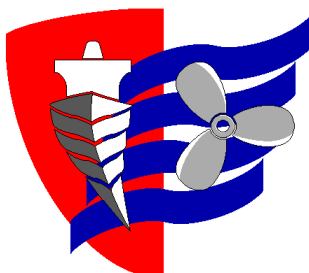


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**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

1. Introducción

En este Estudio Técnico he querido estudiar 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, interferencias y presupuesto.

La mejor manera de llevar a cabo esa visión más global es analizar la instalación del equipo haciéndolo coincidir con una varada habitual del buque.

Con respecto a la planta de tratamiento de agua de lastre, se calcula que en todo el mundo se transfieren unos trece mil millones de toneladas de agua de lastre cada año. El agua de lastre, habitualmente bombeada a los tanques de lastre en el puerto donde se descarga la carga, suele contener sedimentos y organismos vivos en todas sus etapas de vida. A través del agua de lastre se pueden llegar a transportar hasta 7.000 especies, animales y vegetales, al día en todo el mundo, incluyendo virus, bacterias y huevos y larvas de diferentes especies. Cuando se dan las condiciones oportunas, estas especies se hacen invasoras, compitiendo con las especies nativas y afectando al equilibrio en el ecosistema debido a su gran capacidad de adaptación al nuevo medio.

Habiéndose identificado como una de las amenazas más grandes a los mares y océanos del mundo, la introducción de especies marinas invasoras a nuevos ecosistemas transportadas en el agua de lastre de los buques, en el año 2004, se adoptó el Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques (BWM Convention) que exige a todos los buques implementar un Plan de Gestión de Agua de Lastre y Sedimentos aprobado por la Administración Marítima de los Gobiernos.

Teniendo en cuenta la inminente implantación de esta normativa (en vigor ya para los buques de nueva construcción y con una fecha tope de 2015 para buques existentes), he creído interesante estudiar la instalación de una de estas plantas en un buque existente, analizando el impacto que esta nueva planta provoca en un barco que no ha sido diseñado de partida con este equipo.

Cualquier armador que deba actualizar su instalación de lastre, preferirá hacerlo cuando coincida con una varada habitual, de modo que no pierda tiempo productivo. De ahí, el analizar la instalación en el contexto de un diqueado, junto al resto de trabajos habituales.

Del análisis de diferentes tipos de plantas, se concluye que los sistemas han sido desarrollados muy rápidamente y que, ni el mercado está completamente preparado para abastecer la inminente demanda, ni las soluciones técnicas desarrolladas definitivamente.

2. Índice

1. Introducción	pág. 01
2. Índice	pág. 03
3. Planteamiento del Problema	pág. 05
3.1. Definiciones y Abreviaturas	pág. 05
3.2. Antecedentes históricos. Comparativa entre la Legislación americana y la Regulación D-2 de la OMI	pág. 06
3.3. Número de buques de nueva construcción o existentes a los que aplica la Legislación D-2.	pág. 09
3.4. Estimación del número de Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre a instalar en breve	pág. 12
4. Metodología	pág. 18
4.1 Desarrollo. Plantas de Tratamiento de Lastre	pág. 18
4.1.1 Diferentes tipos funcionamiento de las plantas utilizadas en la actualidad	pág. 18
4.1.2 Elementos a tener en cuenta para instalar la Planta de Tratamiento de Agua de Lastre elegida en un buque	pág. 19
4.1.3 Funcionamiento de una BWTS de Filtrado y UVA	pág. 24
4.1.3.1 Principio de funcionamiento.	
4.1.3.2 Componentes de la Planta.	
4.1.3.3 Operaciones de lastrado y deslastrado.	
4.1.4 Selección de una planta de tratamiento de agua de lastre adecuada a un buque concreto. Sistema de lastre actual. Pérdidas de Carga en la tubería. Validez o no de equipos actuales a bordo	pág. 37

4.1.4.1 Cálculo de la Longitud Equivalente de la Planta Panasia 500.

4.1.4.1.1 Longitud Equivalente de los tramos de tubería.

4.1.4.1.2 Longitud Equivalente de los accesorios.

4.1.4.1.3 Cálculo del coeficiente de fricción.

4.1.4.1.4 Cálculo de la Pérdida de Carga.

4.1.4.2 Comprobación de los parámetros de las bombas de lastre.

4.1.4.3 Cálculo de la potencia de la bomba de lastre.

4.1.4.4 Consecuencias debidas a las pérdidas de carga y aumento de presión.

4.2 Gestión del Proyecto_____pág. 75

4.2.1 Presupuesto de la obra de instalación de la Planta de Tratamiento de Agua de Lastre _____pág. 75

4.2.2 Presupuesto de otras reparaciones propias de la varada_____pág. 81

4.2.3 Plazo de ejecución de los trabajos _____pág. 87

4.2.4 Planificación de trabajos. Diagramas. _____pág. 90

5. Conclusiones _____pág. 98

6. Bibliografía _____pág. 101

3. **Planteamiento del problema.**

Actualmente pocos barcos, aparte de aquellos de reciente construcción, disponen de plantas de tratamiento de lastre. En breve, la nueva normativa exigirá la instalación en buques existentes, provocando un colapso en un período muy corto de tiempo. Además, los armadores querrán aprovechar la parada necesaria para realizar los trabajos propios de las varadas especiales o intermedias. Esta situación llevará a una demanda de equipos que los fabricantes no podrán atender, al mismo tiempo que será insuficiente el número de técnicos que supervisen la instalación y lleven a cabo la entrega de los sistemas, así como de los astilleros que lleven a cabo las obras.

En este proyecto vamos a analizar primero el número de barcos que, entre 2011 y 2020, requerirán la nueva instalación. A continuación, vamos a estudiar un caso real de un buque en el que hay que instalar una Planta de Tratamiento de Lastre. Utilizaremos los parámetros de la planta de lastre para comprobar qué instalación deberíamos elegir. Una vez elegida la planta necesaria para ese buque, estudiaremos el impacto económico de la instalación y, por hacer el caso más real, de la obra de varada paralela.

3.1 Definiciones y Abreviaturas:

- Regulación D-2 (2004): Regulación de la OMI que define el estándar mínimo que deben lograr las Plantas de Tratamiento de Agua de Lastre. El criterio consiste en limitar la vida acuática del agua que será (des)lastrada. Los buques que lleven a cabo el lastrado de acuerdo con esta regulación deberán descargar menos de una cantidad dada de organismos por m³ mayores de 50µ. El estándar D-2 mide la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Todos los sistemas de tratamiento deben cumplir con un protocolo de construcción y funcionamiento en cualquier operación. Además, los buques son susceptibles de recibir una inspección autorizada en cualquier

puerto o terminal offshore que tome muestras para analizar que el agua tratada cumple con los requisitos.

- Regulación B-3: En esta Regulación de la Convención para el Control y Manejo del Agua de Lastre y Sedimentos (“Control and Management of Ships’ Ballast Water and Sediments, 2004”) se establece la planificación de implementación en buques de los sistemas de agua de lastre.
- BWT System: “Ballast Water Treatment System”, En inglés, Planta de Tratamiento de Agua de Lastre. Para hacer más amena y sencilla la lectura de este Proyecto se utilizará a menudo la referencia BWTS.

3.2 Antecedentes históricos. Comparativa entre la Legislación americana y la Regulación D-2 de la OMI.

La USCG (“United States Coast Guard”) comenzó el proceso legislativo en 1993, y en 1996 el Congreso estableció el Acta Nacional de Especies Invasivas, “National Invasive Species Act (NISA)”. Todo esto ha llevado a elaborar una serie de Reglamentos, aunque aún no se ha alcanzado una Ley definitiva.

De acuerdo al estudio realizado por el ABS (“American Bureau of Shipping”, Sociedad Americana de Clasificación), los Estados Unidos (United States Coast Guard) han desarrollado dos fases, con dos niveles distintos de exigencias. La fase I tiene unos valores muy similares a los exigidos en la Regulación de la OMI D-2 (2004). Sin embargo, en la segunda propuesta los valores mínimos exigidos son, en muchos casos, diez veces menores que la exigencia anterior.

La planificación se basa en un sistema de dos fases de distinta exigencia. La fase I, similar a la OMI D-2, tiene también una planificación temporal idéntica. Los buques existentes (construidos anteriormente a 2012) con una

capacidad de lastre entre 1.500m³ y 5,000m³ tendrán que lograr cumplir con los requisitos antes de 2014.

Para capacidades menores de 1,500m³ y mayores e 5,000m³, la fecha límite se sitúa en 2016.

La fase II aplica en buques de nueva construcción posterior a 1 enero de 2016.

Además, la Legislación específica de California es aún mucho más exigente en cuanto al número de organismo aceptables en el agua deslastrada, así como su tipo y tamaño (ver Tabla 02).

Organism Size	US Proposed Regulation Phase 1 Standard	US Proposed Regulation Phase 2 Standard	IMO Regulation D-2
> 50µm in min dimension	< 10 viable organisms/m ³	< 1 viable organisms/100m ³	< 10 viable organisms/m ³
≤ 50µ and >10µ in min. dimension	< 10 viable organisms/ml	< 1 viable organisms/100ml	< 10 viable organisms/ml
< 10µm in min. dimension	no limit	< 10 ³ bacteria/100 ml < 10 ⁴ viruses/100 ml	no limit
Escherichia coli	< 250 cfu/100 ml	< 126 cfu/100 ml	< 250 cfu/100 ml
Intestinal enterococci	< 100 cfu/100 ml	< 33 cfu/100 ml	< 100 cfu/100 ml
Toxicogenic Vibrio cholerae	< 1 cfu/100 ml	< 1 cfu/100 ml	< 1 cfu/100 ml or < 1 cfu/gram wet weight zooplankton samples

Tabla I: “Ballast Water Treatment Advisory, ABS”: <http://www.eagle.org>

Organism Size	California Law	IMO Regulation D-2	US Proposed Law Phase 2 Standard
$\geq 50\mu\text{m}$ in min. dimension	No detectable living organisms	< 10 viable organisms/ m^3	< 1 viable organisms/ 100 m^3
$< 50\mu$ and $\geq 10\mu$ in min. dimension	< 0.01 living organisms per ml	< 10 viable organisms/ml	< 1 viable organisms/100 ml
$< 10\mu\text{m}$ in min. dimension	$< 10^3$ bacteria/100 ml $< 10^4$ viruses/100 ml	no limit	$< 10^3$ bacteria/100 ml $< 10^4$ viruses/100 ml
Escherichia coli	< 126 cfu/100 ml	< 250 cfu/100 ml	< 126 cfu/100 ml
Intestinal enterococci	< 33 cfu/100 ml	< 100 cfu/100 ml	< 33 cfu/100 ml
Toxicogenic Vibrio cholerae	< 1 cfu/100 ml or $< 1\text{cfu/gram}$ wet weight zoological samples	< 1 cfu/100 ml or < 1 cfu/gram wet weight zooplankton samples	< 1 cfu/100 ml

Tabla II: Comparativa de Regulación en California, EEUU y OMI D-2, “Ballast Water Treatment Advisory, ABS”: <http://www.eagle.org>. En esta tabla podemos comprobar la mayor restricción de la Regulación californiana.

Nota: CFU significa la unidad de formaicón de una colonia de microorganismos (“Colony-Forming Unit”)

3.3.1. Número de buques de nueva construcción o existentes a los que aplica la Legislación D-2.

Estimación de buques que tendrán que instalar el sistema de tratamiento de agua lastre, según la normativa D-2 (fuente: Gobierno japonés).

Documentos que aplican, según esta normativa: MEPC 55/23 y BLG 11/4/6

En 2007, el Comité de Protección del Ambiente Marino (“The Marine Environment Protection Committee”) de la OMI, en su quincuagésima quinta sesión, solicitó información a miembros invitados y observadores sobre el número de buques de “primera categoría” (buques construidos en 2009 o posteriormente, con una capacidad de lastre menor de 5,000m³) para los que aplica la norma BLG 11 de la Convención sobre la Gestión de agua de Lastre (“Ballast Water Management Convention, BWMC”).

Como respuesta a esta petición, la IACS (“International Association of Class Societies”) estimó que 540 buques con capacidad de lastre menor de 5,000m³ serán construidos (o, de otra manera, que sus quillas ya han sido puestas) en 2009 (documento BLG 11/4/6). Japón ha utilizado esta estimación como base para la primera fecha de aplicación de la regulación D-2.

Japón ha llevado a cabo la investigación de los buques a los que la norma D-2 aplicaría entre 2009 y 2020, además de los barcos estimados anteriormente por la IACS (construidos en o después de 2009 con capacidad de lastre menor de 5,000m³).

El método de estimación que ha usado Japón puede verse en el Gráfico 1 que muestra que la Regulación D-2 debería aplicar a:

- Aproximadamente 540 buques construidos en 2009 con capacidad de lastre menor de 5,000m³,
- aproximadamente 1,740 buques nuevos construidos para 2012,
- aproximadamente 6,740 en 2015 (todos los construidos nuevos y existentes con capacidad de lastre entre 1,500m³ y 5,000m³ y
- aproximadamente 17,940 buques en 2017 (nuevos y existentes).

Nota: “Buques nuevos” hace referencia a buques construidos en, o después de, 2009.

