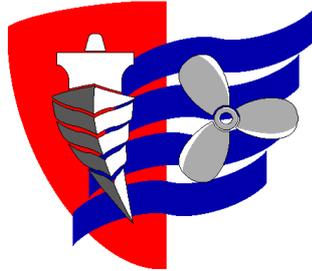


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



RESUMEN DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

**ESTUDIO TÉCNICO SOBRE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LASTRE EN UN BUQUE E
IMPACTO EN LA PLANTA EXISTENTE**

Technical Study about the installation of a ballast water treatment system onboard a vessel and impact on the existing plant.

Grado en INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: Ignacio Chamizo de la Concha
Director: Antonio Vega Omaña
Junio – 2013

Introducción

En este Estudio Técnico he querido analizar el impacto de una planta de tratamiento de agua de lastre en un buque existente. Aparte del estudio de un elemento nuevo determinado, he querido integrar ese elemento innovador en una instalación existente, valorando las implicaciones técnicas, consecuencias en la planta de lastre y presupuesto.

Planteamiento del problema.

La reciente normativa IMO D-2 ha marcado los límites de las especies vivas admisibles en las operaciones de (des)lastre. Además, se han acordado unas fechas máximas de instalación de plantas de tratamiento de agua de lastre que llevarán a grandes picos de demanda entre los años 2017 a 2019.

Buque totales (nuevos y existentes) a los que habrá que montar un BWTS:

- Año 2015: 1,740 buques
- Año 2016: 6,740 buques
- Año 2017: 17,940 buques
- Año 2018: 12,940 buques
- Año 2019: 12,940 buques
- Año 2020: 1,740 buques

Debido a la urgencia con las que estas plantas se están desarrollando, encontraremos varios puntos dudosos, o al menos discutibles, con respecto a las características ofrecidas por los fabricantes. Detrás de este proyecto está el poner de manifiesto e indagar sobre dos de los principales impactos sobre una planta de lastre existente: las pérdidas de carga y la contrapresión de los filtros y reactores UVA, comprobando así si los equipos de lastre existentes son válidos.

Metodología.

Hemos analizado las distintas plantas de tratamiento de agua de lastre que existen hoy en día y las consecuencias a la salud o medioambientales derivadas del uso de varias de estas plantas, por lo que hemos elegido sistemas que combinan filtración mecánica y lámparas UVA.

