavado del mismo.
- **Tratamiento de desinfección:** El proceso de tratamiento genera una solución diluida de dióxido de cloro. Este se forma en una cámara de mezclas mediante el agua de mar (o dulce), unos inyectores Venturi y ácido sulfúrico. La reacción química nos da el dióxido de cloro.

Este se introduce en el tubo Venturi mediante vacío y se inyecta en el sistema de agua de lastre.

Los filtros se encuentran en las proximidades de las bombas de lastre pero el módulo de generación de dióxido de cloro puede ser localizado en cualquier parte del barco.

5.8.16. SUNRUI MARINE ENVIRONMENT ENGINEERING CO., LTD

Esta compañía nos ofrece el sistema de tratamiento de agua de lastre BALCLOR. Este sistema funciona básicamente mediante tres procedimientos:

- Filtración.
- Desinfección.
- Neutralización.

La filtración del agua de lastre se produce por un filtro de lavado contracorriente automático con 50 micras para eliminar los organismos de tamaño mayor a este.

En la desinfección, una pequeña corriente de la filtración del agua de lastre se entrega a la unidad electrolítica para generar los oxidantes de alta concentración. A continuación, los oxidantes se inyectan de nuevo en la corriente principal de lastre para proporcionar una desinfección eficaz.

La solución de hipoclorito, como germicida, se puede mantener en el agua de lastre por un cierto tiempo y matar eficazmente el plancton, esporas, larvas y patógenos en el agua.

La neutralización se realiza con el TRO, en el caso de que el residual del agua de lastre, tratada únicamente con desinfección, fuera por debajo del 0,1 ppm, el agua de lastre pueda ser descargada directamente. Si el nivel de TRO es mayor de 0,1 ppm, el neutralizador (trisulfato de sodio) es añadido en el tubo de lastre para neutralizar los oxidantes residuales de forma automática e instantánea.

5.8.17. HEADWAY TECHNOLOGY CO., LTD

Esta compañía nos ofrece el sistema de tratamiento de aguas de lastre llamado OCEAN GUARD-TM.

Este sistema de tratamiento tiene dos etapas: Un filtro y un sistema de Oxidación Avanzada mediante Electrocatálisis. Así, podemos dividir este en tres partes:

- La unidad de control: Se encarga de regular todo el sistema incluyendo la recopilación de las diversas señales procedentes de los sensores, gestión de las señales de alarma y los controles de arranque y cierre del sistema. Contiene todos los procedimientos para su funcionamiento, condiciones de trabajo, etc.
- El filtro: Este sistema adopta un filtro de auto-lavado de 50 micras. Como otros sistemas, este comienza su lavado inmediatamente después del lastrado mediante la inversión del flujo de agua.
- La unidad EUT: Esta unidad tiene la una capacidad de tratamiento de 100-300 m³/h. Esta se compone de dos partes:
 - Unidad Electrocatálisis: Es capaz de producir un gran número de radicales hidroxilo y otras sustancias oxidantes altamente activas para matar todos los organismos en cuestión de nanosegundos.
 - Unidad de Ecografía: Esta unidad limpia la superficie de la unidad de electrocatálisis mediante ultrasonido durante el proceso de tratamiento.



Figura 5.17 (Planta de tratamiento headway technology)

5.8.18. SEVERN TRENT DE NORA

Esta compañía nos ofrece el sistema de tratamiento de agua de lastre BALPURE.

Este sistema trata el agua de lastre mediante un proceso de desinfección electrolítica. A partir de más o menos el 1% del caudal total, es capaz de generar la solución de desinfección de hipoclorito. Esto permite el funcionamiento del sistema en un ambiente con una temperatura y salinidad baja.

Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- Un filtro auto-limpiable que puede ser instalado en cualquier posición y cuyo tamaño dependerá del caudal de lastre del sistema.
- Unidad electrolítica, la cual desarrollará el hipoclorito de sodio a partir de una parte del lastre y lo introducirá en el flujo principal de lastre.

Los electrodos de la unidad son auto-limpiables.

- Una unidad neutralizadora, la cual neutraliza los oxidantes residuales con bisulfito de sodio una vez procedamos al deslastro del barco. Esta se irá añadiendo en la bomba para asegurar la descontaminación del agua de lastre.

El fabricante recomienda que se lleve en el barco entre el 35 y 44% de la solución de bisulfito, ya que es fácil y seguro de manejar. La unidad neutralizadora a su vez está formada por:

- Conjuntos de analizadores oxidantes y bisulfito con sistema de bombeo de bisulfito.
- Bombas de bisulfito y controladores.



Figura 5.18 (Severn Trent de Nora)

Capítulo 6. Dimensionamiento del buque y cálculo de la capacidad de lastre

6.1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este capítulo se abordarán dos temas fundamentales para el desarrollo del proyecto:

- Definición del buque del proyecto.
- Cálculo de la capacidad de lastre del buque proyecto.

Debido a que no se dispone de las características principales del buque a diseñar el sistema de lastre, una primera parte de este capítulo será dedicada exclusivamente al cálculo de las mismas a partir de una base de datos de buques de características similares (entre los que se encuentra el buque base) representados en la tabla 6.1 mostrada en la siguiente página.

Una vez hayamos definido el buque del proyecto, el siguiente paso será calcular la capacidad de lastre del mismo para posteriormente, en los capítulos 7, 8 y 9 conocer la normativa a aplicar y llevar a cabo la capacidad de las bombas, dimensionamiento de tuberías y diseño de la planta de tratamiento.

Para llevar a cabo este capítulo, debido a la falta de información acerca de diversos aspectos del buque así como para saber los requisitos establecidos, se han tenido en cuenta la información aportada por tres libros incluidos en el capítulo de referencias.

Capítulo 6. Dimensionamiento del buque y cálculo de la capacidad de lastre

BUQUE	FECHA DE ENTREGA	ESLORA TOTAL	ESLORA PP	MANGA	PUNTAL	CALADO	TPM	CB	GT	DESPLAZAMIENTO	VOLUMEN DE CARGA	PESO EN ROSCA	VELOCIDAD	NUMERO DE FROUDE	POTENCIA	NUMERO DE TANQUES	CAPACIDAD DE LASTRE
AMAN BITULU/AMAN SENDAI	1997	130	125	25,7	13,1	7,12	10957		16336		18928		15	0,22	7500	3	
AMAN HAKATA	1998	130	124	25,7	13,1	7,11	10951		16336		18800		15,5	0,228	7500	3	
LNG LERICI	1998	215	205	33,9	21,26	9,15	35760		46555		65000		16,5	0,189	12500	4	
LNG PORTO VENERE	1996	216,2	204,98	33,91	21,26	9,48	35760	0,73	46555	49232	65000	13472	16,5	0,189	12500	4	
POLAR EAGLE	1993	239	226	40	26,8	11,03	48817		66174		89880		18,5	0,202	21000	4	
SURYA AKI	1996	151	140	28	16	7,6	11612	0,65	20524	19780	19538	8168	18,5	0,256	12000	3	
SURYA SATSUMA	2000	151,03	143,5	28	16	7,06	12493	0,73	20017	21298	23096	8805	16,5	0,256	10600	3	
KNUTSEN BARCELONA	2010	290	279	45,8	26,5	11,95	97730		110920	132303	173400	34573	19		37600	4	57859
IÑIGO TAPIAS (IZAR)	2004	284,4	271	42,5	25,4	11,4	68200			98450	138000	30250	19,5		28000	4	49900
KNUTSEN SEVILLA	2010	280,4	271	42,5	25,4	11,4	68411		110920	90835	138000	27251	20		36000		49600
BUQUE OBJETO SIN CONSTRUIR		292	280	46	26	11,45	81900				173000		19,5			4	58000
CASTILLO DI SANTISTEBAN	2010	299,9		48,5	26		94500			111665	176600		19,5				
ENERGY HORIZON	2011	300		52			87257		141136		177000		18,5				
AL RUWAIS	2007	315		50					137535	121963	210100		19,5				
AL UTOURIYA	2008	315		50			104561		136355		215000		19,5				
AL GHASHAMI		315		50					135423		216000						
AL GATTARA	2007	315		50			106898		136410		216200						
AL HUWAILA	2007	315		50			109503		135848		217000		19,2				
AL GHUWAI RIYA	2008	345	333	55		13,7	154940		168189	159000	261700	56938	19,5				
MOZAH	2008	345		53,8	34,7	12,2	128900		163922	180496	266000	51596			43400		

Tabla 6-1 (Principales características de buques LNG)

6.2. DEFINICIÓN DEL BUQUE

A continuación se van a establecer las principales características del buque. Estas se van a obtener a partir de una base de datos referente a otros buques LNG, la cual se ha intentado que sea lo más completa posible. Entre estos buques se van a encontrar el buque base, el cual se tomará como referencia para comprobar que los valores son correctos.

Las principales características de los buques tenidos en cuenta se encuentran en la tabla 6.1.

A continuación se pasará a hacer una estimación de las principales características del buque mediante el uso de regresiones con los buques de la tabla 6.1.

6.2.1. PM:

Para calcular el peso muerto se ha hecho la regresión relacionando el peso muerto con el volumen de carga obteniendo la siguiente gráfica:

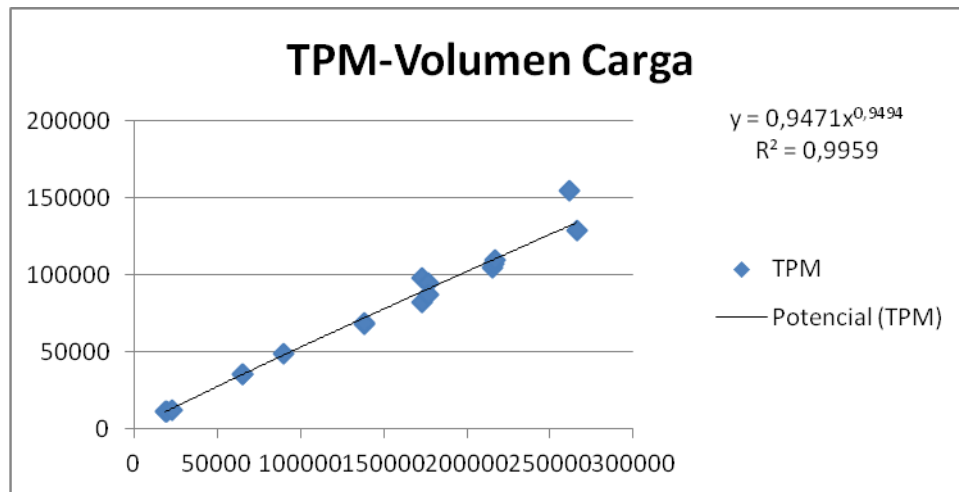


Figura 6.1 (Relación entre Peso Muerto y Volumen de carga)

La relación potencial obtenida es:

$$y = 0.9471x^{0.9494} \quad (1)$$

Donde “y” sería el PM y “x” el volumen de carga con un error cuadrático medio⁴ del 0.9959 lo cual quiere decir que es bastante exacto (99.59%).

Sustituyendo los 176.000 m^3 de capacidad de carga de nuestro buque en la formula tenemos obtenemos un peso muerto de aproximadamente 90466.036 T.

6.2.2. ESLORA:

Para calcular la eslora se han hecho tres regresiones para obtener un mismo resultado y elegir el más apropiado:

- PM-L: Esta relación da la siguiente gráfica:

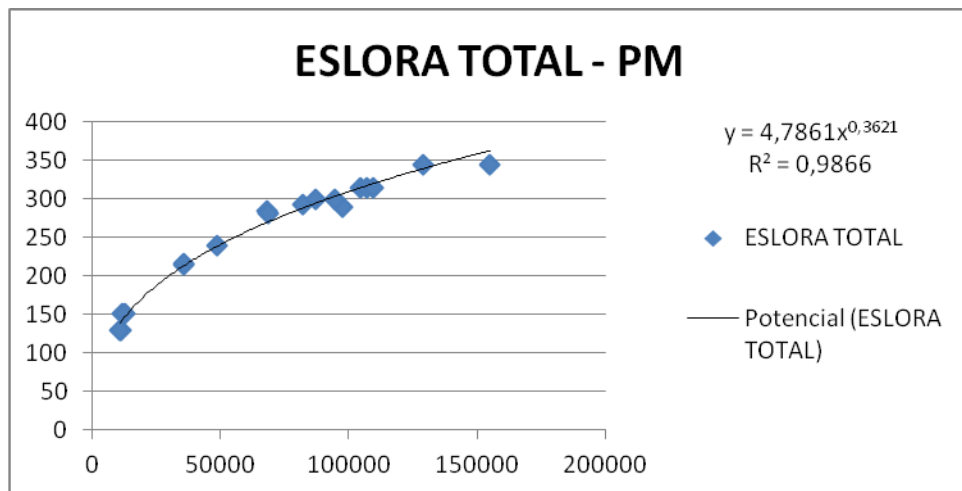


Figura 6.2 (Relación eslora total – Peso muerto)

⁴ Promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se estima. Sería el error o la diferencia que se produce debido a la aleatoriedad.

Obteniendo la ecuación potencial:

$$y = 4.7861x^{0.3621} \quad (2)$$

Donde “y” es la eslora y “x” el peso muerto y la cual tiene un error cuadrático de 0.9866, es decir, un 98.66% de exactitud.

Sustituyendo se obtiene una eslora total de de 298.35 m.

- $V_c - L$: Esta relación da la siguiente gráfica:

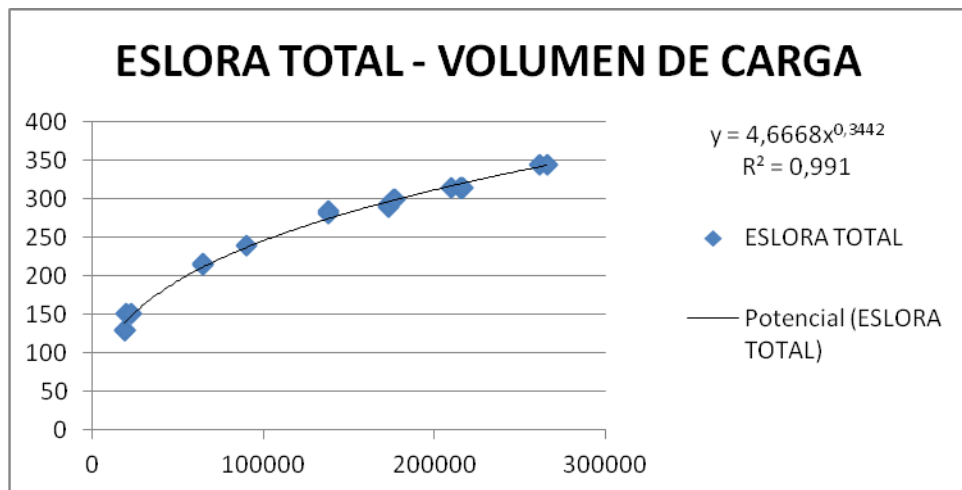


Figura 6.3 (Relación eslora total – Volumen de carga)

Obteniendo la siguiente relación potencial:

$$y = 4.6668x^{0.3442} \quad (3)$$

Donde “y” es la eslora y “x” el volumen de capacidad con un error cuadrático del 0.991, es decir, un 99.1% de exactitud.

Sustituyendo se obtendrá una eslora de 298.21 m.

Con los resultados anteriores se va a establecer una eslora para el buque de 298 metros.

6.2.3. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES

Normalmente de manera aproximada existe una relación entre la eslora total y la eslora entre perpendiculares [1]:

$$L_{Total} = 1.0565L_{pp} - 0.3187 \quad (4)$$

Despejando y sustituyendo la eslora total en la formula se obtiene que la eslora entre perpendiculares será:

$$L_{pp} = \frac{L_{total} + 0.3187}{1.0565} = \frac{298 + 0.3187}{1.0565} = 282.36 \text{ m}$$

También se podría haber calculado mediante regresiones con el peso muerto, volumen de capacidad... o directamente con el número de Froude si se conociera su valor mediante la siguiente fórmula:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{L_{pp} * g}} \rightarrow L_{pp} = \left(\frac{V}{F_n}\right)^2 * \frac{1}{g} \quad (5)$$

6.2.4. MANGA

Para calcular la manga del buque se ha hecho una regresión relacionando los volúmenes de carga con la manga de cada buque. Así se obtiene la siguiente gráfica:

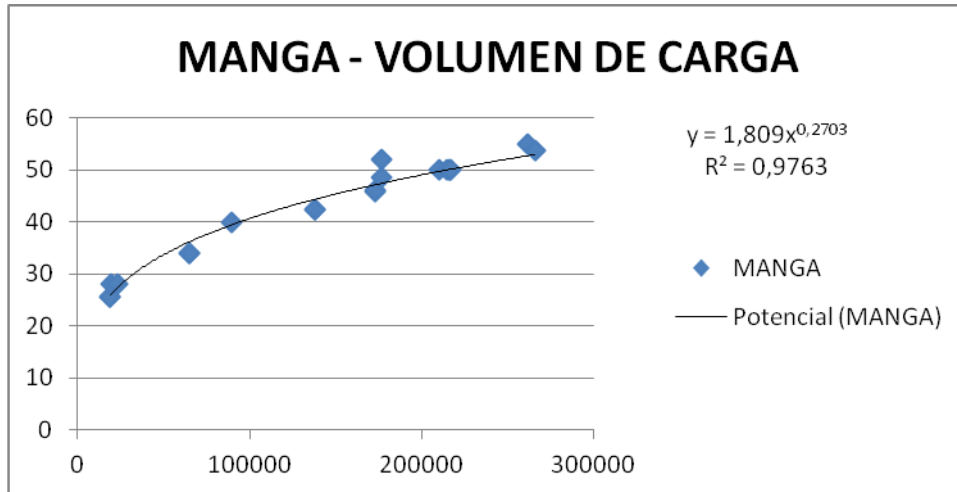


Figura 6.4 (Relación entre Manga – Volumen de carga)

A partir de esta gráfica y viendo su línea de tendencia se obtiene la siguiente ecuación exponencial que va a definir la manga del buque según el volumen de carga del mismo. Así la ecuación es la siguiente:

$$y = 1.809x^{0.2703} \quad (6)$$

Donde “y” es la manga y “x” la capacidad de carga con un error cuadrático medio de 0.9763 (97.6%).

Sustituyendo la capacidad de carga se obtendrá que la manga del buque es de 47.35 m.

6.2.5. PUNTAL

Para calcular el puntal se ha hecho una regresión relacionando el volumen de carga con el puntal de todos los barcos de la tabla 6.1 obteniendo la siguiente gráfica:

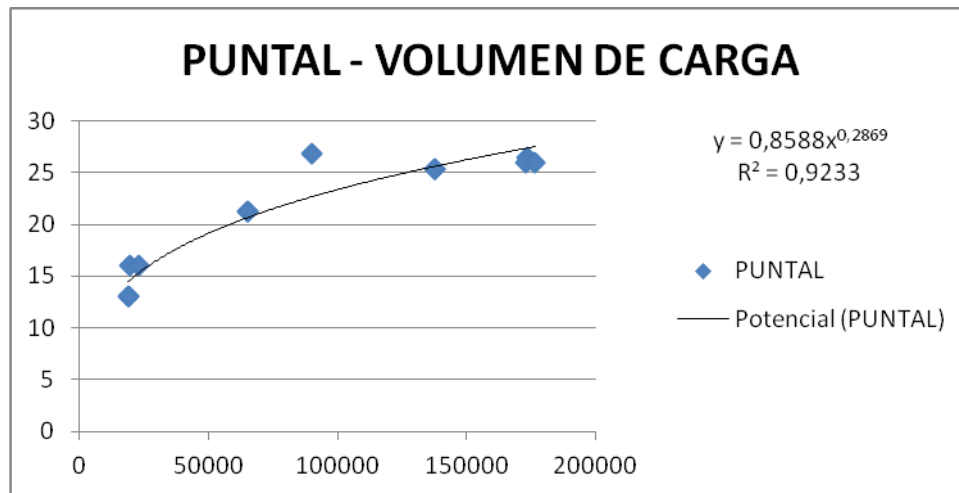


Figura 6.5 (Relación entre Puntal – Volumen de carga)

Viendo la dispersión de los puntos y observando su línea de tendencia se puede intuir el puntal mediante la siguiente ecuación exponencial:

$$y = 0.8588x^{0.2869} \quad (7)$$

Donde “x” es el volumen de carga e “y” es el puntal del buque. Esta expresión tiene un error cuadrático medio de 0.9233 (92.33% de exactitud), lo cual indica que es bastante inexacto, pero tratándose de que lo único que se intenta es intuir el valor del buque, el resultado es válido.

Así sustituyendo los 176.000 metros cúbicos se obtendrá un puntal de 27.47 metros. (Un poco alto para el buque, pero como se ha dicho anteriormente tan solo es una referencia).

6.2.6. CALADO

Para obtener el calado del buque se va a hacer una regresión relacionando el volumen de carga con el calado del buque. Así se obtiene la siguiente gráfica:

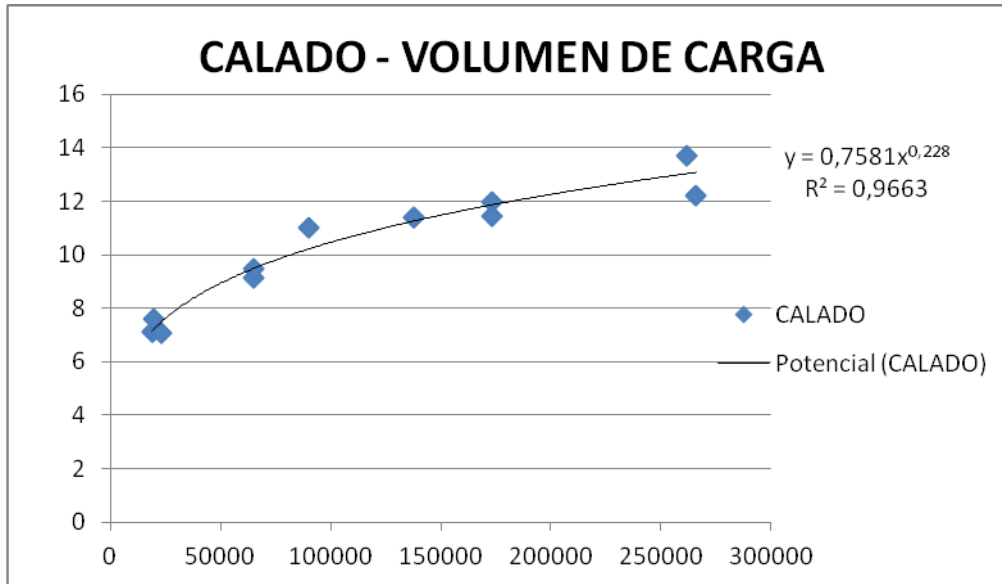


Figura 6.6 (Relación entre Calado – Volumen de carga)

A partir de ella se obtiene la siguiente ecuación exponencial:

$$y = 0.7581x^{0.228} \quad (8)$$

Donde “y” va a ser el calado y “x” la capacidad de carga del buque con un error cuadrático medio de 0.9663, es decir, un 96.6% de exactitud.

Sustituyendo en la ecuación vamos a obtener que el calado para el buque va a ser de unos 11.9 metros.

6.2.7. DESPLAZAMIENTO

Para calcular el desplazamiento del buque se va a realizar una regresión relacionando el desplazamiento con el volumen de carga. Así se obtiene la siguiente gráfica:

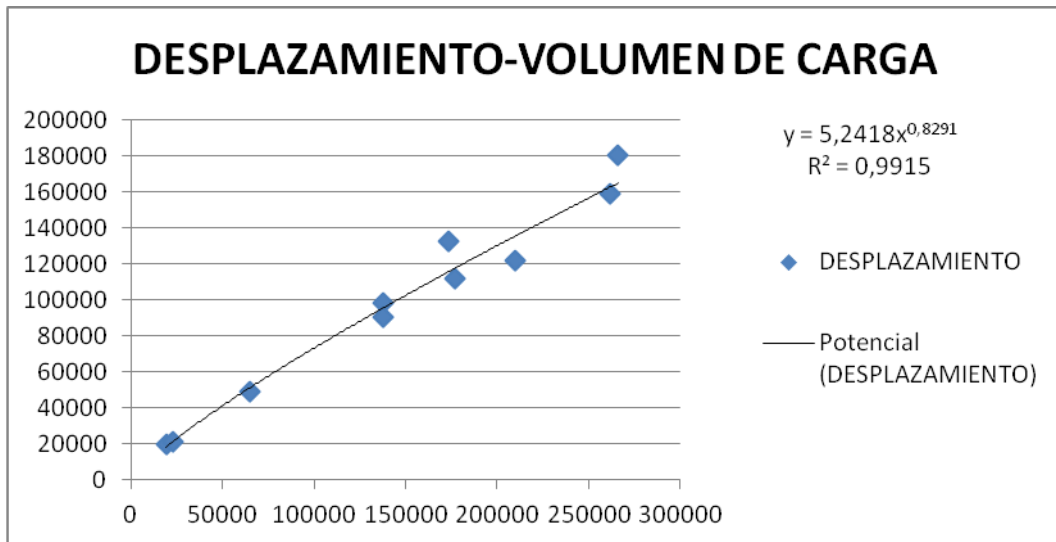


Figura 6.7 (Relación entre Desplazamiento - Volumen de carga)

A partir de esta gráfica podemos obtener la siguiente ecuación exponencial:

$$y = 5.2418x^{0.8291} \quad (9)$$

Donde “x” va a ser la capacidad de carga e “y” el desplazamiento del buque con un error cuadrático del 0.9915 o lo que es lo mismo un 99% de exactitud.

Sustituyendo en la ecuación los 176.000 metros cúbicos se obtiene un desplazamiento de 117.094,1 Toneladas.

6.2.8. CALCULO PRELIMINAR DE CAPACIDAD DE LASTRE

Para tener una idea de la capacidad de lastre del buque proyecto se va a hacer un estudio mediante regresiones con los otros buques representados en la tabla 6.1. A continuación se hará una gráfica relacionando la capacidad de carga con el lastre para obtener una aproximación del lastre a bordo del buque:

- Capacidad de carga – Lastre: Relacionando estos dos términos se obtiene la siguiente gráfica:

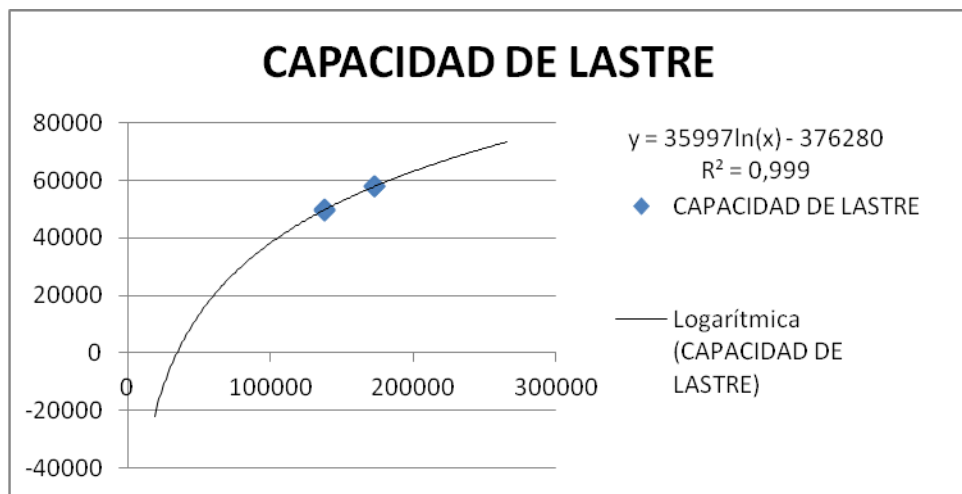


Figura 6.8 (Relación entre Capacidad de carga - Capacidad de lastre)

A partir de esta gráfica podemos definir la siguiente relación logarítmica:

$$y = 3597\ln(x) - 376280 \quad (10)$$

Con un error cuadrático medio de 0.999 (99.9%). Así sustituyendo la capacidad de carga (x) se obtendrá una capacidad de lastre (y) de 58500.38 m^3 .

Observando los valores de capacidades de lastre de los buques de la tabla 6.1 y los resultados obtenidos vamos a tener que la capacidad de lastre del buque va a estar en torno a 58.500 m^3 , aunque esto se calculará con más detalle más adelante (sección 6.5).

6.2.9. CARACTERISTICAS DEL BUQUE:

Así, mediante las regresiones hechas, quedan definidas las principales características del buque proyecto a continuación:

- Volumen de carga: 176.000 m^3 .
- PM: 90466 T.
- $\Delta = 117094 \text{ T}$.
- Eslora: 298 m.
- Eslora (pp): 282 m.
- Manga: 47 m.
- Puntal: 27 m.
- Calado: 11.9 m.
- Capacidad de lastre estimada: 58500 m^3 .

6.3. COEFICIENTES ADIMENSIONALES

En este apartado se calcularán los coeficientes adimensionales para el buque proyecto definido en la sección anterior (6.2.9). Todos los coeficientes adimensionales y los procesos para llevar a cabo el cálculo de estos coeficientes se encuentran descritos en: [2]

6.3.1. COEFICIENTE DE BLOQUE:

Para calcular el coeficiente de bloque lo primero que se deberá saber es el volumen de carena del barco. Para ello se supondrá que este va a navegar en agua salada de una densidad de 1.025 T/m^3 . Por tanto tendremos que:

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{117094 \text{ T}}{1.025 \text{ T/m}^3} = 114238 \text{ m}^3 \quad (11)$$

Una vez conocido el volumen de carena, a partir de la formula de definición del coeficiente de bloque se procederá al cálculo del mismo:

$$CB = \frac{\nabla}{LBT} = \frac{114238}{298 * 47 * 11.9} = 0.68 \quad (12)$$

Normalmente para calcular el coeficiente de bloque se suele usar la eslora entre perpendiculares, puesto que este es más exacto u correcto.

$$CB = \frac{\nabla}{L_{pp}BT} = \frac{114238}{282 * 47 * 11.9} = 0.72 \quad (13)$$

6.3.2. COEFICIENTE DE LA MAESTRA

Para calcular el coeficiente de la maestra sabemos que:

$$CM = \frac{A_{\otimes}}{BT} \quad (14)$$

Puesto que no se conocen las formas del casco no es posible conocer el área de la maestra. Por tanto se hallará el coeficiente de la maestra de forma estimada mediante la fórmula de Kerlen [1].

$$CM = 1.006 - 0.0056 CB^{-3.56} \quad (15)$$

Si se calcula con el coeficiente de bloque hallado con la eslora total tendremos:

$$CM = 1.006 - 0.0056 * 0.68^{-3.56} = 0.983$$

Si se calcula con el coeficiente de bloque hallado con la eslora entre perpendiculares tendremos:

$$CM = 1.006 - 0.0056 * 0.72^{-3.56} = 0.988$$

Este valor debería de estar entre 0.75 y 0.98 (ref 1) para este tipo de buques. Por lo que nos encontramos en el límite superior.

6.3.3. COEFICIENTE PRISMÁTICO

Para calcular el coeficiente prismático bastaría con sustituir en la formula que relaciona el coeficiente de bloque con el coeficiente de la maestra:

$$CP = \frac{CB}{CM} = \frac{0.72}{0.98} = 0.73 \quad (16)$$

Se recomienda que este coeficiente no sobrepase el 0.80 [1] por lo que nos encontramos en un valor aceptable.

6.3.4. COEFICIENTE DE FLOTACIÓN

Para calcular este coeficiente se utilizará la fórmula de Schneekluth para buques con las formas en U [1].

$$CF = \frac{(1 + 2CB)}{3} = \frac{(1 + 2 * 0.72)}{3} = 0.813 \quad (17)$$

6.3.5. OTRAS RELACIONES ADIMENSIONALES

A continuación se calcularán otras relaciones adimensionales necesarias para saber si las dimensiones dadas al buque son correctas (están dentro de lo permitido o aconsejado) y que pueden ser necesarias para realizar algún cálculo posteriormente. [2]

- Relación eslora - puntal:

$$L/H \rightarrow \text{Debe de oscilar entre 9 y 15} \quad (18)$$

Para nuestro buque:

$$\frac{L}{H} = \frac{282}{27} = 10.44$$

- Relación eslora - calado:

$$L/T \rightarrow \text{Debe de oscilar entre 10 y 30} \quad (19)$$

Para nuestro buque:

$$\frac{L}{T} = \frac{282}{11.9} = 23.70$$

- Relación manga - calado:

$$B/T \rightarrow \text{Debe de oscilar entre 1.6 y 4} \quad (20)$$

Para nuestro buque:

$$\frac{B}{T} = \frac{47}{11.9} = 3.95$$

Como se puede observar todos los datos se encuentran dentro de lo aconsejado, por lo que supondremos que el buque posee estas dimensiones.

6.4. ESTUDIO DE ESTABILIDAD PARA CONDICIÓN DE DISEÑO

A continuación vamos a comprobar si con los parámetros obtenidos a través de las regresiones el buque cumple los criterios de estabilidad inicial. Para ello se procederá a calcular su GM (altura metacéntrica o estabilidad inicial). Este valor tiene que cumplir con las siguientes restricciones [2]:

- En España:
 - Buques mercantes: $GM \geq 0.15 \text{ m}$
 - Pesqueros: $GM \geq 0.35 \text{ m}$

- Valores típicos:
 - Buques de pasaje: $GM \approx 5\%B$
 - Buques mercantes: $GM \approx 4 \text{ a } 9\% B$

Por tanto considerando el buque como buque mercante su GM tendrá que ser mayor de 0.35 m y deberá de estar comprendido entre 1.88 y 4.23 m.

A continuación procedemos al cálculo del GM del buque.