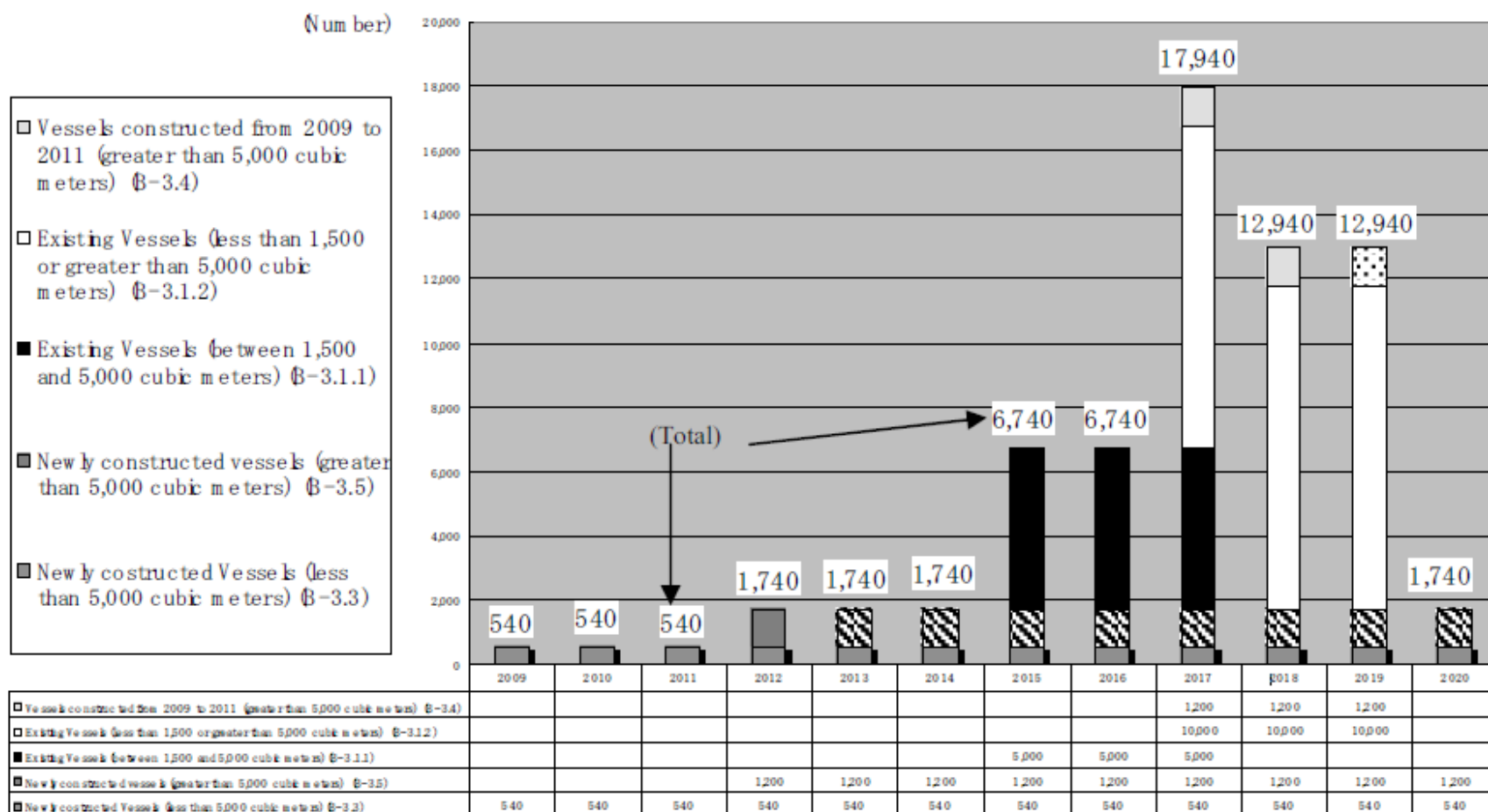


Gráfico I: Estimación del número de buques a los que aplica la Regulación D-2, “Marine Environment Protection Committee 56th sesión, Gobierno de Japón, para la OMI”.

3.4 Estimación del número de Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre a instalar en breve.

Además de lo anterior, Japón ha llevado a cabo otra investigación sobre el rendimiento y la capacidad de los Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre junto a los fabricantes de los sistemas. Considerando el número de buques a los que la Regulación D-2 aplica, se ha creado la Tabla III, en la que se estiman el número de Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre que deben instalarse. El método de estimación es el siguiente:

- Approx. 1100 sistemas tipo A desde el año 2009.
- Approx. 3,500 sistemas (tipo A y tipo B) para el 2012.
- Approx. 13,500 sistemas (tipo A y B) para 2015 y
- Approx. 33,500 sistemas (A y B) para el 2017.

El Sistema A hace referencia a un buque con una capacidad de lastre menor de 5,000m³ y 250m³/h y el Tipo B se refiere a un buque de 5,000m³ de lastre y capacidad entre 1,300m³/h a 3,500m³/h. La tendencia del número de sistemas es, obviamente, la misma que la de buques para lo que aplica la Regulación D-2. No obstante, el número de sistemas es mayor, ya que algunos buques necesitan sistemas dobles.

year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Type A	250[m ³ /h]	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	11,100	11,100	21,100	11,100	11,100	1,100
Type B	1000-3500[m ³ /h]				2,400	2,400	2,400	2,400	2,400	12,400	12,400	12,400	2,400
Total number		1,100	1,100	1,100	3,500	3,500	3,500	13,500	13,500	33,500	23,500	23,500	3,500

Tabla III, Estimación del número de Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre (“Marine Environment Protection Committee 56th sesión, Gobierno de Japón, para la OMI”).

Conclusiones sobre los sistemas a instalar

- De acuerdo a estas investigaciones, se espera que la demanda de sistemas se incremente rápidamente en 2015 y que se produzca un descenso muy brusco hacia 2020, que es el período de cinco años después de que la Regulación D-2 empiece a aplicar a los buques existentes. Este fenómeno de concentración de montaje de los equipos generará problemas a los fabricantes de los sistemas, a los astilleros y, obviamente, a los armadores.
- El problema consistirá en que el suministro de plantas difícilmente satisfará la demanda, la cual sólo será tan voraz durante cinco años. Por ejemplo, no será factible para los fabricantes aumentar sus instalaciones para aumentar la producción en ese período, sabiendo que caerá en 2020.
- Otro problema será el limitado número de astilleros que podrán satisfacer esa demanda, debido al número adicional de días necesario para la instalación y el hecho de que los armadores querrán hacerlo coincidir con las varadas habituales de reparación. Además, está el hecho de que será limitado el número de técnicos que sean capaces de llevar cabo la instalación de estos sistemas.
- Como nota adicional, Japón ha manifestado su preocupación sobre la implantación del BWM Convention en el período 2015-2020 de acuerdo a la regulación B-3.

Método de estimación del número de buques a los que aplica la Regulación D-2

- El número de buques a los que aplica la regulación B-3.3 se ha estimado asumiendo que:
Un cierto número de buques con capacidad menor de 5,000m³ serán construidos en 2009; y
El número de buques estimado por la IACS.

- El número de barcos a los cuales la regulación B-3.5 aplicaría se ha calculado asumiendo lo siguiente:

Un cierto número de buques con capacidad de lastre superior a 5,000m³ construidos en, o después de 2009; y

El número de barcos estimados por el IACS.

- El número total de buques a los que aplica B-3.1.1 y B-3.1.2 aplicaría se ha calculado asumiendo que:

1. Los buques a los que aplica la Convención BWM serán mayores de 500GT.
2. El número de buques a los que aplica la Convención BWM está en torno a los 45,000, según la Tabla 20 “The World Fleet – Gross Tonnage and Age Profile/Completions during the year”, del sistema de estadísticas del Lloyds, “Lloyd Register Fairplay 2005 World Fleet Statistics”.
3. Los buques de menos de 1,500m³ de lastre son aquellos menores de 3,000GT, según los datos de las Sociedades de Clasificación.
4. Los buques con una capacidad de lastre menor de 5,000m³ son aquellos menores 10,000 GT, según las Sociedades de Clasificación.
5. El número de buques con capacidad de lastre entre 1,500m³ y 5,000m³ es de 15,000 de un total de 45,000 y, por tanto, el número de buques con una capacidad de lastre menor de 1,500m³ y mayores de 5,000m³ es de 30,000m³.
6. La Regulación D-2 aplica a un tercio de los buques existentes cada año porque los buques existentes deben cumplir con esa regulación no antes de la primera varada Intermedia o del “Renewal Survey” (Especial), la que ocurra antes.

- El número de buques a los que aplica la Regulación B-3.4 se estima asumiendo que:
Un cierto número de barcos con capacidad de lastre mayor de 5,000m³ se construirá cada año en, o después de 2009, pero antes de 2012, y
- El número de buques existentes estimado por el IACS.

Método de estimación del número de Sistemas de Tratamiento de Lastre necesarios:

El número de Sistemas de Tratamiento de Lastre necesarios cada año se ha estimado considerando:

- La capacidad de los Sistemas de Tratamiento para un rango diferente de capacidad de los sistemas de lastre (por ejemplo, el tipo de sistemas y cuántos sistemas se requieren para un buque con un cierto volumen de tanques de agua de lastre).
- El rango de la capacidad de los tanques de agua de lastre y el número de buques que están en ese rango.

En la Tabla IV podemos comprobar un resumen de la Planificación B-3 para cumplir con la normativa D-2 de la OMI.

Los años 2014 y 2015 serán los puntos de partida de exigencia de cumplimiento para buques existentes, construidos antes de 2009, momento en el que se producirá la mayor solicitud de plantas BWTS. Se requiere que estos buques tengan instalados el sistema entre uno y tres años después de la fecha de inicio y haciendo coincidir la instalación con la varada intermedia (Intermediate Survey) o Varada Especial de renovación de Certificados de Clase (Renewal Survey).

El año 2012 ha sido la fecha de inicio para que todos los buques de nueva construcción tengan instalados los sistemas que aseguren cumplir con la normativa.

IMO BWT Installation Schedule

IMO regulation B-3, BWT installation time schedule

Keel laid	BW m ³	Ship type / DWT	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<2009	1.500 – 5.000	Tankers: 3.400 – 15.000 Bulk: 4.200 – 14.200 General Cargo: 4.100 – 14.000				D2					
<2009	<1.500 >5.000	Tankers: 3.400 – 15.000 Bulk: 4.200 – 14.200 General Cargo: 4.100 – 14.000						D2			
>=2009	<5.000	Tankers: 15.000 Bulk: 14.200 General Cargo: 14.000		D2							
>=2009 <2012	>5.000	Tankers: 15.000 Bulk: 14.200 General Cargo: 14.000						D2			
>=2012	>5.000	Tankers: 15.000 Bulk: 14.200 General Cargo: 14.000		D2							

Please note: For retrofitted vessels the system must be installed by the intermediate or renewal survey => 1 - 3 years from the date of B-3

Tabla IV “Plan de instalación de las Plantas BWT según la IMO”, Tabla realizada por realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine)

4. Metodología.

4.1 Desarrollo. Plantas de Tratamiento de Lastre

4.1.1 Diferentes tipos funcionamiento de las plantas utilizadas en la actualidad.

Según el Lloyd's Register (página oficial LR: "Ballast Water Treatment Systems, Guidance for ship operators on procurement, installation and operation", © Lloyd's Register September 2010), hay un limitado número de plantas de tratamiento aprobadas disponibles, pero hay un elevado número de fabricantes desarrollando nuevos tipos que estarán disponibles para ser aprobados y aprobados en el futuro cercano.

Teniendo en cuenta el limitado número de fabricantes, la Sociedad de Clasificación también coincide en señalar el aumento de los tiempos de espera de los pedidos a corto plazo.

Las principales plantas de tratamiento utilizadas en la actualidad se pueden clasificar en función del principio de funcionamiento:

- Mecánicas:
 - Separación ciclónica.
 - Filtración.

- Físicas:
 - Ultrasonidos
 - Cavitación
 - Radiación Ultravioleta
 - Eliminación por Calor
 - Desoxigenación
 - Coagulación

- Químicas:
 - Electro-clorinación
 - Ozono
 - Clorinación
 - Dióxido de Cloro
 - Oxidación avanzada

Según el fabricante Hamworthy, con la excepción de un pequeño número de sistemas, todas las BWTS utilizan un sistema de dos etapas, que consisten en una primera separación mecánica seguida por un tratamiento físico o químico, aunque algunos sistemas utilizan una combinación de dos o más procesos químicos o físicos.

4.1.2 Elementos a tener en cuenta para instalar la Planta de Tratamiento de Agua de Lastre elegida en un buque.

Para montar un sistema en un buque de nueva construcción o uno existente (“retrofitting”), hay que tener en cuenta los diferentes sistemas disponibles, los plazos de entrega y el espacio disponible a bordo.

En especial para buques existentes, hay que tener en cuenta todas las modificaciones a realizar y obtener diagramas y planos de los equipos para que el Departamento Técnico pueda desarrollar la instalación. Este es, en parte, el objeto de este proyecto.

Pasos a seguir para seleccionar el tipo de Planta de Tratamiento y otras consideraciones varias:

- Seleccionar fabricante y especificación necesaria.
- Experiencia del fabricante en sistemas similares.
- Aprobación de equipos.