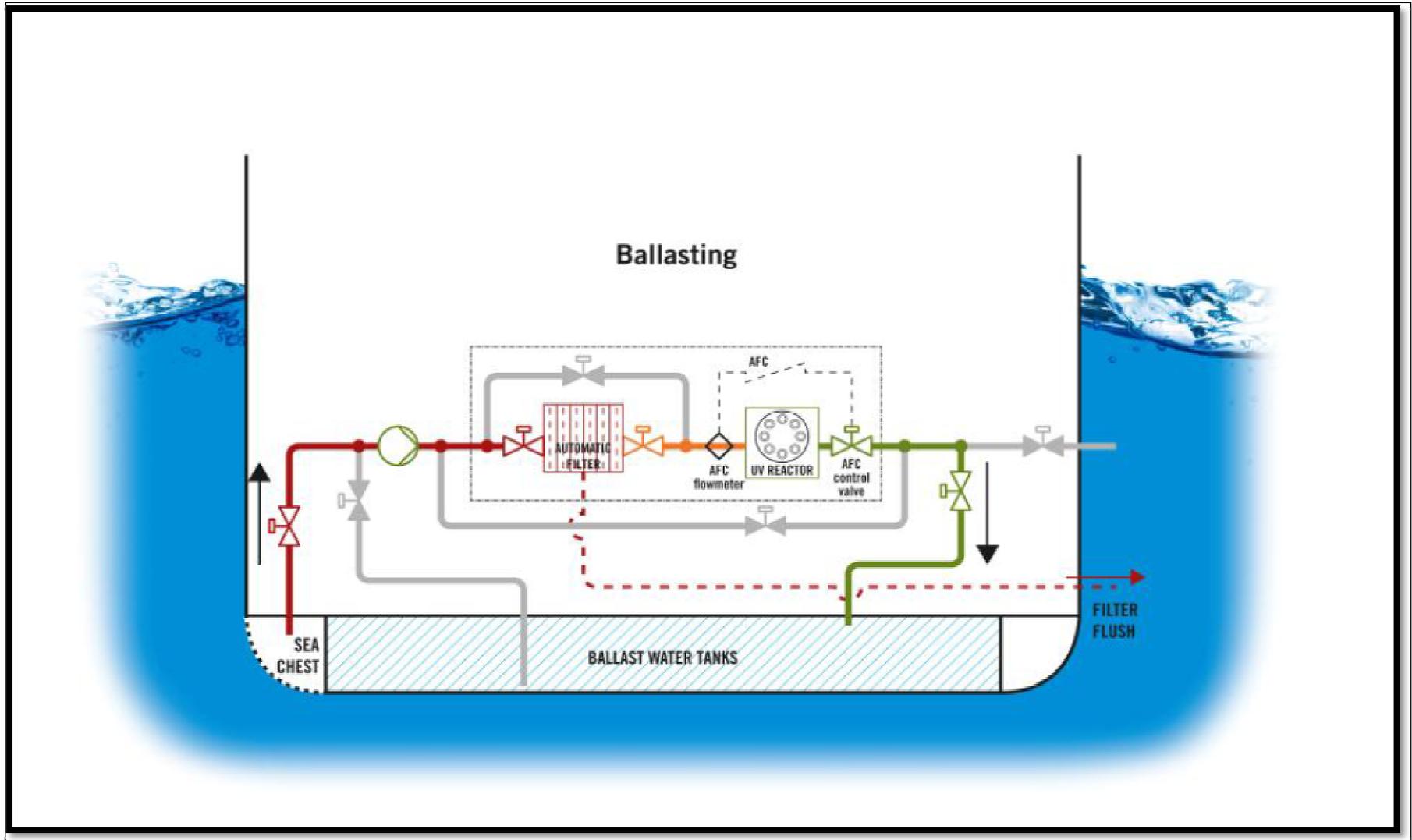
Se han estudiado tres plantas concretas de 500m³/h y la instalación de una de ellas en un buque determinado.