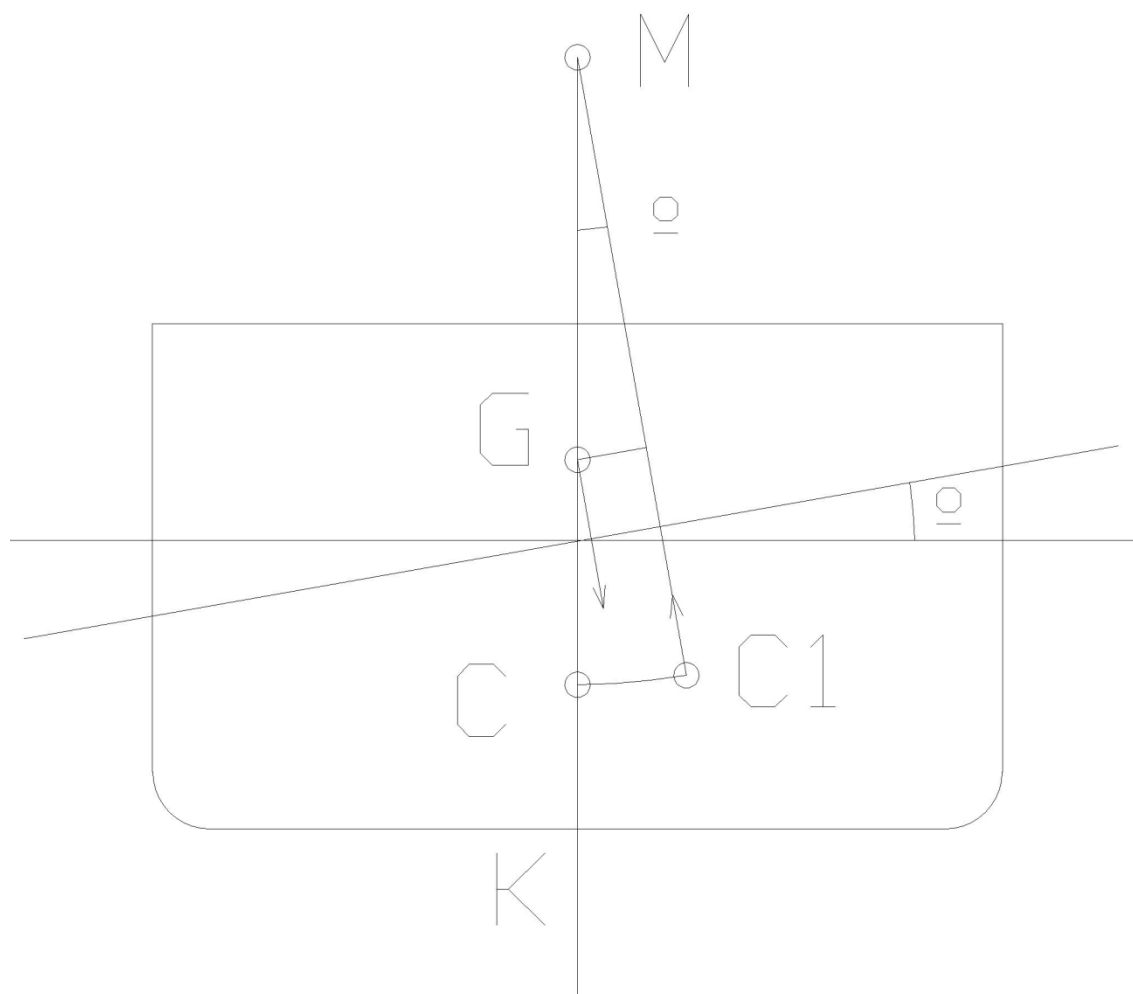


Figura 6.9 (Estabilidad transversal)

Observando el dibujo se puede deducir que:

$$GM = KC + CM - KG \quad (21)$$

Donde:

- GM: Altura metacéntrica (estabilidad inicial).
- KC: Distancia línea base – centro de carena.
- CM: Radio metacéntrico.
- KG: Altura centro de gravedad.

Puesto que no conocemos las formas del casco ni la distribución de los pesos, para calcular estos valores se utilizará formulas basadas en series sistemáticas realizadas mediante estudios hechos sobre otros buques.

KC: Para calcular la distancia al centro de carena se usará la formula de Euler [1]:

$$KC = \frac{T}{1 + \frac{CB}{CF}} \quad (22)$$

Sustituyendo para el buque:

$$KC = \frac{11.9}{1 + \frac{0.72}{0.81}} = 6.31 \text{ m}$$

CM: Para calcular el radio metacéntrico se utilizará la fórmula de Normand [1]:

$$CM = \frac{L_{PP} * B^3 (0.894 * CF^2 + 0.096)}{12 * \nabla} \quad (23)$$

Sustituyendo para el buque:

$$CM = \frac{282 * 47^3 (0.894 * 0.813^2 + 0.096)}{12 * 114238} = 14.67 \text{ m}$$

KG: El centro de gravedad o distancia de la línea base al centro de gravedad del buque se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$KG = \frac{0.9 * PR * D + 0.64 * PM(carga) * D + 0.06 * PM(lastre) * D}{\Delta} \quad (24)$$

Donde:

- PR: es el peso en rosca del buque.
- D: es el puntal.
- PM: es el peso muerto.

Esta fórmula posiciona de manera aproximada el centro de gravedad ya que si se tiene en cuenta que el buque en rosca cuenta con la superestructura y demás, su centro de gravedad será alto (por ello el 0.9). Por otro lado si se considera el centro de gravedad de la carga que va alojada en los compartimentos de carga, se puede considerar que el centro de gravedad se encuentra a una altura del 64% del puntal observando el dibujo de cuaderna maestra. También se ha de tener en cuenta que el buque además de gas natural transporta carga de lastre para mantener el calado de diseño siendo alojada en el doble fondo con un centro de gravedad aproximado del 6% del puntal.

Por tanto, lo primero que se deberá hacer es calcular el peso en rosca del buque:

$$\Delta = PR + PM \rightarrow PR = \Delta - PM = 117094 - 90466 = 26628 \text{ T} \quad (25)$$

El lastre que lleva el buque para esta condición se calculará con detenimiento en el siguiente apartado (6.4.1.) llegando al valor de 12850 T.

Sustituyendo en la ecuación anterior (25):

$$KG = \frac{0.9 * 26628 * 27 + 0.64 * 0.45 * 176000 * 27 + 12850 * 0.06 * 27}{117094}$$

$$= 17.39 \text{ m}$$

GM: Sustituyendo los valores calculados en la expresión del GM (21):

$$GM = KC + CM - KG = 14.67 + 6.31 - 17.39 = 3.59 \text{ m}$$

Se observa que la estabilidad inicial del buque es de 3.59 m. Como se puede ver este resultado es mayor que la distancia mínima requerida por la normativa y se encuentra entre el intervalo aconsejado para este tipo de buques.

Por lo tanto se puede decir, que para esta condición y con las características que se han definido para el barco, este cumple los criterios de estabilidad.

6.4.1. CANTIDAD DE LASTRE PARA LA CONDICIÓN DE DISEÑO

Ahora se va a hacer una estimación del lastre que llevaría el buque en esta condición considerando que está cargado con gas natural de una densidad de $0.45 \text{ T}/\text{m}^3$ cargado a plena carga (98%).

Por tanto tendríamos que:

$$PM = PESO\ DEL\ GAS + PESO\ DEL\ LASTRE \quad (26)$$

$$\begin{aligned} PESO\ DEL\ LASTRE &= PM - PESO\ DEL\ GAS = 90466 - 176.000 * 0.45 * 0.98 \\ &= 12850\ T \end{aligned}$$

Si consideramos que el lastre es agua salada de $1.025\ T/m^3$ tendremos que:

$$V_{LASTRE} = \frac{12850\ T}{1.025\ T/m^3} = 12536.59\ m^3$$

Este sería el volumen de agua de lastre que transportaría el buque en la condición de diseño transportando la máxima cantidad de gas natural en sus compartimentos.

6.5. CALCULO CAPACIDAD DE LASTRE

Para calcular la capacidad de lastre del buque se deben de tener en cuenta varios factores esenciales a la hora de navegar en lastre (Sin carga). Para ello la capacidad de lastre tendrá que proporcionar al buque:

- Buena estabilidad. Es decir, el buque tendrá que tener una condición de estabilidad inicial (GM) mayor que el que establece la normativa (0.15 m) para asegurar que este va a tener una buena estabilidad en todo momento.
- Buena inmersión del bulbo. Es decir, tendrá que poder navegar de manera que este favorezca la navegación en vez de perjudicarnos, con otras palabras, el bulbo tendrá que estar lo suficientemente inmerso para que este proporcione una correcta operación.
- Buena inmersión de la hélice. Es decir, la hélice tendrá que estar lo suficientemente sumergida para lograr una buena propulsión haciendo

que esta trabaje en condiciones favorables y evitar posibles efectos no convenientes como la cavitación, el efecto batidora...

Estos tres factores son los que se van estudiar a continuación para definir el mínimo y máximo calado del buque proyecto y con ello la capacidad de lastre a implantar en el mismo.

6.5.1. INMERSIÓN DEL BULBO

El bulbo es un elemento importante puesto que favorece el avance con una menor resistencia del mismo. No siempre es conveniente instalarlo en el barco ya que dependiendo de las características del buque puede perjudicar al avance más que favorecerlos. Los márgenes que se deben de cumplir para la implantación con éxitos suelen ser los siguientes [3]:

- $0.65 < CB < 0.815 \rightarrow$ *Nuestro buque cumple (0.72)*
- $5.5 < L/B < 7.0 \rightarrow$ *Nuestro buque cumple ($\frac{298}{47} = 6.3$)*
- $CB * B/L < 0.135 \rightarrow$ *Nuestro buque cumple ($0.72 * \frac{47}{297} = 0.113$)*
- $0.16 < F_n < 0.57 \rightarrow$ *Nuestro buque cumple (0.41)*

Por tanto es conveniente que el buque proyecto disponga de bulbo. Debido a las similitudes que hay con el buque base vamos a suponer que el bulbo de nuestro buque es similar al bulbo del buque base (forma de "peonza").

A la hora de definir el bulbo hay que tener en cuenta los siguientes parámetros [3]:

- P: Protuberancia, es la distancia desde la perpendicular de proa al extremo del bulbo.
- h: Altura, distancia del extremo del bulbo a la línea base.
- A_{20} : Área de la cuaderna 20 (perpendicular de proa).
- Parametros "f" y "t":

$$f = \frac{A_{20}}{A_{\ominus}} \quad t = \frac{A_t - A_{20}}{A_{\ominus} - A_{20}}$$

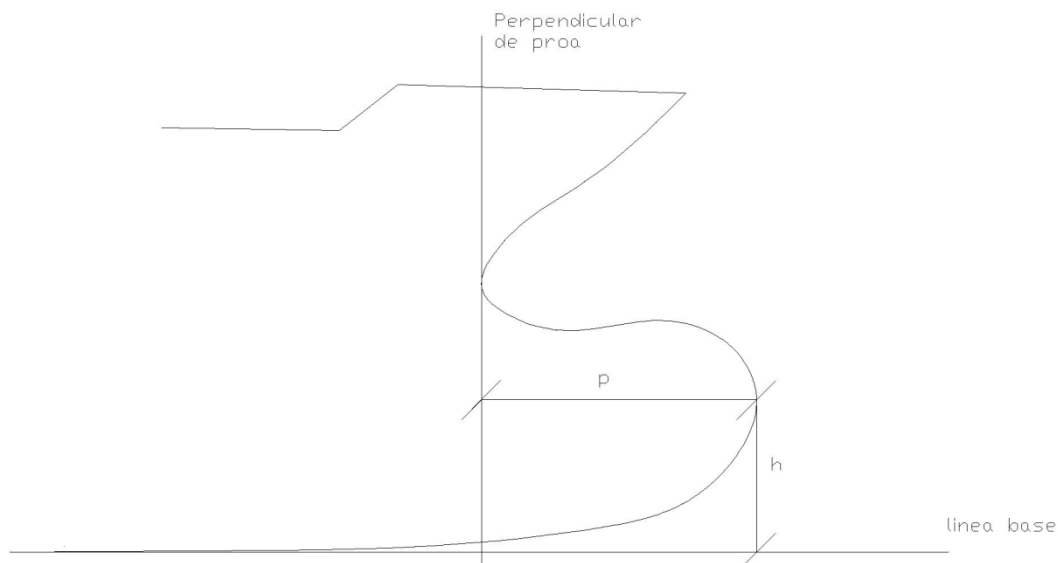


Figura 6.10 (Parámetros del bulbo)

Como para el buque lo único que vamos a definir es el calado, el único parámetro que a tener en cuenta va a ser la “h”.

El criterio para fijar la “h” del bulbo es mediante el calado de proa. Así tendremos que la “h” del bulbo tendrá que estar comprendida entre los siguientes parámetros:

$$0.55T_{pr} < h < 0.75T_{pr}$$

Si suponemos que el buque no tiene asiento tendremos entonces que:

$$T_{pr} = T = 11.9 \text{ m}$$

Por lo tanto, sustituyendo este valor en el apartado anterior se obtendrá una “h” para el bulbo entre los siguientes valores:

- $0.55T_{pr} = 6.545$
- $0.75T_{pr} = 8.925$

Teniendo esto en cuenta se va a establecer una “h” para del bulbo de 8.92 m y una distancia desde el extremo del bulbo hasta la línea que pase por la parte

superior de este de 2 m teniendo en total una distancia desde la línea base a la parte superior del bulbo de 10.92 m.

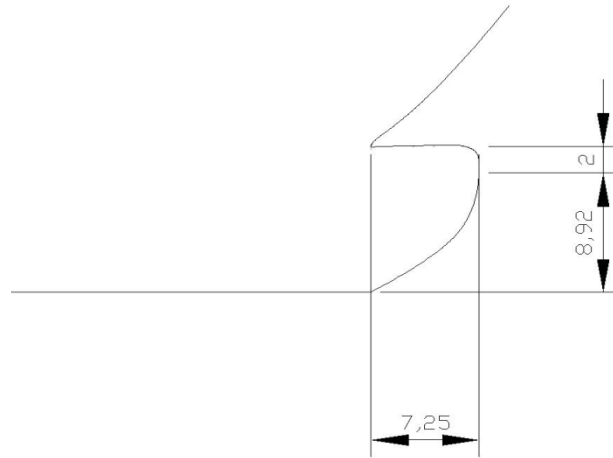


Figura 6.11 (Dimensiones del bulbo)

Si se toma esa altura total “H” (10.92 m) como la situación extrema para que el buque pueda navegar con el bulbo sumergido se obtendrá que el mínimo calado para que el bulbo se encuentre sumergido será de $T = 10.92$ m.

Por lo tanto se deberá de hacer el estudio del lastre, de estabilidad y demás para este calado.

Lo primero es calcular el volumen de lastre para esta situación considerando que el buque navega sin carga. Para ello, a través de la tabla 6.1 se ha hecho una regresión relacionando los calados de los diversos buques con el desplazamiento de los mismos. Así se ha obtenido la siguiente gráfica:

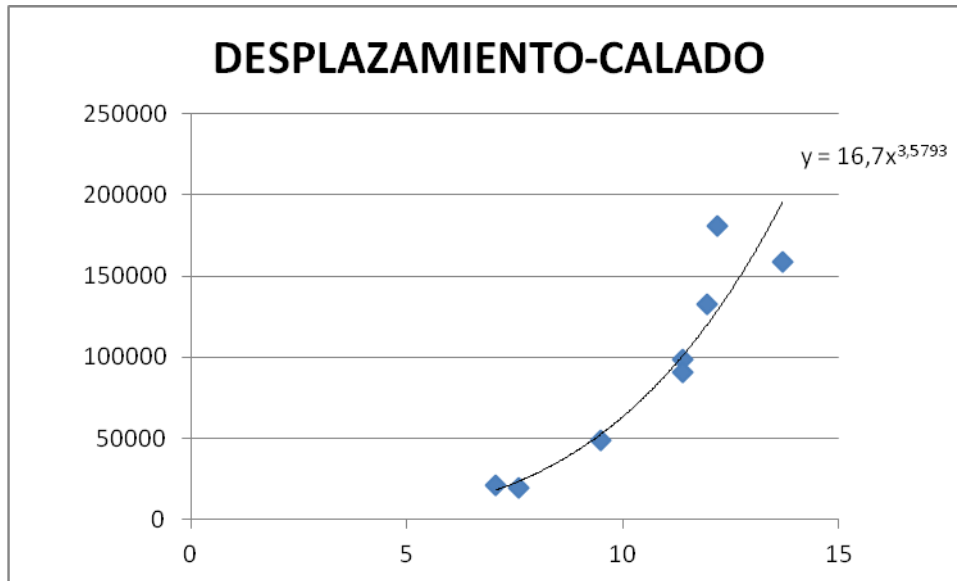


Figura 6.12 (Relación entre Desplazamiento – Calado)

A partir de esta gráfica y de la fórmula exponencial que aporta la línea de tendencia se podrá calcular el desplazamiento aproximado que tendrá el barco a un determinado calado. Por tanto, sustituyendo el $T = 10.92$ m en dicha fórmula se obtiene:

$$y = 16.7x^{3.5793} = 16.7 * 10.92^{3.5793} = 86861.4 T \quad (27)$$

Si a este desplazamiento le quitamos el peso en rosca del buque se obtendrá el peso muerto que el barco lleva a bordo.

$$\Delta = PR + PM \rightarrow PM = \Delta - PR = 86861.4 - 26628 = 60233.4 T \quad (25)$$

Si se considera todo este peso como agua de lastre de $1.025 T/m^3$, tendríamos que:

$$\frac{60233.4 T}{1.025 T/m^3} = 58764.3 m^3$$

Este resultado es muy próximo a la estimación hecha anteriormente en la sección 6.2.8.

6.5.2. INMERSIÓN DE POPA

Basándonos en el buque base (3.4) se puede comprobar que este barco usa una hélice de 4 palas de un diámetro de 8.3 m. Debido a la similitud de este buque con el buque que se está diseñando, se va a instalar la misma hélice. Por lo tanto, en este apartado se va a comprobar que con el calado establecido se cumplen los requisitos de inmersión de la hélice.

En teoría la inmersión de la hélice tiene que estar como mínimo a 0.1D desde el extremo de la pala a la superficie del agua para que esta tenga un buen funcionamiento [3].

Si observamos el plano de disposición general del buque base se puede comprobar que esta se encuentra colocada aproximadamente a 5 metros de la línea base. Por lo tanto, para el buque proyecto se va a suponer que esta se encuentra a 5 metros de la línea base también.

Entonces se tendrá que:

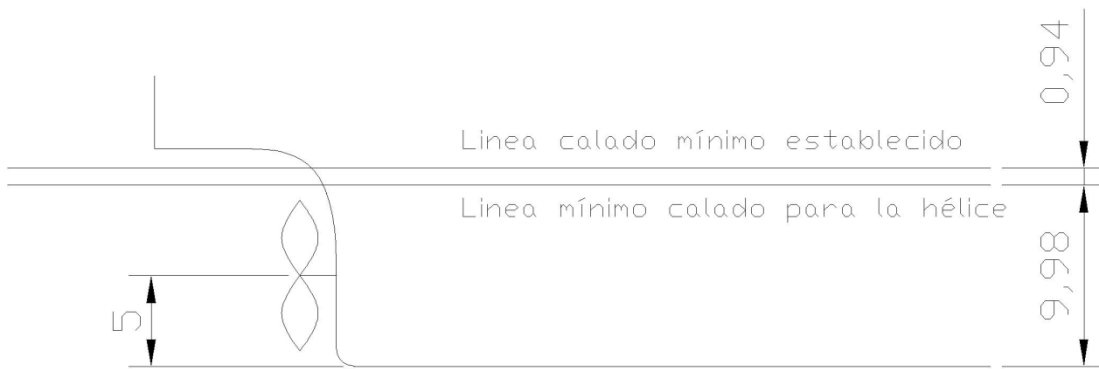


Figura 6.13 (Inmersión de la hélice)

Observando el dibujo la distancia de la línea base al extremo superior de la pala sería:

$$\text{Distancia } (LB - S) = 5 + \frac{8.3}{2} = 9.15 \text{ m} \quad (28)$$

La mínima distancia que debe de haber entre la línea de flotación y la pala de la hélice es:

$$I_{\text{mínima}} = 0.1D = 0.1 * 8.3 = 0.83 \text{ m} \quad (29)$$

Por tanto el mínimo calado que debería de tener el buque para que la hélice se encuentre lo suficiente sumergida para que esta tenga una buena operación es:

$$T_{\text{mínimo}} = \text{Distancia } (LB - S) + I_{\text{mínima}} = 9.15 + 0.83 = 9.98 \text{ m} \quad (30)$$

Como se puede observar el calado establecido como mínimo para que el bulbo este sumergido sea mayor que el mínimo calado para la hélice:

$$10.92 > 9.98$$

Por lo tanto para este calado la hélice cumple los requisitos.

El buque podría emerger 0.94 metros más y la hélice seguiría funcionando correctamente, aunque el bulbo se encontraría fuera del agua no funcionando correctamente.

6.5.3. ESTUDIO DE ESTABILIDAD INICIAL (condición lastre)

En este apartado se comprobará que para este calado, el buque cumple con los requisitos de estabilidad. Por lo tanto, vamos a tener que volver a calcular los coeficientes adimensionales, variaciones en el centro de gravedad, centro de carena, etc. Esto es debido a que al variar el calado del buque va a variar el desplazamiento, volumen de carena sumergida, coeficientes, etc.

Por tanto para realizar el cálculo partimos de los siguientes datos:

- Eslora (pp): 282 m
- Manga: 47 m
- Puntal: 27 m
- Calado: 10.92 m
- Desplazamiento: 86861.4 T
- PR: 26628 T
- PM: 60233.4 T
- Volumen de carena: 84742.83 m^3

6.5.3.1. COEFICIENTES ADIMENSIONALES:

[2]:

CB:

Sustituyendo en (13)

$$CB = \frac{\nabla}{LBT} = \frac{84742.83}{282 * 47 * 10.92} = 0.59$$

CM:

Mediante la fórmula de Kerlen (15):

$$CM = 1.006 - 0.0056 * 0.59^{-3.56} = 0.97$$

CP:

Sustituyendo en (16)

$$CP = \frac{CB}{CM} = \frac{0.59}{0.97} = 0.61$$

CF:

Mediante la fórmula de Schneekluth (formas en U) (17):

$$CF = \frac{(1 + 2CB)}{3} = \frac{(1 + 2 * 0.59)}{3} = 0.73$$

6.5.3.2. CALCULO GM:

KC:

Mediante la fórmula de Euler (22):

$$KB = \frac{T}{1 + \frac{CB}{CF}} = \frac{10.92}{1 + \frac{0.59}{0.73}} = 6.04 \text{ m}$$

CM:

Mediante la fórmula de Normand (23):

$$CM = \frac{L_{PP} * B^3 (0.894 * CF^2 + 0.096)}{12 * \nabla} = \frac{282 * 47^3 (0.894 * 0.73^2 + 0.096)}{12 * 84742.83}$$

$$= 16.48 \text{ m}$$

KG (24):

$$KG = \frac{0.9 * PR * D + 0.65 * PM * D}{\Delta} = \frac{0.9 * 26628 * 27 + 0.35 * 60233.4 * 27}{86861.4}$$

$$= 14.00 \text{ m}$$

GM (21):

$$GM = KC + CM - KG = 6.04 + 16.48 - 14.00 = 8.51 \text{ m}$$

Como se puede ver para esta condición la estabilidad inicial es mayor que la requerida por la normativa. Por lo tanto se puede establecer esta condición como correcta. Aunque debido a que posee un gran GM este va a tener un comportamiento muy brusco.

Como hemos visto el buque navegando en este calado cumple con los tres requisitos establecidos anteriormente (6.5) por tanto se va a establecer una capacidad de lastre de 58800 m^3 para el buque proyecto.

6.6. DISPOSICIÓN DEL LASTRE

A continuación se va a describir como iría alojado y en qué lugar en el buque el agua de lastre.

Normalmente los tanques de lastre en buques LNG se encuentran alojados en el doble fondo y doble forro del buque, en la zona de carga del mismo como se vio en el capítulo 2 y 3.

Así para saber la capacidad de lastre, la forma de los tanques... será necesario saber las dimensiones principales del doble fondo y del doble forro.

A continuación se hará una estimación de la dimensión principal del doble forro y doble fondo para tener una idea de la dimensión de los tanques.

6.6.1. DOBLE FONDO

De acuerdo con lo que dicen las sociedades de clasificación la altura del doble fondo no podrá ser inferior a la de los siguientes valores [1]:

- $d_b = B/15$
- $d_b = 2$

Aplicando esto al buque se observara que:

$$d_b = \frac{47}{15} = 3.13 \text{ m} \quad (31)$$

Si se observa el buque base, tiene un doble fondo de 3.10 m de puntal el cual no sería válido para el buque proyecto puesto que no estaría permitido por las sociedades de clasificación.

En este caso vamos a establecer una altura de doble fondo de 3.15 m.

6.6.2. DOBLE CASCO

De acuerdo con las sociedades de clasificación estas dicen que para este tipo de buques el doble casco no será inferior a 720 mm [1].

Si se hace referencia al doble casco del buque base este tiene un espesor de 2.634 m.

En este caso, considerando que la manga es un metro más ancha se va establecer un doble casco de 2.691 m.

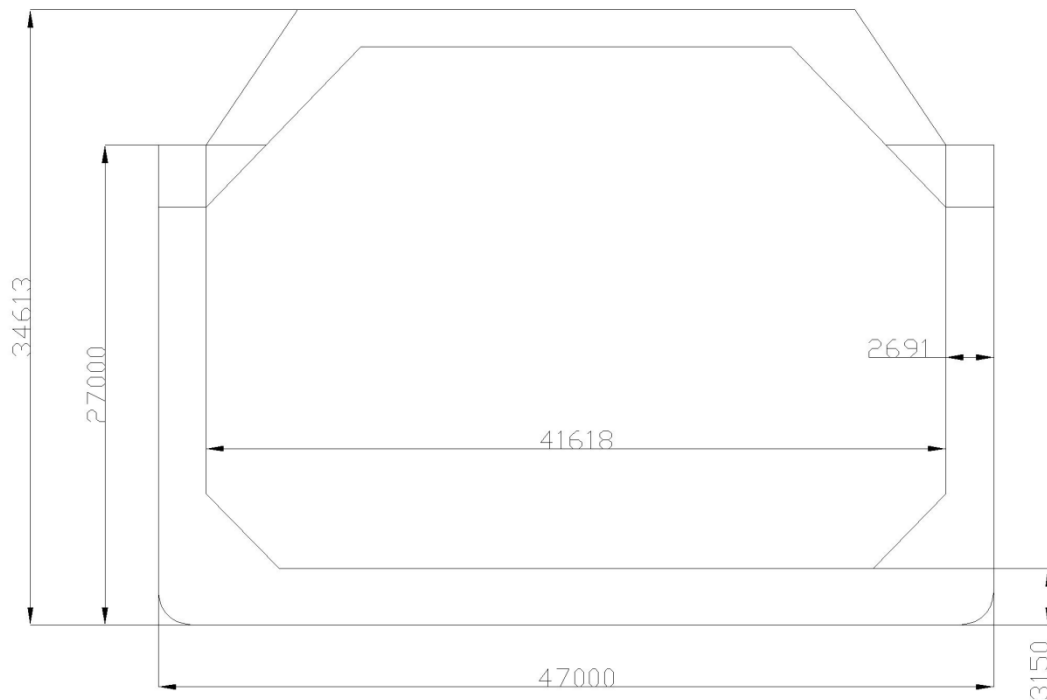


Figura 6.14 (Sección transversal del buque)

6.6.3. CAPACIDAD TOTAL DE LOS TANQUES DE LASTRE

Basándonos en el buque base vamos a calcular de una manera aproximada la capacidad total aproximada de los tanques de lastre.



Figura 6.15 (Sección longitudinal del buque)

Como se desconocen las formas del casco, se calcularán de manera aproximada a partir de las similitudes existentes con el buque base. Por tanto comparando las esloras entre perpendiculares se tiene que:

$$\frac{L_{pp(mio)}}{L_{pp(base)}} = \frac{282}{280} = 1.007 \quad (32)$$

Si se observa el plano de tanques del buque base podemos comprobar que la capacidad total de este buque es de 59687.9 m^3 . Aplicando este factor dimensional existente entre los dos buques obtendremos una aproximación de la capacidad total del buque proyecto:

$$C_{TOTAL} = 1.007^3 * 59687.9 = 60950.14 \text{ m}^3 \quad (33)$$

También se podrá hacer el mismo cálculo comparándolo con el volumen de carga lo cual sería más correcto. Así tendremos que:

$$\frac{V_{carga(mio)}}{V_{carga(base)}} = \frac{176000}{173000} = 1.017 \quad (34)$$

$$C_{TOTAL} = 1.017 * 59687.9 = 60722.95 \text{ m}^3 \quad (35)$$

Mediante el cálculo del área transversal de los tanques de lastre en AutoCAD, multiplicada por sumatoria de la eslora de dichos tanques resulta un valor en torno al calculado mediante estos métodos, por tanto:

La capacidad total de los tanques va a estar en torno a los 61000 metros cúbicos.

La capacidad de los tanques de lastre estimada será la siguiente:

<u>Tanque Babor/estribor</u>	<u>Capacidad metros cúbicos</u>
Pique de proa	1844.9
Tanque 1	5833.1
Tanque 2	7028.5
Tanque 3	7212.9
Tanque 4	7126.3

Tabla 6-2 (Capacidades de los tanques)

En esta tabla no se ha introducido la capacidad del tanque del pique de popa.

Para más información sobre la disposición ver ANEXO 1.

6.7. CONCLUSIÓN

Como conclusión de lo desarrollado en este capítulo se puede sacar que se debe de dimensionar el sistema de lastre para una capacidad de 58800 m^3 ya que se ha dimensionado el buque de manera que este opere con un calado mínimo de 10.92 metros.

Si se considera la peor situación de este, sería navegando en condición de lastre al mínimo calado permitido y para esto sería necesario cargar una cantidad de 58764.3 m^3 por lo que esta capacidad de lastre junto con una estimación de tiempo de 12 horas para el lastrado será lo tenido en cuenta a la hora de dimensionar el sistema de lastre⁵.

⁵ Las 12 horas para el lastrado o deslastrado han sido estimadas a partir de buques LNG de características similares los cuales tardan sobre 12 horas en realizar la carga y descarga del gas. Algunos armadores consideran como requisito debido a esto un tiempo de 12 horas para el lastrado y deslastrado del buque.

Capítulo 7. Definición del sistema de lastre según la normativa.

7.1. Introducción.

A lo largo de este capítulo se relacionarán las principales características del buque interesantes para desarrollar el sistema de lastre (capacidad de lastre, año de fabricación, etc.) estudiadas en el capítulo 6 con la normativa que se le ha de aplicar al mismo desarrollada a lo largo capítulo 4 de este proyecto.

El objetivo es situar el buque por sus cualidades en el lugar correspondiente dentro de la normativa IMO y de lo dispuesto por las diferentes sociedades de clasificación para posteriormente, según la normativa aplicable al mismo, diseñar el sistema de lastre del buque.

Así a lo largo de este capítulo se abordarán los siguientes temas:

- Normativa aplicable al buque según su año de fabricación y capacidad de lastre.
- Método a implantar para el cambio de agua de lastre.

Parte fundamental del proyecto para que en los capítulos posteriores poder diseñar el sistema de lastre del buque según la normativa aplicable al mismo.

7.2. Normativa aplicable al buque debido a su año de fabricación y capacidad de lastre.

Para situar el buque proyecto en la normativa aplicable para el mismo, como se ha podido comprobar a lo largo del capítulo 4, tanto la IMO (4.2) como las tres sociedades de clasificación explicadas (ABS (4.3.1.), DNV (4.3.2.) y LR (4.3.3)) ofrecen dos métodos a llevar a cabo para el intercambio de agua de lastre:

- Cambio del agua de lastre: Mediante el cual se le aplicará lo descrito por la regla D-1 (4.2.1.4) ofreciendo tres maneras de operar (4.4):
 - Secuencial.
 - Flujo.
 - Dilución.

- Tratamiento de agua de lastre: Mediante el cual se le aplicará lo descrito por la regla D-2 (4.2.1.4).

Así la elección de un método u otro, es decir, el que se aplique la regla D-1 o D-2 al buque será impuesta según su año de fabricación y su capacidad de lastre como esta explicado en la sección 4.2.1.2 y queda resumido en la figura 4.2 o 4.3.

En este caso, se puede observar que el buque tiene una capacidad de lastre de 58.800 metros cúbicos (calculada en sección 6.5) y es un buque que a fecha de Julio de 2014 aun no se ha construido, por tanto aludiendo a la figura 4.2 el lugar donde se va a situar el buque es el siguiente:

Capacidad del lastre	Fecha de construcción										
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
<1500	<2009	D1 o D2								D2	
	en 2009	D1 o D2 (con excepciones, D1 no más allá del 31 diciembre)									
	>2009	D2									
≥1500 o ≤ 5000	<2009	D1 o D2						D2			
	en 2009	D1 o D2 (con excepciones, D1 no más haya del 31 diciembre)									
	>2009	D2									
>5000	<2012	D1 o D2								D2	
	≥2012	D2									

Tabla 7-1 (Regla aplicable lastre según capacidad y año de fabricación)

Esto quiere decir que por las características del buque del proyecto este tiene que estar de acuerdo con lo descrito por la regla D-2 (4.2.1.4) para poder cumplir con la IMO y con los requisitos de las sociedades de clasificación y por tanto para proceder al cambio del agua de lastre el buque deberá de llevar implantado a bordo un sistema de tratamiento de aguas de lastre.

Este sistema deberá de estar de acuerdo con los procedimientos para la aprobación de sistemas para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques (G8) (sección 4.2.2).

Aun llevando planta de tratamiento deberá de seguir aplicándose la regla B-4 mediante la cual el buque deberá de realizar el cambio de agua de lastre a mas de 200 metros de profundidad y nunca más cerca de 50 metros de la costa (4.2.1.2).

Ante un posible fallo de la planta de tratamiento, el buque deberá de poder ser lastrado y deslastrado asegurando tener una buena estabilidad y seguridad a la hora de la operación. Para ello el sistema de lastre y la planta de tratamiento deberán de ir conectadas en by-pass de manera que el buque se pueda lastrar y deslastrar sin necesidad de pasar el lastre por la planta de tratamiento (LR Parte 5, sección 10, 11.3.3).

Además el sistema de lastre deberá de ir equipado con un mínimo de dos bombas conectadas en by-pass entre las cuales sean capaces de cumplir con los requisitos de lastre (LR Parte 5, sección 10, 11.1).