- Consideraciones comerciales (precio y plazos de entrega).
- Aprobaciones de equipos.
- Opciones de tipo de tratamiento:
Combinación óptima de filtrado y tratamiento.
Opciones químicas: clorinación, ozono, desoxigenación y ácido peracético.
Otros tipos: Radiación UVA, Ultrasonidos.
- Consideraciones técnicas y operacionales.
- Tiempo requerido por el tratamiento para ser efectivo.
- Parámetros de la Plata de Lastre Vs Planta de Tratamiento: La capacidad del sistema de tratamiento ha de ser mayor que la del de lastre, para permitir operar a la máxima capacidad de diseño. Hay que estimar la reducción en el “rate” de lastre del buque debido a la instalación de la Planta de Tratamiento. Este estudio debe incluir cálculos de las pérdidas de carga en el circuito y del efecto y rendimiento en la descarga.
- Características del Sistema de Lastre (por ejemplo, número de sistemas independientes a bordo de petroleros).
- Requerimientos de Medio Ambiente, Higiene y Prevención (HSE). Considerar los efectos nocivos sobre la salud y Medio Ambiente del uso de los productos químicos y del almacenamiento a bordo. Estiba a bordo: sistemas de ventilación.
- Equipos “Explosion proof” (para buques tanque, por ejemplo).
- Requerimientos de potencia y sistemas a bordo.
- Efectos sobre el tank coating y corrosión.

- Comprobación de la planta actual eléctrica. En caso de que la Planta requiera una mayor potencia que la existente, habrá que aumentar el número o potencia de los generadores.
- Alarmas y sistemas de control. Sistemas de protección y de operación normal y de emergencia.
- Espacio disponible.
- Plan de instalación.
- Zonas de navegación del buque.

En nuestro proyecto vamos a utilizar una Planta de Tratamiento que cumpla con las exigencias normativas, pero que tenga el menor impacto medioambiental posible. Para ello elegiremos plantas de tres de los fabricantes que diseñan sistemas sin aporte de productos químicos y que realizan el tratamiento por medios físicos (filtrado y radiación U.V.).

Disinfection method comparison	Ultraviolet radiation	Chlorine generation	Ozone generation	Oxygen removal	Advanced Oxidation	Chemical apply
Method	Physical	Chemical	Chemical	Suffocation	Chemical	Chemical
Pretreatment	Yes	Yes/No	No	No	Yes	Yes/No
Operation cost	Medium	Low	High	High	High	High
Maintenance cost	Low	Medium	High	Low	High	Low
Maintenance frequency	Low	Medium	High	Low	Medium	Low
Disinfection performance	Excellent	Good	Unpredictable	Unpredictable	Excellent	Good
Contact time	1–5 seconds	15–45 min.	5–10 min.	48–96 hours	1-5 seconds	15–180 min.
Toxic chemicals	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Water chemistry changes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Immediate discharge	Yes	No	No	No	No	No

Tabla V “Alternativas de Métodos de Desinfección para Sistemas de Tratamiento de Agua de Lastre”) realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

De acuerdo a la Tabla V, las plantas menos agresivas, que no utilizan sustancias químicas, generación cloro, ozono... también cumplen con los requisitos exigidos por la OMI. Por ese motivo, en este proyecto vamos a utilizar como referencia una planta que sencillamente utilice un filtro y un reactor UVA.

Las principales inconvenientes medioambientales y de salud que presentan las otras plantas son los siguientes:

- **Clorinado:** Altamente tóxico, corrosivo y dañino para el Medio Ambiente. Es necesario el almacenaje en una zona ventilada y tomar medidas de Seguridad para el manejo que evite la posible inhalación, contacto con la piel...
- **Dióxido de cloro:** Muy tóxico por inhalación. Irritante en los ojos y puede ocasionar graves problemas respiratorios. Almacenamiento especial requerido.
- **Ozono:** Muy tóxico por inhalación. Irritante de piel y ojos. Pueden provocarse reacciones violentas como explosiones al contacto con sustancias orgánicas. Necesario almacenaje especial, zonas ventiladas, tomar medidas de protección en caso de derrame.
- **Ácido Peracético:** Inestable y explosivo al calentarse. Puede reaccionar violentamente al contacto con materiales orgánicos y es incompatible con agentes altamente oxidantes. Almacenar en lugar ventilado, alejado de combustibles y sustancias inflamables.
- **Peróxido de Hidrógeno:** Peligroso por inhalación, al ser tragado o al contacto con la piel. Irritante. Se oxida al contacto con ciertos compuestos y, con combustibles es causa de incendio. Almacenar en lugares ventilados, alejado de calor, chispas o cualquier otra fuente de ignición, como electricidad estática.

- **Ácido Perclórico:** Muy corrosivo, puede causar quemaduras y es muy peligroso por inhalación o ingestión. Se descompone a altas temperaturas y forma gases corrosivos. Al contacto con materiales combustibles puede causar fuego o explosión. Almacenar en lugares bien ventilados. Evitar contacto con telas o materiales combustibles.

Este tipo de BWTS requiere, como hemos visto, almacenajes especiales, medidas extraordinarias para su uso (equipos EPI, alarmas, medios anticontaminación...). Por eso, teniendo en cuenta que la Planta de Filtración y UV cumple con la Normativa IMO D-2, he elegido esta última para este Proyecto.

4.1.3 Funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Lastre (Filtrado y UVA).

Principio de funcionamiento:

Aparte del filtrado, la verdadera eliminación de organismos se produce al circular el agua con organismos a través del reactor UVA. El principio de funcionamiento se basa en la llamada Tecnología de Oxidación Avanzada (“AOT, Advanced Oxidation Technology”).

El catalizadores del dióxido de Titanio (TiO_2) generan radicales libres al ser alcanzados por la luz. Estos radicales, cuya vida es únicamente de milisegundos, destruyen la membrana celular de los microorganismos sin la utilización de aditivos químicos que generan residuos peligrosos.

Componentes de la Planta:

De acuerdo a la información de los fabricantes Panasia y Aura Marine, en los que me he basado para analizar sus plantas, los elementos que componen las BWTS son los siguientes:

- Filtro automático
- Flujómetro + válvula reguladora de flujo
- Reactor UVA
- Sistemas de válvulas, purgas, tubería necesarias

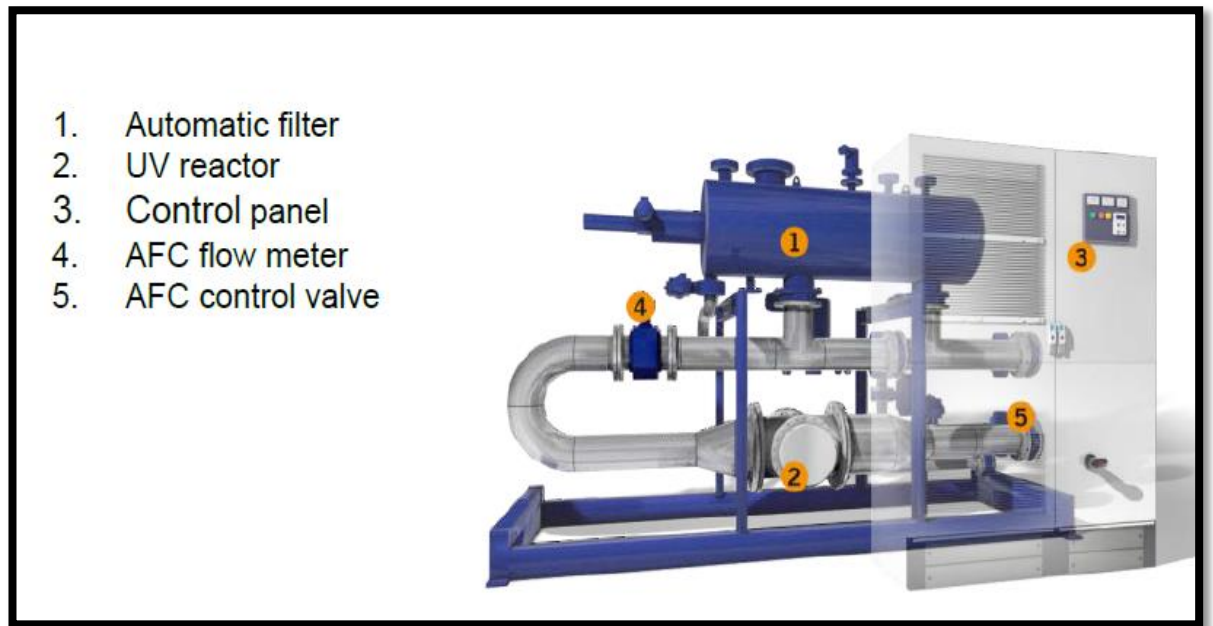


Figura I “Planta BWT del Grupo AURA Marine”, realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

Elementos de la BWTS:

- Filtro Automático

El Filtro automático tiene una malla de 40 micras, aunque puede reducirse a 25 mic. El material puede ser acero inoxidable 316L o Super Duplex, que le da mucha mayor durabilidad.

En la Figura II podemos ver la posición 5 que hace referencia a unas toberas de limpieza, que utilizan agua de lastre que se proyecta como un spray para limpiar las partículas adheridas a la carcasa.

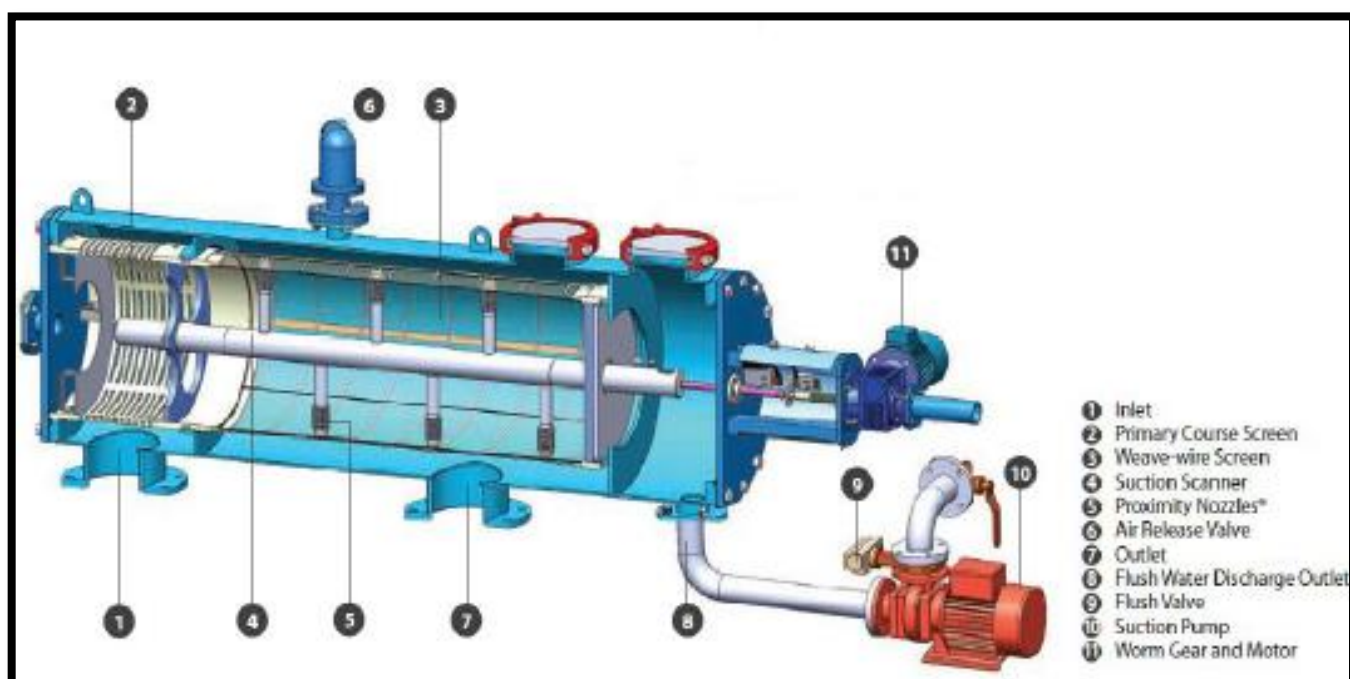


Figura II “Filtro Automático”, realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

Durante el proceso de lastrado, el agua pasa a través del filtro para eliminar partículas u organismos mayores de 50 micras de tamaño. Después pasa a través del sistema de tratamiento AOT y, de ahí, al sistema de lastre a los tanques.

En el deslastado el filtro es by-paseado y agua de lastre recibe una segunda dosis de AOT antes de ser descargada al mar.

- Reactor UVA

La luz UVA tiene la capacidad de destruir el ADN contenido en los microorganismos, según la teoría AOT. En las siguientes fotos, podemos ver modelos de reactores UVA utilizados en la industria offshore para evitar la corrosión del fouling, antes de que se empezaran a aplicar estos mismos reactores en el tratamiento de agua de lastre.



Figura III: “Reactor UVA” Artículo “UV disinfection improves EOR Meets other functions as well” – Offshore 2012, John McLean, ETS.

El hecho de usar una luz UV para desinfectar el agua parece la mejor la solución, debido a que no utiliza otro sistema que la luz ultra violeta para acabar con las bacterias, virus y otros organismos presentes en el agua. De este modo, se evitan sustancias químicas potencialmente peligrosas.