Además, se detallan los componentes principales y cómo son las operaciones:

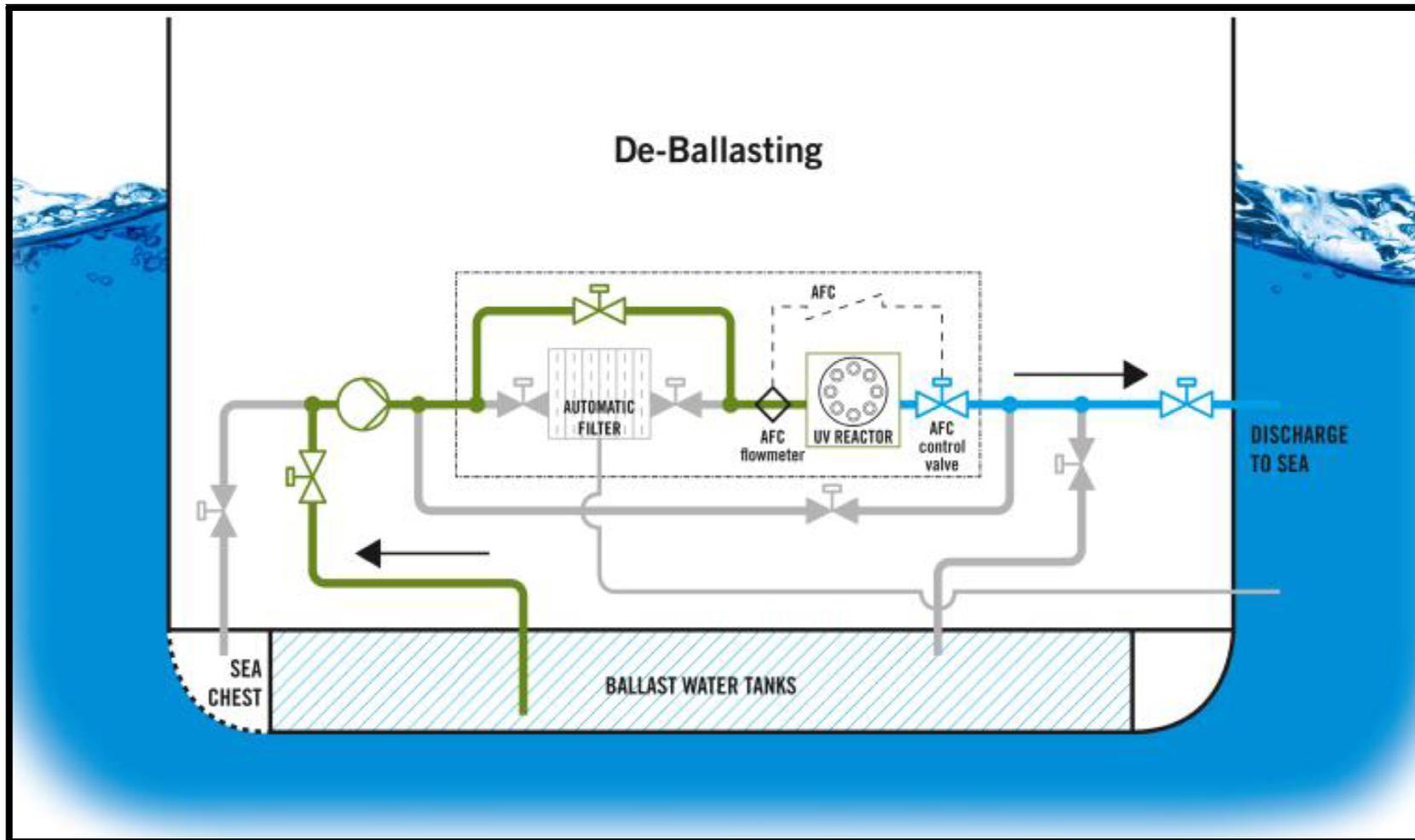
Lastrado:

- a. A través de la toma de mar, la bomba aspira el agua de lastre.
- b. La descarga llega a un filtro automático.
- c. Del filtro pasa a través de un flujómetro, que previene cualquier reducción del mismo, a través de una válvula automática comandada por el flujómetro.
- d. A la salida del flujómetro se encuentra el Reactor UV, que realiza la eliminación de organismos.
- e. El agua de lastre que sale del esterilizador UVA llega a la válvula de control y de ahí se distribuye a los tanques.

La operación de deslastrado es igual (a la inversa, salvo por el hecho de que no pasa el agua a través del filtro).



Lastrado de la BWTS.



Deslastrado de la BWTS.

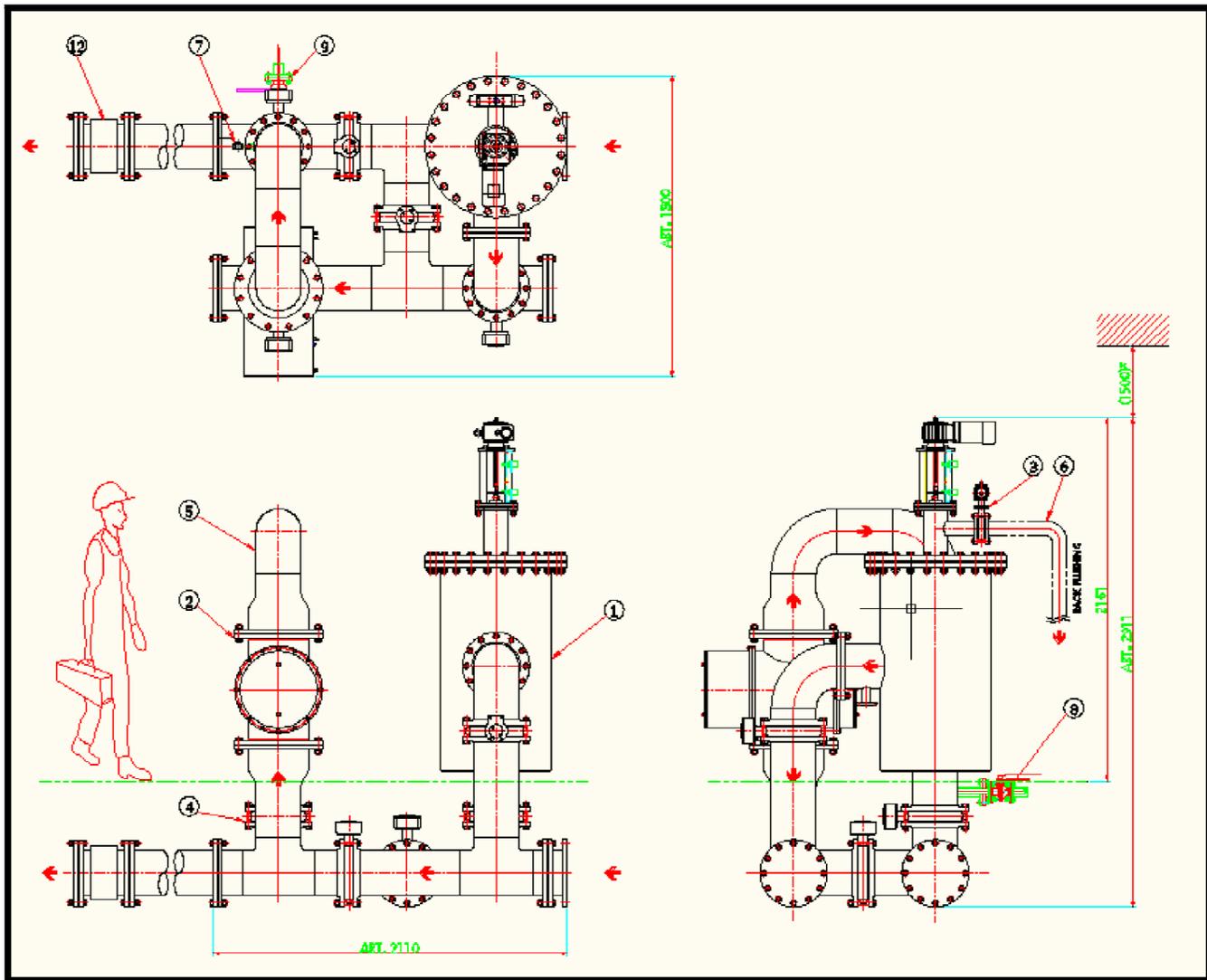
Finalmente, se ha analizado el impacto en el sistema de lastre debido a la pérdida de carga y cómo influye la contrapresión ejercida por el filtro y las lámparas UVA.

Para comprobar las pérdidas de carga que genera la tubería y sistemas adicionales, partiremos de una tabla que refleje las características y elementos del nuevo sistema. Con esos datos, calcularemos la longitud equivalente de la planta y la pérdida de carga. A continuación, haremos lo mismo con el sistema de lastre y calcularemos la potencia que las bombas deben entregar para poder dar la altura dinámica que contemple tanto las pérdidas de carga totales como la presión necesaria (aumentada debido a la contrapresión de filtro y lámparas UVA).

Vamos a hacer los siguientes cálculos:

1. Pérdida de carga debido a la nueva Planta.
2. Pérdida de carga total (circuito de lastre + nueva planta)
3. Potencia necesaria teniendo en cuenta la pérdida total y la presión de descarga requerida.
4. Comparación efecto debido a Pérdida de Carga y a presión más alta.

Empezaremos por utilizar un plano con cotas de la planta, suministrado en los catálogos de Panasia. A partir de ese plano, elaboraremos una serie de isométricas de la tubería y obtendremos los datos necesarios para los cálculos.



Planta de Tratamiento PANASIA 500

1. Pérdida de carga debido a la nueva planta

Basándonos en la Figura “Planta de Tratamiento PANASIA 500”, calculamos las longitudes de los tramos de tubería y los accesorios instalados.

- Longitud de los tramos: 9.32m
- L equivalente de los accesorios: Utilizaremos equivalencias unitarias para tubería de 10” con respecto al número de codos, reducciones, “T” y válvulas, obteniendo una Leq de 112,50m.

$$\mathbf{L\ Tot\ eq\ Planta = L\ tubería\ Planta + L\ eq\ accesorios = 121.82m}$$

Calculamos el coeficiente de fricción, “f” mediante:

- El Número de Reynolds (“Re):

$$Re = \frac{v \cdot d}{\gamma} = \frac{\left[2 \frac{m}{s} \times 0.25\ m\right]}{1.307 \times 10^{-6}\ m^2/s} = 3.825 \times 10^5$$

- y la Rugosidad Relativa:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.01}{250} = 4 \times 10^{-5}$$

Entramos al Diagrama de Moody y calculamos el “Coeficiente de Fricción (“f”), que permite calcular la pérdida de carga que “añadiremos” al montar la nueva planta.