7.3. Método a implantar para el cambio de aguas de lastre.

Como se ha visto en el apartado anterior para que el buque cumpla con los requisitos de la normativa y de las sociedades de clasificación este deberá de llevar instalada a bordo una planta de tratamiento que depure el agua de lastre antes de su descarga al mar.

Según la regla D-2 (4.2.1.4) el agua de lastre deberá de ser descargada con menos de 10 organismos viables por metro cúbico con un tamaño superior o igual a 50 micrómetros de tamaño mínimo y menos de 10 organismos viables por milímetro con un tamaño menor de 50 micrómetros y superior o igual a 10 micrómetros de dimensión mínima.

Además de:

- *Vibrio Cholerae* toxicógeno: menos de 1 unidad por 100 mililitros o menos de 1 ufc por gramo.
- *Escherichia coli*: menos de 250 ufc por 100 mililitros.
- Enterocos: menos de 100 ufc por 100 mililitros.

Para ello nuestro buque va a estar provisto de una planta de tratamiento conectada en by-pass con el sistema de lastre.

Analizando la sección 5.1 del proyecto, se puede observar que existen diversas maneras de depurar el agua de lastre y que combinando varios métodos se puede conseguir un sistema de tratamiento de agua muy eficaz.

Además, como se ha mencionado anteriormente, ante un posible fallo de la planta de tratamiento el sistema de lastre tiene que poder operar con total normalidad. Para ese caso el sistema de lastre estará dispuesto de tal manera que el buque cumpla con la regla D-1 (4.2.1.4).

En los siguientes apartado se realizará un primer análisis de cómo sería la planta de tratamiento (para el cumplimiento con la regla D-1) y se darán las principales pautas para que en caso de fallo el sistema pueda realizar el proceso de lastrado y deslastrado mediante uno de los métodos de cambio de lastre (para el cumplimiento con la regla D-1).

7.3.1. PLANTA DE TRATAMIENTO

En esta sección se estudiará con detenimiento cada uno de los procesos existentes y se hará una preselección de las partes que van a formar la planta de tratamiento del buque.

Analizando esta sección (5.7) se puede comprobar que existen tres métodos:

- Mecánicos.
- Físicos.
- Químicos.

Para este buque, se ha descartado la realización del tratamiento de agua de lastre mediante productos químicos (5.7.3) porque aunque sea un proceso fácil, eficiente y barato a la hora de su aplicación, el tratamiento de agua mediante estos productos comprende:

- Posibles efectos tóxicos sobre el agua o sobre seres humanos.
- Mayor corrosión en el sistema.
- Liberación de gases.
- Posible generación de subproductos.

Por ello la planta de tratamiento del buque podrá contener instrumentos basados en métodos mecánicos y/o físicos.

Tras observar los métodos físicos en la sección 5.7.2 se puede observar que existen tres métodos a utilizar:

- Ultravioleta (5.1.2.1).
- Cavitación (5.1.2.2).
- Calor (5.1.2.3).

De entre estos tres métodos como se puede ver anteriormente los tres son métodos que nos ofrecen una gran eficiencia y fiabilidad a la hora de tratar el agua pero debido a sus desventajas se va a optar por la elección de uno u de otro.

- El tratamiento mediante ultravioleta necesita que el agua esté libre de turbidez para permitir que la luz pase bien a través de ella además de ser un proceso ineficaz si esta contiene restos de aceites, materiales pesados, etc.
- El proceso de cavitación en la mayoría de los casos se intenta evitar ya que produce una gran erosión, vibraciones y ruidos a bordo.
- Mediante el calor es un proceso sencillo y eficaz, pero debido a la capacidad de nuestro buque sería necesario colocar una caldera o cualquier otro sistema generador de calor a bordo. Además el equipo a instalar para calentar el agua sobre los 50 grados durante un periodo de tiempo sería de unas grandes dimensiones causando un gran empacho en la cámara de maquinas.

Por todo ello la mejor elección para el buque sería instalar una planta de tratamiento mediante rayos ultravioleta combinados con algún dispositivo que elimine esos elementos volátiles, restos de materiales pesados, aceites, etc.

Para ello una buena solución sería implantar un elemento mecánico en la etapa anterior al tratamiento mediante luz ultravioleta.

Si aludimos a la sección 5.7.1 podemos ver que existen dos métodos mecánicos para tratar el agua:

- Separador hidrociclónico (5.7.1.1)
- Filtro (5.7.1.2)

Si se comparan estos dos mecanismos entre si se obtendría que el separador hidrociclónico supone un menor empacho que el filtro pero por contrapartida este no es capaz de eliminar partículas de densidad menor que el agua (como sería por ejemplo el aceite) lo cual establece al filtro como el mejor dispositivo para instalar en nuestra planta junto con la planta de tratamiento mediante ultravioleta. Además algunos filtros permiten su auto-limpieza a la misma vez que este se está utilizando.

Tras este planteamiento se ha llegado a la conclusión de que una buena planta de tratamiento para el buque sería la combinación de un filtro con una cámara de tratamiento ultravioleta.

Si observamos en la sección 5.2 podemos observar algunos fabricantes que han optado por diseñar la planta de tratamiento de la misma manera que se va a diseñar para el buque:

- Alfa Laval (5.8.1).
- Hyde Marine (5.8.5).
- Optimarin (5.8.7).
- Panasia (5.8.9).
- Hamworthy (5.8.12).
- Ecoballast (5.8.13.1).

Estos sistemas serán los tomados como referencia a la hora de diseñar la planta de tratamiento para el buque del proyecto en el capítulo 9.

7.3.2. CAMBIO DE AGUA DE LASTRE.

El sistema de lastre del buque estará dispuesto de tal forma que en caso de fallo de la planta de tratamiento pueda operar con total normalidad.

En este caso el buque deberá de operar con lo dispuesto por la regla D-1 de manera que deberá de utilizar uno de los tres métodos permitidos para realizar el cambio del agua de lastre.

Tanto las sociedades de clasificación como la IMO proponen tres formas de realizar el cambio de agua de lastre (mencionadas anteriormente en el punto 7.2).

- Mediante el método secuencial tan solo haría falta una red de tuberías y que esta estuviera dispuesta de tal forma que pudiéramos evacuar y llenar agua de un solo tanque.
- Mediante el método de flujo tan solo haría falta una red de tuberías igual que en el secuencial. Pero los tanques deberían de estar dimensionados para aguantar sobreesfuerzos (debido a que el cambio de lastre se realizaría a través de los reboses los cuales podrían estar conectados mediante otra red de tubería).
- Mediante el método continuo el buque debería de disponer de dos redes de tubería (una por donde entraría el agua y la otra por donde esta sería evacuada) para tener siempre el mismo nivel a la hora del cambio de lastre.

Teniendo en cuenta que el buque proyecto va a tener una planta de tratamiento y que el método de cambio de lastre solo se realizará en caso de fallo de la planta de tratamiento el método más apropiado a instalar para realizar el cambio sería de manera secuencial debido a que tan solo instalaríamos una red de tubería (por donde el lastre entraría y saldría) con una válvula a la entrada del ramal de cada tanque para seleccionar el mismo. De esta forma los tanques no estarían expuestos a sobrepresiones y el buque podría operar con total normalidad con o sin planta de tratamiento.

7.3.3. BOMBAS Y RED DE TUBERÍAS

Como se ha acordado en el punto anterior (7.2.2.) el buque estará dispuesto de manera que además de realizar el lastrado y deslastrado utilizando la planta de tratamiento también deberá de poder realizar el cambio según el método secuencial con o sin planta de tratamiento. El sistema de lastre deberá de disponer de un diseño que nos permita extraer agua de un solo tanque del buque lo cual será llevado a cabo colocando una válvula al ramal de cada tanque conectados estos a una línea principal.

Además según establecen las sociedades de clasificación como por ejemplo el LR (Parte 5, sección 10, 11.1) o el ABS (Parte 4, Capítulo 6, Sección 4, 7.3) el sistema de lastre deberá de contener un mínimo de dos bombas, las cuales puedan hacerse cargo del deslastrado y lastrado del buque estando las dos en funcionamiento. Por lo tanto el sistema la planta de lastre deberá de tener dispuestas un mínimo de dos bombas obteniendo su capacidad mediante la capacidad del buque y el tiempo determinado para realizar el cambio calculado en la sección 8.2.

Además las bombas no solo tendrán que hacerse cargo del caudal necesario para realizar el lastrado y deslastrado, sino que además deberán de ser capaces de aportar la presión suficiente para lograr que el agua llegue a los tanques, o que esta sea desalojada de ellos. Para ello habrá de calcular las pérdidas de carga ocasionadas en el sistema por los accesorios e incluso por la propia tubería además de calcular la presión a ejercer debido al cambio de altura desarrollado en los puntos 8.5 y 8.6. Con este valor se definirá la presión de las bombas y el espesor de la tubería. El espesor deberá de estar de acuerdo además con el establecido por las sociedades de clasificación como dicta por ejemplo el ABS para tubería metálica (Parte 4, Capítulo 6, Sección 2, 5.1.1)

Otro factor importante a la hora del diseño de la tubería será el cálculo del diámetro de la misma. Este se realizará en función de la velocidad permitida para el fluido debido a la corrosión o a la posible incrustación de sustancias.

7.4. Conclusión: Pasos a seguir para diseño del sistema de lastre del buque.

Tras haber calculado la capacidad de lastre de 58800 metros cúbicos (capítulo 6) y por el año de fabricación de este, se ha llegado a la conclusión de que el buque deberá de llevar a bordo instalada una planta de tratamiento de aguas de lastre, la cual consistirá en un filtro y una cámara UV.

Además este se dimensionará de manera que pueda operar mediante el método de cambio de agua de lastre secuencial utilizando o sin utilizar la planta de tratamiento.

Con esto el buque cumplirá con lo descrito por la IMO y el convenio de aguas de lastre (4.2.1) siempre y cuando cumpla con los procedimientos para su aprobación (4.2.2).

Además según sea el buque supervisado o aprobado por una sociedad de clasificación u otra de las desarrolladas en la sección 4.3 el buque adquirirá la siguiente certificación:

- American Bureau of Shipping: De acuerdo con el apartado 4.3.1.3: **BWT**
- Det Norske Veritas: De acuerdo con el apartado 4.3.2.4: **BWM-T**
- Lloyd's Register: de acuerdo con el apartado 4.3.3.1.1: **BWMP (T)**

Para llevar a cabo el diseño del sistema de lastre se seguirá el orden que se indica a continuación:

- Se diseñará el sistema de lastre del buque sin la planta de tratamiento (capítulo 8) teniendo en cuenta que deberá de poder aplicarse el método secuencial de cambio de aguas de lastre, para lo cual se dispondrá de una válvula en cada tanque que permita o no el paso del fluido.

Para realizar este diseño habrá que tener en cuenta la capacidad total del buque y el requisito de las 12 horas de lastrado.

- Se hará el diseño de la planta de tratamiento consistente en el acoplamiento de un filtro y una cámara UV (capítulo 9).
- Se desarrollara el sistema de lastre completo (sistema de lastre y planta de tratamiento) incluyendo una estimación del presupuesto que costaría tanto la planta de tratamiento como el sistema de lastre (capítulo 10).

Capítulo 8. Diseño y dimensionamiento del sistema de lastre.

8.1. Introducción.

Una vez calculada la capacidad de lastre del buque el siguiente paso será hacer el diseño y el dimensionamiento del sistema de lastre, principal objetivo del presente capítulo.

Así a lo largo de esta sección se calculará el número de bombas a instalar, la disposición de las mismas así como de toda red de tubería. También se deberá de calcular los diámetros de las tuberías, material del que van a estar fabricadas, así como todos los componentes necesarios a instalar para cumplir con lo establecido por las sociedades de clasificación y para que el sistema de lastre funcione correctamente y sea eficiente.

Para ello entre otras cosas se tendrá que tener en cuenta la capacidad para la que vamos a diseñar el sistema de lastre, el tiempo estimado para realizar el lastrado y deslastrado, velocidades permitidas en las tuberías (según sean de aspiración o descarga y material del que están fabricadas), pérdidas de cargas producidas por (accesorios y tubería), balance eléctrico del sistema, etc.

Los datos de los que partimos son los siguientes:

- Capacidad de lastre: 58800 m^3 . (Calculada anteriormente en el capítulo 6).

- Tiempo para lastrar los tanques desde cero: 12 horas. Tiempo estimado a partir de buques LNG de características similares los cuales tardan sobre 12 horas en realizar la carga y descarga del gas. Algunos armadores consideran como requisito debido a esto un tiempo de 12 horas para el lastrado y deslastrado del buque. Así las bombas del sistema de lastre y el dimensionamiento de tubería deberá de ser capaz de realizar la operación de lastrado o deslastrado en un máximo de 12 horas.
- Otro requisito a tener en cuenta es el que imponen las sociedades de clasificación como el ABS mediante el cual el sistema de lastre a bordo del buque deberán de tener dispuesto al menos dos bombas que se hagan cargo de la capacidad de lastre (ABS Parte 4, Capítulo 6, Sección 4, 7.3)). A parte de lo que ordenan las sociedades de clasificación, normalmente los armadores suelen estar de acuerdo en instalar el sistema de manera que si alguna bomba falla el sistema pueda operar como si nada. Por lo que esto también será tenido en cuenta.

8.2. Bombas.

Para calcular el número de bombas de lastre a instalar en el buque hay que tener en cuenta la cantidad total de lastre a cargar y el tiempo para realizar la operación, por tanto se partirá de:

- Cantidad de agua de mar a cargar es de 58800 m^3 .
- Tiempo para realizar la carga o descarga es de 12 horas.

$$C_{1\text{hora}} = \frac{C_{\text{total}}}{t} \quad (1)$$

Sustituyendo:

$$C_{1\text{hora}} = \frac{58800 \text{ m}^3}{12 \text{ h}} = 4900 \text{ m}^3/\text{h}$$

Es decir, se deberá de instalar una bomba o conjunto de bombas que sean capaces de bombear una cantidad de 4900 metros cúbicos como mínimo por hora.

Puesto que habrá situaciones en la que no será necesario que el sistema de lastre del buque trabaje al 100% de su potencia se ha optado por colocar dos bombas de $2500 \text{ m}^3/h$. Con esto no solo se obtiene la posibilidad de tener un

mayor rango de operación en el sistema sino que además se asegura que entre las dos bombas se podrá cumplir con los requisitos de capacidad, tiempo y mínimo de bombas en funcionamiento de acuerdo con la sociedad de clasificación (sección 8.1) ya que entre las dos suman la cantidad de 5000 metros cúbicos a la hora, 500 metros cúbicos por hora más del mínimo requerido.

Por si una de estas dos bombas falla, se instalará una tercera bomba de las mismas características.

Estas tres bombas estarán instaladas en paralelo de manera que puedan funcionar una u otra indistintamente.

8.3. Disposición.

En este apartado se definirá la disposición del sistema de lastre a bordo del buque para satisfacer las necesidades del mismo (como se indico en el punto 7.3.3).

En un primer lugar, se diseñará como si se tratase de un sistema de lastre sin planta de tratamiento de agua de lastre ya que a estas alturas del proyecto se desconoce cómo va a ser la planta de tratamiento a instalar. Así se realizará una descripción inicial de la disposición del sistema de lastre y más adelante cuando se haya diseñado la planta de tratamiento, se modificará esta disposición según sea conveniente.

Teniendo como referencia el buque base, se dividirá el sistema de lastre en dos zonas:

- Zona de carga.
- Zona fuera de carga o cámara de maquinas (este buque no dispone de cámara de bombas).

Así, para una mejor comprensión del funcionamiento del sistema, a continuación se describirán las dos zonas de manera separada:

8.3.1. ZONA DE CARGA:

A la hora de lanzar la tubería en la zona de carga se dividirá la tubería en dos secciones:

- Sección de estribor: Por la cual se instalará una tubería principal que irá a la parte derecha del pasillo del doble fondo y la cual tendrá ramales que abastezcan a los cuatros tanques de estribor y el pique de proa.
- Sección de babor: Por la cual se instalará una tubería principal que irá a lo largo de la zona de babor del pasillo de doble fondo y la cual tendrá cuatro ramales que abastezcan los cuatro tanques de lastre de babor y otro para el pique de proa de babor.

Así, cada ramal dispondrá de una válvula para permitir o no el paso del agua de lastre a través de cada ramal por los motivos estipulados en el punto 7.3.

También conectaremos en la zona de proa la tubería de estribor con la de babor colocando una válvula. Esto va a permitir que en caso de fallo de uno de los sistemas instalados (estribor o babor) se pueda llenar o vaciar los tanques del lado contrario mediante la el sistema del lado contrario.

Así lo descrito anteriormente queda definido en el siguiente diagrama:

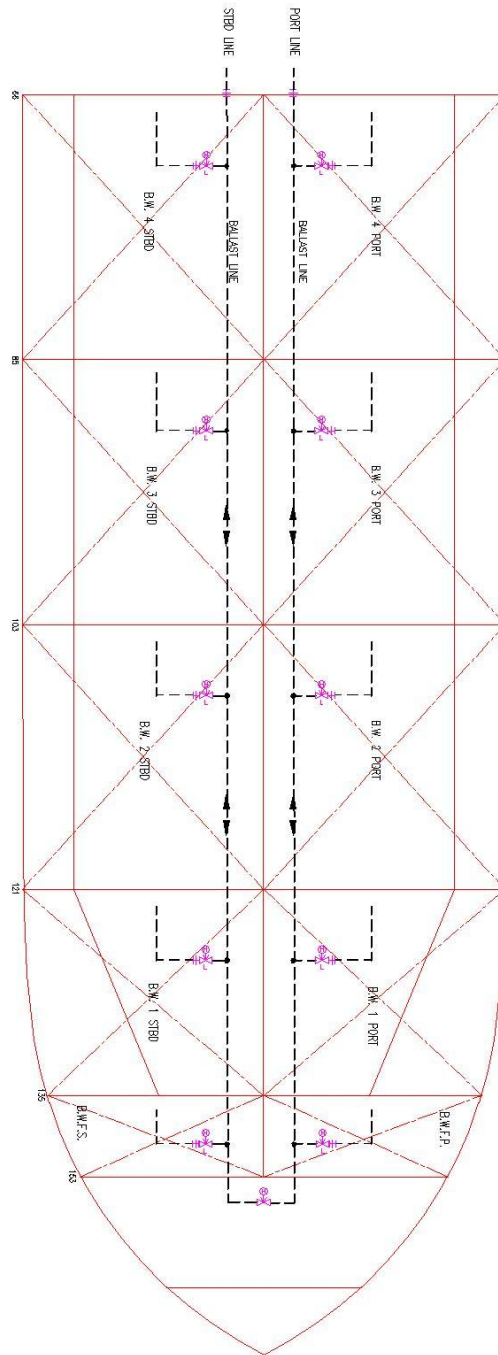


Figura 8.1 (Disposición zona de carga)

8.3.2. ZONA FUERA DE CARGA:

Como las bombas que tienen que operar para que el buque cumpla las condiciones establecidas son dos, y hemos dispuesto dos líneas en la zona de carga, lo que se hará a la hora de disponer las bombas y lanzar la tubería es diseñar un sistema de bombeo de lastre que abastezca la línea de estribor (con una bomba) y otro sistema que abastezca la línea de babor (con la otra bomba).

Así, partiendo de esto se van a tener dos sistemas idénticos instalados uno a babor y otro a estribor como el que se muestra en el siguiente diagrama:

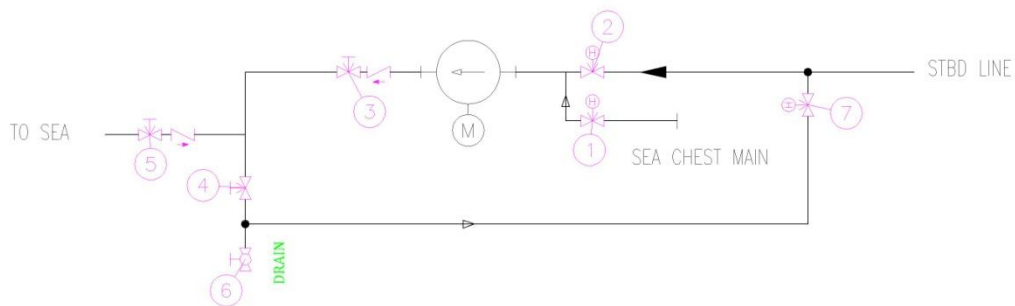


Figura 8.2 (Disposición de una bomba línea de lastre)

Así, visto el diagrama lo siguiente será describir los métodos de operación para lastrear y deslastrear el barco:

- Lastre: A la hora de lastrear el barco mediante la disposición utilizada se deberá de realizar lo siguiente: Colocar las válvulas y grifos 1, 3, 4 y 7 en posición de abiertas para permitir el paso del fluido y las 2, 5 y 6 en posición de cerrado.

De esta manera el agua será aspirada por la bomba mediante el conducto de agua de mar (sea chest main) y distribuida por el circuito hacia la línea de estribor o de babor dependiendo del sistema que sea.

En caso de la tubería este vacía, o tenga aire en su interior, se utilizará el grifo de drenaje para quitarle el mismo.

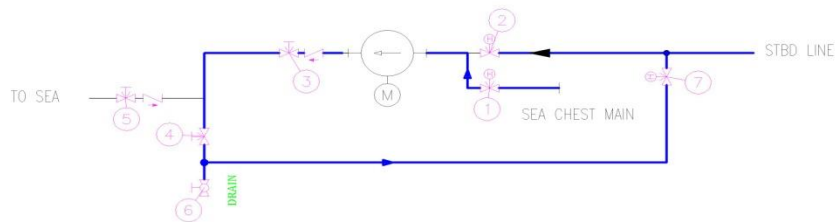


Figura 8.3 (flujo de agua lastrado)

- Deslastrado: A la hora de deslastrar el barco mediante la disposición utilizada se deberá de realizar lo siguiente: Colocar las válvulas y grifos 2, 3 y 5 en posición de abierto para que pueda pasar el agua a través de ellos y el 1,4 y 7 en posición de cerrado. De esta forma la bomba aspirara el agua de la línea de lastre de babor o de estribor desalojándola al mar.

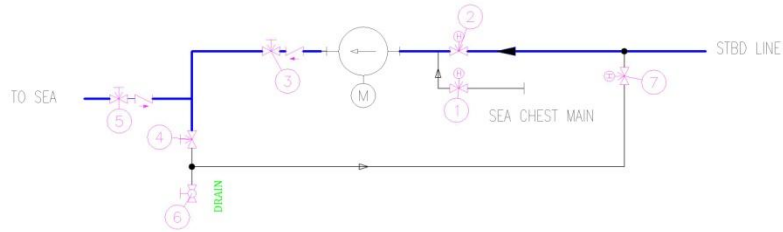


Figura 8.4 (flujo de agua deslastrado)

Una vez explicado como estaría dispuesto y como funcionaría el sistema de una banda independientemente, ahora se mostrará como quedarían unidos entre ellos.

Como se ha descrito antes, las dos redes ya se encuentran relacionadas entre sí mediante una válvula dispuesta en la zona de proa que une las dos redes principales (babor y estribor), pero es conveniente que estos sistemas puedan relacionarse mediante otra manera, no solo para obtener una mejor fiabilidad si no para poder operar con un mayor rendimiento.

Así para relacionar el sistema de bombeo de babor con el sistema de bombeo de estribor bastaría con unir ambos mediante tuberías con sus diversas válvulas de manera que los sistemas quedarían conectados en “paralelo”, siendo independientes pero teniendo la opción de trabajar conjuntamente o uno sobre el otro.

Lo descrito anteriormente quedaría reflejado esquemáticamente de la siguiente manera:

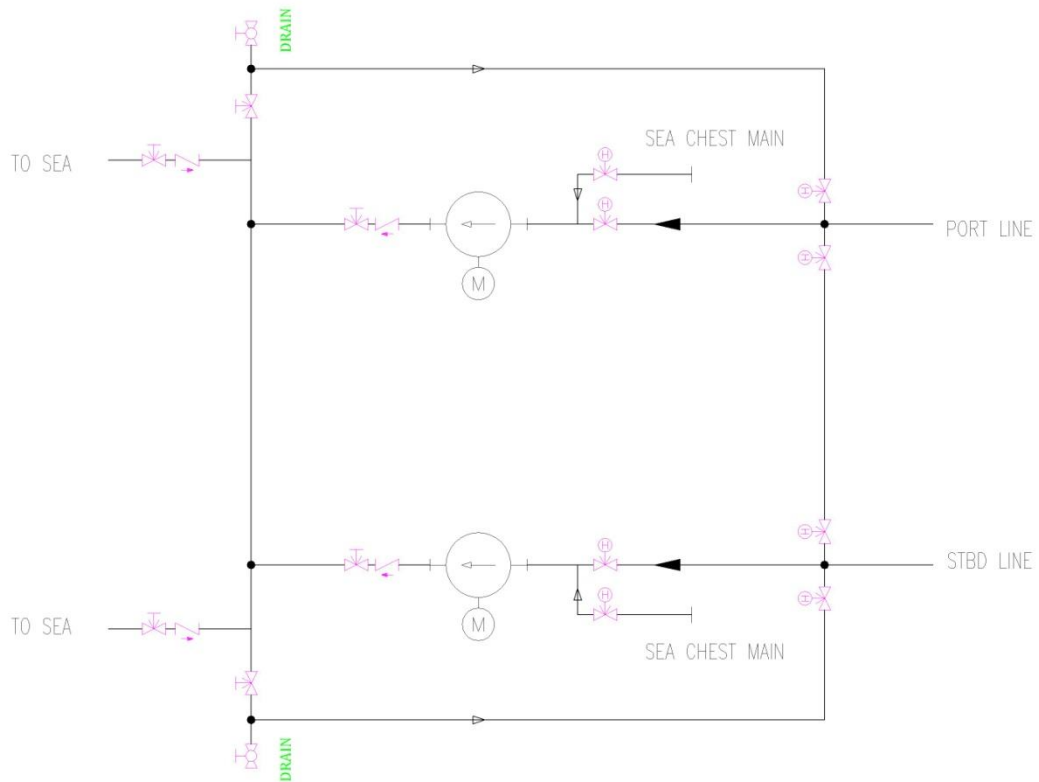


Figura 8.5 (Unión de bombas – banda)

Con esto quedaría definido el sistema de lastre del buque sin la planta de tratamiento y sin la tercera bomba de lastre que se va a instalar de reserva.

Para instalar la tercera bomba, puesto que esta es de características similares a las otras dos, lo único que se tendrá que hacer es colocarla íntegramente en el sistema de igual forma que se han acoplado los otros dos sistemas de tubería entre sí. Así el procedimiento a llevar a cabo es colocar una red de tuberías similar a las otras dos, paralelamente a las tuberías que hemos colocado antes quedando el esquema de la siguiente manera:

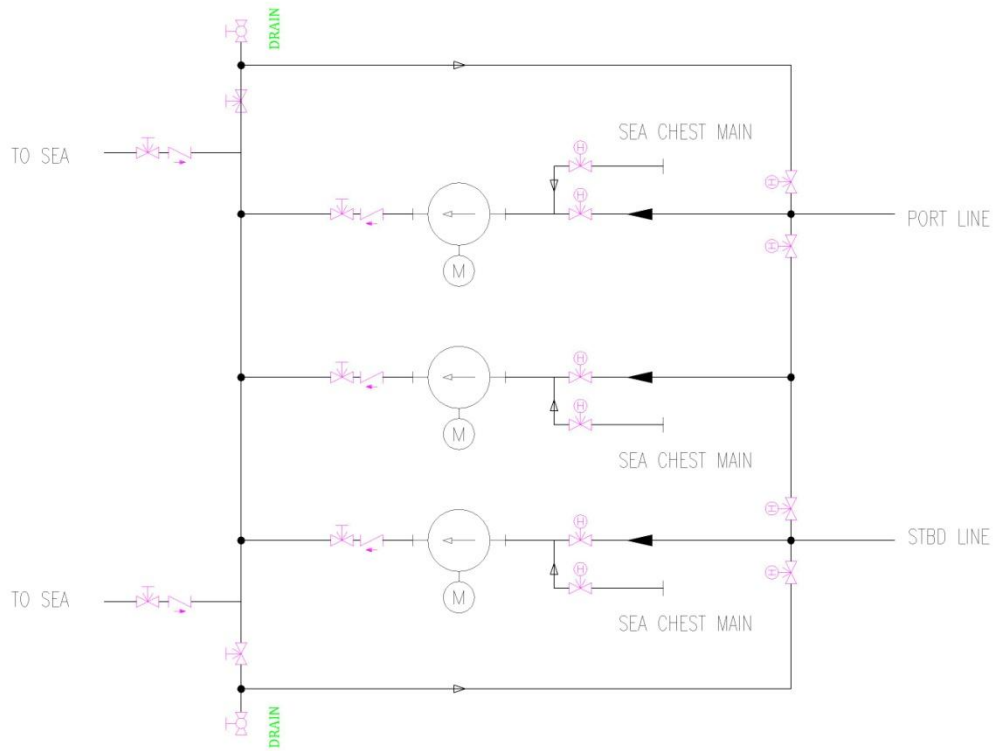


Figura 8.6 (Unión de las tres bombas)

De esta manera las bombas pueden actuar independientemente con su línea, con la línea contraria y en caso de emergencia se podría acoplar la bomba de reserva a cualquiera de las dos líneas.

Por otro lado, las sociedades de clasificación establecen que independientemente del sistema de achique debemos de tener alguna forma alternativa de evacuar el agua acumulada en cualquier compartimento de nuestro buque. Así, las sociedades establecen que en la sala de maquinas deberá de existir una toma situada a menos de 460 mm del suelo de la cámara de maquinas la permita evacuar el agua en caso de emergencia por un medio independiente al de achique (ABS, Parte 4, Capítulo 6, Sección 4, 5.5.5)

Normalmente esta toma suele estar dispuesta en el sistema de refrigeración del buque siendo la bomba del sistema de refrigeración la que actuaría como bomba de sentina para desalojar en agua. Pero en este caso, basándonos en el buque base, situando las bombas en la parte más baja de la cámara de maquinas y puesto que se tiene una bomba que se ha definido como de

emergencia para el lastre, se situará una toma a una distancia de 150 mm del piso de la cámara de maquinas con la idea de que en caso de inundación de la cámara de maquinas y no pudiéndose hacer cargo de la inundación la bomba de sentinas, la bomba de emergencia del lastre pueda evacuar este agua cuando su nivel sobrepase esta distancia mínima.

Así para hacer esto solo sería necesario establecer otro ramal igual que el que va al colector de las tomas de mar pero situando este en la cámara de maquinas a la mínima distancia. Esto en el diagrama quedaría representado de la siguiente manera:

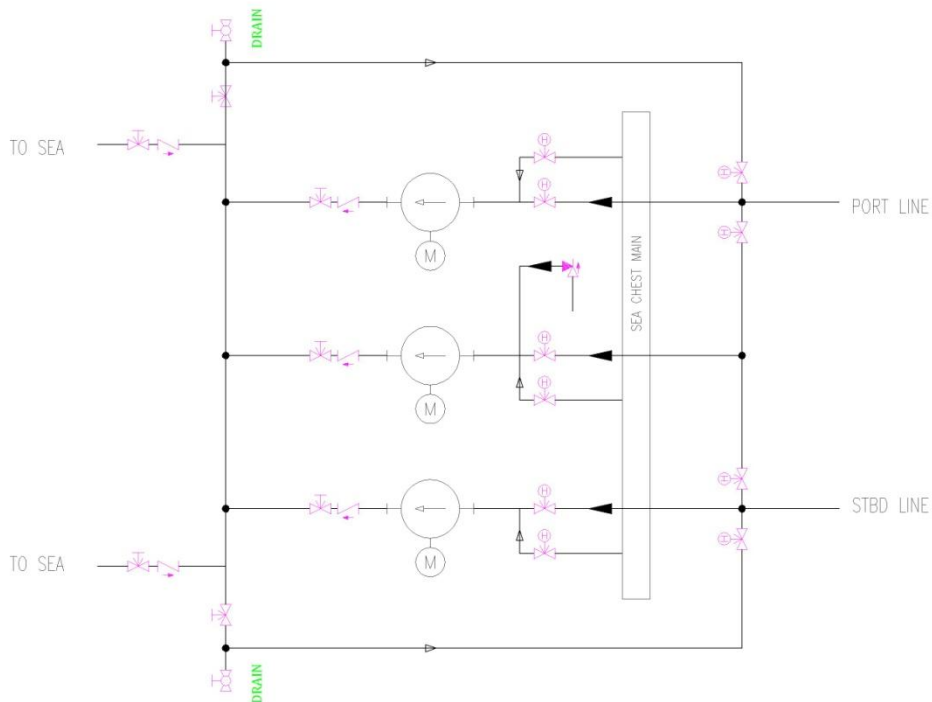


Figura 8.7 (Disposición lastre cámara de maquinas)

Así, una vez hecha una primera descripción de la disposición de la tubería y de los equipos en la cámara de bombas y la disposición de tubería en la zona de carga ya se puede hacer una idea de la cantidad de tubería, accesorios y demás que son necesarias en nuestro buque para que este sistema opere con fiabilidad, eficiencia y flexibilidad a la hora de operar a bordo.

Como se ha dicho anteriormente, se ha de tener en cuenta que aun no se ha colocado la planta de tratamiento.

Este factor, no es de gran importancia a la hora de llevar a cabo el dimensionamiento de la tubería, cálculo de pérdidas de carga y demás, ya que una vez diseñado el sistema de tratamiento, tan solo habrá que conectar este al sistema de lastre haciendo cambios insignificantes.

Una vez conocido esto, durante el resto del capítulo se realizará el cálculo de todos los componentes del sistema de lastre descritos anteriormente.

Para evitar ninguna confusión, a continuación se encuentra la disposición general del sistema de lastre inicial (sin la planta de tratamiento) de estudio para este capítulo.