Para la Planta Panasia 500, el modelo de lámpara UV, PU500, tiene las siguientes características:

- Capacidad : 500 m³/hr
- Presión máxima de trabajo: 10 kg/cm²
- Temperatura de operación máxima: 45 C
- Dimensiones : 901 x 660 x 647
- Vida de la lámpara UV: 4,000hr

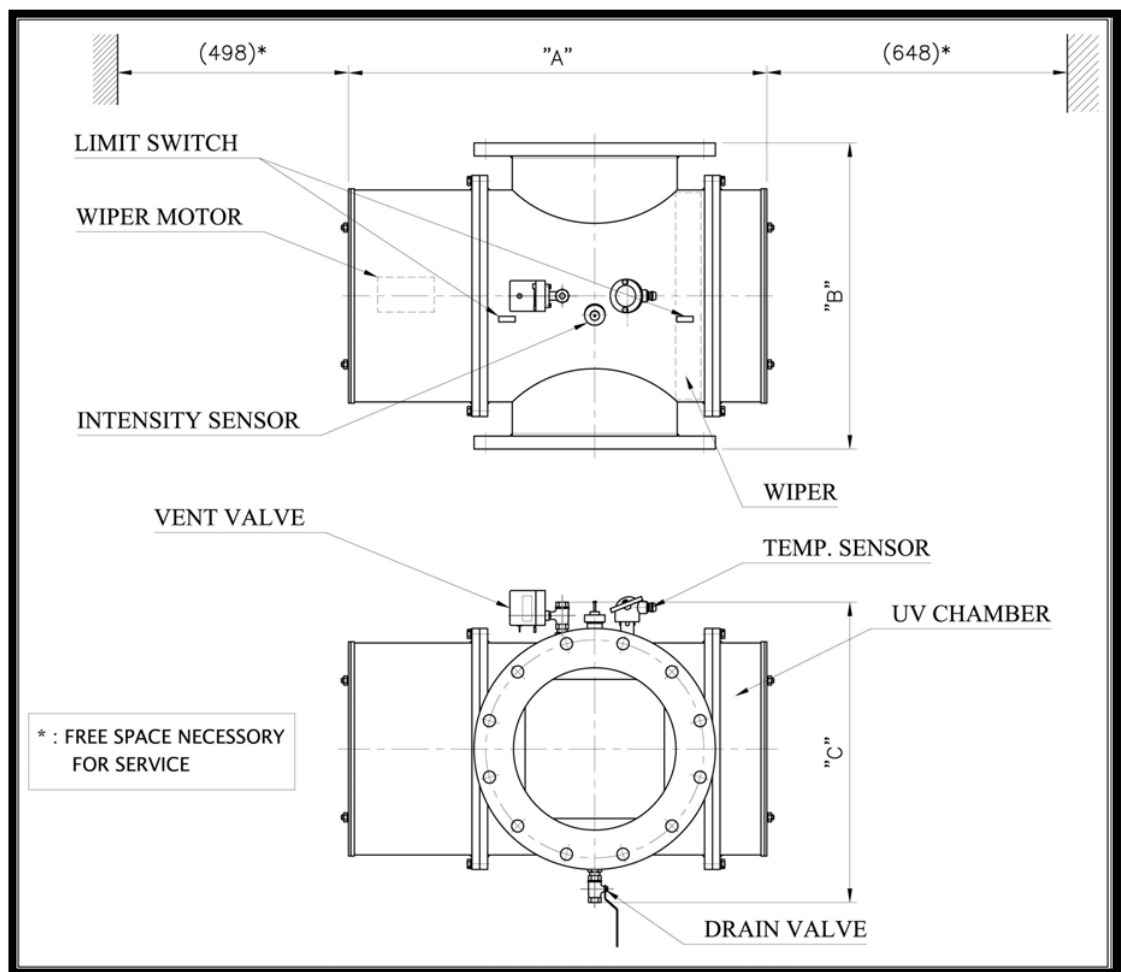


Figura IV: “Reactor UVA – PU500”, Panasia

- Sistema de Control de flujo Automático

El control del flujo se realiza a través de una válvula automática, monitorizada por la señal de un flujómetro, que mantiene el “rate” deseado durante las operaciones de lastrado.



Figura V “Filtro Automático”, realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

En la parte superior de la Figura IV podemos ver una válvula automática, con un sistema de control, localizado en el panel de control. La señal de entrada la recibe el controlador desde el flujómetro (parte inferior de la foto). El autómeta compara el “setting” deseado con la señal del flujómetro y manda abrir o cerrar la válvula, manteniendo el flujo que queremos.

Para realizar este proyecto se han estudiado tres plantas diferentes de tratamiento de agua de lastre: Panasia 500, Aura Marine y Alfa Laval. Los tres fabricantes proponen plantas de filtrado y eliminación de organismos mediante reactores UVA.

Todas estas plantas están vigentes en el momento de presentación de este proyecto (verano de 2013). La planta Alfa Laval Pure Ballast 3.0 ha sido presentada en la feria Norshipping 2013 de Oslo, en junio de este año.

Las dos primeras, Aura Marine y Panasia 500 son bastante similares. En principio están estudiadas para plantas de hasta 500m³/h, mientras que la planta de Alfa Laval está diseñada para sistemas de 300m³/h hasta 1000m³/h. Para que las otras plantas, pudieran alcanzar esa capacidad tendrían que ser montadas varias en serie. Montando dos ó más plantas en serie del tipo Alfa Laval Pure Ballast 3.0, se pueden llegar a flujos máximos de 3000m³/h.

Otra gran ventaja de Alfa Laval es el uso de materiales dúplex, en lugar de acero inoxidable SUS 304 y SUS 316L, utilizado por otros fabricantes. Esto le permite una vida útil de más del doble que las otras plantas.

Si tomamos una planta de 500m³/h, la Tabla siguiente nos muestra la comparativa de características principales:

Plantas 500m ³ /h	Alfa Laval Pure Ballast 3.0	Panasia GP - 500	Aura Marine
Tamaño	Reactor: 2 x (1300 × 700 × 2000) Filtro: 2100 × 1270 × 1270 Tubería aparte	1053 x 845 x 2289 Instalación completa, incluida tubería	3485 x 1355x1533 Instalación completa, incluida tubería
Peso	Reactor: 230 kg Filtro: 550 kg Tubería aparte	750 kg Instalación completa, incluida tubería	1242 kg Instalación completa, incluida tubería
Consumo eléctrico	64 kW (2 x 32kW)	31.5 kW	36 kW
Precio aproximado	≥ 300.000 €	≈ 250.000 €	≈ 240.000 €
Nota: los precios son aproximaciones orientativas suministradas de buena fé por los comerciales de las empresas con fines estimativos al comentarles este trabajo.			

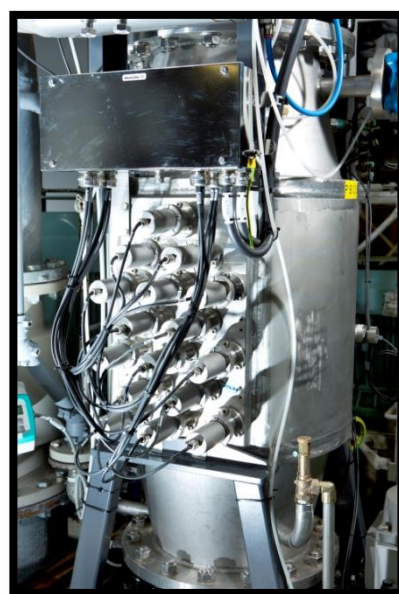
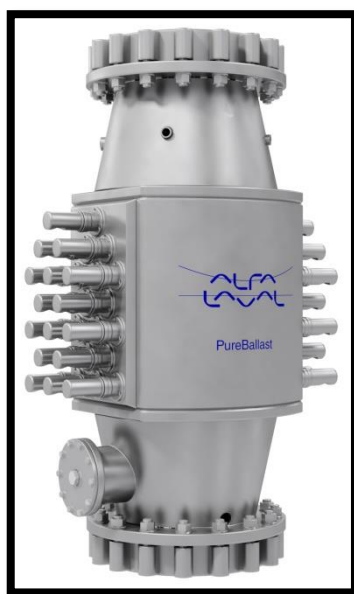
Tabla VI “Comparativa BWTS Alfa Laval, Panasia y Aura Marine”.

Al analizar la Tabla, podemos contrastar que la nueva Planta de Alfa Laval tiene una serie de importantes desventajas, como son el tamaño, el peso, el consumo eléctrico y el precio.

Debido a estas desventajas, he decidido basarme en las otras dos plantas para los cálculos de este proyecto. En concreto, las dimensiones utilizadas son las de la Planta Panasia 500.



FiguraVI “Planta Alfa Laval Pure Ballast 3.0”



FiguraVII “Reactor UVA 1000Alfa Laval Pure Ballast 3.0”

Planta en funcionamiento:

En las dos siguientes figuras podemos comprobar el funcionamiento de la Planta elegida, tanto en la operación de lastre como en la de deslastre de los tanques.

Operación de Lastre:

- a. A través de la toma de mar, la bomba aspira el agua de lastre.
- b. La descarga llega a un filtro automático (equipado con sistema de auto limpieza).
- c. Del filtro pasa a través de un flujómetro, que mide el caudal y previene cualquier reducción del mismo, a través de una válvula automática que lo regula y que es comandada por el flujómetro.
- d. A la salida del flujómetro se encuentra el Reactor UV, que realiza la fundamental eliminación de organismos.
- e. El agua de lastre que sale del esterilizador UVA llega a la válvula de control comentada anteriormente y de ahí se distribuye a los tanques.

La operación está reflejada en la Figura VIII, por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

Operación de Lastrado por medio de la BWTS elegida.

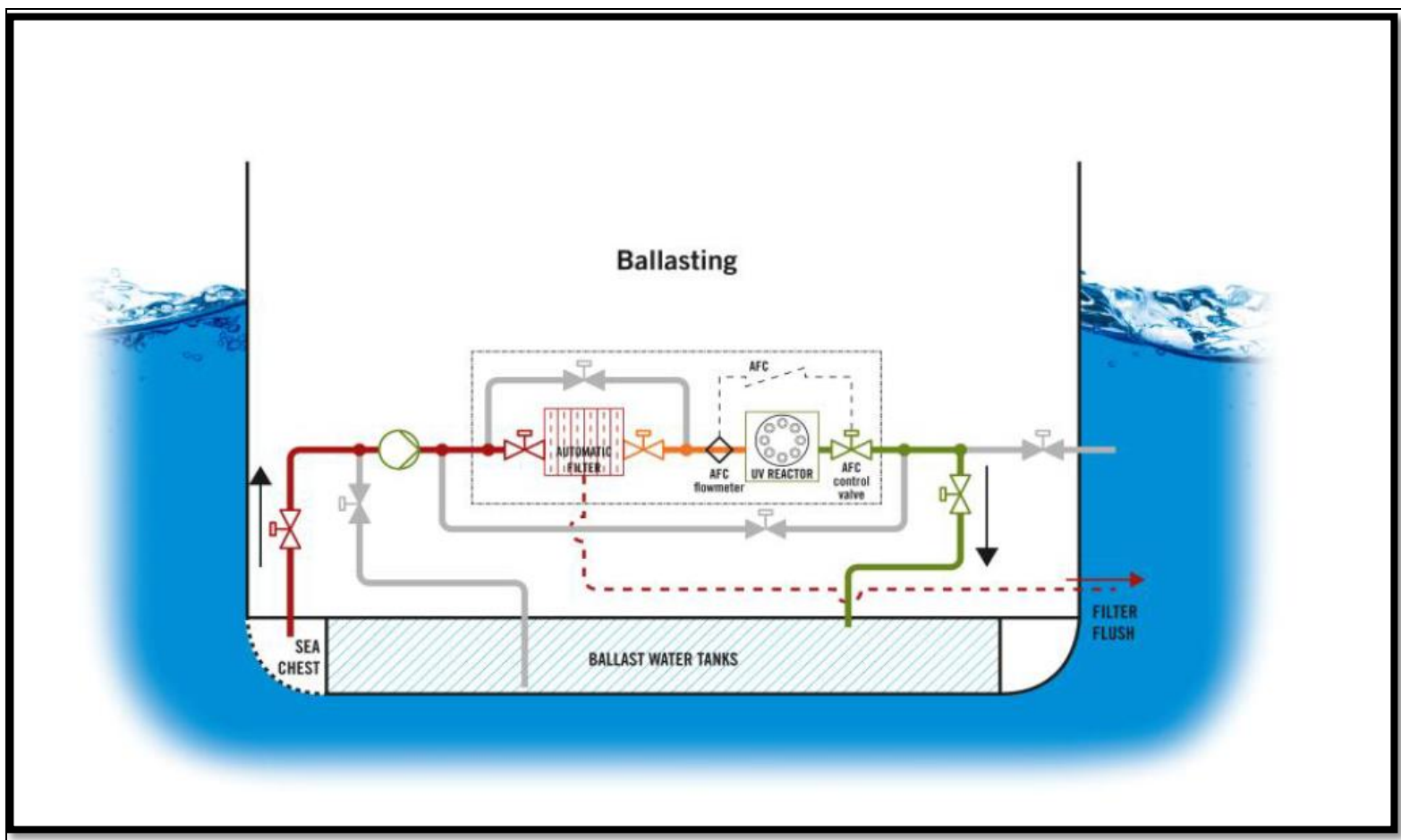


Figura VIII: Lastrado de la BWTS, Figura realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

Operación de Deslastrado:

- a. A través de las válvulas de aspiración de los tanques, la bomba succiona el agua de lastre.
- b. El filtro es “by-passeado” en este caso, ya que el agua que viene de los tanques ya fue filtrado en la operación de lastre.
- c. El agua de lastre pasa a través del flujómetro.
- d. De la salida del flujómetro, vuelve a pasar por el reactor U.V. para asegurar que se produce la máxima eliminación de organismos.
- e. Del reactor pasa a la válvula de control de flujo, operada por el flujómetro, que mantiene el flujo requerido.
- f. La descarga se produce al mar a través de la descarga al costado.