Obtenemos “f” = 0.022

Cálculo de la Pérdida de Carga:

$$h_f = \frac{f \cdot L_{eq} \cdot V^2}{2 \cdot D \cdot g} = \frac{0.022 \cdot 121.82 \text{ (m)} \cdot 2^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0.25 \text{ (m)} \cdot 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 2.18\text{m}$$

Hemos instalado una planta de longitud de 9.32m. Debido a los accesorios, la longitud equivalente es de 121.82m. La pérdida de carga de la instalación es de 2.18m.

2. Cálculo de la pérdida de carga en todo el Sistema de Lastre:

Partiremos del Plano de Disposición General del buque elegido (M/T “Bow Balearia”). Como tiene una eslora (Lmax) 100m, manga 16.5m y puntal 8.30m y 14 tanques de lastre (más el peak de proa y el de popa), aproximamos la longitud de tubería.

$$\Sigma_{\text{lastre y deslastre}} = \mathbf{351 \text{ m tubería}}$$

Hacemos una estimación de los accesorios (codos totales, reducciones, injertos y válvulas) y calculamos la longitud equivalente de los accesorios, a partir de las longitudes unitarias equivalentes, llegando a obtener 965m totales.

$$\mathbf{L_{eq} \text{ Sistema Lastre} = L_{\text{tubería Planta}} + L_{\text{eq accesorios}} = 351\text{m} + 965 = \mathbf{1316\text{m}}}$$

Calculamos, el coeficiente de fricción, “f”, el número de Reynolds (Re), la “Rugosidad relativa” y a partir del Diagrama de Moody calculamos el “Coeficiente de Fricción (“f”), obteniendo “f” = 0.023.

Calculamos la Pérdida de Carga del Sistema de lastre existente:

$$h_f = \frac{f \cdot Leq \cdot V^2}{2 \cdot D \cdot g} = 24.68\text{m}$$

Como:

$$h_{f \text{ Sistema Lastre}} = 24.68\text{m} \quad \text{y}$$

$$h_{f \text{ Planta Panasia 500}} = 2.18\text{m}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_f \text{ Sistema Lastre} + h_f \text{ Planta BTWS} = 26.86\text{m}$$

$$\mathbf{h_{f \text{ total}} = 26.86\text{m}}$$

Cálculo de la altura dinámica o Carga de Trabajo de la bomba (“H_B”):

$$H_B = h_{f \text{ total}} + \left[\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \right] - \left[\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 \right] = \mathbf{64.52\text{m}}$$

Este el valor de la altura dinámica que deben entregar las bombas de lastre.

3. Potencia necesaria teniendo en cuenta la pérdida total y la presión de descarga requerida.

$$P = H_b \times \rho \times g \times Q = 64.52 \text{ (m)} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)} \times \frac{500}{3600} \text{ (m}^3\text{/s)} =$$
$$= 87908.5 \text{ kg.m}^2\text{/s}^2 \text{ (W)}$$

Potencia requerida a las bombas lastre = 87.91 kW

Considerando eficiencia del 85%

$$\text{Potencia real} = \frac{87.91}{0.85} = 103.42 \text{ kW}$$

El buque necesitaría dos bombas capaces de suministrar cada una:

- Potencia: 52 kW
- Q: 250m³/h

El buque dispone de dos bombas de 250m³, con motores de 90kW (76.5 kW, considerando pérdidas), además de otra menor de 45 kW.

Tenemos por tanto, aún un margen de 2 x 76.5 kW Vs 104 kW, además de otra bomba menor.