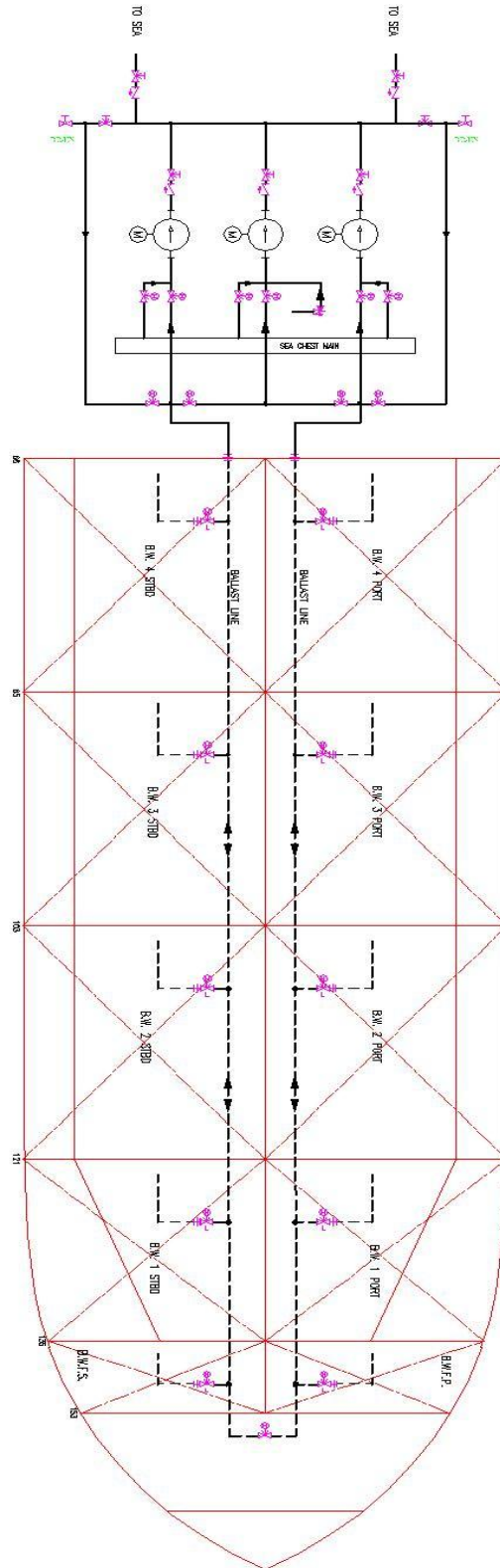


Figura 8.8 (Disposición general sin planta de tratamiento)

8.4. Tubería

Tomando como referencia el buque base, se utilizarán dos tipos de tubería según su material:

- Tubería de acero al carbono galvanizado: Este tipo de tubería será la que se montará a lo largo de la cámara de bombas.
- Tubería de alta resistencia (G.R.P./G.R.E): Este tipo de tubería se dispondrá a lo largo de la zona de carga.

Esto es debido a que el buque no va a poseer pasillo en la zona de carga, por lo que las tuberías irán alojadas a través de los tanques de lastre, y se necesita un material que sea más resistente a la corrosión que el acero al carbono.

Por tanto, para calcular los diámetros de las mismas se tendrá que tener en cuenta las velocidades máximas permitidas establecidas para las tuberías, según el tipo de tubería por el material y según formen parte estas de la aspiración o descarga del sistema. Estas velocidades quedan reflejadas en la siguiente tabla (Figura 2.17, [4]):

Servicio	Velocidad de fluido, m/s	
	Nominal ^a	Límite
Aspiración bomba de condensado	0,06 √ d	0,9
Descarga bomba de condensado	0,18 √ d	2,4
Drenaje de condensado	0,02 √ d	0,3
Aspiración de agua caliente	0,06 √ d	0,9
Descarga de agua caliente	0,18 √ d	2,4
Aspiración de agua de alimentación	0,08 √ d	1,2
Descarga de agua de alimentación	0,24 √ d	3,0
Aspiración de agua dulce fría	0,18 √ d	4,6
Descarga de agua dulce fría	0,3 √ d	6,1
Aspiración bomba de aceite lub	0,06 √ d	1,2
Descarga de aceite lubricante	0,12 √ d	1,8
Aspiración de servicio de FO	0,06 √ d	1,2
Descarga de servicio de FO	0,09 √ d	1,8
Aspiración de trasiego de FO	0,06 √ d	1,8
Descarga de trasiego de FO	0,12 √ d	4,6
Aspiración de comb.destilado	0,12 √ d	2,1
Descarga de comb.destilado	0,3 √ d	3,7
Aspiración de aceite hidráulico	0,09 √ d	2,4
Descarga de aceite hidráulico	0,48 √ d	6,1
Aspiración de agua salada	0,18 √ d	3,7 ^{b,c}
Descarga de agua salada	0,3 √ d	3,7 ^{b,c}
Vapor, alta presión	3,03 √ d	61,0
Exhaustación de vapor, 15 barg.	4,54 √ d	76,0
Exhaustación de vapor, alto vacío	4,54 √ d	100,0

^a d es el diámetro interior en mm.

^b 2,7 m/s para tubería de acero galvanizado

^c La velocidad de agua salada en tubería de titanio y GRP puede exceder estos límites sin erosión perjudicial; sin embargo las pérdidas de fricción, turbulencias y ruidos pueden ser factores limitadores.

Figura 8.9 (Velocidades para tuberías)

Una vez sabido esto, vamos a proceder a hacer una estimación del dimensionamiento de la tubería:

8.4.1. ZONA DE CAMARA DE MAQUINAS.

En tuberías de acero, es aconsejable que la velocidad del agua salada se encuentre entre 2 y 3 metros por segundo para evitar incrustaciones y la erosión de la misma [4]. En principio, vamos a considerar que la velocidad del agua va a ser de 2.5 metros por segundo. Por tanto a partir de esto se obtendrá el diámetro de la tubería.

Así se tiene que:

$$Q = V * S \rightarrow S = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

Donde:

- Q: es el caudal.
- S: es la sección de tubería.
- V: es la velocidad del fluido.

Sustituyendo en la expresión (2):

$$S = \frac{2500 \text{ m}^3 / \text{h}}{2.5 \text{ m/s}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.278 \text{ m}^2$$

Sustituyendo este valor en la expresión del área de una circunferencia se obtiene el diámetro de la tubería:

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} \rightarrow d = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0.278}{\pi}} = 0.595 \text{ m} \quad (3)$$

Para esta velocidad la tubería debería de tener un diámetro de 595 mm.

A continuación se observa una tabla con diámetros de las tuberías comercializadas (Tabla 8, [5]):

Nominal Pipe Size			Outside Diameter (in., mm)				Nominal Wall Thickness (in., mm)	
Standard		Sch.40	Extra Strong		Sch.80		Sch.160	Double Extra Strong
1/8 in. 6 mm	0.405 10.287	0.068 1.727	0.068 1.727	0.095 2.413	0.095 2.413	--	--	
1/4 in. 8 mm	0.540 13.716	0.088 2.235	0.088 2.235	0.119 3.023	0.119 3.023	--	--	
3/8 in. 10 mm	0.675 17.145	0.091 2.311	0.091 2.311	0.126 3.200	0.126 3.200	--	--	
1/2 in. 15 mm	0.840 21.336	0.109 2.769	0.109 2.769	0.147 3.734	0.147 3.734	0.188 4.775	0.294 7.468	
3/4 in. 20 mm	1.050 26.670	0.113 2.870	0.113 2.870	0.154 3.912	0.154 3.912	0.219 5.563	0.308 7.823	
1 in. 25 mm	1.315 33.401	0.133 3.378	0.133 3.378	0.179 4.547	0.179 4.547	0.250 6.350	0.358 9.903	
1 1/4 in. 32 mm	1.660 42.164	0.140 3.556	0.140 3.556	0.191 4.851	0.191 4.851	0.250 6.350	0.382 9.703	
1 1/2 in. 40 mm	1.900 48.260	0.145 3.683	0.145 3.683	0.200 5.080	0.200 5.080	0.281 7.137	0.400 10.160	
2 in. 50 mm	2.375 60.325	0.154 3.912	0.154 3.912	0.218 5.537	0.218 5.537	0.344 8.738	0.436 11.074	
2 1/2 in. 65 mm	2.875 73.025	0.203 5.156	0.203 5.156	0.276 7.010	0.276 7.010	0.375 9.525	0.552 14.021	
3 in. 80 mm	3.500 88.900	0.216 5.486	0.216 5.486	0.300 7.620	0.300 7.620	0.438 11.125	0.600 15.240	
3 1/2 in. 90 mm	4.000 101.600	0.226 5.740	0.226 5.740	0.318 8.077	0.318 8.077	--	--	
4 in. 100 mm	4.500 114.300	0.237 6.020	0.237 6.020	0.337 8.560	0.337 8.560	0.531 13.487	0.674 17.120	
5 in. 125 mm	5.5.63 141.300	0.258 6.553	0.258 6.553	0.375 9.525	0.375 9.525	0.625 15.875	0.750 19.050	
6 in. 150 mm	6.625 168.275	0.280 7.112	0.280 7.112	0.432 10.973	0.432 10.973	0.719 18.263	0.864 21.946	
8 in. 200 mm	8.625 219.075	0.322 8.179	0.322 8.179	0.500 12.700	0.500 12.700	0.906 23.012	0.875 22.225	
10 in. 250 mm	10.750 273.050	0.365 9.271	0.365 9.271	0.500 12.700	0.594 15.088	1.125 28.575	1.000 25.400	
12 in. 300 mm	12.750 323.850	0.375 9.525	0.406 10.312	0.500 12.700	0.688 17.475	1.312 33.325	1.000 25.400	
14 in. 350 mm	14.000 355.600	0.375 9.525	0.438 11.125	0.500 12.700	0.750 19.050	1.406 35.712	--	
16 in. 400 mm	16.000 406.400	0.375 9.525	0.500 12.700	0.500 12.700	0.844 21.438	1.594 40.488	--	
18 in. 450 mm	18.000 457.200	0.375 9.525	0.562 14.275	0.500 12.700	0.938 23.825	1.781 45.231	--	
20 in. 500 mm	20.000 508.000	0.375 9.525	0.594 15.088	0.500 12.700	1.031 26.187	1.969 50.013	--	
22 in. 550 mm	22.000 558.800	0.375 9.525	--	0.500 12.700	1.125 28.575	2.125 53.975	--	
24 in. 600 mm	24.000 609.600	0.375 9.525	0.688 17.475	0.500 12.700	1.219 30.963	2.344 59.538	--	

These pipe sizes and wall thicknesses are according to ANSI B36.10.

Tabla 8-1 (Tabla de tuberías ABS)

Puesto que no hay ningún tubo con el diámetro obtenido se tendrá que elegir uno superior a este. Así la tubería a instalar será la de 600 mm de diámetro interno. Por tanto la velocidad del fluido en esta tubería cambiará siendo ahora:

$$S = \pi \frac{d}{4} = \pi \frac{0.600^2}{4} = 0.283 \text{ m}^2 \quad (4)$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{2500}{0.283} * \frac{1}{3600} = 2.45 \text{ m/s} \quad (5)$$

En un principio se podría establecer el diámetro de la tubería principal de la zona de maquinas de 600 milímetros de diámetro.

8.4.2. ZONA DE CARGA.

El tipo de tubería que vamos a instalar en esta zona permite llevar el fluido a una velocidad mayor que la tubería de acero al carbono debido a las cualidades que ofrece el material a una mayor resistencia a corrosión.

Dicho esto para estimar el cálculo del diámetro de la tubería podemos considerar un valor de 3.5 metros por segundo. (Sección 3, [5])

Así de la misma manera que se ha hecho anteriormente se tendrá que sustituyendo en (2) y (3)

$$S = \frac{2500 \text{ m}^3 / \text{h}}{3.5 \text{ m/s}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.198 \text{ m}^2$$

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} \rightarrow d = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0.198}{\pi}} = 0.502 \text{ m}$$

Viendo el resultado obtenido para esta velocidad se obtiene sale un diámetro de 502 milímetros. Si se observa la tabla 8.1 se comprobará que no existe este diámetro. Por lo tanto se optará por colocar una tubería de 550 mm de diámetro.

Así, para esta tubería la velocidad del fluido sustituyendo en (4) y (5) será:

$$S = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{0.550^2}{4} = 0.238 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{2500}{0.238} * \frac{1}{3600} = 2.92 \text{ m/s}$$

Se podría establecer un diámetro de 550 mm.

8.4.3. RAMAL ZONA DE CARGA.

Para calcular el diámetro de tubería de cada ramal se establecerá una velocidad de 3.5 metros por segundo y tubería de alta resistencia. Estos ramales van a ser similares para todos los tanques, por tanto calcularemos el ramal que deberíamos de colocar en el tanque de mayor dimensión.

Igual que se ha hecho anteriormente y considerando que el tanque de mayor dimensión tiene un volumen de 7212.9 metros cúbicos y si estimamos un tiempo de llenado de 12 horas se obtendrá que sustituyendo en (2) y (3):

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{7212.9}{3.5 * 12 * 3600} = 0.048m^2$$

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} \rightarrow d = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0.048}{\pi}} = 0.246 \text{ m}$$

Si se establece este diámetro sería suficiente con colocar una tubería de 250 mm de diámetro (tabla 8.1).

Debido a que un tiempo de 12 horas es demasiado tiempo para llenar un solo tanque, se dimensionará el ramal de forma que se pueda llenar el tanque en un tiempo menor, como máximo 5 horas.

Así, para este valor el diámetro de la tubería sustituyendo en (2) y (3) sería el siguiente:

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{7212.9}{3.5 * 5 * 3600} = 0.114m^2$$

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} \rightarrow d = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0.114}{\pi}} = 0.382 \text{ m}$$

Visto este resultado se debería de colocar una tubería de 400 mm de diámetro (tabla 8.1), con lo cual la velocidad sustituyendo en (4) y (5) sería de:

$$S = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{0.400^2}{4} = 0.126 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{7212.9}{0.126 * 5} * \frac{1}{3600} = 3.18 \text{ m/s}$$

De la misma manera se podrá calcular la velocidad del fluido para esta sección de tubería considerando que todo el caudal de la bomba va dirigido al mismo tanque. En este caso la velocidad sería de 5.52 metros por segundo. Esto resulta ser una velocidad excesiva debido a una gran corrosión de la tubería, pero en caso de emergencia podríamos realizar esta operación.

8.5. Pérdidas de carga.

En este punto se hará una estimación de las pérdidas de carga del circuito. Para ello se tomará como guía la [5].

Cuando un fluido circula por una tubería se produce una pérdida de presión que constituye el factor determinante de cómo se reparten los caudales en los sistemas de tuberías, condicionando de esta manera el diámetro de los conductos.

Se denomina pérdida de carga a la disminución de energía total debida al rozamiento por el paso de un fluido a través de un elemento hidráulico. Las pérdidas pueden producirse linealmente a lo largo del conducto (pérdida de carga continua) o bien en los elementos singulares (pérdida de carga localizada). En ambos casos el efecto de las pérdidas va a ser siempre disminuir la presión en el sentido de aguas abajo.

Las pérdidas de carga dependen de varios factores. Entre ellos podemos citar los factores:

- Geométricos: la pérdida de carga será directamente proporcional a la rugosidad de la tubería, e inversamente proporcional al diámetro interior de la misma. También es de imaginar que será proporcional a la longitud a la que se va a someter el fluido.
- Cinemáticos: a mayor velocidad de circulación del fluido, mayor será el caudal transportado, y mayor también las pérdidas de carga.
- Propiedades del fluido: la pérdida de carga también será directamente proporcional a la viscosidad y densidad del fluido transportado.

8.5.1. PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUA

Para calcular las pérdidas de carga en el caso más general, se puede emplear la ecuación de Darcy-Weissbach, propuesta a finales dl siglo XIX:

$$H_r = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Donde " f " es el coeficiente de fricción.

Lo usual es trabajar con el caudal en vez de con la velocidad del fluido, por tanto la expresión quedaría de la siguiente manera:

$$H_r = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \rightarrow H_r = f * \frac{L}{D} * \frac{\left(\frac{Q}{S}\right)^2}{2g} = f * \frac{L}{D} * \frac{1}{2g} * \left(\frac{4 * Q}{\pi * D^2}\right)^2$$

$$H_r = \frac{8}{g\pi^2} * f * L * \frac{Q^2}{D^5} = \beta * L * \frac{Q^2}{D^5}$$

Donde β va a ser:

$$\beta = \frac{8}{g\pi^2} * f \rightarrow \beta = 0.0827 * f$$

Sustituyendo en la expresión:

$$H_r = 0.0827 * f * L * \frac{Q^2}{D^5} \quad (7)$$

A partir de esta expresión vamos a calcular la pérdida de carga producida por la tubería. Lo único que faltaría es conocer el factor de fricción de la tubería de acero al carbono y de G.P.R.

El factor de fricción depende directamente de la velocidad, el diámetro, de la densidad o viscosidad del fluido y de la rugosidad de la pared.

Lo primero para calcular este factor, es calcular el número de Reynolds para ver de qué manera se comporta el fluido en la tubería. Así sustituyendo en la siguiente expresión tendremos que:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\nu} = \frac{D * V}{\nu} = \frac{4 * Q}{\pi * D * \nu} \quad (8)$$

Osborne Reynolds estableció que cuando este número era mayor de 2300 el flujo dejaba de ser laminar, aunque lo cierto es que entre 2000 y 4000 la situación es bastante imprecisa.

Dependiendo de cómo sea el flujo se pueden dar diferentes casos:

- Régimen laminar: En este caso la rugosidad no afecta al valor de f y este va a depender únicamente del número de Reynolds.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

- Régimen turbulento: Donde tendremos que distinguir tres casos:
 - Tubería hidráulicamente lisa: cuando la rugosidad queda cubierta por la subcapa laminar y esta no influye en el valor de f . Por lo tanto el valor de f depende únicamente del número de Reynolds.

Blasius:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{1/4}} \quad Si \ 2300 < Re < 500000 \quad (10)$$

Karman-Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \quad (11)$$

- Tubería hidráulicamente rugosa: Cuando la rugosidad emerge de la subcapa laminar quedando unos puntos de la pared afectados por la turbulencia siendo el caso más frecuente.

Karman-Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \frac{K/D}{3.7} \quad (12)$$

- Régimen turbulento con dominio de la rugosidad: Cuanto mayor es el número de Reynolds, más delgada es la subcapa laminar quedando más puntos afectados por la rugosidad relativa y llegando a ser el número de Reynolds despreciable.

Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{K/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (13)$$

De manera aproximada (1%error):

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{K/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (14)$$

Válido para $Re > 2000$

Debido a la dificultad de estas ecuaciones, estas curvas están representadas en el diagrama de Moody para una mayor facilidad a la hora de calcular el factor de fricción a partir de la rugosidad relativa y del número de Reynolds sin tener que recurrir a estos métodos iterativos.

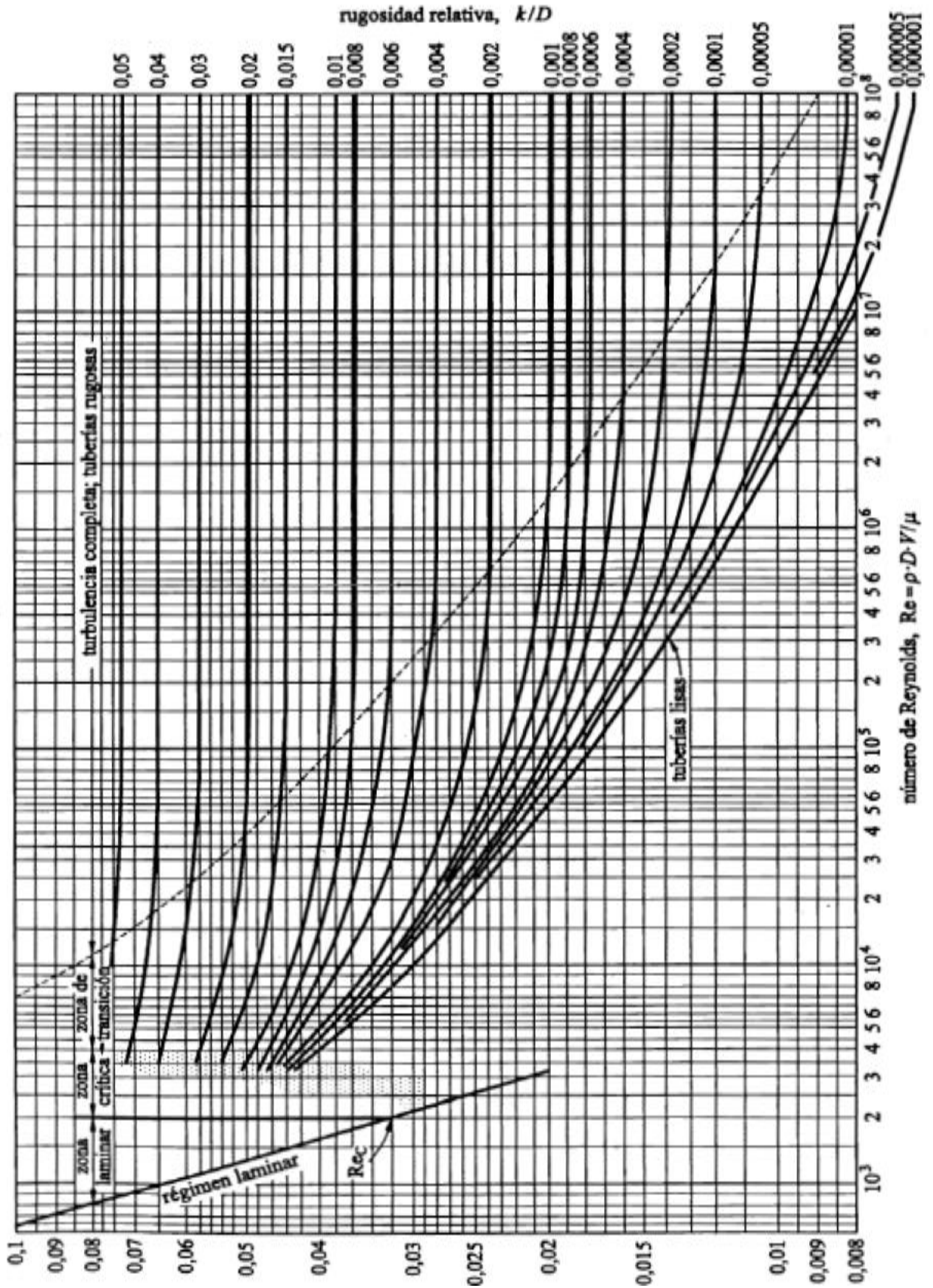


Figura 8.10 (Diagrama Moody)

En el caso del proyecto se tiene que calcular las pérdidas de carga continuas conocidos la longitud, el caudal, el diámetro, la velocidad y el material de la tubería. Así con lo descrito anteriormente se procederá al cálculo de las pérdidas de carga.

Por un lado se tendrán que calcular las pérdidas de carga en la cámara de maquinas y por otro en la zona de carga, puesto que las tuberías están hechas con materiales diferentes. Además puesto que el fluido sigue caminos distintos en la cámara de maquinas tendremos que calcular las pérdidas a la hora del lastrado y del deslastrado y habrá de ponerse en la peor posición para establecer la presión de la bomba.

8.5.1.1 Pérdida de carga cámara de maquinas:

- Rugosidad relativa:

Mirando el diagrama 8.10 se obtiene que para un diámetro de $D=600\text{mm}$ y hierro galvanizado $\rightarrow K/D = 0.00025$

- Número de Reynolds:

Considerando una temperatura de agua salada de $25\text{ }^\circ\text{C}$ se obtiene que la viscosidad dinámica del agua es de: $0.000891\text{ m}^2/\text{s}$

Sustituyendo en la siguiente expresión se obtiene la viscosidad del agua salada:

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.000891}{1.025} = 8.693 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad (15)$$

Sustituyendo en la fórmula del número de Reynolds (8):

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * D * v} = \frac{4 * 2500 * \frac{1}{3600}}{\pi * 600 * \frac{1}{1000} * 8.693 * 10^{-4}} = 1695.28$$

Podemos considerar que el régimen es laminar.

- Calculo el coeficiente de fricción:
Para calcular el coeficiente de fricción se puede recurrir al diagrama de Moody (figura 8.9) o directamente sustituir en la fórmula del coeficiente de fricción para el régimen laminar (9):

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1695.28} = 0.03775$$

- Sustituyendo en la expresión de las pérdidas de carga continua (7):

$$Hr = 0.00827 * 0.03775 * L * \frac{(2500/3600)^2}{(600 * 10^{-3})^5} = 1.897 * 10^{-3}L \quad (16)$$

Para calcular la pérdida de carga continua en la tubería de acero tan solo se tendrá que sustituir la longitud en la misma. Midiendo la tubería en AutoCAD tenemos la aproximación de las dos longitudes de tubería:

- Lastrado:

$$11803 \text{ mm} \rightarrow 11.803 \text{ m}$$

- Deslastrado:

$$21641 \text{ mm} \rightarrow 21.641 \text{ m}$$

Se supondrá 10 metros más de tubería, puesto que se ha incluido la tubería necesaria para incluir la planta de tratamiento.

Sustituyendo en la expresión anterior (16):

- Lastrado:

$$Hr = 1.897 * 10^{-3} L = 1.897 * 10^{-3} * (11.803 + 10) = 0.041 \text{ mca}$$

- Deslastrado:

$$Hr = 1.897 * 10^{-3} L = 1.897 * 10^{-3} * (21.641 + 10) = 0.060 \text{ mca}$$

8.5.1.2 Pérdida de carga en la zona de carga:

En esta zona se deberá de tener en cuenta la pérdida de carga de la tubería principal y la de cada ramal. Por tanto se tendrá que:

- Rugosidad relativa:

Mirando el diagrama (figura 8.10) vemos que se desconoce la rugosidad relativa de este material. Esto puede ser debido a que este tipo de tubería apenas ofrece resistencia al paso de un fluido o a que debido a su antigüedad la tabla está obsoleta. Se supondrá la misma rugosidad relativa que el acero comercial. Por tanto para un diámetro de 550 mm se considerará una rugosidad relativa de $\rightarrow K/D = 0.00008$

- Número de Reynolds: Sabida la viscosidad y sustituyendo en la fórmula del número de Reynolds (8) tendremos que:

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * D * v} = \frac{4 * 2500 * \frac{1}{3600}}{\pi * 550 * \frac{1}{1000} * 8.693 * 10^{-4}} = 1849.33$$

Por lo que se podrá considerar como un fluido laminar.

- Coeficiente de fricción:

Para calcular el coeficiente de fricción se podrá recurrir al diagrama de Moody (figura 8.9) o directamente sustituir en la fórmula del coeficiente de fricción para el régimen laminar (9):

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1849.33} = 0.0346$$

- Sustituyendo en la expresión de las pérdidas de carga continua (7):

$$Hr = 0.00827 * 0.0346 * L * \frac{(2500/3600)^2}{(550 * 10^{-3})^5} = 2.742 * 10^{-3} L \quad (17)$$

En este caso se podrá suponer una longitud total de 221.682 metros, por tanto sustituyendo en (17) se tendrá una pérdida de carga en la tubería principal de:

$$Hr = 2.742 * 10^{-3} L = 2.742 * 10^{-3} * 221.682 = 0.608 \text{ mca}$$

8.5.1.3 Pérdida de carga de cada ramal:

- Rugosidad relativa (figura 8.10):

$$K/D = 0.00011$$

- Número de Reynolds (8): Se considerará como si todo el caudal de la bomba pasará por un solo ramal, para posicionarse en la peor situación:

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * D * v} = \frac{4 * 2500 * \frac{1}{3600}}{\pi * 400 * \frac{1}{1000} * 8.693 * 10^{-4}} = 2542.833$$

En este caso el régimen no es laminar.

- Coeficiente de Fricción:
Considerando la tubería hidráulicamente lisa se calculará el coeficiente de fricción a partir de la fórmula de Blasius (10) y se comprobará con el diagrama de Moody (figura 8.9) que el resultado es correcto:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{\frac{1}{4}}} = \frac{0.3164}{(7336.48)^{\frac{1}{4}}} = 0.0446$$

- Pérdida de carga continua (7):

$$Hr = 0.00827 * 0.0446 * L * \frac{(2500/3600)^2}{(400 * 10^{-3})^5} = 17.37 * 10^{-3} L \quad (18)$$

Considerando una longitud de 1286 mm o 1.286 m por cada ramal sustituyendo en (18) se obtendrá una pérdida de carga continua de:

$$Hr = 17.37 * 10^{-3}L = 17.37 * 10^{-3} * 1.286 = 0.022 \text{ mca}$$

Por tanto la pérdida de carga continúa para la situación de lastrado y deslastrado será la suma de la cámara de maquinas (en lastrado o deslastrado), la zona de carga y los cinco ramales:

$$Hr_{TOTAL}(\text{lastrado}) = 0.041 + 0.608 + 5 * 0.022 = 0.759 \text{ m. c. a} \quad (19)$$

$$Hr_{TOTAL}(\text{deslastrado}) = 0.060 + 0.608 + 5 * 0.022 = 0.778 \text{ m. c. a.} \quad (20)$$

8.5.2. PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS:

En un sistema de tuberías, además de las pérdidas por fricción estudiadas en el apartado anterior (8.5.1.), existen pérdidas locales o accidentales debidas a desprendimientos de la capa límite. Estas pueden originarse por:

- Ensanchamiento brusco o gradual de sección.
- Estrechamiento brusco o gradual de sección.
- Entrada o salida de tubería.
- Válvulas.
- Codos, tes y otros accesorios.

Para la determinación de estas pérdidas pueden utilizarse dos procedimientos:

- 1) Método del coeficiente de pérdida.
- 2) Método de longitud equivalente.

Para calcular la pérdida de carga en los accesorios, en este caso se aplicará el método del coeficiente de pérdida.

El coeficiente de pérdida K es un adimensional tal que multiplicado por la altura cinética da la pérdida H_a que origina el accesorio quedando expresada de la siguiente manera:

$$H_a = K * \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

Dependiendo del accesorio se calculará su K y se sustituirá en esta expresión.

Dependiendo del accesorio se calculará su K de una manera u otra lo cual quedará reflejado a continuación:

- Ensanchamiento brusco de la sección:

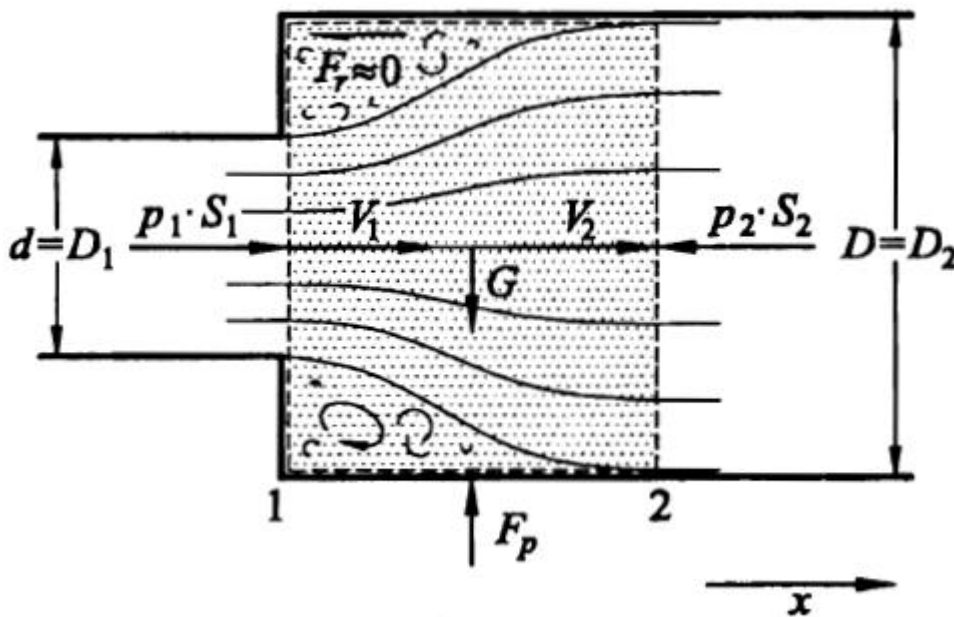


Figura 8.12 (Ensanchamiento brusco de la sección)

En este caso:

$$K = \left(1 - \frac{a^2}{D^2}\right)^2 \quad (22)$$

- Salida de tubería o entrada en depósito: Se considera como si fuese un estrechamiento muy grande, por lo que K tiende a ser 1.
- Ensanchamiento gradual:

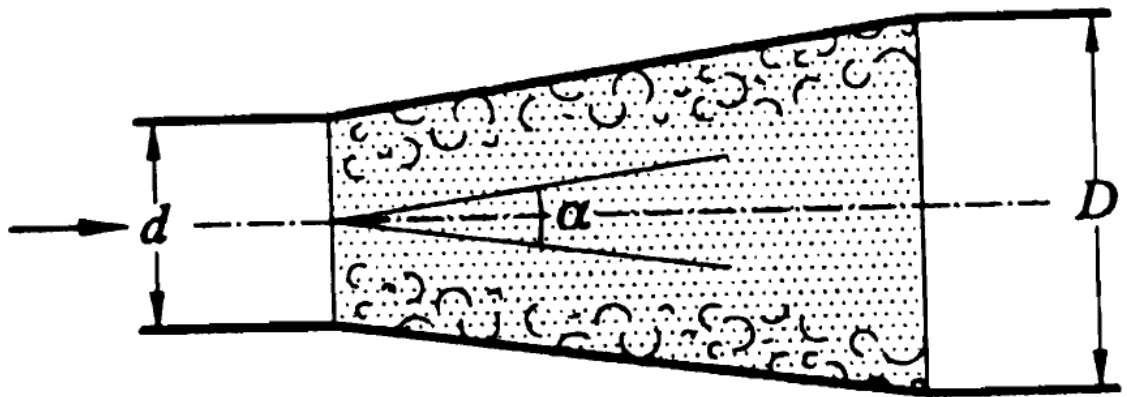


Figura 8.13 (Ensanchamiento gradual)

En este caso se tendrá que:

$$K = a \left(1 - \frac{a^2}{D^2}\right)^2 \quad (23)$$

Donde: $a = f(\alpha)$ reflejado en la siguiente tabla:

α	4°	6°	8°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°	180°
a	0.15	0.13	0.14	0.17	0.30	0.40	0.70	0.95	1.1	1.2	1

Tabla 8-2 (Valor de "a" en función del ángulo)

- Estrechamiento brusco y gradual:

Donde:

$$\circ \text{ Si } d/D < 0.76 \rightarrow K = 0.42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (24)$$

$$\circ \text{ Si } d/D > 0.76 \rightarrow K = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (25)$$

- Entrada de tubería o salida de depósito: En este caso podemos ver tres situaciones:

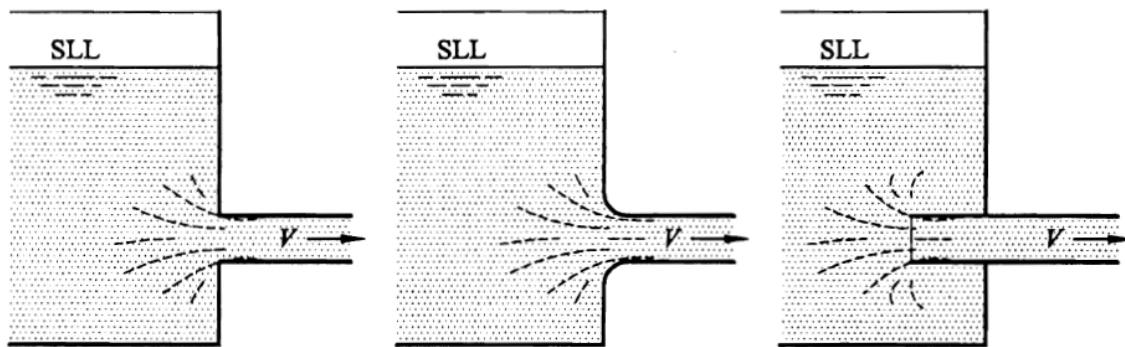


Figura 8.14 (Salida de depósito)

- Para el primer caso: $K=0.42$
 - Para el segundo caso: $0.01 < K < 0.05$
 - Para el tercer caso: $0.8 < K < 1$
- Otros accesorios: Para otras pérdidas de carga puede utilizarse los valores dados en la siguiente figura publicados por la compañía Crane en 1942. Estos valores son solo orientativos siendo los valores exactos los aportados por el fabricante.