Para asegurar que el agua deslastrada cumple con los requisitos de la Regulación IMO comentada anteriormente, se instalan en la tubería de descarga unos grifos o purgas de toma de muestra. Esas muestras podrán ser requeridas por la autoridad competente y llevadas a analizar a laboratorio para asegurar el correcto funcionamiento de la planta.

La operación está reflejada en la Figura IX, por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

Operación de Deslastrado por medio de la BWTS elegida.

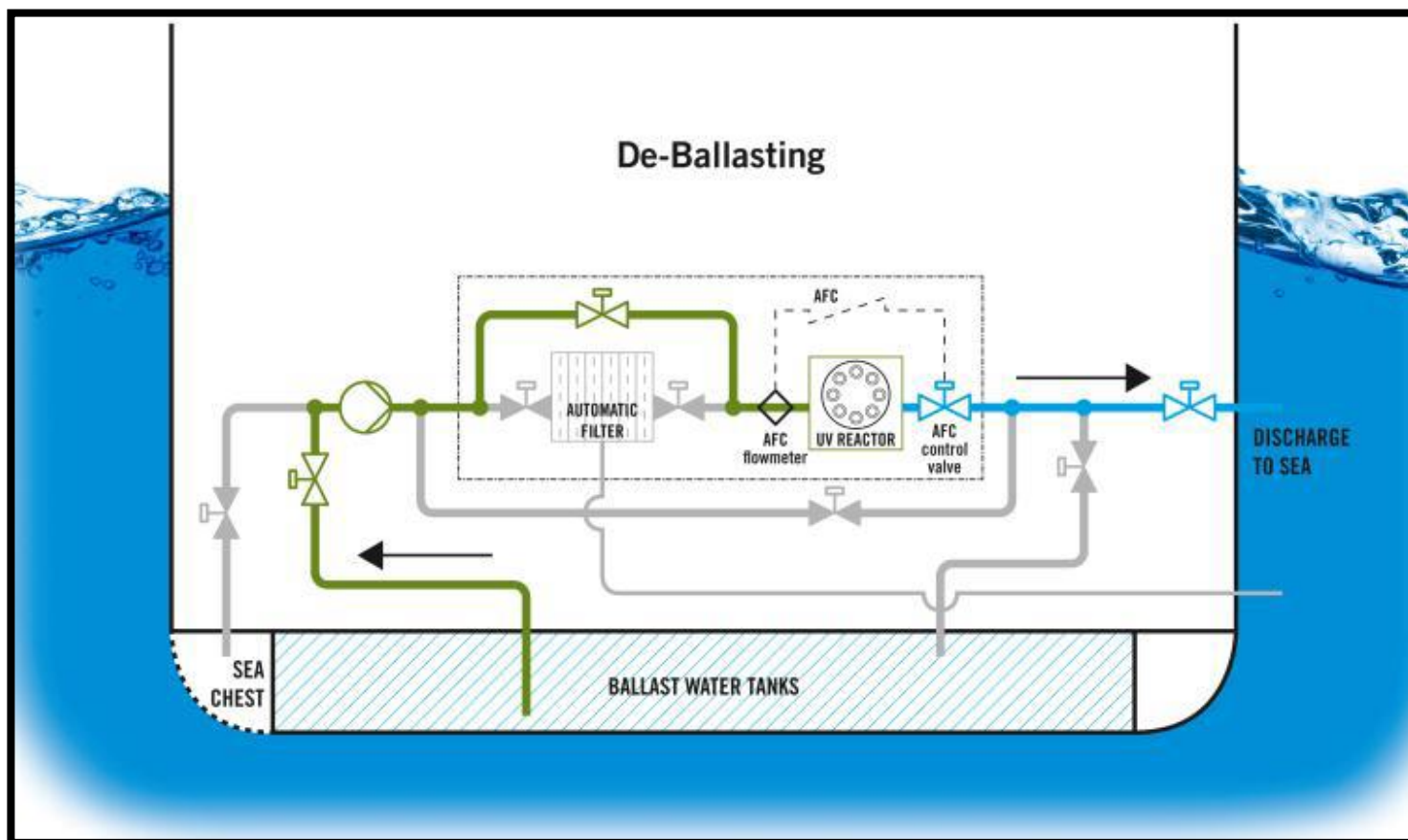


Figura IX: Lastrado de la BWTS, Figura realizada por la empresa Frydenbø (uno de los representantes europeos del Grupo Aura Marine).

4.1.4 Instalación de una planta de tratamiento de agua de lastre adecuada a un buque concreto. Descripción técnica de la nueva instalación: Selección de una planta de tratamiento de agua de lastre adecuada a un buque concreto. Sistema de lastre actual. Pérdidas de Carga en la tubería. Validez o no de equipos actuales a bordo.

Ejemplo de planta de lastre, quimiquero M/T Bow Balearia:

- Planta Lastre: Segregated Ballast 2,440m³
- Bombas: 2 x 250m³ (motor de 90kW), además de otra menor de 120m³ y 45 kW.
- Circuito: Plantearemos una estimación de tubería que nos permita comparar el sistema existente con el añadido por la planta.

La Planta nueva tiene un consumo eléctrico máximo de 380 V y 60 A. Tomando 85^a, la Potencia activa es de $P = \sqrt{3} \times 380 \times 60 \times 0.8 = 31.50 \text{ kW}$. Podría plantearse la necesidad de rehacer el balance eléctrico de la instalación debido a este aumento de potencia (nuevo consumidor). Las plantas se diseñan con unos coeficientes de seguridad que permitan la conexión de “consumidores varios”, aparte de que pueda absorberse sin problema el aumento de consumo debido al envejecimiento de los sistemas.

Como la Planta eléctrica instalada de origen es de 1814 kW (un generador de 550kW y dos de 632kW), el consumo adicional representa tan sólo un 1.73 % en el momento de mayor consumo. Consideramos que no supone un consumo máximo suficiente como para replantear el balance eléctrico del barco y, en cualquier caso, nos centraremos en la pérdida de carga que supone la nueva tubería.

Para este ejemplo, tendríamos que instalar una planta de tratamiento capaz de entregar la capacidad de la bomba, además de tener en cuenta la pérdida de carga debido a la nueva instalación. Según cálculos realizados por PANASIA, sus plantas sólo llegan a un máximo de un 0.8% de pérdida de carga en las instalaciones existentes a bordo.

En cualquier caso, hay que comprobar si las pérdidas de carga o fricción en la nueva instalación hacen que la planta existente sea inadecuada. Podría darse el caso de que las bombas no fueran capaces de mantener el caudal y presión requeridos, siendo necesario instalar bombas de mayor capacidad, con los problemas derivados del dimensionado inicial de la tubería existentes.

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.

Empezaremos por utilizar un dibujo con cotas de la planta, suministrado en los catálogos de Panasia. A partir de ese plano, elaboraremos una serie de isométricas de la tubería necesaria y crearemos una tabla que nos de las características (longitud, diámetros, número de codos, “Tes”, injertos...).

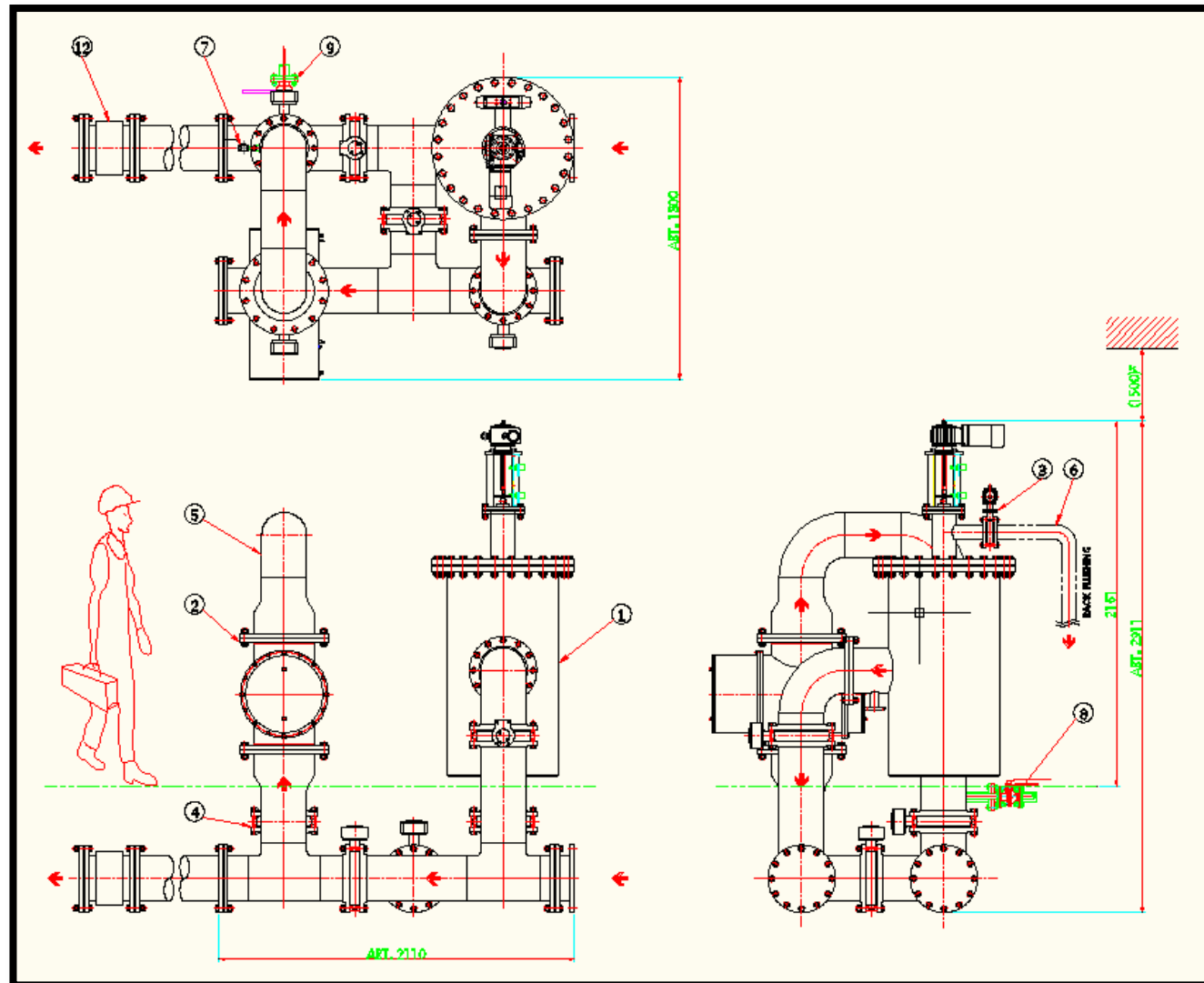


Figura X: Planta de Tratamiento PANASIA 500

Basándonos en la Figura X (“Planta de Tratamiento PANASIA 500”), vamos a dividir la Planta en cinco tuberías diferentes que podemos representar en unas plantillas utilizadas en Astilleros de Santander S.A., ASTANDER. Estas plantillas llamadas “isométricas” permiten analizar fácilmente las características principales de un sistema, “a priori”, más complejo.