4. Comparación efecto debido a Pérdida de Carga y a presión de descarga más alta

Muchos buques trabajan con presiones de lastre (“P₂”) de 2-2.5 kg/cm² y tener que elevar a 3.5 kg/cm² supone incrementar notablemente la altura dinámica y, por tanto, la potencia necesaria:

$$H_B = h_{ftotal} + \left[\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \right] - \left[\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 \right]$$

1. Potencia necesaria para Presión de descarga de 3.5bar y hf sistema de 26.86m:

$$H_B = 64.52\text{m}$$

$$P \text{ bomba teórica} = 88 \text{ kW}$$

2. Potencia necesaria para Presión de 2.5bar y hf sistema de 26.86m

$$H_B = 54.53\text{m}$$

$$P \text{ bomba teórica} = 74.30 \text{ kW}$$

La diferencia en altura dinámica provocada por:

- la pérdida de carga debido a la nueva planta es de $hf = 2.18\text{m}$
- y la diferencia debido al aumento de presión (P descarga 3.5kg/cm² en lugar de 2.5 kg/cm²) = $34.96 - 24.97 = 9.99\text{m}$

La conclusión de este cálculo es que es mucho mayor el requerimiento de potencia debido a la contrapresión ejercida que el debido a la pérdida de carga por la nueva planta.

Gestión del Proyecto

Presupuesto de la obra de instalación

La instalación de la BWTS supondrá un coste que podremos dividir en:

1) Suministro de la Nueva Planta Panasia 500:

Coste del equipo: 250,000.00 €

2) Entrega:

Coste de la entrega: 20,400.00 €

3) Trabajos auxiliares:

Coste de los trabajos auxiliares: 22,520.00 €

4) Conexión de la Planta a la tubería existente:

Coste de la conexión de tubería: 2,250.00 €

Coste total de la instalación: $250.000 + 20.400 + 22.520 + 2.250 =$ **295,170.00 €**

Presupuesto de otras reparaciones propias de la varada.

En la obra de varada, se ha contemplado que el buque sea lavado, chorreado y pintado. Además, se desmontará la línea de ejes (renovación de sellos, desmontaje de palas de hélices y de eje de cola). Junto a estos trabajos mecánicos, se hará una reparación de rutina de motores principales y auxiliares.

Considerando tanto los trabajos propios de la varada y la instalación de la BWTS, el armador debería estimar el siguiente coste:

1. Varada: 98,450.00 €

2. Instalación BTWS: 295,170.00 €

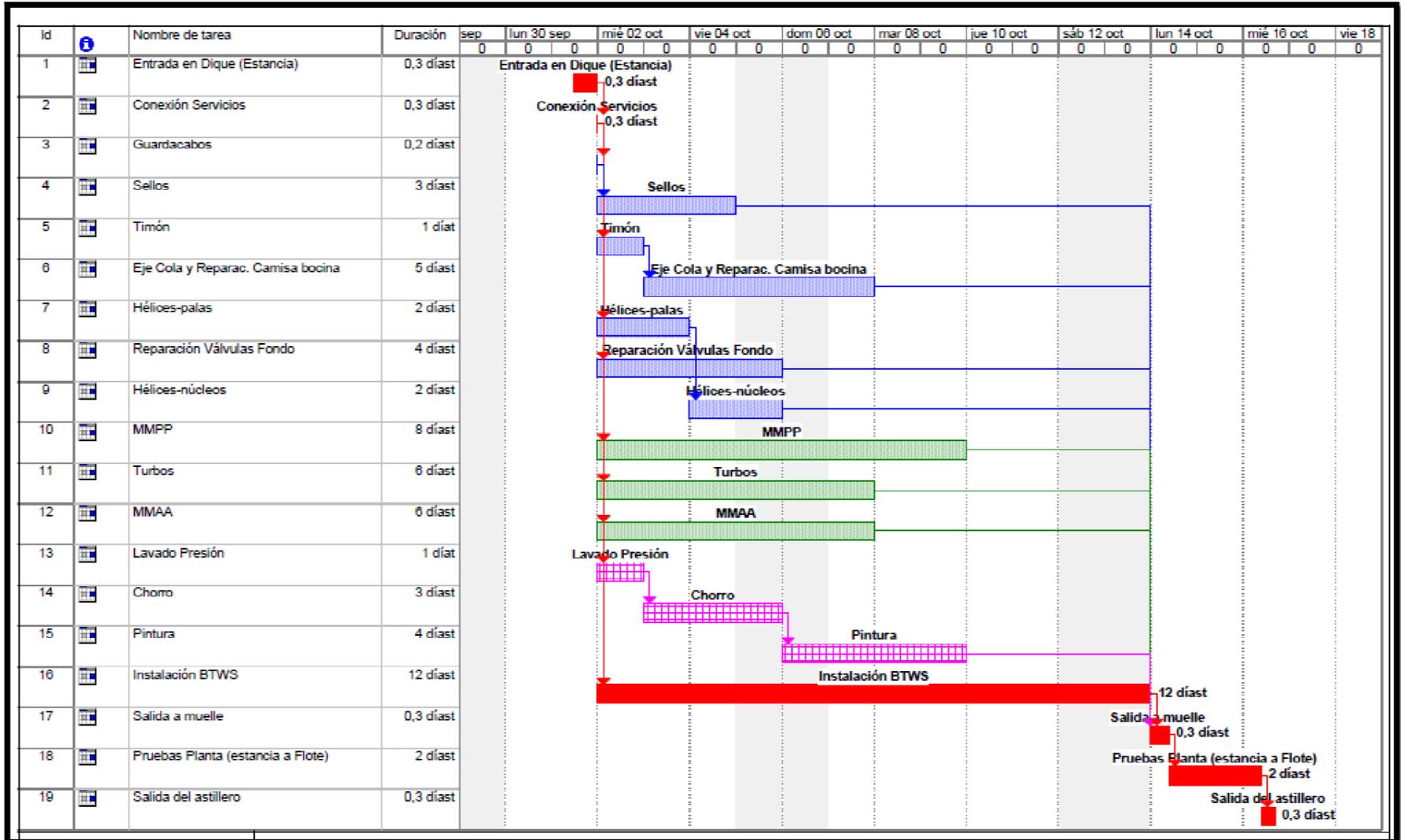
Total, Varada + Instalación BWTS: 393,620.00 €