Válvula esférica, totalmente abierta	$K = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta	$K = 5$
Válvula de retención de clapeta	$K = 2,5$
Válvula de pie con colador	$K = 0,8$
Válvula de compuerta, totalmente abierta	$K = 0,19$
Codo de retroceso	$K = 2,2$
Empalme en T normal	$K = 1,8$
Codo de 90° normal	$K = 0,9$
Codo de 90° de radio medio	$K = 0,75$
Codo de 90° de radio grande	$K = 0,60$
Codo de 45°	$K = 0,42$

Figura 8.15 (Coeficiente de pérdida en accesorios)

Una vez conocido como hallar el coeficiente de pérdida para las diversas situaciones se dará paso a calcular las pérdidas ocasionadas en el sistema por estos accesorios.

Puesto que en este caso K no dependen del material de las tuberías pero si de la velocidad del fluido en la misma, la ecuación va a tener tres partes diferenciadas:

- Zona de maquinas.
- Zona de carga.
- Ramales de los tanques.

Quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$Ha_{(TOTAL)} = \frac{V_1^2}{2g} \sum k_1 + \frac{V_2^2}{2g} \sum k_2 + \frac{V_3^2}{2g} \sum k_3 \quad (26)$$

A continuación se calcularán los coeficientes de pérdidas para las diversas zonas y posteriormente se sustituirán en la expresión (26).

- Zona de maquinas:
 - Situación de lastrado:
 - Válvula de globo: 2 unidades: $K=10$.
 - Válvula de mariposa: 2 unidades: $K=2.5$.
 - Tees: 4 unidades: $K=1.8$.
 - Codos de 90: 4 unidades: $K=0.75$.
 - Entrada de tubería brusca: 1 unidad: $K=0.42$.
 - Reducción: 1 unidad: $d/D=0.91$, por tanto sustituyendo en (22):

$$K = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 = \left(1 - \frac{550^2}{600^2}\right)^2 = 0.025$$

- Situación de deslastrado:
 - Válvula de globo: 2 unidades: $K=10$.
 - Válvula de mariposa: 1 unidad: $K=2.5$.
 - Tees: 2 unidades: $K=1.8$.
 - Codos 90: 3 unidades: $K=0.75$.
 - Salida de tubería brusca: 1 unidad: $K=1$.
 - Ensanchamiento brusco: 1 unidad: 0.025 .

Por tanto:

$$\sum K_1(\text{lastrado}) = 2 * 10 + 2 * 2.5 + 4 * 1.8 + 4 * 0.75 + 0.42 + 0.025 = 35.645$$

$$\sum K_1(\text{deslastrado}) = 2 * 10 + 2.5 + 2 * 1.8 + 3 * 0.75 + 1 + 0.025 = 29.375$$

- Zona de carga:
 - Codos 90: 1 unidad: K=0.75.
 - Tees: 5 unidades: K=1.8.

Por tanto:

$$\sum K_2 = 0.75 + 5 * 1.8 = 9.750$$

- Ramales:
 - Lastrado:
 - Codo 90: 1 unidad: K=0.75.
 - Salida de tubería: 1 unidad: K=1
 - Deslastrado:
 - Codo 90: 1 unidad: K=0.75.
 - Entrada de tubería en depósito: 1 unidad: K=0.9

Por tanto:

$$\sum K_3(\text{lastrado}) = 0.75 + 1 = 1.750$$

$$\sum K_3(\text{deslastrado}) = 0.75 + 0.9 = 1.650$$

Sustituyendo en la expresión anterior (26) tendremos que:

$$Ha_{(\text{lastrado})} = \frac{2.45^2}{2 * 9.8} * 35.645 + \frac{2.92^2}{2 * 9.8} * 9.750 + \frac{3.18^2}{2 * 9.8} * 1.750 = 16.060 \text{ m. c. a.}$$

$$\begin{aligned} Ha_{(\text{deslastrado})} &= \frac{2.45^2}{2 * 9.8} * 29.375 + \frac{2.92^2}{2 * 9.8} * 9.750 + \frac{3.18^2}{2 * 9.8} * 1.650 \\ &= 14.088 \text{ m. c. a.} \end{aligned}$$

8.5.3. PÉRDIDA DE CARGA TOTAL

La pérdida de carga total en la tubería sería:

$$H(\text{total}) = H_r + H_a \quad (27)$$

Sustituyendo en la expresión (27) para el lastrado y deslastrado tendremos que:

- $H_{\text{total}}(\text{lastrado}) = 0.759 + 16.060 = 16.819 \text{ m. c. a.} \rightarrow 1.648 \text{ bar}$
- $H_{\text{total}}(\text{deslastrado}) = 0.778 + 14.088 = 14.866 \text{ m. c. a.} \rightarrow 1.457 \text{ bar}$

8.6. Cálculo de presión de la bomba.

A lo largo de esta sección se calculará la presión que deberá de tener la bomba a instalar en el buque. Para ello igual que en el apartado anterior seguiremos el guión propuesto por la [4].

A la hora de calcular la presión de diseño de las bombas no solo hay que tener en cuenta las pérdidas de carga ocasionadas por la tubería y por los accesorios, si no que un factor que va a influir bastante a la hora de establecer la presión de la misma va a ser la diferencia de altura que va a existir a lo largo de la tubería. De esta manera se podría establecer una presión en la bomba y una vez esta funcionando no poder evacuar o aspirar el agua por no tener suficiente “fuerza” para dar movimiento al fluido debido a las pérdidas o para elevar este a una altura determinada.

Como ya se conocen las pérdidas ocasionadas por la tubería y por los accesorios (sección 8.5), la meta de este apartado consistirá en calcular la presión correspondiente a la diferencia de altura y poder dar una aproximación de la presión que necesitará cada bomba.

Así para calcular esto utilizaremos la ecuación de Bernuilli (o ecuación de conservación de la energía) el cual establece la siguiente relación:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + H_{r1-r2} \quad (28)$$

Donde:

- $\frac{v^2}{2g} = \textit{energía cinética.}$
- $\frac{p}{\gamma} = \textit{altura de presión.}$

- $H_r = \text{pérdida de carga.}$
- $\frac{P}{\gamma} + Z = \text{altura piezométrica.}$

Se ha supuesto que el sistema de bombas de lastre va a ir colocado a la altura de un metro y medio sobre el fondo del buque y la tubería irá colocada por la parte superior de los tanques de lastre del fondo sin producirse ningún cambio de altura entre el sistema de tubería de la zona de carga y el sistema de tubería de la zona de maquinas.

Sabido esto se deberán de considerar tres cambios en altura en el sistema:

- Aspiración de las bombas del conducto de agua de lastre. Aproximadamente 1 metro.
- Aspiración y descarga de los ramales de los tanques. Aproximadamente 1.4 metros.
- Descarga al mar: Según el ABS la descarga al mar deberá de hacerse a no menos de 450 mm por debajo de la cubierta de francobordo y por encima de 650 mm del calado de verano (ABS, Parte 4, capítulo 6, 3.3.4.). Teniendo en cuenta que el calado de nuestro buque es de 11.9 metros se considerará que la altura de la descarga al mar se encuentra a 12.90 metros (ya que la distancia mínima sería de 12.55).

Mirando el sistema de tuberías del buque desde el plano longitudinal (lateral) la tubería seguiría el siguiente esquema:

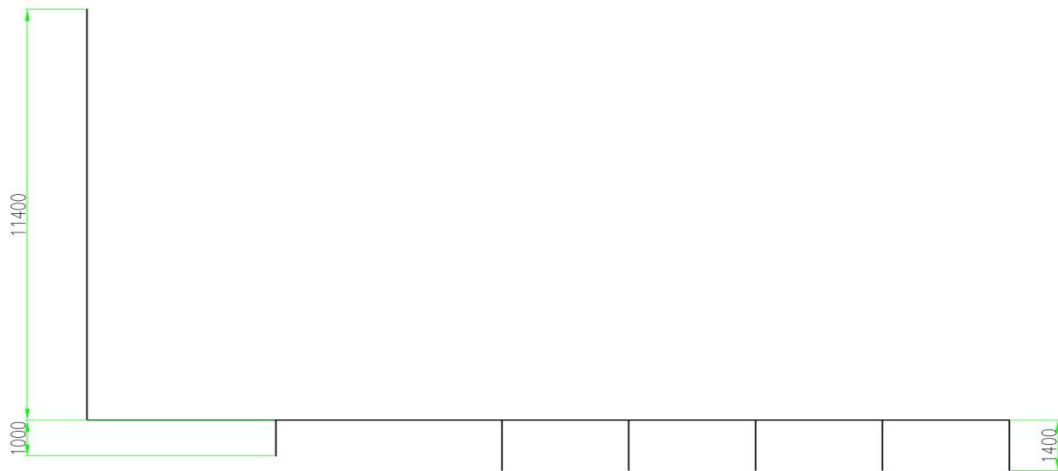


Figura 8.16 (Vista longitudinal de la tubería de lastre)

Visto esto se tendrá que estudiar la condición de lastrado y deslastrado del buque indistintamente. Se calculará sin tener en cuenta las pérdidas de carga, puesto que como se han calculado ya (8.5), lo más fácil será sumarlas al final del proceso. Además sabiendo que:

$$\gamma = \rho * g \quad (29)$$

Se multiplicará toda la ecuación (27) por g para una mayor facilidad de cálculo.

Así obtendremos la siguiente ecuación:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + Z_1 g = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + Z_2 g \quad (29)$$

Por tanto:

- Condición de lastrado:

A la hora de lastrar el buque la bomba absorbe el agua del conducto de agua salada y esta es depositada en los tanques de lastre. Considerando la altura de la bomba como punto de referencia el agua es absorbida a una distancia de -1 metro, transportada a una altura constante y descargada a la altura de -1.4 metros. Por tanto se deberían de estudiar tres casos:

- Aspiración de la bomba:

Viendo la figura 8.15 se sabe que:

- $\frac{v_1^2}{2} = \frac{v_2^2}{2}$
- $Z_1 g = 0$

Por tanto la expresión quedaría de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 g \quad (31)$$

Sustituyendo y despejando en (31) se obtiene que:

$$\begin{aligned} P_1 - P_2 &= Z_2 * g * \rho = 1m * 9.8 \frac{m}{s^2} * 1025 \frac{kg}{m^3} \\ &= 10045 Pa \left(\frac{kg}{m * s^2} \right) \end{aligned}$$

- Traslado del fluido (Cambio de espesor de la tubería):

Se sabe que:

- $Z_1g = Z_2g$

Por tanto:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (32)$$

Despejando y sustituyendo las velocidades calculadas en el apartado anterior (8.4) en (32):

$$P_1 - P_2 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \rho = \frac{2.92^2 - 2.45^2}{2} 1025 = 1293.49 \text{ Pa}$$

- Traslado del fluido (Cambio de espesor en los ramales):

Se sabe que:

- $Z_1g = Z_2g$

Por tanto:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (33)$$

Despejando y sustituyendo las velocidades calculadas en el apartado anterior (8.4) en (33):

$$P_1 - P_2 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \rho = \frac{2.92^2 - 1.105^{02}}{2} 1025$$

$$= 3744 \text{ Pa (por ramal)}$$

Los cinco ramales serían un total de 18720.23 Pa

- Descarga:

En la descarga se tendrá una disminución de la velocidad y un descenso de altura, teniendo como resultado un descenso de la presión. Puesto que si lo tuviéramos en cuenta la presión de nuestra bomba va a ser menor vamos a despreciar este valor.

Por tanto sin tener en cuenta las pérdidas de carga, la bomba tendrá que desarrollar una presión de:

$$10045.00 + 1293.49 + 3744 = 15082.49 \text{ Pa}$$

Lo que equivaldría a una presión de 0.15 bar.

- Condición de deslastrado:

A la hora del deslastrado y considerando como referencia la altura de la bomba, el buque tomará agua a una distancia de -1.4 metros, será transportada y posteriormente descargada a una altura de 11.4 metros. Por tanto igual que en el caso anterior se deberá de estudiar las diversas partes por las que va a fluir el agua.

- Aspiración de los tanques: Para calcular la presión necesaria para la aspiración de los tanques se considerará que la bomba esta aspirando de los cinco tanques a la vez.

Se sabe que:

- $\frac{V_1^2}{2} = \frac{V_2^2}{2}$
- $Z_1 g = 0$

Por tanto:

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 g \quad (34)$$

Despejando y sustituyendo en (34):

$$P_1 - P_2 = Z_2 g \rho = 1.4 * 9.8 * 1025 = 14063 \text{ Pa}$$

Como son cinco ramales: $(P_1 - P_2)_{total} = 5 * 14063 = 70315 \text{ Pa}$

- Traslado de fluido (cambio de espesor ramales):

Se sabe que:

- $Z_1 g = Z_2 g$

Por tanto:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (35)$$

Despejando y sustituyendo las velocidades calculadas en el apartado anterior (8.4) y sustituyendo en (35)

$$P_1 - P_2 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \rho = \frac{1.105^2 - 2.92^2}{2} 1025$$

$$= -3744 \text{ Pa (por ramal)}$$

Como aquí lo que se va a producir es un descenso de presión y esto va a ser positivo para la bomba no la vamos a tener en cuenta.

- Traslado de fluido (cambio de espesor cámara de maquinas):

Sabemos que:

- $Z_1 g = Z_2 g$

Por tanto:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (36)$$

Despejando y sustituyendo las velocidades calculadas en el apartado anterior (8.4) en (36):

$$P_1 - P_2 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \rho = \frac{2.45^2 - 2.92^2}{2} 1025 = -1293.49 \text{ Pa}$$

Se produce una disminución de la presión a favor de la bomba.

- Descarga al mar: En este caso se tendrá que elevar el agua a una altura de 11.4 metros:

Se sabe que:

- $\frac{v_1^2}{2} = \frac{v_2^2}{2}$
- $Z_1 g = 0$

Por tanto:

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 g \quad (37)$$

Despejando y sustituyendo en (37):

$$P_1 - P_2 = Z_2 g \rho = 11.4 * 9.8 * 1025 = 114513 \text{ Pa}$$

Por tanto, teniendo en cuenta solo los resultados donde la bomba tendría que dar presión al fluido tendríamos una presión total en la situación de descarga de:

$$70315 + 114513 = 184828 \text{ Pa}$$

Lo que equivaldría a 1.8 bar.

Por tanto para calcular la presión de la bomba se tendrá que sumar a estas presiones las pérdidas de cargas calculadas en el sección anterior 8.5:

$$P_{TOTAL}(lastrado) = H_{total}(lastrado) + P(lastrado) \quad (38)$$

$$P_{TOTAL}(lastrado) = 1.648 + 0.15 = 1.798 \text{ bar}$$

$$P_{TOTAL}(deslastrado) = H_{total}(deslastrado) + P(deslastrado) \quad (39)$$

$$P_{TOTAL}(deslastrado) = 1.438 + 1.8 = 3.238 \text{ bar}$$

Como se puede observar por los resultados, se tendrá que aportar una mayor presión a la hora del deslastrado (3.2 bar). Considerando que no se ha tenido en cuenta la planta de tratamiento aun y para tener un margen de error considerable se establecerá una presión para nuestras bombas de 4 bar (40.813 mca).

8.7. Espesor de la tubería.

En este punto se dispondrá el cálculo del espesor de la tubería. Para llevar a cabo el cálculo del espesor de una tubería lo principal que se debe de considerar es la presión a la que va a estar sometida.

En el caso del buque proyecto se ha dispuesto una presión en las bombas de 4 bar (8.6), por lo que será la presión máxima que se estimará para la línea.

Las sociedades de clasificación suelen facilitar formulas basadas en la experiencia y tablas para calcular el mínimo espesor en función de la tubería. A continuación vamos a calcular el mínimo espesor requerido para la tubería de acero según las sociedades de clasificación:

ABS:

Observando la parte 4, capítulo 6, sección 2, tabla 4 de [2] nos aporta ecuaciones para calcular el mínimo espesor permitido.

En este caso, se considera la tubería como de tipo B y esta no pasa por tanques de combustible por lo que podemos establecer para nuestra tubería de 600 mm el mínimo espesor establecido por la tabla para la de 450 mm. Este espesor corresponde a un valor de 6.3 mm. Por lo que este dato será el mínimo espesor que podemos dar a nuestra tubería.

Observando la tabla 8.1 el mínimo espesor para nuestro diámetro es de 9.52 mm perteneciente al tipo Estándar por lo que esta será la tubería a implantar.

LR:

Observando la parte 5, capítulo 12, sección 2, tabla 12.2.4 de [16] se observa que para el sistema de lastre que no pasa a través de ningún tanque de fuel, la tubería de mayor diámetro (406.4 a 457.2) el mínimo espesor permitido para la tubería es de 6.3 mm también.

Considerando este el mínimo espesor para la tubería del buque y mirando la tabla 8.1 se obtendrá un diámetro de tubería para el buque de 9.52 milímetros correspondiente al tipo Estándar.

DNV:

Observando la parte 4, capítulo 6, sección 8, tabla A2 de [15] se observa un espesor mínimo de 6.3 mm para la tubería de lastre que no pasa a través de tanques de combustible.

Por lo tanto el diámetro para la tubería será de 9.52 milímetros como se especifica en la tabla 8.1.

8.8. Espesor de la tubería de GRP:

Para calcular el espesor de la tubería de GRP observando la parte 4, capítulo 6, sección 8, A 700 de [15] se tiene que en el punto 700 se establece que el espesor mínimo para la tubería tiene que ser capaz de aguantar la presión de 10 bar y si esta es superior a 100 mm tiene que poder aguantar una carga de 100 kilogramos.

Mirando [18] se obtiene que la tubería del buque debe de ser tipo SN 10000 con un espesor mínimo de 11.5 mm.

8.9. Consumo eléctrico.

Observando el sistema de lastre se podrá considerar que el consumo eléctrico del sistema de lastre sin tener en cuenta el consumo de la planta de tratamiento (aun sin diseñar) tendrá en cuenta tan solo el consumo de las bombas ya que válvulas serán hidráulicas o neumáticas y serán controlados mediante presión de agua o aceite por otro sistema.

Por tanto el consumo aproximado del sistema de lastre será el establecido por las bombas puesto que comparado con este los demás consumos serán despreciables.

Para hallar el cálculo estimado de la potencia de la bomba se utilizará la siguiente expresión [6]:

$$P_h = \frac{q\rho h}{3.6 \times 10^6} \quad (40)$$

Donde:

- P_h : Potencia eléctrica en KW.
- q : Caudal en m^3/h .
- ρ : Densidad del fluido en kg/m^3 .
- h : Altura diferencial en metros.

Sustituyendo en la expresión anterior ((40)) un caudal de $2500 m^3/h$ (8.2), una densidad de $1025 kg/m^3$ y una altura de 40.813 m (8.6) se obtendrá una potencia de:

$$P_h = \frac{2500 * 1025 * 40.813}{3.6 * 10^6} = 29 \text{ KW}$$

8.10. Conclusión.

Partiendo de la capacidad de lastre del buque calculada en el capítulo capítulo 6 (58800 metros cúbicos) y del tiempo estimado para el lastrado o deslastrado (12 horas para el lastrado) se ha llegado a la conclusión de que se deberá de colocar 3 bombas de 2500 metros cúbicos a la hora y 4 bar de presión a bordo del buque con un consumo de 29 KW cada una. Para ello se ha dispuesto un sistema de tubería pudiendo diferenciar dos zonas:

- Zona de maquinas: Donde se ha dispuesto una tubería de acero al carbono de 600 mm de diámetro.

- Zona de carga: Donde se ha dispuesto una tubería de alta resistencia (G.P.R) de 550 mm para la línea principal y de 400 mm para cada ramal.

Así el sistema de lastre estará dispuesto de la manera que se ilustra en la figura 8.8. El siguiente paso será diseñar la planta de tratamiento que pueda cumplir con estos requisitos y realizar las modificaciones necesarias para acoplarla al sistema de lastre.

8.11. Alternativa: Disposición y dimensionamiento del sistema de lastre si el buque con túnel en el doble fondo.

En este apartado se hará un breve estudio de cómo estaría dispuesto el sistema de lastre del buque si este dispusiera de pasillo o túnel en el doble fondo.

8.11.1. DISPOSICIÓN.

Como se ha comentado anteriormente en la sección 8.3 la disposición del sistema de lastre se ha dividido en dos zonas:

- Zona de carga.
- Zona de cámara de maquinas.

Considerando estas dos zonas y considerando que el buque posee túnel en el doble fondo, lo único que va a cambiar con respecto al sistema de lastre será la disposición del sistema en la zona de carga. Por esta razón el estudio se hará únicamente para esta zona.

En este caso se podrá disponer la tubería por el interior del túnel de forma que no será necesario que esta pase a través de los tanques de lastre. Esto va a suponer poder instalar tubería de acero convencional en vez de la de GRP ya que la tubería en esta zona va a estar sometida a menos corrosión que antes.

Si se dibuja la disposición de la tubería de lastre, esta iría dispuesta de la misma manera que sin túnel (figura 8.1) con la diferencia de que en este caso se podrá ver el túnel incluyendo la tubería en su interior.

Visto desde la planta tendríamos la disposición que se muestra en la siguiente página.

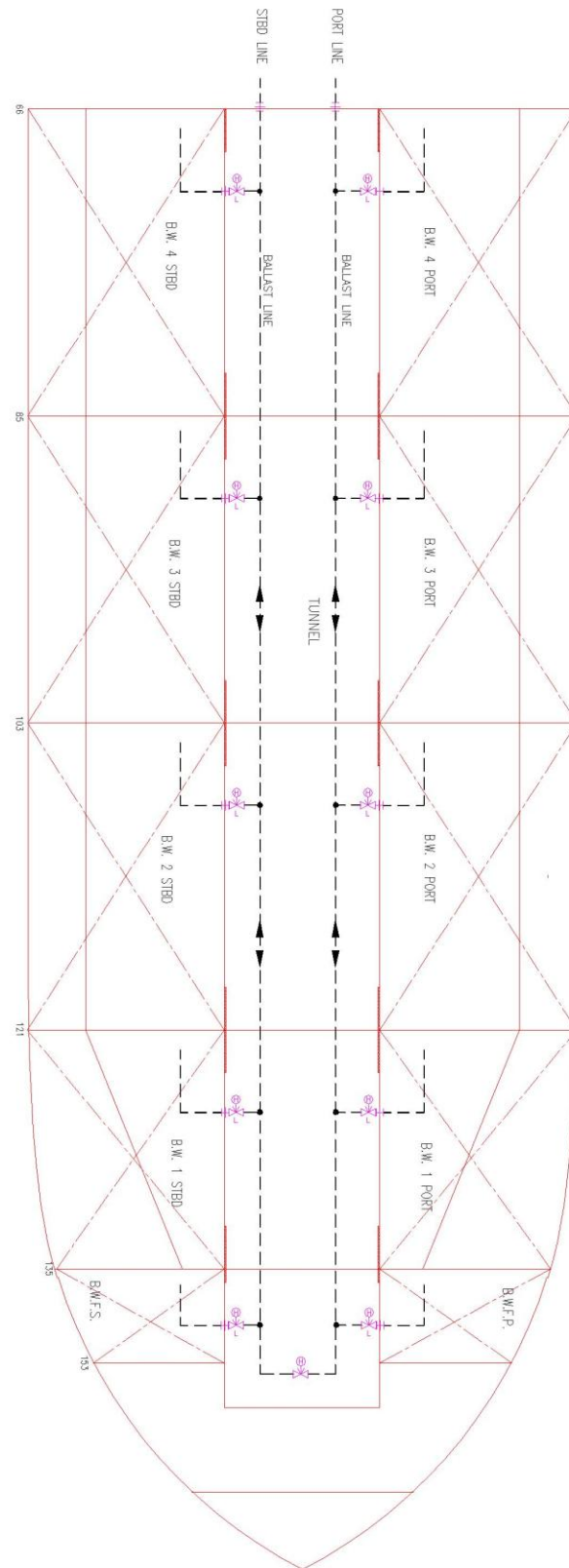


Figura 8.17 (Planta disposición lastre-zona de carga con túnel)

Esta iría dispuesta sobre el suelo del doble fondo de manera que permitiera poder pasar a una persona a través del túnel libremente.

Como se puede ver en la figura 8.16, al igual que el buque sin túnel tenemos una línea principal en estribor y otra línea principal a babor conectadas en la proa mediante una válvula. Viendo esto y considerando las tuberías dispuestas en el fondo como hemos dicho anteriormente se tendría una tubería a cada banda del pasillo quedando este en el medio.

En la siguiente figura se puede ver el aspecto que tendría el sistema si se cortara el buque longitudinalmente por uno de los ramales de los tanques:

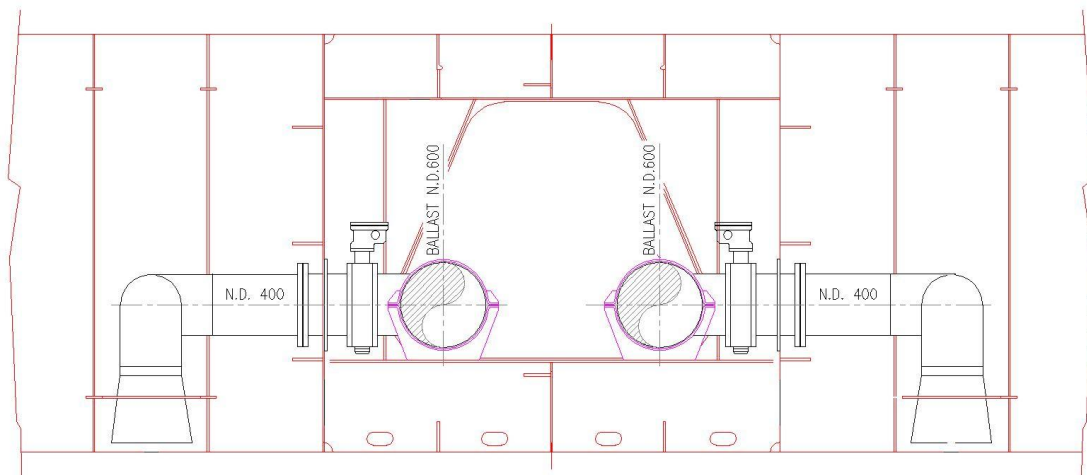


Figura 8.18 (Sección transversal túnel)

8.11.2. TUBERÍA.

Como se ha mencionado anteriormente, ya que la tubería no va a pasar a través de los tanques de lastre esta tendrá un menor riesgo a ser corroída por lo tanto se podrá instalar una tubería de acero al carbono como en la cámara de maquinas.

Debido a que la cantidad de fluido que va a pasar a través de la tubería es la misma que en la cámara de maquinas y debido a que la tubería está fabricada con el mismo material se podrá establecer el mismo diámetro tanto en la zona de cámara de maquinas como en la zona de carga.

El proceso para realizar el estudio sería similar al realizado en el punto 8.4.1:

- Debido a que el agua debe fluir entre 2 y 3 metros por segundo para impedir incrustaciones e impedir una corrosión excesiva se considerará una velocidad del fluido en la tubería de 2.5 metros por segundo.
- Sustituyendo en (2) se obtendrá una sección para esta velocidad de 0.278 metros cuadrados la cual sustituyendo en (3) obtendremos un diámetro de 595 mm.
- Mirando en la tabla 8.1 se observará que el diámetro a instalar será de 600 mm por lo que sustituyendo en (4) y (5) este diámetro tendremos una velocidad de 2.45 metros por segundo en la tubería.

Por otro lado también se deberá de tener en cuenta el diámetro a instalar en cada ramal de la tubería. En el caso de la tubería de GRP se había dispuesto colocar una tubería de 400 mm de diámetro con lo cual obteníamos una velocidad de fluido de 3.18 m/s (punto 8.4.3) un poco más de lo aconsejado para la tubería de acero.

Pero teniendo en cuenta que este diámetro se estableció para llenar el tanque más grande del buque en un tiempo de 5 horas con la bomba funcionando al 100% de su potencia podemos considerar este diámetro para la tubería de acero también.

8.11.3. PÉRDIDAS DE CARGA.

A la hora de calcular las pérdidas de carga en el circuito hay que tener en cuenta varios factores con respecto al sistema de lastre que hemos diseñado sin túnel:

- Al ser la línea de la zona de carga del mismo material que la de la zona de maquinas podremos calcular la perdida de carga continua sustituyendo la longitud total en la expresión (16). Sumando la longitud de la zona de carga con la de zona de maquinas tenemos una longitud total de:
 - Lastrado: 243.48 m
 - Deslastrado: 253.32 m

Sustituyendo en (16) tendremos que:

$$H_r(\text{lastrado}) = 1.897 * 10^{-3} * 243.48 = 0.462 \text{ mca}$$

$$H_r(\text{deslastrado}) = 1.897 * 10^{-3} * 253.32 = 0.481 \text{ mca}$$

- Para calcular la pérdida de carga en cada ramal deberemos de aplicar el mismo proceso que hemos realizado en el punto 8.5.1.3 pero en este caso considerando la rugosidad relativa del acero. Por tanto tendremos que:
 - Entrando en la figura 8.10 la rugosidad relativa es de :

$$K/D = 0.00035$$

- El número de Reynolds será el mismo que en el punto 8.5.1.3 ya que no varía ni el caudal, ni el diámetro y la viscosidad sigue siendo la misma. Por tanto este será de 2542.833.

- Puesto que no varía el número de Reynolds y al igual que en el caso en el estudio anterior la tubería podrá considerarse como hidráulicamente lisa. Tampoco variara el coeficiente de fricción siendo este de 0.0446.

Debido a que la tubería se considera hidráulicamente lisa la pérdida de carga en esta no va a depender del material de la tubería y será la misma que la calculada en el punto 8.5.3.1. Así esta será de:

$$H_r = 0.022 \text{ mca}$$

- La pérdida de carga en los accesorios será la misma que en el caso de buque sin túnel debido a que los accesorios instalados serán los mismos. Además las pérdidas calculadas 8.5.2 no dependen del material si no de los accesorios (aunque esto en la realidad no sea así, se considera igual a la hora estimarlo). Por tanto la pérdida de carga en los accesorios será de:
 - 16.060 mca para el lastrado.
 - 14.088 mca para el deslastrado.

Considerando la pérdida de carga continua y la pérdida de carga en los accesorios tendremos una pérdida de carga total de:

- 16.544 mca para el lastrado equivalente a 1.62 bar.
- 14.591 mca para el deslastrado equivalente a 1.43 bar.

8.11.4. CALCULO DE LA PRESIÓN DE LA BOMBA.

Para calcular la presión de la bomba como hemos hecho anteriormente (8.6) es necesario saber además de las pérdidas de carga del circuito de lastre la presión necesaria a aportar debido a las diferencias de altura.

Debido a que el sistema de lastre con túnel se encuentra dispuesto exactamente igual que el sistema de lastre sin túnel la presión a aportar por la bomba debido a la diferencia de altura es la misma que se calculo anteriormente:

- Lastrado: 0.15 bar
- Deslastrado: 1.8 bar

Por tanto la presión total de la bomba se calculará mediante la suma de la presión por la diferencia de altura y la presión por pérdida de carga:

- Lastrado = $1.62 + 0.15 = 1.77$ bar.
- Deslastrado = $1.43 + 1.8 = 3.23$ bar.

Como se puede comprobar el valor es similar al obtenido en el apartado 8.6 lo que nos indica que en este caso también sería suficiente con colocar tres bombas de 4 bar.

8.11.5. CONCLUSIÓN

El emplear la tubería de GRP o de acero al carbono para la zona de carga no influye a la hora de disponer la presión de las bombas. Por lo tanto se puede deducir que la idea de usar GRP o acero para esta zona es exclusivamente debido a la corrosión producida por el agua y al coste de esta. Así la elección de GRP o acero al carbono será decisión del armador.

Capítulo 9. Planta de tratamiento

9.1. Introducción.

Una vez calculada la capacidad de lastre (capítulo 6), la capacidad de las bombas y el dimensionamiento de los accesorios del sistema de lastre (capítulo 8); el siguiente paso es realizar la descripción y dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas de lastre para que el sistema cumpla con las pautas establecidas por el convenio de aguas de lastre de la IMO explicadas en el capítulo 4 principal objetivo del presente capítulo.