Las representaciones isométricas (como podemos comprobar las Figuras VIII – XXII) son las siguientes:

- **Isométrica I:**

3 tramos de tubería:

10” x 584mm

10” x 844mm

10” x 1629mm

2” x 148mm

Elementos:

Codos: 2

T (injerto): 1

Reducción (14”-10”): 1

- **Isométrica II:**

2 tramos de tubería:

10” x 355mm

10” x 328mm

Elementos:

Codos: 1

- **Isométrica III:**

3 tramos de tubería:

10" x 1152mm

10" x 391mm

10" x 815mm

Elementos:

T (injerto): 2

- **Isométrica IV:**

2 tramos de tubería:

10" x 1270mm

10" x 389mm

Elementos:

T (injerto): 1

- **Isométrica V:**

2 tramos de tubería:

10" x 680mm

10" x 736mm

Elementos:

T (injerto): 1

Reducción (14"-10"): 1

ASTANDER				G.P-02 Anexo B		
				MATERIAL		(SCH)
				PASAMAMPAROS		
				Cantidad	Diametro	
				TAREA		
				Renovar		
				Desmontar y montar		
Desmontar						
Montar						
Construir y montar						
Construir y suministrar						
SITUACION en						
T. Cubierta						
T. Habilitacion						
T. Bodegas						
T. Sala de Bombas						
T. Sala de Maquinas						
T. Sala Maquinas/Sala Bombas (BPP)						
T. Tanques						
INCREMENTOS						
T. Galvanizado						
T. Prueba Presion						
T. Pintado						
T. Chorroado						
T. Decapado						
T. Pasivado						
T. Forrado						
BR PP. PR. ER.		Ø	CERTIFICADO	COLADA	OBRA: BIS. -	BUQUE:
					SERVICIO:	
					LÍNEAS:	
				HOJA N°:	FECHA:	
				N° DE HOJAS:	FIRMA:	
				REV.:		
					HOJA N° 1	

Figura XI: Isométrica I

ASTANDER		CONTROL DE LA FABRICACIÓN				G.P-02 Anexo B	
						MATERIAL	(SCH)
						PASAMAMPAROS	
						Cantidad	Diámetro
						TAREA	
						Renovar	
						Desmontar y montar	
Desmontar							
Montar							
Construir y montar							
Construir y suministrar							
SITUACION en:							
T. Cubierta							
T. Habilitacion							
T. Bodegas							
T. Sala de Bombas							
T. Sala de Maquinas							
T. Sala Maquinas/Sala Bombas (BPP)							
T. Tanques							
INCREMENTOS							
T. Galvanizado							
T. Prueba Presion							
T. Pintado							
T. Chorreado							
T. Decapado							
T. Pasivado							
T. Ferrado							

	Ø	CERTIFICADO	COLADA	OBRA: BIS.—	BUQUE:	HOJA Nº 2
				SERVICIO:		
				LÍNEAS:		
				HOJA Nº:	FECHA:	
				Nº DE HOJAS:	FIRMA:	
			REV.:			

Figura XII: Isométrica II

ASTANDER		CONTROL DE LA FABRICACIÓN		G.P-02 Anexo B		
		MATERIAL		(SCH)		
		PASAMAMPAROS				
		Cantidad	Diámetro			
		TAREA				
		Renovar				
		Desmontar y montar				
		Desmontar				
		Montar				
		Construir y montar				
		Construir y suministrar				
SITUACION en:						
T. Cubierta						
T. Habilitacion						
T. Bodegas						
T. Sala de Bombas						
T. Sala de Maquinas						
T. Sala Maquinas/Sala Bombas (BPP)						
T. Tanques						
INCREMENTOS						
T. Galvanizado						
T. Prueba Presion						
T. Pintado						
T. Chorreado						
T. Decapado						
T. Pasivado						
T. Forjado						
		Ø	CERTIFICADO	COLADA	OBRA: BIS. --	BUQUE:
					SERVICIO:	
					LINEAS:	
					HOJA N°:	FECHA:
					N° DE HOJAS:	FIRMA:
			REV.:			
		HOJA N° 3				

Figura XIII: Isométrica III

ASTANDER		CONTROL DE LA FABRICACIÓN		G.P-02 Anexo B		
				MATERIAL		
				(SCH)		
				PASAMAMPAROS		
				Cantidad	Diámetro	
				TAREA		
				Renovar		
				Desmontar y montar		
				Desmontar		
				Montar		
				Construir y montar		
Construir y suministrar						
				SITUACION en		
T. Cubierta		T. Habitación		T. Bodegas		
T. Sala de Bombas		T. Sala de Maquinas		T. Sala Maquinas/Sala Bombas (BPP)		
T. Tanques						
				INCREMENTOS		
T. Galvanizado		T. Prueba Presion				
T. Pintado		T. Chorreado				
T. Decapado		T. Pasivado				
T. Ferrado						
		Ø	CERTIFICADO	COLADA	OBRA: BIS. --	BUQUE:
					SERVICIO:	
					LINEAS:	
					HOJA N°:	FECHA:
					N° DE HOJAS:	FIRMA:
			REV.:			
					HOJA N° 4	

Figura XIV: Isométrica IV

ASTANDER		CONTROL DE LA FABRICACIÓN		G.P-02 Anexo B				
				MATERIAL	(SCH)			
PASAMAMPAROS								
Cantidad	Diámetro							
TAREA								
Renovar								
Desmontar y montar								
Desmontar								
Montar								
Construir y montar								
Construir y suministrar								
SITUACION en								
T. Cubierta								
T. Habilitacion								
T. Bodegas								
T. Sala de Bombas								
T. Sala de Maquinas								
T. Sala Maquinas/Sala Bombas (BPP)								
T. Tanques								
INCREMENTOS								
T. Galvanizado								
T. Prueba Presion								
T. Pintado								
T. Chorroado								
T. Decapado								
T. Pasivado								
T. Forrado								
		G	CERTIFICADO	COLADA	OBRA: BIS.-	BUQUE:	HOJA Nº 5	
					SERVICIO:			
					LÍNEAS:			
					HOJA Nº:	FECHA:		
					Nº DE HOJAS:	FIRMA:		
			REV.:					

Figura XV: Isométrica V

A partir de las isométricas realizaremos una tabla resumen:

Isométrica	1	2	3	4	5
Ø principal (mm)	250	250	250	250	250
Espesor (mm) Sch40	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
Longitud estimada (mm)	584+844+1629+148	355+328	1152+391+815	1270+389	680+736
Codos	2	1	-	-	-
Reducciones	1 (14"-10")	-	-	-	1 (14"-10")
Injertos	1 x DN50, 148mm	-	2	1	1

Tabla VII: Resumen de los resultados de las isométricas.

Con los datos obtenidos en esta tabla vamos a calcular longitud equivalente de toda la Planta. Para ello, vamos a dar los siguientes pasos:

1. Considerar la longitud de todos los tramos de tubería de 10", incluida, para dar más margen de seguridad, los pequeños ramales de 2".
2. Convertir los accesorios (válvulas, Reducciones, injertos o "Ts" y codos) en metros de tubería equivalente y sumarlos a la longitud total calculada anteriormente
3. Con respecto al filtro automático y, no habiendo una equivalencia estándar, he considerado que la tubería equivalente del filtro queda compensada por el hecho de considerarlo como una tubería recta de 10" (736mm, isométrica V) y por haber tomado todos los diámetros de la tubería de lastre del buque de 10" (ver cálculo posterior "Leq Sistema de Lastre"). El filtro nos dará más problemas debido a la contrapresión sobre el sistema. Analizaremos esto en las conclusiones finales.

4.1.4.1 Cálculo de la Longitud Equivalente de la Planta Panasia 500

4.1.4.1.1 Longitud de los tramos:

$$\begin{aligned} L \text{ tramos} = & L \text{ isométrica I} + L \text{ isométrica II} + L \text{ isométrica III} + L \text{ isométrica} \\ & \text{IV} + L \text{ isométrica V} = [584+844+1629+148] + [355+328] + [1152+391+815] \\ & + [1270+389] + [680+736] = \mathbf{9,32mm} \end{aligned}$$

4.1.4.1.2 L equivalente de los accesorios:

En función de la fuente consultada, hay diferentes equivalencias entre accesorios y longitud equivalente. Podemos encontrar dos tipos de relación, directamente la longitud equivalente por unidad, expresada como la relación entre longitud y el diámetro de la tubería, o como un coeficiente “k”. Según el Artículo “Using Equivalent Lengths of Valves and Fittings”, del profesor Leckner, del portal cheresources.com (“Your Chemical Engineering Community”): “la velocidad de un fluido se incrementa a través de las tuberías, válvulas y accesorios a expensas de la presión. A mayor pérdida de presión, mayor velocidad del fluido. De este modo, la pérdida de presión por velocidad es simplemente otra manera de expresar que perdemos presión debido a un aumento de velocidad y que esta pérdida de presión se mide en términos de pies de presión. Ahora, cada componente en el sistema contribuye a la cantidad final de pérdida de presión en diferente medida dependiendo de qué componente es”. Las tuberías contribuyen según fL/D , donde L es la longitud de tubería, D el diámetro y f, el coeficiente de fricción. Un accesorio o válvula tendrá un determinado K o coeficiente de resistencia.

$$k = f \cdot L/D$$

El factor de fricción y el Número de Reynolds están directamente relacionados con la fricción de la tubería, mientras que la K puede ser

considerada como independiente y tratada como una constante propia del elemento o válvula.

Se ha demostrado experimentalmente que L/D se mantiene constante para todos los tamaños de accesorio bajo el mismo flujo.

De este modo y, después de consultar varias fuentes diversas, he seleccionado los valores de L_{eq}/D que más se adecúan para este ejercicio de líneas de lastre, considerando un diámetro de DN 250 (tubería de 10”).

Para poder calcular la longitud equivalente, vamos a utilizar las siguientes equivalencias para tubería de 10” (DN 250):

- Lequivalente unitaria por Codo: 7.5m
- Lequivalente unitaria por Reducciones: 7.5m
- Lequivalente unitaria por “T” (injerto): 5m
- Lequivalente unitaria por Válvula de Mariposa: 10m

Si tomamos el número de accesorios de la Tabla VI (“Resumen de los resultados de las isométricas”):

- Número de Codos: 3
- Número de Reducciones: 2
- Número de “Ts”: 5

Además sabemos el número de válvulas de mariposa de la Planta:

- Número de válvulas 5

$$L_{eq} \text{ Codos} = 3 \times 7.5 = 22,5\text{m}$$

$$L_{eq} \text{ Reducciones} = 2 \times 7.5 = 15\text{m}$$

$$L_{eq} \text{ "Ts"} = 5 \times 5 = 25\text{m}$$

$$L_{eq} \text{ V/S} = 5 \times 10 = 50\text{m}$$

Por tanto, la Longitud equivalente de los accesorios = $22.50 + 15 + 25 + 50 = 112,50\text{m}$

Y como $L_{tot} = L_{tubería \text{ Planta}} + L_{eq} \text{ accesorios} = 9.32\text{m} + 112.50 = 121.82 \text{ m}$

$$\mathbf{L_{eq} \text{ Planta} = 121.82\text{m}}$$

4.1.4.1.3 Cálculo del Coeficiente de Fricción:

El siguiente paso es calcular el coeficiente de fricción, "f".

Para ello, empezaremos por calcular el Número de Reynolds ("Re):

$$Re = \frac{V \cdot d}{\gamma}$$

Donde:

V: velocidad del fluido, 2m/s para el caso del agua de lastre (impulsión)

d: diámetro de la tubería, 250 mm

γ : viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática depende la temperatura:

Temperature - t - (°C)	<u>Dynamic Viscosity</u> - μ - (Pa s, N s/m ²) $\times 10^{-3}$	<u>Kinematic Viscosity</u> - ν - (m ² /s) $\times 10^{-6}$
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553
60	0.467	0.475
70	0.404	0.413
80	0.355	0.365
90	0.315	0.326
100	0.282	0.29

Tabla VIII: “Viscosidad dinámica y cinemática del agua en función de la temperatura”

Para el caso del circuito de lastre podemos tomar una temperatura de agua de mar que habitualmente puede estar entre 5-20 C. Tomemos, 10 C como media.

La viscosidad cinemática para el agua a 10 C es de 1,307 m²/s ($\times 10^{-6}$), por lo que el Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\left[2 \frac{m}{s} \times 0.25 m\right]}{1.307 \times 10^{-6} m^2/s} = 3.825 \times 10^5 \text{ (adimensional)}$$

Conocido este Número de Reynolds, el siguiente paso es hallar la “rugosidad relativa”, que la da el cociente ϵ/D .

Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales		
Tipo de tubo	Descripción del material	ϵ (mm)
Tubos lisos	De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada) y acero nuevo soldado.	0.015
	Tubos de latón	0.025
	Hierro fundido nuevo	0.25
	Hierro fundido oxidado	1 a 1.5
	Hierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
	Hierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125mm	1 a 4
	Acero laminado, nuevo	0.04 a 0.1
Tubos de acero soldado de calidad normal	Nuevo	0.05 a 0.1
	Limpiado despues de mucho uso	0.15 a 0.2
	Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4
	Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches en cada junta, o bien	0.3 a 0.4
	Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia.	1

Tabla IX: “Rugosidad absoluta (“ ϵ ”) en tubos comerciales (“Hidráulica General de Gilberto Sotelo Ávila”, Editorial Limusa, Universidad de Texas, 1974)

En esta Tabla podemos encontrar los valores de Rugosidad Absoluta (“ ϵ ”). En nuestro caso, los tubos son de acero comercial de calidad normal, soldados y nuevos.

El rango de rugosidad relativa es de 0.05-0.1 mm (señalado en la Tabla para este ejercicio).

Partiendo de un criterio pesimista como margen de seguridad, vamos a seleccionar el valor más alto: 0.1mm

La Rugosidad Relativa, será, por tanto:

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

Conocidos el Número de Reynolds (“Re”) y la Rugosidad Relativa ($\frac{\epsilon}{D}$), podemos entrar en el Diagrama de Moody y calcular el “Coeficiente de Fricción (“f”).

- **Re**, calculado para la nueva Planta = **3.825×10^5**

- $\frac{\epsilon}{D} = 4 \times 10^{-5}$

En la Figura XVI vamos a utilizar el Diagrama de Moody para obtener el valor del Coeficiente de Fricción “f2 que nos permitirá calcular la pérdida de carga del sistema de lastre que “añadiremos” al montar la nueva planta Panasia 500 estudiada.

Seleccionamos en el Eje de abscisas el valor conocido de Re y el de ordenadas (secundario, derecha) elegiremos la curva $\frac{\epsilon}{D}$ que se corresponda con el valor obtenido.

Donde corten, obtendremos un valor en el eje de ordenadas de “f”.