Plazo de ejecución de los trabajos.

En total, consideramos que la obra de varada puede llevar unos doce días, teniendo en cuenta también la instalación de la Planta de Tratamiento de Lastre. Adicionalmente, consideraremos dos días a flote para las pruebas y “commissioning” o entrega de la planta.

Diagrama de Gantt.

Representamos el diagrama de la obra total, varada e instalación de la BWTS.



Conclusiones

1. Después de analizar diferentes plantas actuales, observamos que están diseñadas para cumplir con una normativa, pero que no tenemos ninguna medida sobre la eficacia del tratamiento o medios de análisis que nos aporten un “feedback” en caso de que la planta no esté trabajando eficientemente.
2. La mayoría de armadores están demorando la instalación en los buques existentes, en espera de una moratoria con respecto a la implantación de la normativa. Posiblemente se producirá tal pico de demanda a fabricantes y astilleros, que resultará en un cuello de embudo imposible de atender.
3. Las plantas actuales son bastante sencillas y, de acuerdo a los fabricantes Alfa Laval, Panasia y Aura Marine, con los que he podido entrevistarme, apenas tienen influencia sobre el rendimiento de las plantas de lastre montadas a bordo. Según sus datos, como máximo pueden generar contrapresiones menores de 0.4 bar y pérdidas de carga menores del 0.8%, por lo que prácticamente nunca será necesario modificar las bombas de los sistemas existentes. Hemos comprobado estos datos tan optimistas y, aunque he partido de exagerar los parámetros de forma que afectaran de forma negativa al resultado, la conclusión es que el buque analizado no necesitaría sustituir las bombas de la planta de lastre existente, aunque el resultado ha sido muy cercano al límite.

El mayor problema que parecía ser la pérdida de carga parece superado. Sin embargo, debido a que los sistemas de lastre trabajan entre 2 y 3 kg/cm², nos encontraremos con una gran limitación debido a la contrapresión que ejerce el voluminoso filtro, además de la gran resistencia que ejercerán las múltiples lámparas UVA al avance del agua, siendo mayor el impacto debido a la contrapresión que a la pérdida de carga.

4. Las plantas presentan otros inconvenientes:

4.1 Son demasiado grandes, necesitando incluso montarse varias plantas para caudales mayores de 1,000m³/h.

4.2 Tienen un alto coste, llegando a los 300.000 € para plantas mayores de 500m³/h.

4.3 Debido a la necesidad de utilizar plantas del menor tamaño posible, los filtros diseñados por los principales fabricantes son muy grandes y únicos, no pudiendo by-pasear el filtro en caso de problema de obstrucción, obligando a parar el lastre y, por tanto, el proceso de carga o descarga.