Para llevar a cabo el desarrollo de la planta de tratamiento debemos de tener en cuenta dos factores esenciales:

- Capacidad de las bombas o del sistema de lastre. Deberemos de dimensionar la planta de tratamiento en función de la capacidad de las bombas, es decir, la planta de tratamiento tendrá que ser capaz de tratar en su totalidad todo el lastre que sea capaz de lastrar o deslastrar el sistema o bombas de lastre del buque.
- Que cumpla con los requisitos según las directrices impuestas por el convenio (capítulo 4.2.2), principalmente con:
 - Procedimientos para la aprobación de sistemas para el control y gestión del agua de lastre (G8).

- Procedimientos para la aprobación de los sistemas para el control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques que usan sustancias activas (G9).

Así para cumplir estos dos requisitos el buque va a estar equipado con una planta de tratamiento que va a combinar un filtro con un sistema de radiación ultravioleta (como se comento en el capítulo 7) el cual tendrá que ser capaz de tratar la capacidad de 2500 metros cúbicos por hora (capacidad calculada en el capítulo 8 del proyecto).

Ya que se ha dimensionado una línea de lastre para cada banda del buque con su respectiva bomba y red de tuberías conectadas entre sí (capitulo 8), el buque dispondrá de dos plantas de tratamiento acopladas a cada línea las cual van a poder operar independientemente o en conjunto según sea necesario.

Para elaborar la planta de tratamiento se ha tomado como referencia los métodos y plantas de tratamiento desarrolladas por fabricantes estudiadas en el capítulo 5.7 y 5.8 de este proyecto.

9.2. Descripción del sistema.

El sistema de tratamiento de aguas de lastre desarrollado en este capítulo llevará a cabo el tratamiento de la misma mediante dos etapas:

- Etapa de filtrado del agua de lastre, donde esta pasará a través de un filtro de 40 micrómetros. La finalidad de esta etapa es realizar un “pre-limpiado” del agua de lastre eliminando las sustancias pesadas que pueda contener el agua. Esto ocasionará una menor turbidez en la misma y una mejor aplicación de los rayos UV en la siguiente etapa con una mejor eficiencia y eficacia del tratamiento.
- Etapa de tratamiento mediante UV, donde el agua pasará a través de una cámara equipada con lámparas de luz ultravioleta. Esta luz actuará como neutralizante de bacterias, virus y otras sustancias debilitando sus células moleculares e impidiendo su reproducción.

La disposición de tuberías se diseñará de manera que el agua de lastre pase a través del filtro y de la cámara UV a la hora de lastrar el barco y solo por la cámara de UV a la hora de deslastrado puesto que se supone que el agua ha sido filtrada a la hora del lastrado y no va a tener sustancias pesadas.

Además el sistema de lastre del buque tendrá que ser capaz de operar sin tener la necesidad de utilizar la planta de tratamiento para poder llevar a cabo el cumplimiento con las diferentes sociedades de clasificación, como por ejemplo el Lloyd's Register (Parte 5, capítulo 13, sección 11.3 del Rules and Regulations for the Classification of Ships).

La combinación del filtro con la cámara de radiación UV tiene como ventajas para la planta de tratamiento:

- Un sistema limpio con relación al medioambiente puesto que no utiliza ninguna sustancia química.
- Un diseño compacto.
- Un sistema seguro para la tripulación y el buque por no utilizar sustancias químicas.
- Un sistema sin problemas de corrosión.
- Un sistema automatizado y auto-limpiable tras su utilización.

Tomando como referencia plantas de tratamiento similares como las desarrolladas por Alfa Laval, Panasia, Optimarin, Balclor... vamos a establecer las condiciones de diseño para la planta de tratamiento del buque. Estas quedan reflejadas en la siguiente tabla:

Capacidad	$2500 \text{ m}^3/h \times 2$	
Potencia consumida	$220 \text{ KW} \times 2$	Estimada
Pérdida de presión	0.5 - 1 bar	Estimada
Temperatura agua de mar	-2 a 36°C	
Temperatura de diseño	55°C	
Voltaje	400/440V → 50/60 KHz	
Máxima temperatura de diseño.	45°C	

Tabla 9-1 (Características planta de tratamiento)

9.2.1. FILTRADO:

La planta de tratamiento dispondrá de un filtro el cual no permitirá el paso de partículas mayores a 40 micrómetros. Así este estará diseñado de forma que una vez haya sido usado para el lastrado del buque pueda auto-limpiarse automáticamente.

Por otro lado será capaz de filtrar un flujo de 2500 metros cúbicos a la hora sin que exista ninguna sobrepresión en su interior y produciendo una pérdida de carga en el fluido de aproximadamente 0.40 bar.

La siguiente figura muestra el aspecto que tendrá este así como las diversas conexiones:

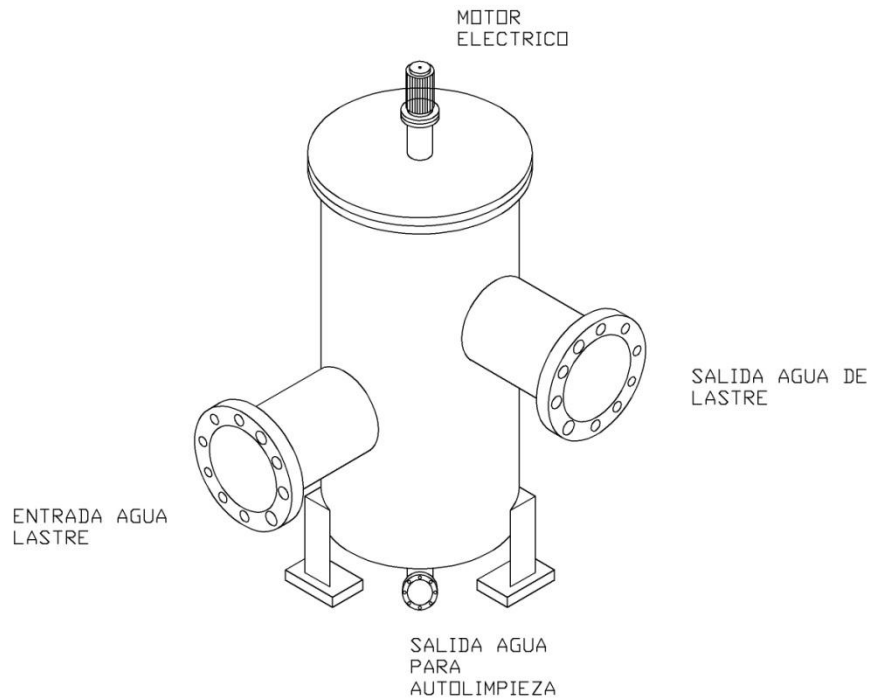


Figura 9.1 (filtro)

Este dispondrá de los siguientes accesorios:

- Entrada/salida del agua de lastre: las cuales tendrán el mismo diámetro que la red de tubería de lastre (600 DN). Será conveniente colocar medidores de presión tanto en la entrada como en la salida del agua de lastre.
- Salida agua de para auto-limpieza: Por este ramal situado en el fondo del tanque del filtro será por donde saldrán las sustancias pesadas mayores de 40 micrómetros una vez que se haya terminado el proceso de lastrado o cuando la diferencia de presión entre la entrada y salida del lastre sea lo suficientemente grande que se considere que el filtro está sucio. El diámetro de este ramal será de 100 mm de diámetro nominal.

- **Tanque:** El cuerpo del filtro es de forma cilíndrico de 2240 mm de altura y 1400 mm de radio. Esto hacen que el interior tenga una capacidad aproximada de 3.45 metros cúbicos sin tener en cuenta los accesorios de los que va a disponer el tanque en su interior.
- **Soportes:** El Tanque (filtro) irá soportado por cuatro patas similares las cuales irán soldadas u atornilladas al piso de la cámara de maquinas.
- **Motor eléctrico:** Este está colocado en la parte superior del filtro y es imprescindible para el proceso de auto-lavado del mismo. Se estima un consumo del motor de 0.1 KW y un peso del mismo de 20 Kg.
- **Drenaje:** En la parte superior del filtro, se podrá colocar un drenaje para permitir la salida del aire que pueda existir en el mismo y con ello obtener un mayor rendimiento del sistema.
- **Cuerpo del filtro:** En el interior del tanque se encuentra el filtro en sí. Este está formado por varios tubos dispuestos en forma de malla metálica y resina epoxi la cual no permite pasar sustancias de más de 40 micrómetros de tamaño. Este tendría el aspecto que se puede observar en la siguiente figura:

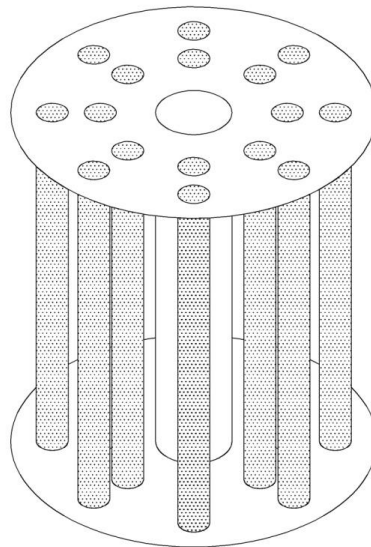


Figura 9.2 (Filtro-Interior)

- Tubería interna: Para el auto-limpieza del filtro, este deberá de tener una tubería interna explicando su funcionamiento más adelante. Esta será del mismo diámetro que cada tubo del filtro (90 mm).

Dibujando el corte A-B siendo “A” la entrada del lastre y “B” la salida y pasando el corte por el centro del tanque se puede ver como se encuentra dispuesto el interior del filtro, viendo también la forma que adquiere la tubería interna para el auto-lavado:

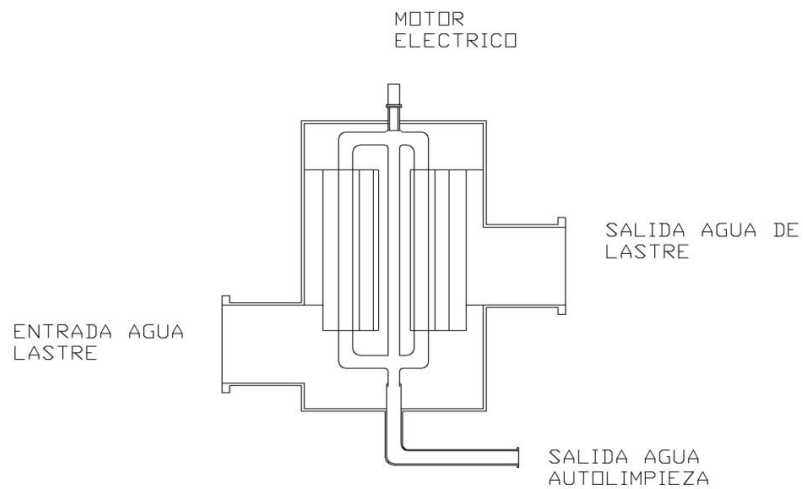


Figura 9.3 (Corte A-B filtro)

9.2.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO

LASTRADO:

- El agua de lastre entraría por la entrada de agua de lastre y esta ascendería por el hueco interno del filtro hasta llenar por completo la parte inferior y superior.

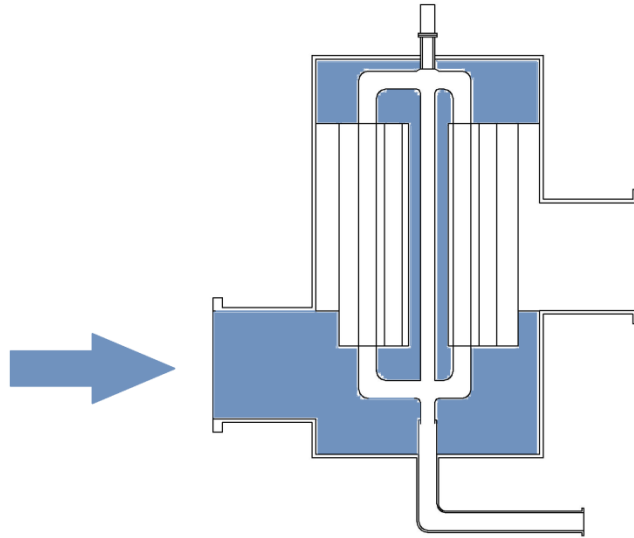


Figura 9.4 (Entrada agua de lastre)

- El agua comienza a subir y a bajar a través de los tubos del filtro y cuando estos están completamente llenos de agua, debido a la diferencia de presión esta discurre a través de los poros de 40 micrómetros hacia la cámara exterior del filtro quedándose todas las partículas mayores de este diámetro, atrapadas en los tubos.

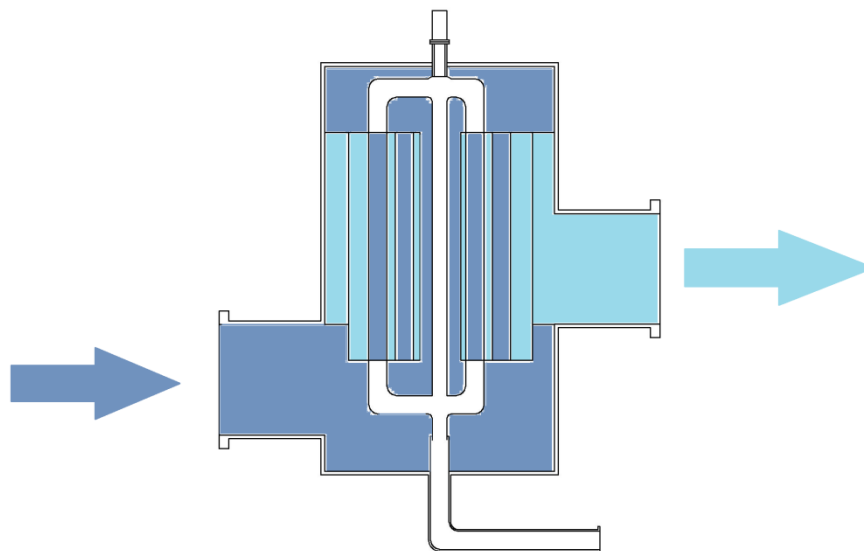


Figura 9.5 (Salida agua de lastre)

9.2.1.2 AUTO-LIMPIEZA DEL FILTRO

Existen dos situaciones en las que será necesario realizar la auto-limpieza del filtro:

- Tras finalizar la acción del lastrado del buque, para que el sistema permanezca sin residuos en el sistema que puedan ocasionar corrosión, roturas o incluso una mayor complicidad a la hora de limpiarlo posteriormente.
- Cuando la diferencia de presión entre la entrada y salida del agua de lastre es muy alta. Cuando se produzca esto quiere decir que el agua no discurre bien a lo largo del filtro y esto será síntoma de que este se encuentra sucio. En este caso el sistema automáticamente enviará una señal al panel de control y en caso de no recibir respuesta automáticamente procederá a su auto-limpiado.

Para realizar esta acción el sistema abrirá una válvula existente en la “salida de agua de autolimpieza”. Por la disposición de la tubería y debido a la diferencia de presión, el agua de lastre limpia invertirá el sentido entrando en el tubo y fluyendo a lo largo de la tubería de salida de agua de autolimpieza arrastrando las partículas pesadas.

Este proceso se realizará por parejas, es decir, debió a la disposición de la tubería los tubos del filtro se irán limpiando de dos en dos (uno diámetro externo y otro diámetro interno). Cuando se considere que se ha evacuado todas las partículas (tubo del filtro limpio) el motor eléctrico rotará la tubería comunicando otros dos tubos. Así hasta que todos los tubos queden libres de partículas.

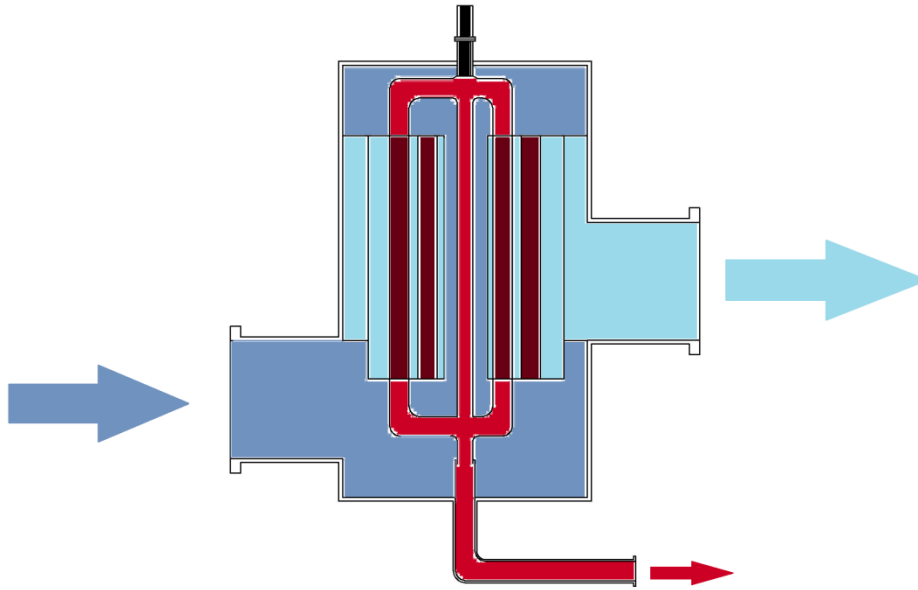


Figura 9.6 (Auto-limpieza filtro)

Cuando el sistema considere que la diferencia de presión vuelve a ser baja (filtro limpio) la válvula cerrará y el sistema operará con total normalidad.

Esta agua “sucia” pasará al tanque de sedimentación.

Mediante esta disposición el filtro podrá limpiarse a la misma vez que se está lastrando el barco. No es necesario interrumpir el lastrado para limpiar el filtro.

(En el Anexo 2 se encuentra el croquis de las principales dimensiones del filtro).

9.2.2. UNIDAD UV

Para la desinfección del agua de lastre el sistema va a disponer de dos plantas de tratamiento mediante luz ultravioleta como el que se encuentra a continuación:

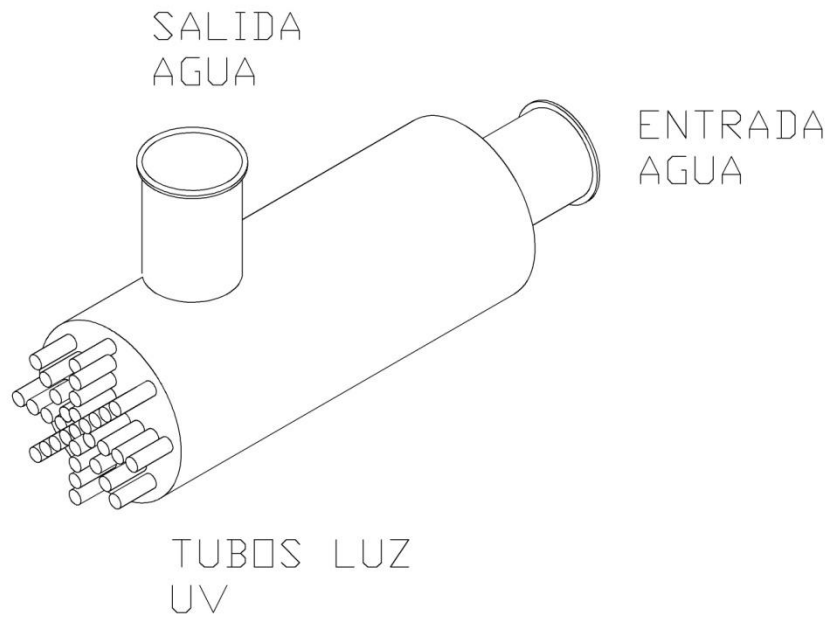


Figura 9.7 (Cámara UV)

Este sistema irá seguido del filtro y dispondrá de los siguientes elementos:

- Entrada y salida de 300 mm de diámetro nominal conectados a los demás accesorios mediante sus respectivas bridas.
- Un tanque o cámara principal donde van alojados los tubos UV y donde se tratará el agua de forma cilíndrica. Así las dimensiones de este serán de 2000 mm de longitud y 600 mm de diámetro obteniendo una capacidad sin tener en cuenta el volumen de los tubos y accesorios de 0.565 metros cúbicos.
- Tubos de luz ultravioleta. Estos tubos irán alojados a lo largo del tanque de forma que sus conexiones quedarán en el exterior al lado contrario a la entrada del agua de lastre. El sistema estará formado por 33 tubos de luz ultravioleta con un consumo de 6 KW por tubo con una longitud de onda de 254 nanómetros. Se estima que estos tendrán una duración de 4000 horas de funcionamiento.
- Sensores de temperatura. Cada cámara de luz ultravioleta dispondrá de un sensor de temperatura para evitar que esta sea mayor de la temperatura de diseño. Esto es debido a que estas lámparas producen calor.

Así las dos plantas van conectadas entre sí paralelamente tanto en la entrada del agua como en la salida de la misma quedando el sistema dispuesto como se muestra a continuación:

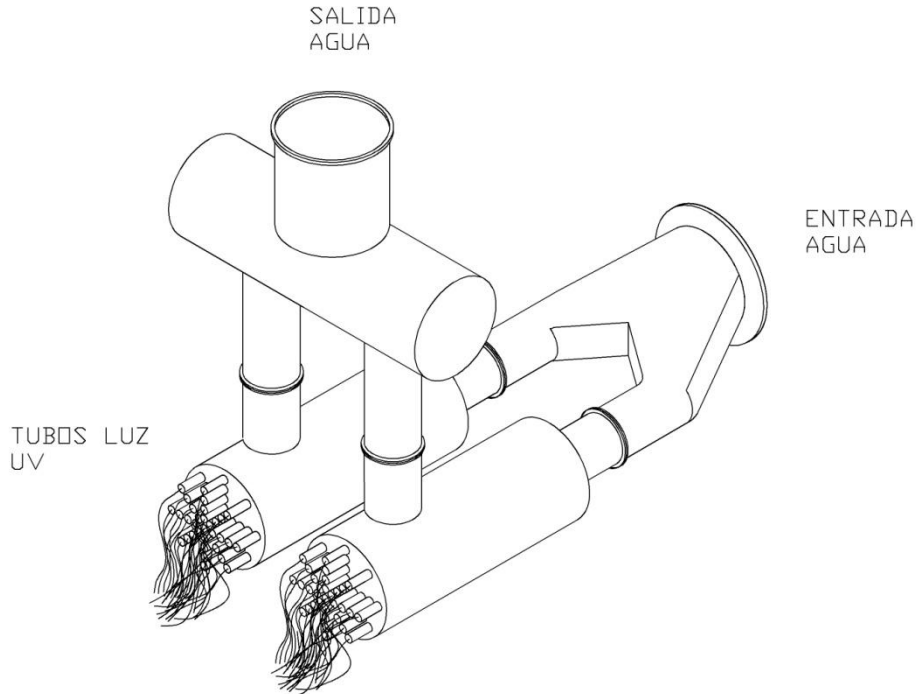


Figura 9.8 (Equipo UV)

Estas uniones tienen dispuestas bridas de 300 mm de diámetro conectándose a la tubería principal mediante bridas de 600 mm de diámetro nominal.

En total hemos estimado una pérdida de carga en cada cámara de 0.10 bar y una pérdida de carga total de 0.24 bar.

(En el Anexo 3 se encuentra el croquis de las principales dimensiones de la planta de desinfección).

9.2.3. INSTALACIÓN SUMINISTRO ELECTRICO

Junto a la planta de desinfección se encontrará dispuesta la suportación de suministro eléctrico para las lámparas ultravioletas.

Esta tiene unas dimensiones principales de 1800 mm de longitud y 500 mm de anchura.

Para el buen funcionamiento de la misma la temperatura de funcionamiento y por tanto de la cámara de maquinas deberá de ser inferior a 55°C y deberá de evitarse en lo mayor posible situaciones húmedas alrededor del sistema.

Esta tendrá dos conexiones eléctricas al buque:

- La conexión principal, la cual suministrará la potencia a las lámparas y demás accesorios la cual deberá de ser trifásica y de 440 Voltios.
- Una conexión secundaria de 220 Voltios monofásica, la cual suministra accesorios sobre los que se espera una posible manipulación manual. A través de esta red la planta de suministro está conectada con el panel de control alojado en la sala de control del buque.

Así la planta de suministro tiene un interruptor para parar cortar el suministro en caso de emergencia desde la cámara de maquinas y otro para poder ponerlo en marcha manualmente.

En la siguiente figura se muestra el aspecto que tendría la instalación de suministro eléctrico:

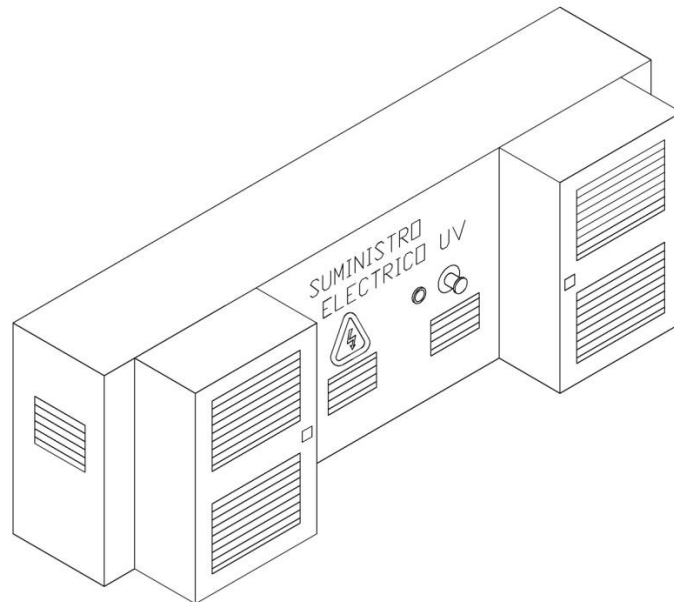


Figura 9.9 (Suministro eléctrico UV)

(En el Anexo 4 se encuentra el croquis de las principales dimensiones de la planta de suministro eléctrico).

9.2.4. PANEL DE CONTROL

El sistema dispone de un panel de control mediante el cual se podrá controlar todo lo relacionado con el sistema de tratamiento de agua de lastre.

A través de este panel se podrá observar presiones de entrada y salida en el filtro, temperatura de la cámara de rayos ultravioleta, controlar el flujo en el sistema...etc. Operando siempre con la mayor seguridad ya que se operará desde el exterior.

Normalmente el panel de control irá colocado en la sala de control junto a otros equipos.

Este panel consiste en un armario de 1400 mm de ancho, 500 mm de profundidad y 1700 mm en altura.

En él hay un monitor con pantalla táctil desde el cual se podrá acceder a cualquier parte del sistema o ver el comportamiento general del equipo. Abrir o cerrar válvulas, observar presiones, temperaturas, consumo eléctrico, etc. Si el sistema detecta que algo no va bien este dará la señal de alarma indicando el motivo en el monitor y pudiendo actuar desde el directamente.

Además, este tiene cuatro relojes analógicos. A través de estos se puede ver el consumo de potencia tanto de la planta de tratamiento como de las tres bombas de lastre instaladas a bordo las cuales podrán ser controladas desde el monitor o manualmente desde el panel de control.

En la siguiente figura se observa el aspecto que tiene el panel de control:

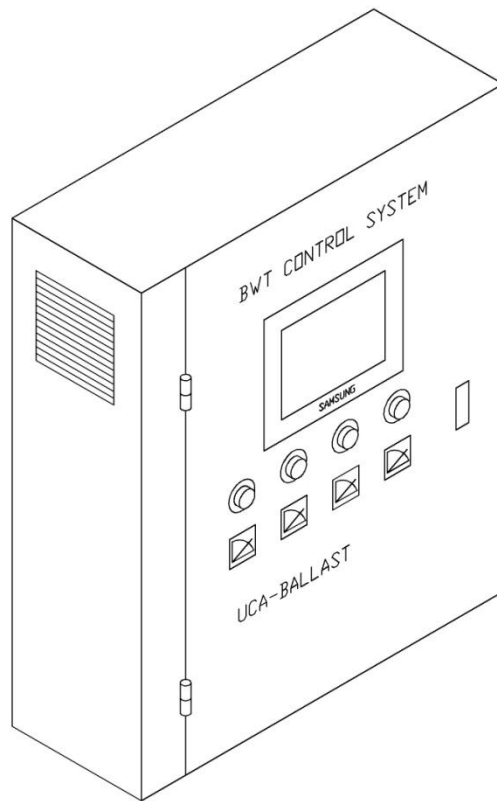


Figura 9.10 (Equipo de control)

(En el Anexo 5 se encuentra el croquis de las principales dimensiones del panel de control).

9.2.5. OTROS ACCESORIOS

9.2.5.1 MEDIDOR DE FLUJO:

La planta dispone de un medidor de flujo situado en la línea principal. Su funcionamiento se basa en el envío de más o menos intensidad de corriente eléctrica hacía el monitor del panel de control según el flujo sea mayor o menor.

El intervalo de corriente eléctrica va entre 4 y 20 mA. El motivo de establecer 4 mA como el mínimo es debido a que si estableciéramos el 0 mA como la ausencia de flujo se podría confundir con la falta de corriente (la rotura del equipo, cable...). De esta manera se asegura el buen funcionamiento además de establecer un parámetro para dar la señal de error en el sistema.

Así el medidor de flujo sería de 600 mm de diámetro nominal y tendría el siguiente aspecto:

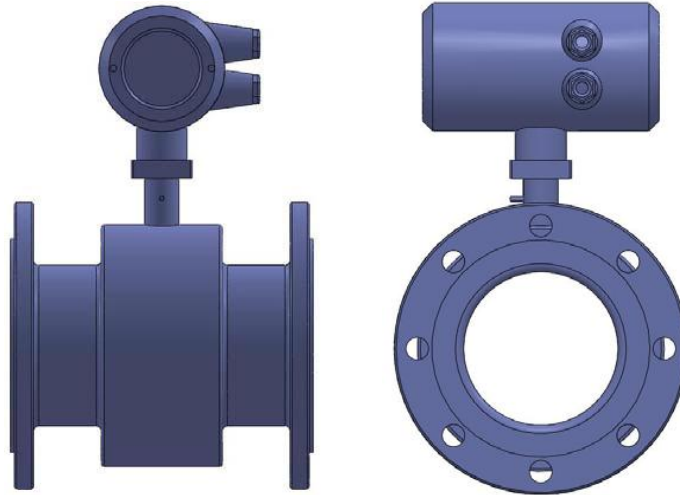


Figura 9.11 (Medidor de flujo)

9.2.5.2 MEDIDORES DE PRESIÓN

El sistema tiene dos medidores de presión. Uno a la entrada del filtro y otro a la salida. Estos nos mostrarán la presión en el sistema y serán los que nos indiquen el estado del filtro según sea esta diferencia de presión.



Figura 9.12 (medidor de presión)

9.2.5.3 VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO

Esta válvula irá instalada después de la cámara UV y será la que regule el flujo de agua en función del grado de depuración que contenga la misma.

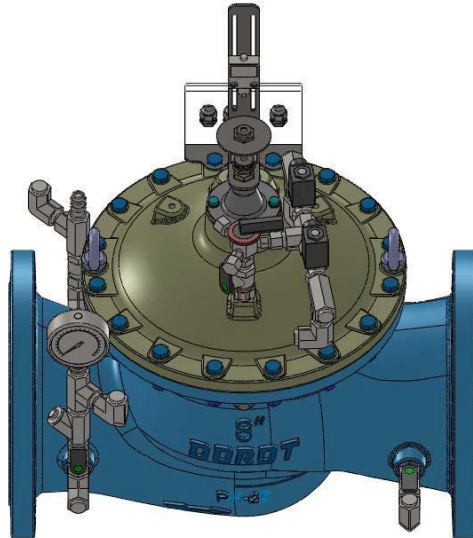


Figura 9.13 (válvula reguladora de flujo)

9.2.5.4 SENSOR DE TEMPERATURA

En cada cámara UV hay un sensor de temperatura que nos indicará la temperatura del agua que hay en la cámara. Esta no deberá de ser mayor de 55 °C. En caso de ser mayor el sistema actuará automáticamente controlando el flujo.



Figura 9.14 (Sensor de temperatura)

9.2.5.5 VÁLVULAS DIRECCIONALES

El sistema está provisto de dos válvulas direccionales. Una de ellas está alojada al comienzo del sistema y será la encargada de dirigir el flujo hacia la planta de tratamiento o hacia el exterior. La otra estará alojada al final del filtro conectada por otro lado a la cámara UV y a la tubería principal. Esta será la encargada de hacer que el agua pase por el filtro o pase directamente a la cámara UV.

9.3. Conclusión

El buque estará provisto de dos plantas de tratamiento, una para cada banda del buque, las cuales serán capaces de tratar un flujo de $2500 \text{ m}^3/\text{h}$.

Para ello cada planta de tratamiento está provista de un filtro (auto-limpiable) y dos cámaras UV conectadas en paralelo. A la hora del deslastrado se podrá evitar el filtro.

Para controlar estado del fluido el sistema estará provisto de medidores de presión y de temperatura, además de disponer de una válvula que regulará el flujo que atraviese la planta situada al final de la misma.

Así, todos los accesorios deberán de estar debidamente anclados al piso de la cámara de maquinas mediante sus respectivos polines los cuales estarán soldados o atornillados.

Al comienzo de la planta existirá una válvula la cual desvíe el flujo hacia el exterior o a la planta por si el sistema de lastre tuviera que operar sin tener que intervenir la planta de tratamiento.