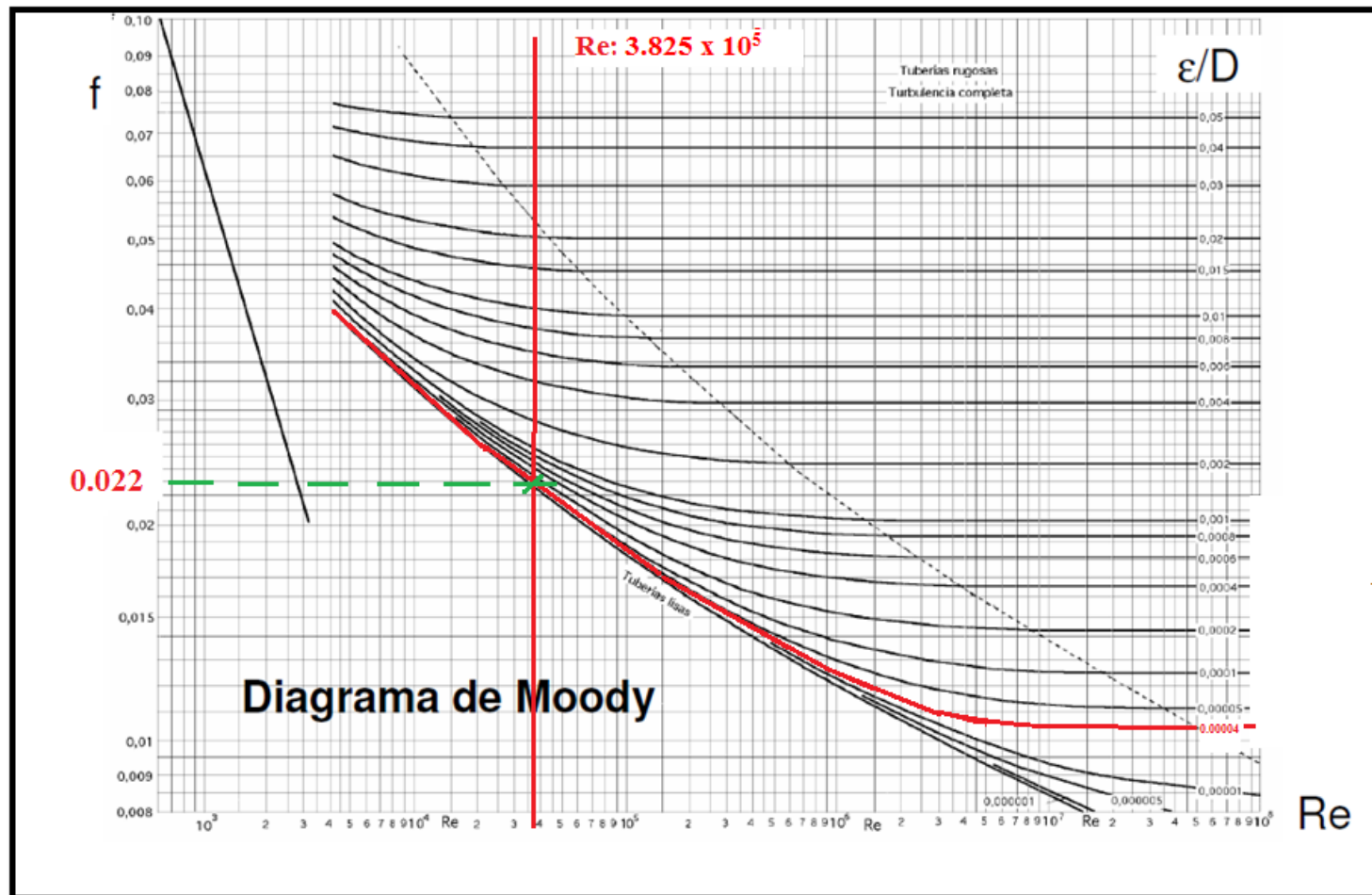


Figura XVI: “Diagrama de Moody, para la BWTS Panasia 500”

El valor obtenido del coeficiente de fricción, “f”, es de 0.022

4.1.4.1.4 Cálculo de la Pérdida de Carga:

Conocido “f”, ya podemos calcular la pérdida de carga:

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

hf: Pérdida de Carga

f: Coeficiente de fricción

Leq: Longitud equivalente

V: Velocidad del fluido

D: Diámetro

g: Coeficiente de gravedad

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

$$h_f = 2.18\text{m}$$

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

Deberíamos ahora comprobar si esta pérdida de carga puede ser o no absorbida por las bombas existentes.

Esta es la parte clave de este cálculo. Si las bombas instaladas no pudieran absorber este incremento, habría que recalcular el sistema e instalar bombas de más capacidad. Esto podría alterar el balance eléctrico de tal manera que podría ser necesario recalcular la planta e instalar generadores y cuadros de más potencia.

4.1.4.2 Comprobación de los Parámetros de las Bombas de Lastre:

El sistema de Lastre previo a la instalación de la Plata de Tratamiento de Agua de Lastre, es obviamente conocido. Una vez que hemos instalado la Planta Panasia 500, sabemos que hemos añadido al sistema una cantidad de tubería que medimos como longitud equivalente y que genera una pérdida de carga, obtenida en metros de columna de agua:

$L_{\text{total añadida equivalente ("Leq")}}$: 121.82m

Pérdida de Carga generada: 2.18m

Calculamos la altura dinámica o Carga de Trabajo de la bomba (" H_B "):

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

Siendo:

$h_f \text{ total}$: $h_f \text{ sistema} + h_f \text{ calculada para la BWTS Panasia 500}$

P_2 : P descarga, tomaremos 3.5 kg/cm²: $3.5 \times 9.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)} = 3,43 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)}$

V_2 : Velocidad salida ("impulsión"): 2 m/s

Z_2 : Punto más alto del sistema. Como el puntal del barco es de 8.4m, tomaremos 9 metros, considerando el "topeo de los tanques". Lo normal es que las tuberías de lastre pasen de la sala de bombas a la parte baja de los tanques de lastre, sin elevarse demasiado, pero hay que tener en cuenta la columna de agua al lastrar. Además, en este ejercicio debemos ser lo más conservadores posibles, para asegurar que las bombas pueden con la planta nueva instalada.

P_1 : P aspiración; tomamos 0.4 kg/cm^2 : $0.4 \times 9.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 3.92 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)}$

V_1 : Velocidad flujo en tanques de lastre o en aspiración. Tomamos valor cero.

Z_1 : Altura de toma de agua en la bomba; tomamos valor cero.

Para lograr este dato de Carga de Trabajo de la Bomba, necesitamos “sumar” la Planta existente y la Planta nueva (BWTS).

Partiremos del Plano de Disposición General del buque en cuestión (M/T “Bow Balearia”).

Como tiene una eslora (L_{max}) de 100m, una manga de 16.5m y un puntal de 8.30m y 14 tanques de lastre, aparte del peak de proa y el de popa, podemos aproximar la longitud de tubería:

Circuito de Lastre (y de deslastre):

- Tubería “longitudinal”: 2 (Estribor y Babor) x $L_{\text{máx}} \times 0.8 = 160\text{m}$
- Tubería para alimentar los tanques: $14 \times 2 \times \frac{1}{4} \times B \text{ (manga)} = 115.5\text{m}$
Se ha calculado que la tubería que llega a cada tanque de lastre lateral es de dos veces (aspiración y descarga) un cuarto de la manga.
- Peak de proa: $\frac{1}{10} \times L \times 2 = 20\text{m}$
Se ha estimado que la línea principal de lastre enlace con el peak con una longitud de una décima parte de la eslora, dos veces.
- Peak de popa: $\frac{1}{5} \times L \times 2 = 40\text{m}$
Se ha estimado que la línea principal de lastre enlace con el peak con una longitud de una décima parte de la eslora, dos veces.

Si consideramos que la tenemos una longitud adicional de 20m los tramos no comunes de la tubería de lastre y deslastre (by-passes, por ejemplo):

$$\Sigma_{\text{lastre y deslastre}} = \mathbf{355.50 \text{ m tubería}}$$

Si hacemos una estimación de los accesorios:

- Número de codos totales: **30**
Codos en los tanques: 16 tanques x 1 = 16
Codos en el circuito: 14
- Número de reducciones totales: **20**
- Número de injertos: **30**
- Número de válvulas: **44**
Válvulas en los tanques: 2 x 16 = 32
Válvulas en el sistema: 12

Retomando el criterio más restrictivo, vamos a considerar todos los accesorios y tubería de DN250 y las válvulas todas ellas de mariposa.

Para poder calcular la longitud equivalente, vamos a utilizar de nuevo las siguientes equivalencias para tubería de 10" (DN 250):

- Longitud equivalente unitaria por Codo: 7.5m
- Longitud equivalente unitaria por Reducciones: 7.5m
- Longitud equivalente unitaria por "T" (injerto): 5m
- Longitud equivalente unitaria por Válvula de Mariposa: 10m

Calculamos la longitud equivalente de los accesorios:

$$L_{eq} \text{ Codos} = 30 \times 7.5 = 225\text{m}$$

$$L_{eq} \text{ Reducciones} = 20 \times 7.5 = 150\text{m}$$

$$L_{eq} \text{ "Ts"} = 30 \times 5 = 150\text{m}$$

$$L_{eq} \text{ V/S} = 44 \times 10 = 440\text{m}$$

Por tanto, la Longitud equivalente de los accesorios = $225 + 150 + 150 + 440 = 965\text{m}$

Y como $L_{tot} = L_{\text{tubería Planta}} + L_{eq} \text{ accesorios} = 355.5\text{m} + 965 = 1315.50 \text{ m}$

$$\mathbf{L_{eq} \text{ Sistema Lastre} = 1316\text{m}}$$

El coeficiente de fricción, “f” será el mismo calculado anteriormente, ya que la velocidad considerada y el diámetro son los mismos (2m/s y DN250):

$$Re = \frac{V \cdot d}{\gamma}$$

$$Re = \frac{\left[2 \frac{m}{s} \times 0.25 \text{ m}\right]}{1.307 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = \mathbf{3.825 \times 10^5 \text{ (adimensional)}}$$

“Rugosidad relativa”, cociente ϵ/D :

Habíamos seleccionado el valor más alto posible de rugosidad absoluta (“ ϵ ”): 0.1mm para el caso de acero nuevo, pero la instalación debería tener uno mayor.

Para hallar la Rugosidad Relativa para el sistema, debemos utilizar de nuevo la Tabla VIII, pero seleccionaremos el valor 0.4 (“moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones”):

La Rugosidad Relativa será:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.04}{250} = 1.6 \times 10^{-4}$$

Entramos en el Diagrama de Moody y calculamos el “Coeficiente de Fricción (“ f ”), usando:

- **Re** , calculado para la nueva Planta = **3.825×10^5**

- **$\frac{\epsilon}{D} = 1.6 \times 10^{-4}$**

El valor obtenido del coeficiente de fricción, “ f ”, es de 0.023 (Ver Figura XIV: “Diagrama de Moody, para el Sistema existente de Lastre”).

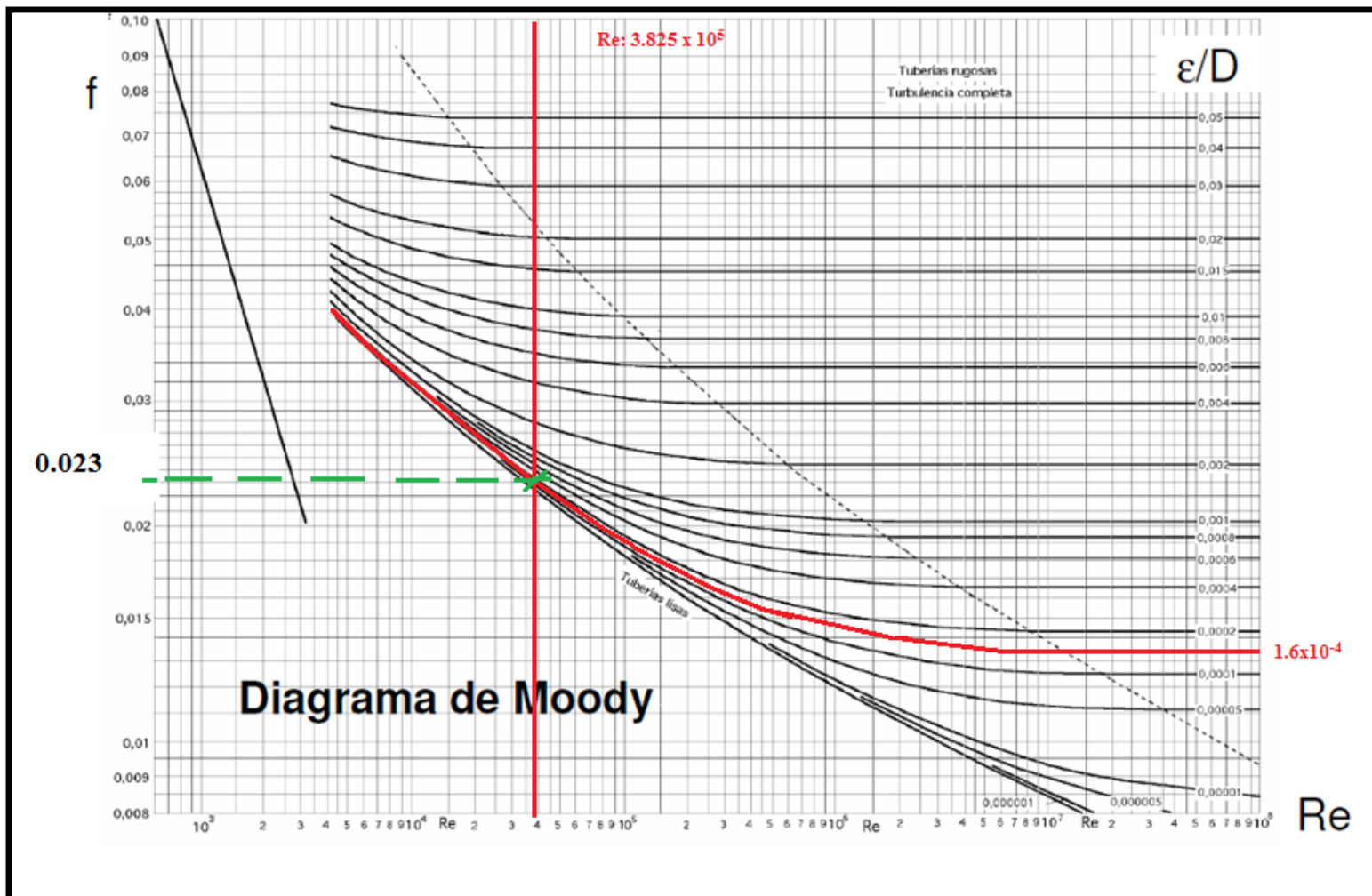


Figura XVII: “Diagrama de Moody, para el Sistema existente de Lastre”

Calculamos la Pérdida de Carga del Sistema de lastre existente, con la Lequivalente y el valor del coeficiente de fricción:

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

$$h_f = \frac{f \cdot Leq \cdot V^2}{2 \cdot D \cdot g} = \frac{0.023 \cdot 1316 \text{ (m)} \cdot 2^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0.25 \text{ (m)} \cdot 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 24.68\text{m}$$

Como:

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

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

$$h_{f \text{ total}} = h_f \text{ Sistema Lastre} + h_f \text{ Planta BTWS} = 24.68 + 2.18 \text{ m} = 26.86\text{m}$$

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

Hemos añadido una pérdida de carga de 2.18m a un sistema existente de 24.68m, es decir, un **8.11%** sobre el total.