Una vez instalada a bordo del buque la planta de tratamiento tendrá el aspecto que se muestra a continuación:

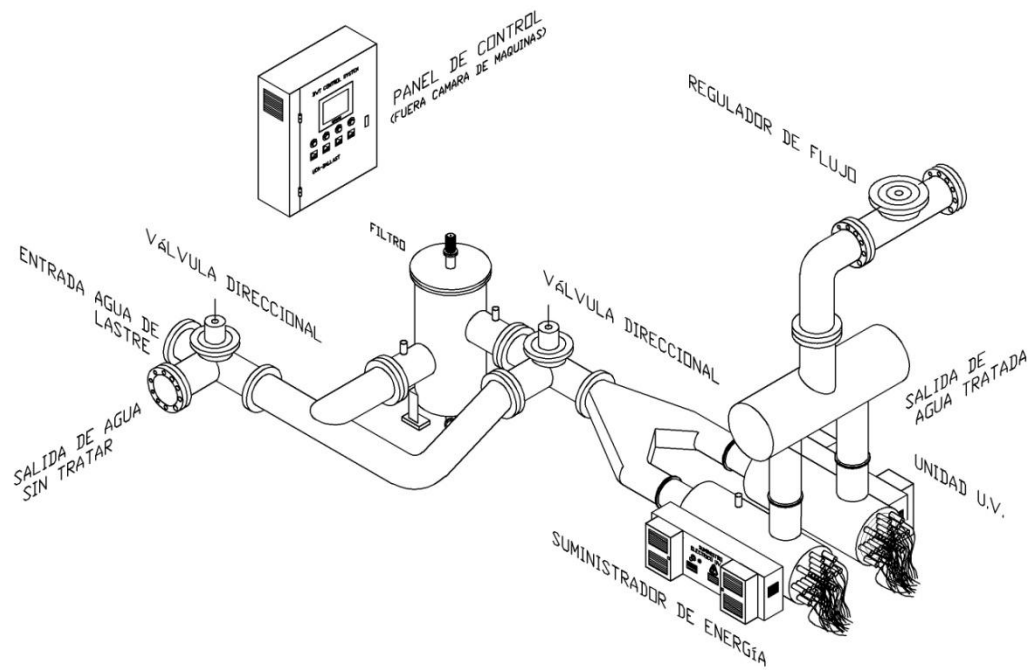


Figura 9.15 (Planta tratamiento de lastre)

O representado mediante el siguiente esquema:

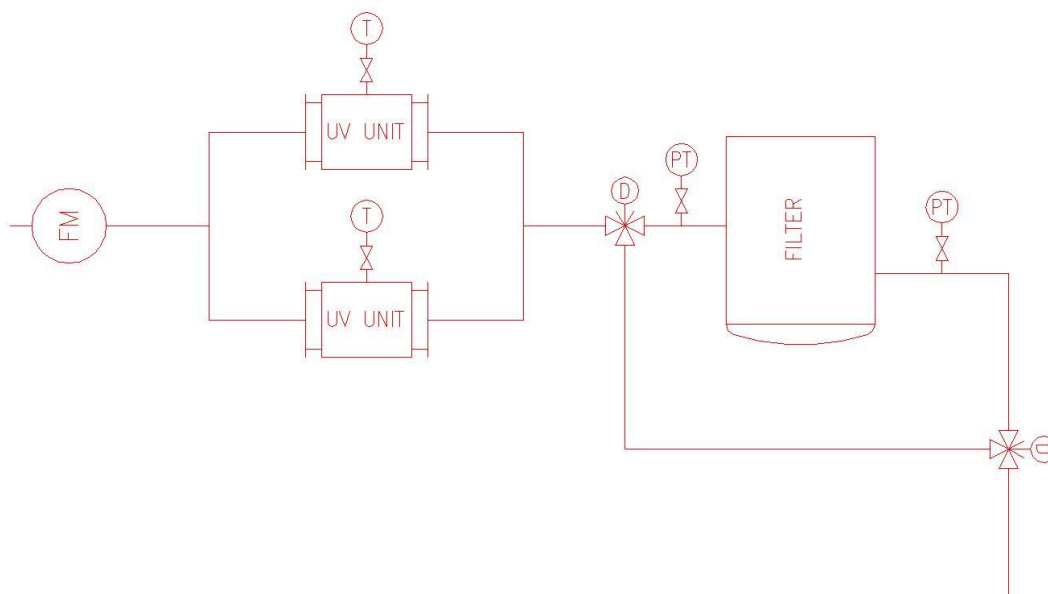


Figura 9.16 (esquema planta de tratamiento de lastre)

Capítulo 10. Conclusión.

10.1. Introducción.

Tras haber realizado el dimensionamiento del sistema de lastre (sin planta de tratamiento) en el capítulo 8 y haber diseñado la planta de tratamiento a implantar (capítulo 9) para que el buque cumpla con lo establecido por las sociedades de clasificación y con la normativa (como se ha visto en el capítulo 7) el siguiente paso será acoplar dicha planta de tratamiento al sistema de lastre.

Para ello se deberá de tener que:

- Se han diseñado dos plantas de tratamiento, una para cada bomba de lastre, es decir, una para cada línea (babor y estribor).

- El buque ha de poder lastrear y deslastrear el barco sin tener la necesidad de utilizar la planta de tratamiento como queda descrito por ejemplo por:
 - LR: Parte 5, Capítulo 13, Sección 11.3.3, Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2013.
 - ABS: Parte 4, Capítulo 6, sección 4.7.5, Rules for Building and Classing Steel Vessels.

Para ello la planta de tratamiento se unirá al sistema de lastre de forma que este pueda operar en cualquier situación con toda normalidad.

Una vez definido el sistema de lastre con la planta de tratamiento se realizará una estimación del coste que supondría construir un sistema de lastre de estas características basándonos para ello en catálogos y demás referencias obtenidas de internet.

10.2. Definición del sistema de lastre.

Para llevar a cabo el acoplamiento de la planta de tratamiento al sistema de lastre se deberán de tener en cuenta tanto la disposición del sistema de lastre como la disposición de la planta de tratamiento.

Para ello será necesario recurrir al esquema del sistema de lastre (figura 8.8) y al esquema de la planta de tratamiento (figura 9.16).

Como se ha comentado anteriormente el sistema de lastre tendrá que poder operar con total independencia de la planta de tratamiento, por lo que este será el principal requisito a tener en cuenta a la hora de realizar la conexión entre ambos sistemas.

Teniendo esto en cuenta, lo conveniente sería conectar la planta de tratamiento en by-pass con la planta de lastre o dicho de otro modo, conectar cada planta de tratamiento en “paralelo” con su respectiva bomba controlando el paso al sistema del fluido mediante una válvula.

Por tanto observando los dos esquemas (figura 8.8 y 9.16) y teniendo en cuenta los dos factores de la sección 10.1 comentados anteriormente se podría establecer el sistema de lastre del buque proyecto.

Este estaría dispuesto de la misma forma que se muestra en la figura de la página siguiente:

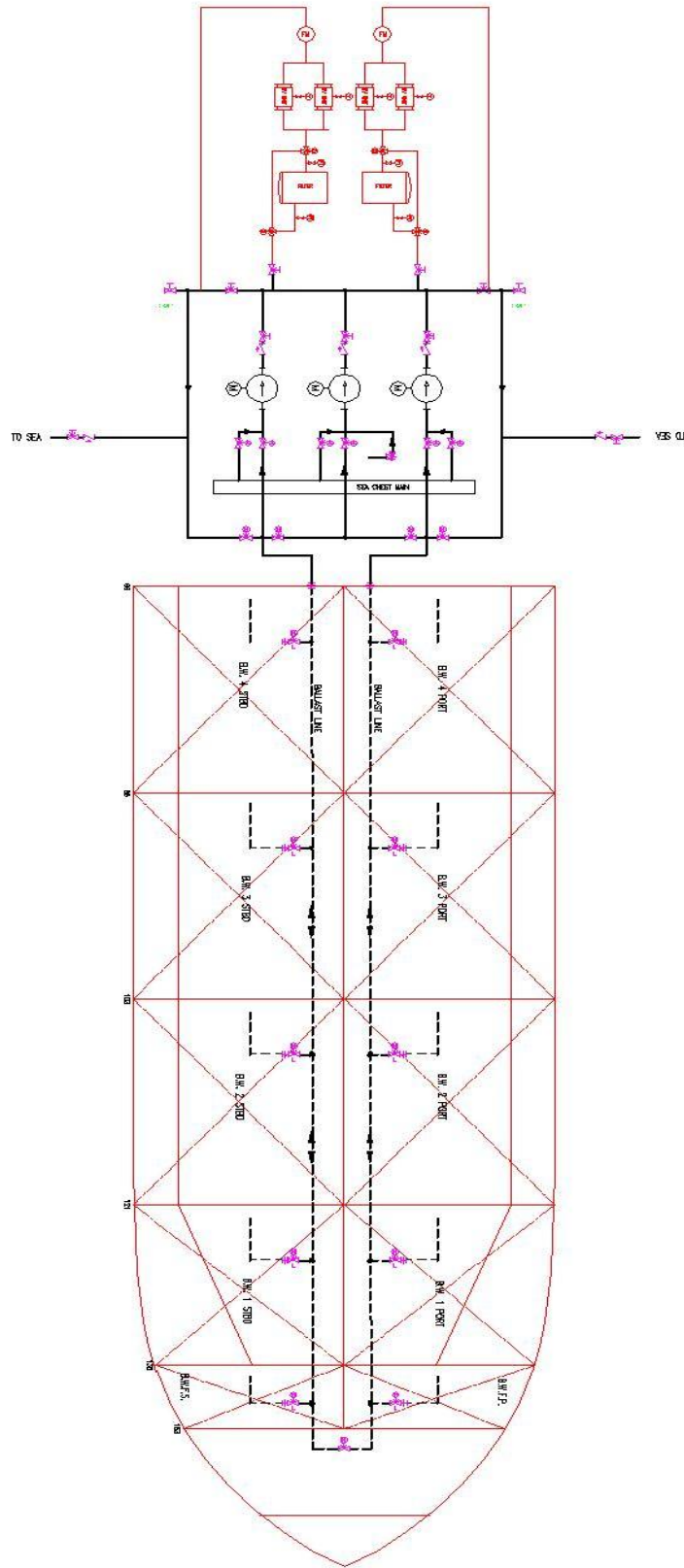


Figura 10.1 (Disposición general sistema de lastre con planta de tratamiento)

También se podría representar en este esquema la disposición de la tubería de auto-lavado de los filtros.

En el buque se ha dispuesto esta tubería de manera que queden los dos filtros conectados entre sí y el agua junto con los restos de residuos de los filtros pueda ser descargada directamente al mar por una toma situada en la popa o desalojada en un tanque de sedimentación situado en el fondo de la cámara de maquinas.

También se representará los drenajes situados en los filtros. Estos no tendrá porque estar conectados a ninguna tubería ya que lo que se espera que salga por ellos es aire al igual que los demás. Si sale algo de agua será insignificante y será solo a la hora de purgar la tubería.

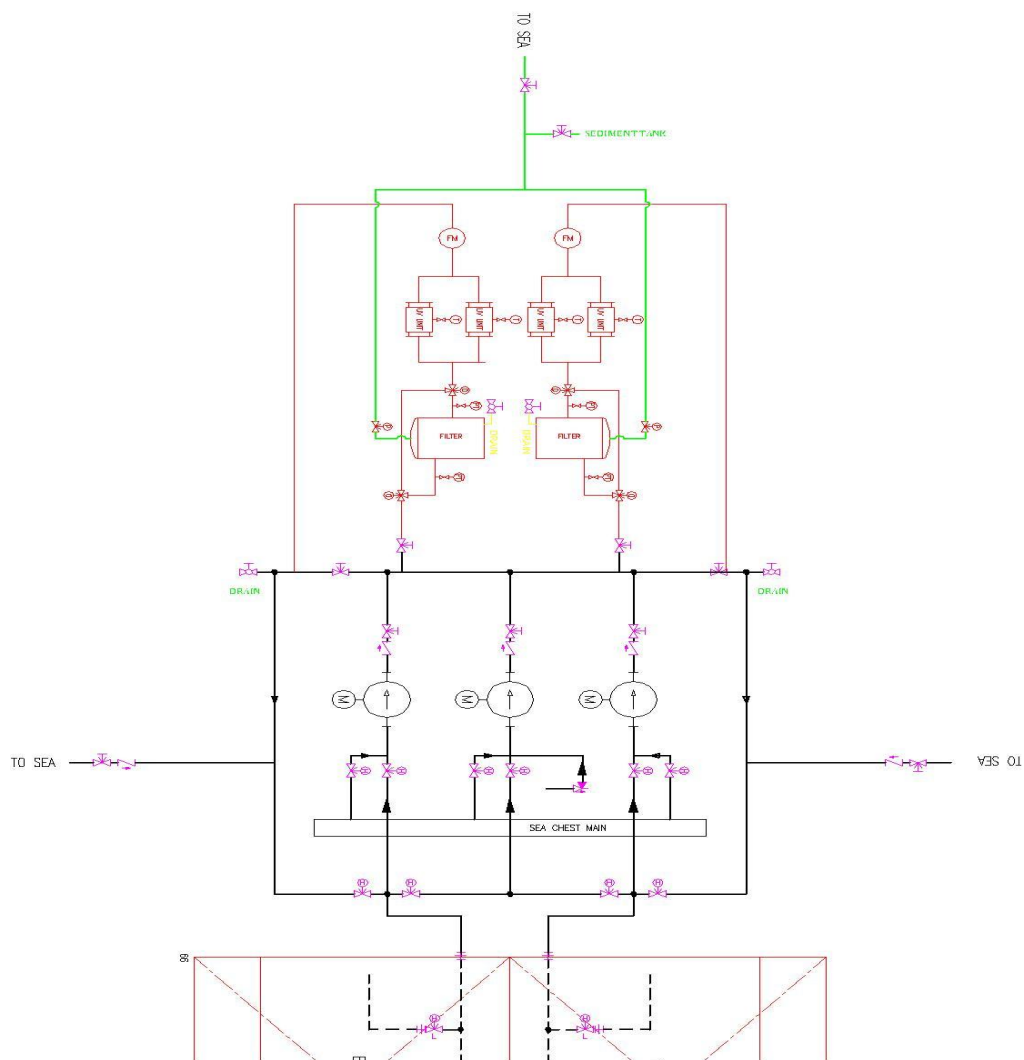


Figura 10.2 (Disposición general cámara de maquinas con planta de tratamiento)

(Para una mejor comprensión se adjunta el plano de disposición general del sistema de lastre en el ANEXO 6)

10.3. Descripción del sistema.

El sistema de lastre del buque estará formado por tres bombas conectadas en paralelo (by-pass) de 2500 metros cúbicos por hora y cuatro bares de presión cada una. Estas bombas estarán dispuestas en la parte inferior de la cámara de maquinas.

Acopladas al sistema se dispondrán dos plantas de tratamiento las cuales consistirán en un filtro y dos cámaras de luz ultravioleta cada una.

Tanto las plantas de tratamiento como las bombas entre sí irán conectadas mediante tubería de acero al carbono con sus respectivas válvulas (figura 10.2).

Esta red de tuberías irá conectada a la red de tuberías de la zona de carga la cual será de un material distinto (GRP) para prevenir la corrosión ya que esta irá dispuesta a través de los tanques de lastre (por considerar el buque sin pasillo).

En la zona de carga existirá una línea de tubería para cada banda del buque conectadas entre sí en la zona de proa. Para cada tanque habrá un ramal que conecte este con la tubería principal.

La tubería dispuesta:

- en la cámara de maquinas tendrá un diámetro nominal de 600 mm.
- En la zona de carga tendrá un diámetro de 550 mm.
- Cada ramal tendrá un diámetro de 400 mm.

Estos diámetros harán que la velocidad en las tuberías sea lo suficientemente baja como para impedir la corrosión y lo suficientemente alta como para permitir que nada quede depositado en la misma.

A la hora del lastrado o deslastrado se consumirá una potencia de aproximadamente:

- 29 KW por bomba. (Habrá dos bombas en funcionamiento).
- 220 KW por planta de tratamiento. (Estando las dos funcionando a la vez).

Esto supondrá un consumo de 498 KW estando el sistema al 100% de su potencia.

Además el sistema podrá ser controlado desde el panel de control situado en la sala de control donde podrá verse a tiempo real el estado del funcionamiento del sistema.

10.4. Estimación del coste.

A continuación en este apartado se hará una estimación del precio total que supondría la instalación que hemos diseñado para el buque. A partir de [19], [20] y [21] se ha desarrollado una tabla con los precios estimados de los diversos accesorios que forman parte del sistema de lastre:

Componente	cantidad	precio	total
Tubería acero	30	150 €/m	4.320
Tubería GRP	240	170 €/m	40.800
Válvula de mariposa	10	5.000 €/u	50.000
Válvula maripos GRP	11	6.000 €/u	66.000
Válvula de bola	2	5.151 €/u	10.302
Válvula de retención	5	8.000 €/u	40.000

Válvula de retención angular	1	9.000€/u	9.000
Valvula de globo	9	9.000	90.000
Codos 90 (600)	6	700 €/u	4.200
Codos 90 GRP (400)	10	1.000 €/u	10.000
Tees	6	800 €/u	4.800
Válvula direccional	2	8.000 €/u	16.000
Válvula control flujo	1	11.184 €/u	11.184
Bombas centrifuga	3	30.000 €/u	90.000
reducciones	5	500 €/u	25.000
Planta de tratamiento ⁶	2	250.000	500.000
TOTAL			971606

Tabla 10-1 (Tabla de presupuesto)

Como se puede observar se ha obtenido un presupuesto de 971606 €. Se deberá de tener en cuenta que este valor es tan solo una estimación, ya que los precios que se han utilizado han sido estimados a partir de catálogos de accesorios con características similares.

Además, para conocer el coste total del sistema se deberá de considerar el tiempo de trabajo para su instalación. Este valor es tan solo para tener una idea del presupuesto de los accesorios.

⁶ El precio de la planta de tratamiento se ha estimado a partir de [22] donde aparece el precio de adquisición de la planta de fabricación de Panasia.

Referencias

- [1] Meizoso, Alvario y Azpiroz, *El proyecto básico del buque mercante*.
- [2] GUZMÁN CABAÑAS, Aurelio, *Teoría del Buque*.
- [3] GUZMÁN CABAÑAS, Aurelio, *Resistencia y propulsión*.
- [4] LLAMAS ALFARO, José Ángel. *Sistemas Auxiliares* (tema 2).
- [5] Parte 4, Capítulo 6, Sección 4. *Ship Piping Systems and Tank*, ABS.
- [6] Guía de cálculo para procesos con bombas centrifugas, [en línea].
[Consultado 11 de Julio de 2014] Disponible en:
www.Todoproduktividad.blogspot.com.es
- [7] Capítulo 3. Características de los gaseros [en línea]. [Consultado 11 de Julio de 2014] Disponible en www.cybertesis.vach.cl
- [8] Entrega del buque Iñigo Tapias construido por Izar-Sestao, *Ingeniería Naval, 2004*.
- [9] RODRIGO DE LARRUCEA, Jaime, *Seguridad Buques Gaseros*.
- [10] Los diez buques LNG más grandes que operan en la actualidad [en línea].
[Consultado 11 de Julio de 2014] Disponible en www.sectormaritimo.com
- [11] Convenio Internacional para el Control y Gestión de aguas de lastre y los Sedimentos de los Buques, 2004. (IMO)
- [12] Guides for ballast water treatment, ABS.
- [13] Guides for ballast water exchange, ABS.
- [14] Part 4, *Steel Vessel 2014*, ABS.

- [15] Part 6, *Rules for Clasification of Ships (DNV)*.
- [16] *Rules and Regulation for the classification of ships, July 2013 (LR)*.
- [17] ROMERO GARCÍA Lourdes, *Estudio del dispositivo para tratamiento aguas de lastre, Trabajo fin de estudios 2012*.
- [18] Tuberías de PRFV, *FLOWTITE*
- [19] Tarifa de precios, *SALVADOR ESCODA S.A.*
- [20] Lista de precios, *COVAL*.
- [21] Lista de precios febrero 2014, *SIMEX*.
- [22] CHAMIZO DE LA CONCHE, Ignacio. *Estudio técnico sobre la instalación de una planta de tratamiento a bordo de un buque, Trabajo fin de estudios 2013*.

Tablas

TABLA 2-1 (CARACTERÍSTICAS DE GASES TRANSPORTADOS EN GASEROS).....	19
TABLA 3-1 (PRINCIPALES DIMENSIONES BUQUE BASE)	37
TABLA 4-1 (REQUERIMIENTO TRATAMIENTO).....	65
TABLA 4-2 (DOCUMENTACIÓN REQUERIDA DNV)	75
TABLA 4-3 (APLICACIÓN DE LA NORMATIVA D1 O D2 SEGÚN CAPACIDAD DE LASTRE Y AÑO DE FABRICACIÓN).....	106
TABLA 5-1 (PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE BUQUES LNG).....	146
TABLA 5-2 (CAPACIDADES DE LOS TANQUES).....	178
TABLA 6-1 (REGLA APLICABLE LASTRE SEGÚN CAPACIDAD Y AÑO DE FABRICACIÓN).....	183
TABLA 7-1 (TABLA DE TUBERÍAS ABS)	209
TABLA 7-2 (VALOR DE "A" EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO).....	228
TABLA 8-1 (CARACTERÍSTICAS PLANTA DE TRATAMIENTO)	258
TABLA 9-1 (TABLA DE PRESUPUESTO).....	281



Figuras

FIGURA 2.1 (SECCIÓN TRANSVERSAL TANQUE MEMBRANA “GAZ TRANSPORT”)	22
FIGURA 2.2 (SECCIÓN TRANSVERSAL MEMBRANA “TECHNICAZ”)	23
FIGURA 2.3 (SECCIÓN TRANSVERSAL TANQUE INDEPENDIENTE TIPO A)	24
FIGURA 2.4 (SECCIÓN TRANSVERSAL TANQUE INDEPENDIENTE TIPO B)	25
FIGURA 2.5 (SECCIÓN TRANSVERSAL TANQUE INDEPENDIENTE TIPO C)	25
FIGURA 2.6 (SECCIÓN TRANSVERSAL INDEPENDIENTE TIPO C TOTALMENTE PRESURIZADAS)	26
FIGURA 3.1 (PROCESO LNG)	27
FIGURA 3.2 (INERTIZACIÓN DE TANQUES)	30
FIGURA 3.3 (SEGURIDAD A BORDO DEL BUQUE CARGA-DESCARGA)	33
FIGURA 4.1 (ESQUEMA BWM SEGÚN ABS)	55
FIGURA 4.2 (APLICACIÓN DE REGLA D-1 O D-2 SEGÚN CAPACIDAD DE LASTRE Y AÑO DE FABRICACIÓN)	58
FIGURA 0.1 (PLANTA DE TRATAMIENTO ALFA LAVAL)	125
FIGURA 0.2 (ECS TYPE A TECHCROS)	127
FIGURA 0.3 (UNIDAD DE CONTROL)	127
FIGURA 0.4 (DESINFECCIÓN ELECTRODIALÍTICA OCEAN SABER)	128
FIGURA 0.5 (DESINFECCIÓN ELECTRODIALÍTICA OCEAN SABER CON SISTEMA DE NITROGENO)	129
FIGURA 0.6 (PLANTA DE TRATAMIENTO NEI TREATMENT)	130
FIGURA 0.7 (PLANTA DE TRATAMIENTO HYDE MARINE)	131
FIGURA 0.8 (SISTEMA DE OZONO NUTECH O3, INC)	132
FIGURA 0.9 (COMPONENTES OPTIMARIN)	133
FIGURA 0.10 (PLANTA TRATAMIENTO HITACHI PLAN TECHNOLOGIES)	133

FIGURA 0.11 (PLANTA DE TRATAMIENTO PANASIA).....	134
FIGURA 0.12 (PLANTA DE TRATAMIENTO MARINE WATER TECHNOLOGIES)	136
FIGURA 0.13 (PLANTA DE TRATAMIENTO HAMWORTHY MEDIANTE UV).....	137
FIGURA 0.14 (PLANTA DE TRATAMIENTO HAMWORTHY MEDIANTE ELECTROCLORINACIÓN)	137
FIGURA 0.15 (HIBALLAST)	139
FIGURA 0.16 (PROCESO PLANTA DE TRATAMIENTO MITSUI ENGINEERING)	140
FIGURA 0.17 (PLANTA DE TRATAMIENTO HEADWAY TECHNOLOGY)	143
FIGURA 0.18 (SEVERN TRENT DE NORA).....	144
FIGURA 5.1 (RELACIÓN ENTRE PESO MUERTO Y VOLUMEN DE CARGA).....	147
FIGURA 5.2 (RELACIÓN ESLORA TOTAL – PESO MUERTO)	148
FIGURA 5.3 (RELACIÓN ESLORA TOTAL – VOLUMEN DE CARGA).....	149
FIGURA 5.4 (RELACIÓN ENTRE MANGA – VOLUMEN DE CARGA).....	151
FIGURA 5.5 (RELACIÓN ENTRE PUNTAL – VOLUMEN DE CARGA).....	152
FIGURA 5.6 (RELACIÓN ENTRE CALADO – VOLUMEN DE CARGA)	153
FIGURA 5.7 (RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO - VOLUMEN DE CARGA)	154
FIGURA 5.8 (RELACIÓN ENTRE CAPACIDAD DE CARGA - CAPACIDAD DE LASTRE)	155
FIGURA 5.9 (ESTABILIDAD TRANSVERSAL)	161
FIGURA 5.10 (PARÁMETROS DEL BULBO).....	167
FIGURA 5.11 (DIMENSIONES DEL BULBO).....	168
FIGURA 5.12 (RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO – CALADO)	169
FIGURA 5.13 (INMERSIÓN DE LA HÉLICE)	171
FIGURA 5.14 (SECCIÓN TRANSVERSAL DEL BUQUE).....	176
FIGURA 5.15 (SECCIÓN LONGITUDINAL DEL BUQUE)	177
FIGURA 7.1 (DISPOSICIÓN ZONA DE CARGA)	197
FIGURA 7.2 (DISPOSICIÓN DE UNA BOMBA LÍNEA DE LASTRE)	198
FIGURA 7.3 (FLUJO DE AGUA LASTRADO)	199
FIGURA 7.4 (FLUJO DE AGUA DESLASTRADO)	200
FIGURA 7.5 (UNIÓN DE BOMBAS – BANDA)	201
FIGURA 7.6 (UNIÓN DE LAS TRES BOMBAS).....	202
FIGURA 7.7 (DISPOSICIÓN LASTRE CÁMARA DE MAQUINAS)	203

FIGURA 7.8 (DISPOSICIÓN GENERAL SIN PLANTA DE TRATAMIENTO)	205
FIGURA 7.9 (VELOCIDADES PARA TUBERÍAS).....	207
FIGURA 7.10 (DIAGRAMA MOODY)	219
FIGURA 7.11 (DIAGRAMA CÁLCULO DE RUGOSIDAD RELATIVA)	220
FIGURA 7.12 (ENSANCHAMIENTO BRUSCO DE LA SECCIÓN).....	227
FIGURA 7.13 (ENSANCHAMIENTO GRADUAL)	228
FIGURA 7.14 (SALIDA DE DEPÓSITO)	229
FIGURA 7.15 (COEFICIENTE DE PÉRDIDA EN ACCESORIOS)	230
FIGURA 7.16 (VISTA LONGITUDINAL DE LA TUBERÍA DE LASTRE)	236
FIGURA 7.17 (PLANTA DISPOSICIÓN LASTRE-ZONA DE CARGA CON TÚNEL).....	249
FIGURA 7.18 (SECCIÓN TRANSVERSAL TÚNEL).....	250
FIGURA 8.1 (FILTRO).....	259
FIGURA 8.2 (FILTRO-INTERIOR)	260
FIGURA 8.3 (CORTE A-B FILTRO).....	261
FIGURA 8.4 (ENTRADA AGUA DE LASTRE)	262
FIGURA 8.5 (SALIDA AGUA DE LASTRE).....	262
FIGURA 8.6 (AUTO-LIMPIEZA FILTRO)	264
FIGURA 8.7 (CÁMARA UV).....	265
FIGURA 8.8 (EQUIPO UV).....	266
FIGURA 8.9 (SUMINISTRO ELÉCTRICO UV).....	267
FIGURA 8.10 (EQUIPO DE CONTROL)	269
FIGURA 8.11 (MEDIDOR DE FLUJO)	270
FIGURA 8.12 (MEDIDOR DE PRESIÓN)	270
FIGURA 8.13 (VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO).....	271
FIGURA 8.14 (SENSOR DE TEMPERATURA)	271
FIGURA 8.15 (PLANTA TRATAMIENTO DE LASTRE)	273
FIGURA 8.16 (ESQUEMA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LASTRE)	274
FIGURA 9.1 (DISPOSICIÓN GENERAL SISTEMA DE LASTRE CON PLANTA DE TRATAMIENTO)	277
FIGURA 9.2 (DISPOSICIÓN GENERAL CÁMARA DE MAQUINAS CON PLANTA DE TRATAMIENTO)	278

Formulación tema 6.

- (1) Relación Toneladas de peso muerto – Volumen de carga.
- (2) Relación Eslora total – Peso muerto.
- (3) Relación Eslora total – Volumen de carga.
- (4) Relación Eslora total – Eslora entre perpendiculares.
- (5) Ecuación Número de Froude.
- (6) Relación Manga - Volumen de carga.
- (7) Relación Puntal – Volumen de carga.
- (8) Relación Calado – Volumen de carga.
- (9) Relación Desplazamiento - Volumen de carga.
- (10) Relación Capacidad de carga – Capacidad de lastre.
- (11) Ecuación del Volumen de Carena.
- (12) Ecuación del Coeficiente de Bloque.
- (13) Ecuación del Coeficiente de Bloque mediante la eslora entre perpendiculares.
- (14) Ecuación del Coeficiente de la maestra.
- (15) Ecuación del Coeficiente de la maestra en función del coeficiente de bloque.
- (16) Ecuación coeficiente prismático.
- (17) Ecuación del coeficiente de flotación.

-
- (18) Relación Eslora – Puntal.
 - (19) Relación Eslora – Calado.
 - (20) Relación Manga – Calado.
 - (21) Ecuación para el cálculo de la estabilidad inicial (GM).
 - (22) Fórmula de Euler para distancia centro de carena (KC).
 - (23) Fórmula de Normand para radio metacéntrico (CM).
 - (24) Fórmula para distancia del centro de gravedad (KG).
 - (25) Relación entre el desplazamiento, peso muerto y peso en rosca.
 - (26) Relación entre peso muerto, peso del LNG y peso del lastre.
 - (27) Relación entre el Desplazamiento – Calado.
 - (28) Distancia Línea base – Extremo superior de la pala de la hélice.
 - (29) Distancia mínima entre la línea de flotación y la pala de la hélice.
 - (30) Calado mínimo con respecto a la hélice.
 - (31) Altura mínima del doble fondo.
 - (32) Relación entre esloras Buque base – Buque proyecto.
 - (33) Capacidad total de lastre relacionando las esloras de los buques.
 - (34) Relación entre volúmenes de carga Buque base – Buque proyecto.
 - (35) Capacidad total de lastre relacionando volúmenes de carga.

Formulación tema 8.

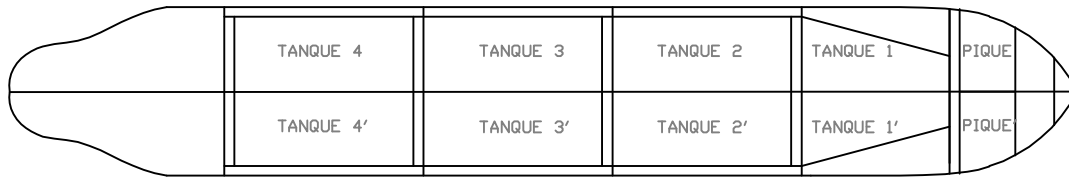
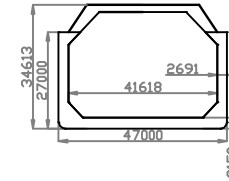
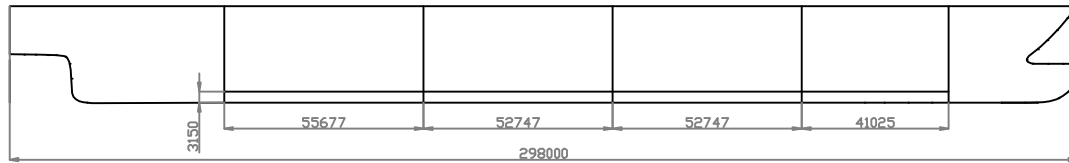
- (1) Capacidad de la bomba.
- (2) Sección de la tubería en función del caudal y la velocidad.
- (3) Diámetro de tubería en función de la sección.
- (4) Sección de la tubería en función del diámetro.
- (5) Velocidad del fluido en función del caudal y la sección.
- (6) Pérdida de carga continua (Ecuación de Darcy-Weissbach).
- (7) Pérdida de carga continua simplificada.
- (8) Número de Reynolds.
- (9) Factor de rugosidad para régimen laminar.
- (10) Factor de rugosidad tubería hidráulicamente lisa (Ecuación de Blasius).
- (11) Factor de rugosidad tubería hidráulicamente lisa (Ecuación de Karman-Prandtl).
- (12) Factor de rugosidad tubería hidráulicamente rugosa (Ecuación de Karman-Nikuradse).
- (13) Factor de rugosidad para régimen turbulento (Ecuación Colebrook-White).
- (14) Factor de rugosidad para régimen turbulento aproximado.
- (15) Relación entre Viscosidad dinámica – Viscosidad.

- (16) Pérdida de carga continua en cámara de maquinas.
- (17) Pérdida de carga continúa en zona de carga.
- (18) Pérdida de carga continúa en los ramales.
- (19) Cálculo pérdida de carga continua total para el lastrado.
- (20) Cálculo pérdida de carga continua total para el deslastrado.
- (21) Pérdida de carga en accesorios.
- (22) Pérdida de carga por ensanchamiento brusco.
- (23) Pérdida de carga por ensanchamiento gradual.
- (24) Pérdida de carga en estrechamiento brusco y gradual si diferencia de diámetros es alta.
- (25) Pérdida de carga en estrechamiento brusco y gradual si diferencia de diámetros es baja.
- (26) Pérdida de carga por accesorios total.
- (27) Pérdida de carga total.
- (28) Ecuación de Bernuilli.
- (29) Relación densidad y aceleración gravitatoria.
- (30) Ecuación de Bernuilli multiplicada por g.
- (31) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (32) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (33) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (34) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (35) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (36) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (37) Ecuación de Bernuilli simplificada.
- (38) Presión total para el lastrado.
- (39) Presión total para el deslastrado.
- (40) Estimación potencia consumida por la bomba.

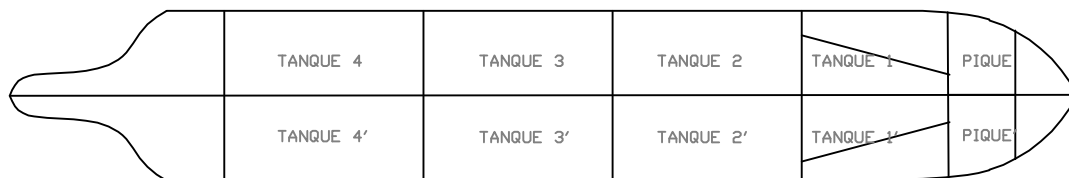
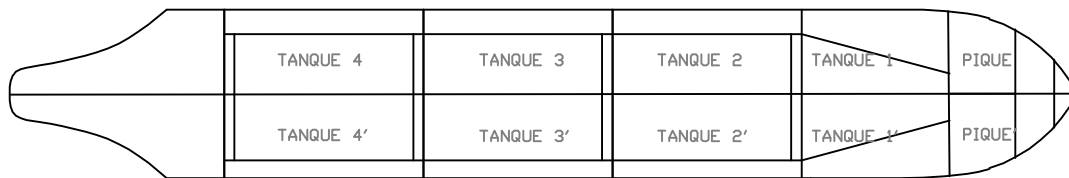
Anexos.

- ANEXO 1. Plano de capacidades de lastre.
- ANEXO 2. Plano del filtro.
- ANEXO 3. Plano:
 - 3.1. Planta tratamiento ultravioleta.
 - 3.2. Cámara tratamiento ultravioleta.
 - 3.3. Tobera de entrada tratamiento ultravioleta.
 - 3.4. Tobera de salida tratamiento ultravioleta.
 - 3.5. Soporte cámara tratamiento ultravioleta.
- ANEXO 4. Plano planta suministro eléctrico.
- ANEXO 5. Plano panel de control.
- ANEXO 6. Plano disposición general planta de lastre.
- ANEXO 7. Plano disposición general planta de lastre (con túnel).

ANEXO 1



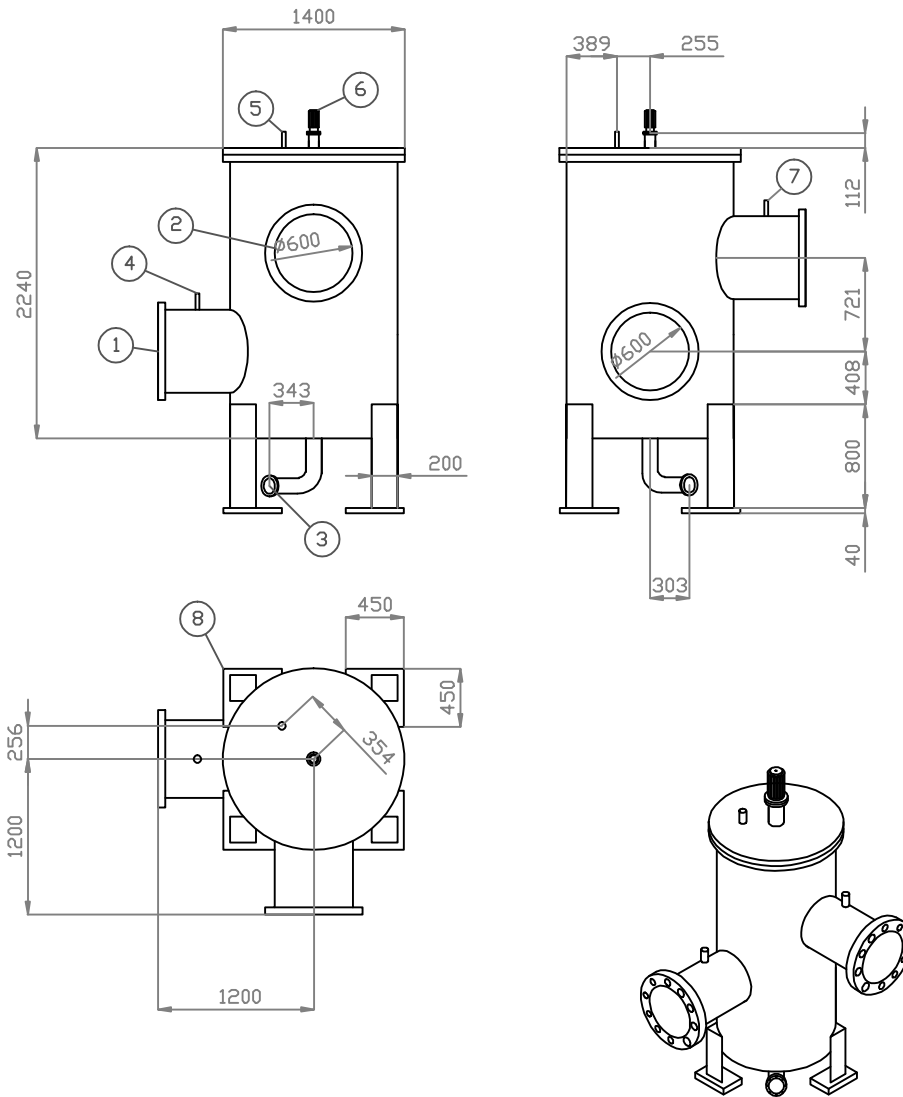
CAPACIDADES	
1	5833,1000
2	7028,5000
3	7212,9000
4	7126,3000
PIQUE	1844,9000



BUQUE 176.000 METROS CUBICOS	
LPP	298
B	47
D	27
T	11,9000

José D. Usero García

ANEXO 2

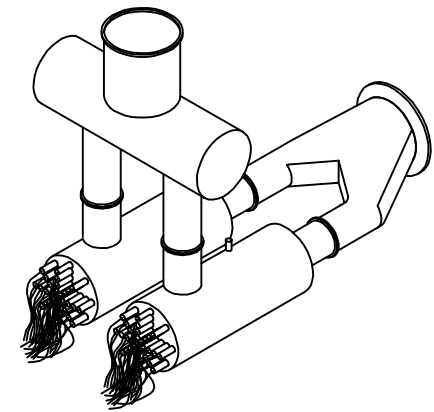
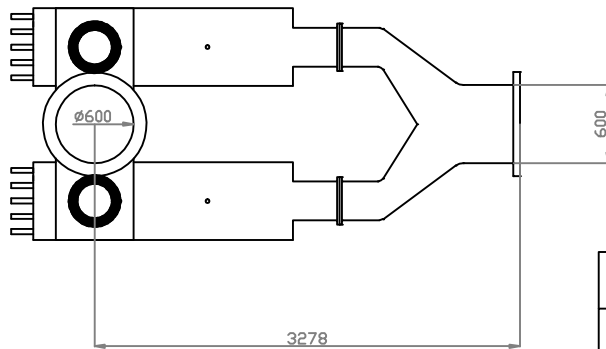
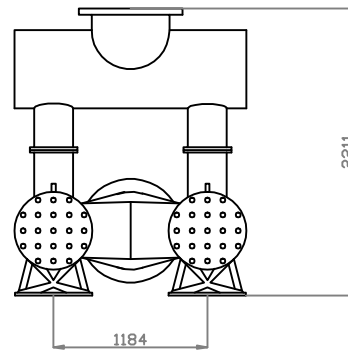
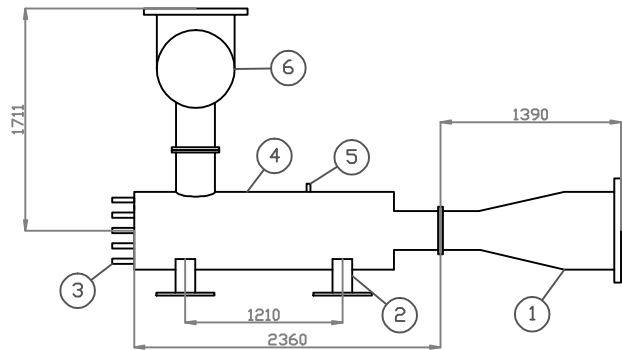


ACCESORIOS	
①	ENTRADA BRIDA AGUA 600 DN
②	SALIDA AGUA BRIDA 600 DN
③	SALIDA AGUA AUTO-LIMPIEZA BRIDA 100 DN
④	MEDIDOR PRESIÓN ENTRADA
⑤	DRENAJE FILTRO
⑥	MOTOR ELECTRICO
⑦	MEDIDOR PRESIÓN SALIDA
⑧	SOPORTE (POLIN)

FILTRO	
PLANTA TRATAMIENT LASTRE	
UCA-BALLAST	
ESCALA	1 : 50

José D. Usero García Buque LNG 176.000 m3

ANEXO 3



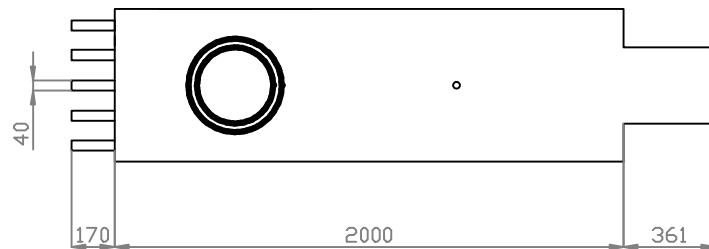
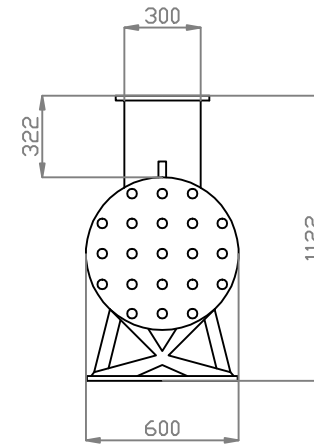
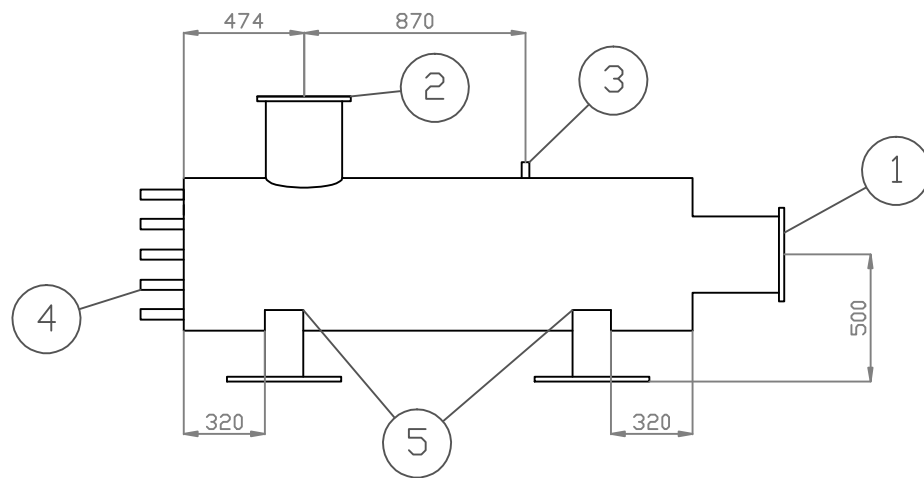
ACCESORIOS	
①	COLECTOR ENTRADA
②	SOPORTE-POLIN CAMARA
③	TUBO LUZ UV
④	CAMARA UV
⑤	MEDIDOR TEMPERATURA
⑥	COLECTOR SALIDA

CÁMARA UV (1 DE 5)
PLANTA TRATAMIENT LASTRE
UCA-BALLAST

José D. Usero García Buque LNG 176.000 m3

ESCALA	1 : 60
--------	--------

ANEXO 3.1



ACCESORIOS

1	BRIDA ENTRADA 300 DN
2	BRIDA SALIDA 300 DN
3	MEDIDOR DE TEMPERATURA
4	TUBO LUZ UV
5	SOPORTE-POLIN

CÁMARA UV (2 DE 5)

PLANTA TRATAMIENT LASTRE

UCA-BALLAST

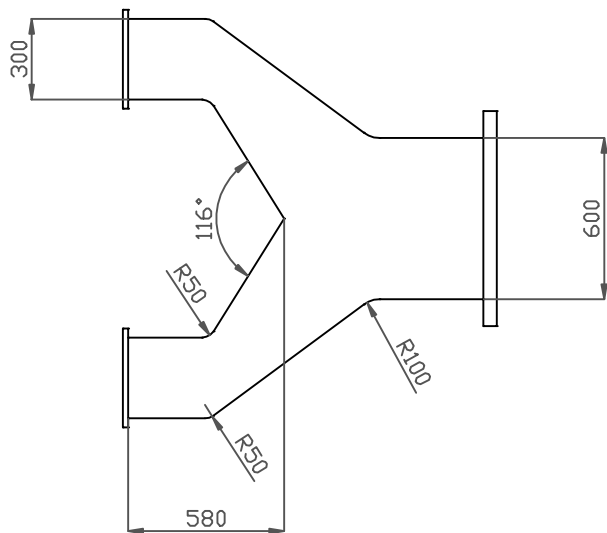
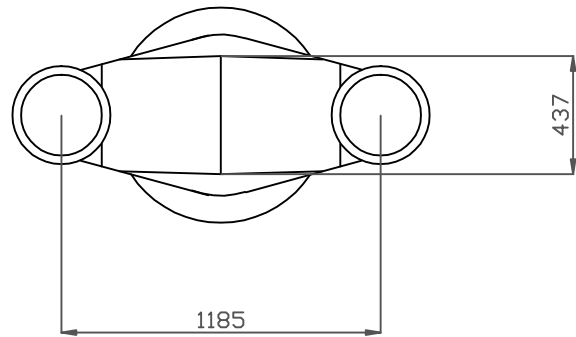
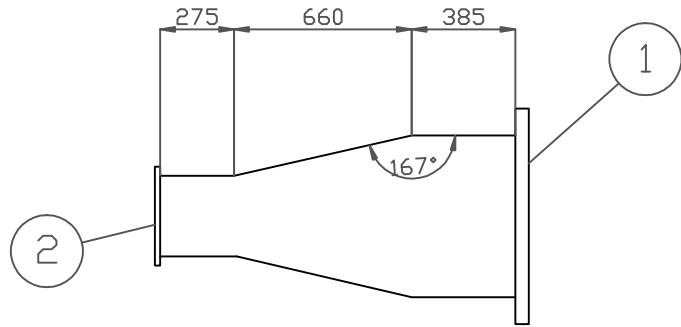
ESCALA

1 : 30

José D. Usero García

Buque LNG 176.000 m³

ANEXO 3.2



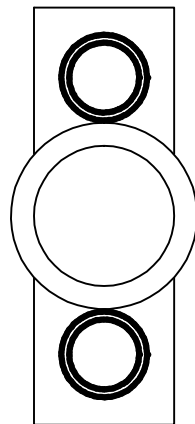
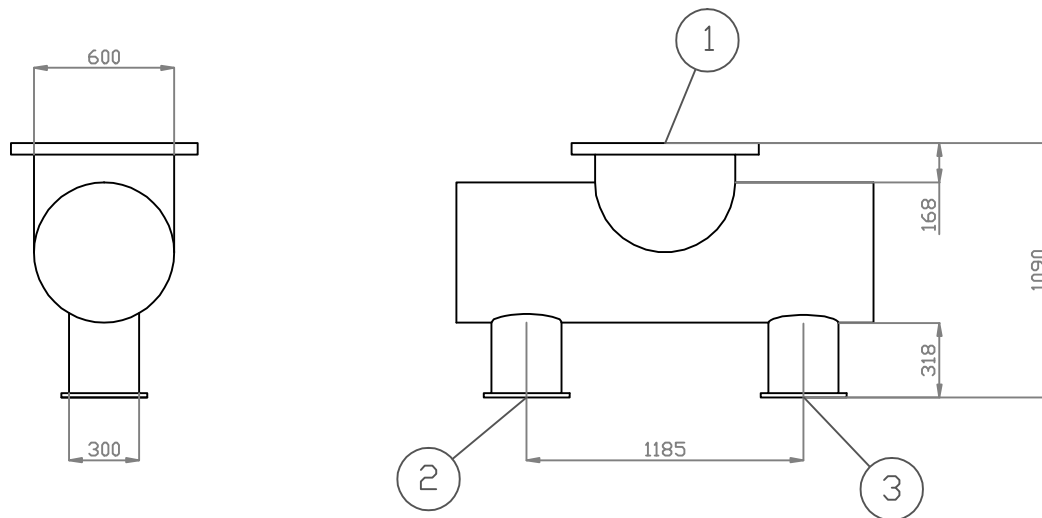
ACCESORIOS	
1	BRIDA-600 DN
2	BRIDA-300 DN

CÁMARA UV (3-5)	
PLANTA TRATAMIENT LASTRE	
UCA-BALLAST	

José D. Usero García Buque LNG 176.000 m3

ESCALA	1 : 30
--------	--------

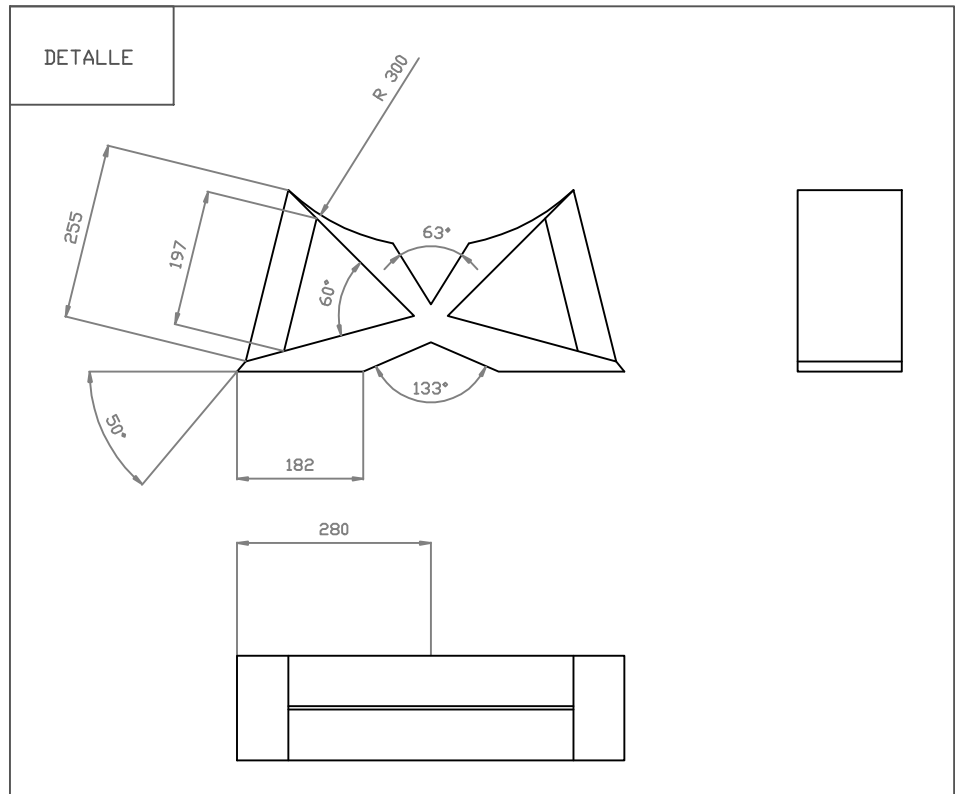
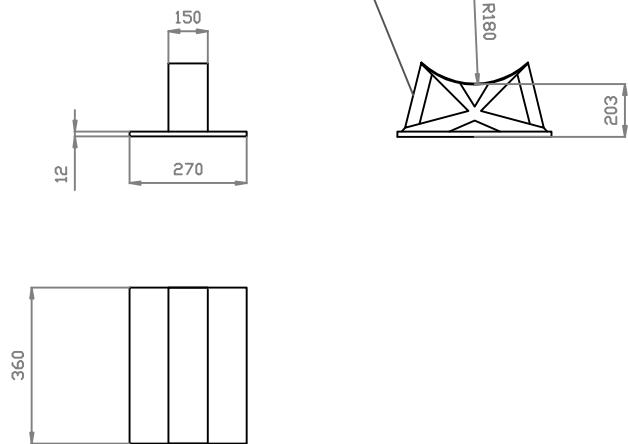
ANEXO 3.3



ACCESORIOS	
①	BRIDA 600 DN
②	BRIDA 300 DN
③	BRIDA 300 DN

CÁMARA UV (4-5)	
PLANTA TRATAMIENT LASTRE	
UCA-BALLAST	
ESCALA	1 : 30

ANEXO 3.4



CÁMARA UV (5 DE 5)

PLANTA TRATAMIENT LASTRE

UCA-BALLAST

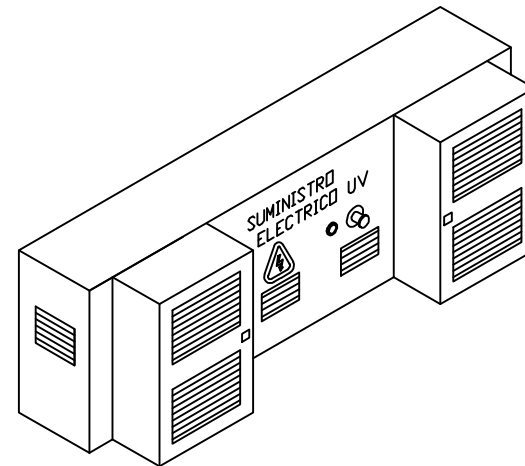
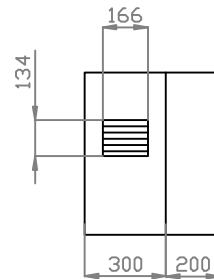
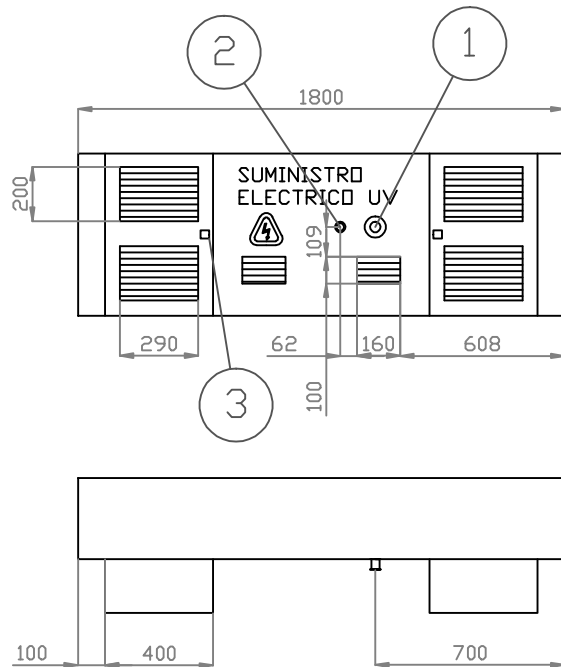
ESCALA

1 : 20

José D. Usero García

Buque LNG 176.000 m³

ANEXO 4



ACCESORIOS	
1	PARADA DE EMERGENCIA
2	PUESTA EN MARCHA MANUAL
3	TIRADOR PARA ABERTURA PUERTA

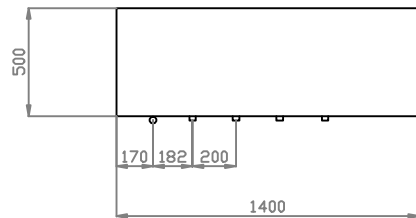
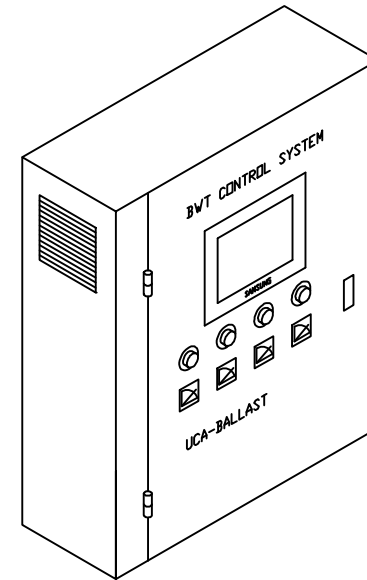
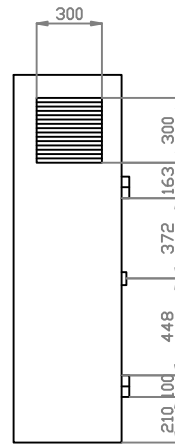
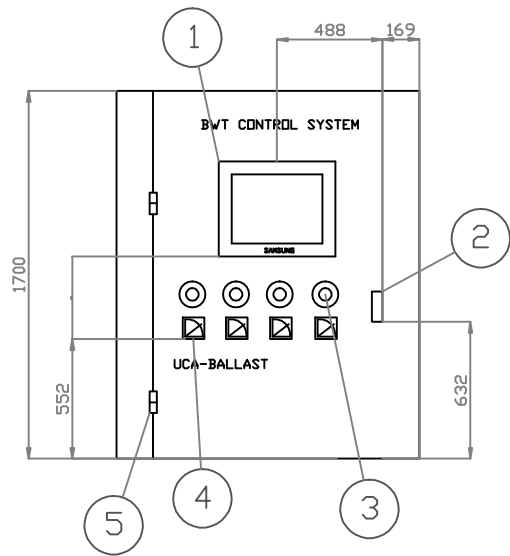
SUMINISTRADOR POTENCIA	
PLANTA TRATAMIENT LASTRE	
UCA-BALLAST	

José D. Usero García Buque LNG 176.000 m³

ESCALA

1 : 30

ANEXO 5



ACCESORIOS	
1	MONITOR PANTALLA TACTIL
2	TIRADOR PUERTA
3	INTERRUPTOR-REGULADOR
4	RELOJ POTENCIA
5	BISAGRA PUERTA

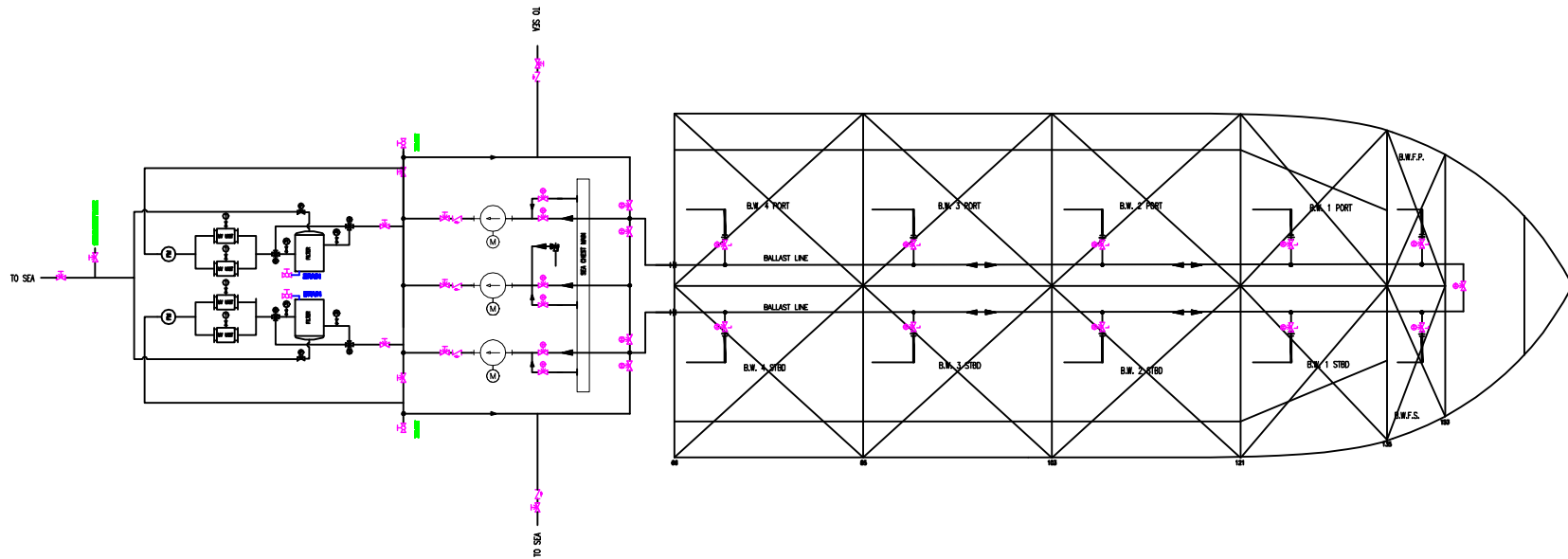
PANEL DE CONTROL	
PLANTA TRATAMIENT LASTRE	
UCA-BALLAST	

José D. Usero García Buque LNG 176.000 m3

ESCALA

1 : 35

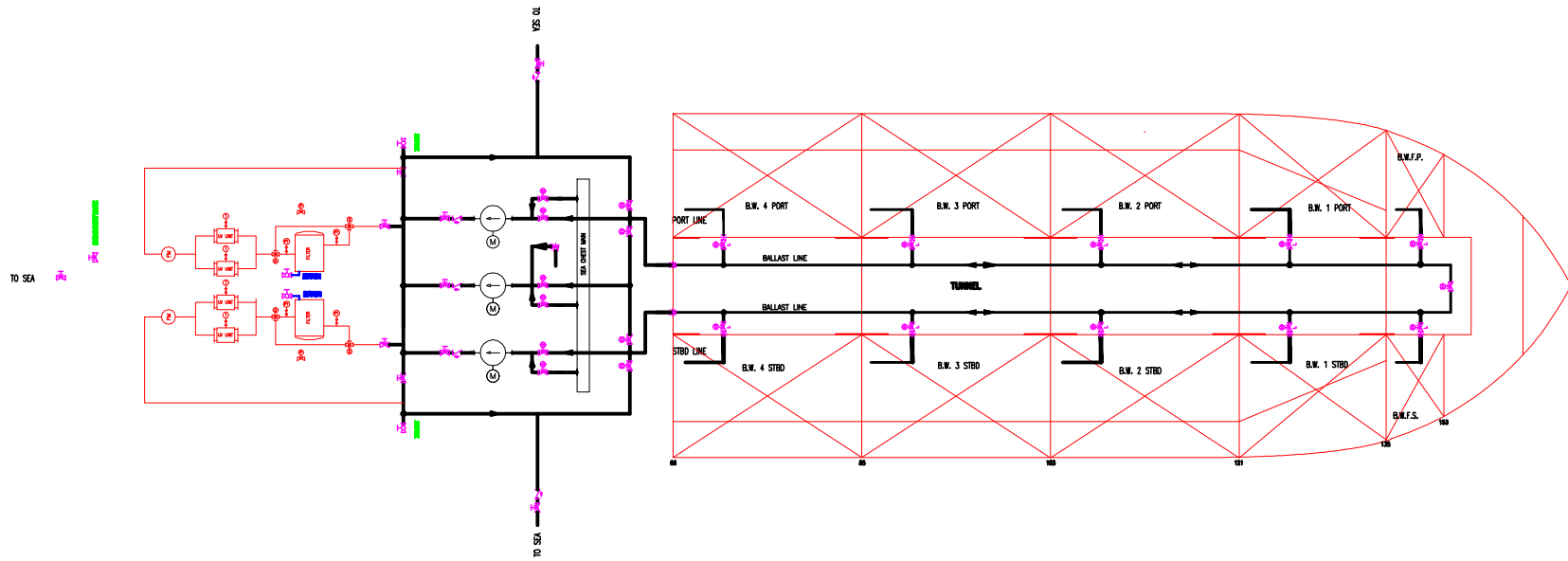
ANEXO 6



SIMBOLOS	DESCRIPCION	SIMBOLOS	DESCRIPCION
	VALVULA DE BOLA		SENTIDO DE FLUJO / FLOW DIRECTION
	VALVULA GLOBO CIERRE-RETENCION MANUAL P. RECTO		CRUCE DE TUBOS NO CONECTADOS
	INDICADOR DE NIVEL		VALVULA DE MARIPOSA WAFER, ACC. HIDRAULICO
	INTERRUPTOR DE NIVEL		VALVULA DE MARIPOSA TIPO LUG, ACC. HIDRAULICO
	ALARMA ALTO NIVEL		BOMBA CENTRIFUGA
	CAMPANA ASPIRACION		VALVULA DE MARIPOSA WAFER MANUAL
	VALVULA DE ASIENTO CIERRE PASO RECTO		VALV. GLOBO CIERRE-RETENCION MANUAL P. ANGULAR
	VALVULA CON CONEXION DE PRUEBA		VALVULA RETENCION DOBLE CLAPETA-WAFER
	VALVULA CONTROL DE FLUJO		PIEZA A DISTANCIA
	CAUDALIMETRO		TRANSMISOR DE PRESION
	TUBERIAS DE ACERO GALVANIZADO		MANOMETRO
	TUBERIAS DE GRP/ GRE		VACUOMETRO

BUQUE LNG 176.000 M3	
SISTEMA DE LASTRE	
DISPOSICIÓN GENERAL	
LNG 176.000 METROS CUBICOS	
ESCALA	-

ANEXO 7



SIMBOLOS	DESCRIPCION	SIMBOLOS	DESCRIPCION
	VALVULA DE BOLA		SENTIDO DE FLUJO / FLOW DIRECTION
	VALVULA GLOBO CIERRE-RETENCION MANUAL P. RECTO		CRUCE DE TUBOS NO CONECTADOS
	INDICADOR DE NIVEL		VALVULA DE MARIPOSA WAFER, ACC. HIDRAULICO
	INTERRUPTOR DE NIVEL		VALVULA DE MARIPOSA TIPO LUG, ACC. HIDRAULICO
	ALARMA ALTO NIVEL		BOMBA CENTRIFUGA
	CAMPANA ASPIRACION		VALVULA DE MARIPOSA WAFER MANUAL
	VALVULA DE ASIENTO CIERRE PASO RECTO		VALV. GLOBO CIERRE-RETENCION MANUAL P. ANGULAR
	VALVULA CON CONEXION DE PRUEBA		VALVULA RETENCION DOBLE CLAPETA-WAFFER
	VALVULA CONTROL DE FLUJO		PIEZA A DISTANCIA
	CAUDALIMETRO		TRANSMISOR DE PRESION
	TUBERIAS DE ACERO GALVANIZADO		MANOMETRO
	TUBERIAS DE GRP/ GRE		VACUOMETRO

BUQUE LNG 176.000 M3	
SISTEMA DE LASTRE	
DISPOSICIÓN GENERAL	
LNG 176.000 METROS CUBICOS	
ESCALA	-