Este dato es importante, ya que el fabricante PANASIA, en sus folletos comerciales menciona pérdidas de carga en los sistemas de lastre menores de 0.8%. Con todas las consideraciones “pesimistas” hemos llegado a un valor muy superior (diez veces mayor) al teórico según el fabricante.

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

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

Siendo:

h f total: hf sistema + hf calculada para la BWTS Panasia 500 = **26.86m**

P₂: P descarga, tomaremos 3.5 kg/cm² = 3.5 x10⁴ kg/m² x 9.81m/s² = 3,43 x 10⁵ $\frac{kg}{m \cdot s^2}$ o (N/m²)

V₂: Velocidad salida (“impulsión”): 2 m/s

Z₂: 9 metros

P₁: P aspiración; tomamos 0.4 kg/cm² = 0.4x9.81x10⁴N/m² = 3.92 x 10⁴ $\frac{kg}{m \cdot s^2}$

V₁: Velocidad flujo en tanques de lastre o en aspiración. Tomamos valor cero.

Z₁: Altura de toma de agua en la bomba; tomamos un valor de 2.5m (altura agua a la aspiración)

ρ: Densidad del agua: 1000 kg/m³

G: Coeficiente de Gravedad: 9.8 m/s²

Sustituyendo:

$$H_B = 26.86\text{m} + \left[\frac{3,43 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \text{m/s}^2} + \frac{2^2 \text{m}^2/\text{s}^2}{2 \times 9.81 \text{m/s}^2} + 9\text{m} \right] -$$

$$\left[\frac{3.92 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \text{m/s}^2} + \frac{0^2}{2 \cdot g} + 2.5 \right] = 26.86 + [34.96 + 0.2 + 9] - [4 + 0 + 2.5] =$$

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

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

La aplicación del Teorema de Bernoulli utilizado “convierte” en metros lo que en realidad es energía. Tenemos una energía potencial (diferencia de alturas entre el punto más alto de descarga y la altura de la aspiración), una energía cinética (velocidades al cuadrado), una energía relacionada con la diferencia de presión que deben dar las bombas y una pérdida de carga en el sistema.

El valor de altura dinámica no debe, pues, ser confundido con la altura manométrica (diferencia de la altura estática + la pérdida de carga + la posible aspiración negativa de la bomba). En este caso, la Altura Dinámica o Carga de Trabajo nos va a permitir calcular la potencia de las bombas.

4.1.4.3 Cálculo de la Potencia de la Bomba de Lastre

$$P = H_b \times \rho \times g \times Q$$

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

Potencia requerida a las bombas lastre = 87.91 kW

Considerando una eficiencia del 85%

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

Esto corresponde la máxima solicitud de flujo y altura durante el proceso de lastrado/deslastrado; situación que se logra con las dos bombas del buque en marcha.

Podemos concluir que el buque necesitaría dos bombas capaces de suministrar cada una:

- Potencia: 52 kW
- Q: 250m³/h

Comprobamos las dos bombas de lastre principales bombas del buque, que tienen las siguientes características:

- Motor: MARELLI MOTORS TYPE: A4M160M4, 90 KW, 840 KG, 3500 RPM, 440 V
- Potencia de cada bomba instalada, suponiendo un rendimiento motor – bomba del 85% = 76.5 kW
- Q: 250 m³/h

El buque dispone de dos bombas de 250m³, con motores de 90kW, además de otra menor de 45 kW.

Tenemos por tanto, aún un margen de 76.5 kW Vs 52 kW, además de otra bomba menor.

Es interesante, por otra parte analizar los datos obtenidos:

1. Hf total Planta sistema existente: 26.86m
2. Altura Estática que las Bombas deben vencer: H max- altura a la aspiración:
 $Z2 - Z1 = 9 - 2.5m = 7.5m$
3. La aspiración de la bomba tiene una Z1 positiva (+2.5m)

Estos datos nos permiten calcular la Altura Manométrica que la bomba debe asegurar: $H_m = 26.86 + 7.5 = 34.36m$

Esto significa que la P de la bomba debe estar por encima de los 3.5 kg/cm² recomendados por el fabricante de la planta de lastre y también nos sirve de indicación sobre el verdadero problema, que no es la pérdida de carga, sino la contrapresión de las lámparas UVA y del filtro.

Si analizamos la curva de la bomba:

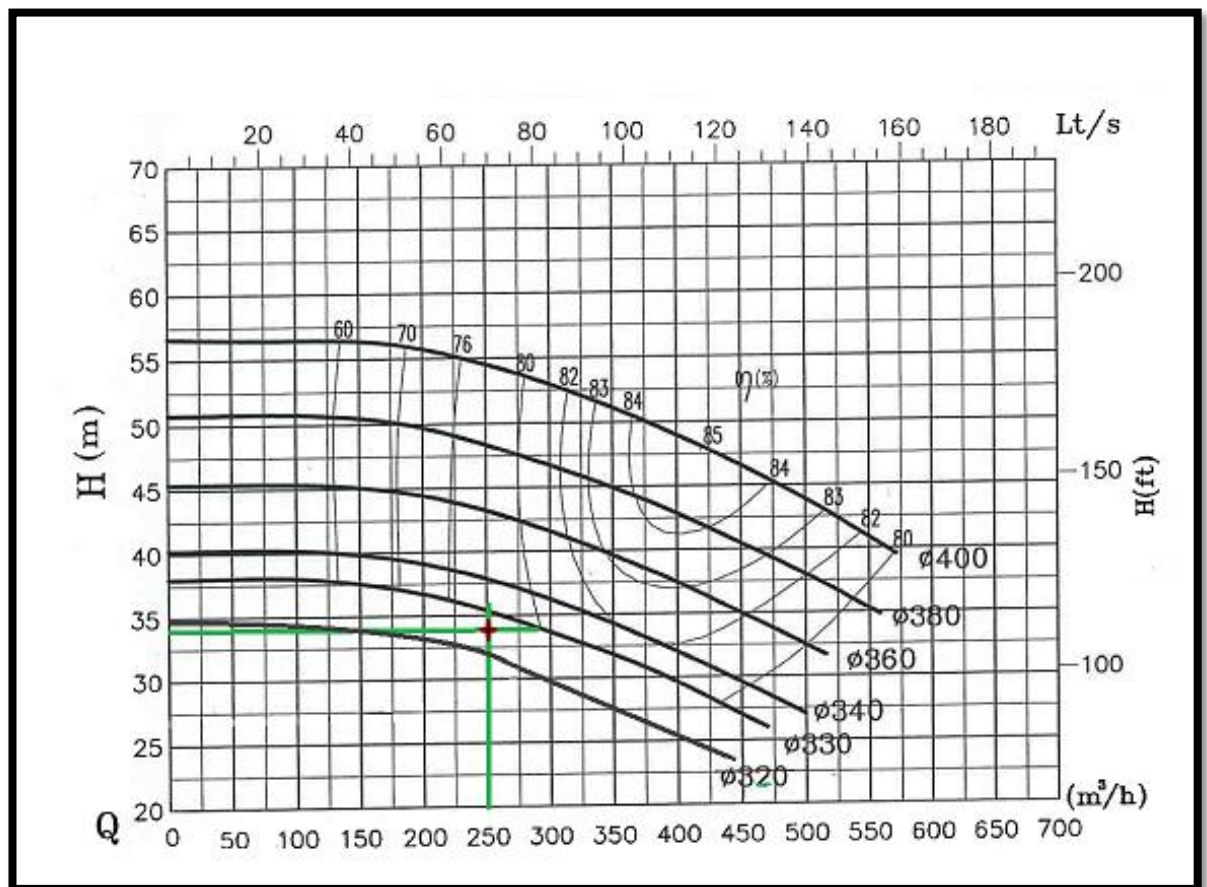


Figura XVIII: “Curva Bombas 250m³/h”

Al comprobar el punto de trabajo de las bombas existentes, partiendo de la altura manométrica hallada (34.36m) y de la capacidad máxima de cada bomba, obtenemos el punto de trabajo y el rendimiento, en este caso, para una bomba de rodete de Ø330mm, entorno al 78%.

Es importante hacer notar que tenemos un sistema de 500m³/h y una altura manométrica de 34.36m. Al contar con dos bombas de lastre, podremos repartir el caudal entre ambas (250m³ cada una), pero al estar en paralelo, la altura que cada una de ellas debe abastecer es de los mencionados 34.36m. En caso de que las bombas estuvieran en serie podría repartirse la altura. Esto no es así en los modernos sistemas de lastre y las bombas reparten el caudal, pero la presión de descarga es la misma (si no tendríamos un problema de contrapresión de una descarga sobre otra). Antiguamente existían bombas dotadas de dos rodetes, que

permitían comunicar en serie o en paralelo, en función de una exigencia de mayor caudal o mayor altura.

En nuestro caso, tendremos dos bombas que trabajando juntas suministrarían un máximo de 500m³/h y con un rendimiento del 78%, alcanzarían la altura requerida.

Por otra parte, hay un concepto significativo que debemos analizar. Los fabricantes de plantas BTWS, hacen referencia a pequeños valores de pérdida de carga. Desde un punto de vista comercial hacen hincapié en el pequeño consumo, las dimensiones reducidas, la facilidad de instalación, etc. Lo que apenas mencionan es el hecho de que las plantas ofrecen una gran resistencia al avance del agua, resistencia que se verá muy incrementada con el ensuciamiento de filtro y la adherencia de placas de sal, lodos, etc tanto en las lámparas del reactor UVA como en el mencionado filtro.

En los manuales de instrucciones de Aura Marine, Panasia y Alfa Laval, se mencionan contrapresiones al sistema del orden de 0.4 bar.

No obstante, según un armador que recientemente estaba llevando a cabo un estudio preliminar de instalación de una planta en un buque existente, tuvo constancia por parte del suministrador del requerimiento - más técnico y menos comercial - de una presión mínima de lastre de 3.5 kg/cm².

Muchos buques trabajan con presiones de lastre de 2-2.5 kg/cm² y, si nos fijamos en el Teorema de Bernoulli y su aplicación para calcular la altura dinámica (con la que calculamos la potencia de la bomba):

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

podremos observar que elevar la presión de descarga de la bomba “P₂” supone incrementar notablemente la altura dinámica y, por tanto, la potencia necesaria.

Después de haber calculado el impacto de la instalación de la planta debido a la caída de presión “h_f”, observamos que el dato de incremento de presión necesaria en la descarga tiene una influencia mucho mayor.

Para comprobarlo vamos a hacer el ejercicio al revés:

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

$$H_B = 64.52m$$

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

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

$$P_{\text{descarga } 2.5 \text{ kg/cm}^2}: 2.5 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 2,45 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \text{ o (N/m}^2\text{)}$$

$$H_B = 26.86\text{m} + \left[\frac{2,45 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \text{m/s}^2} + \frac{2^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} + 9\text{m} \right] -$$

$$\left[\frac{3.92 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \text{m/s}^2} + \frac{0^2}{2 \cdot g} + 2.5 \right] = 26.86 + [24.97 + 0.2 + 9] - [4 + 0 + 2.5] =$$

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

$$P = H_b \times \rho \times g \times Q = 54.53 \text{ (m)} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)} \times \frac{500}{3600} \text{ (m}^3\text{/s)} =$$

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

Es decir, que la diferencia en altura dinámica provocado por la pérdida de carga debido a la nueva planta es de:

$$h_f = 2.18\text{m}$$

y la diferencia debido al aumento de presión (de considerar P descarga de 3.5kg/cm² a 2.5 kg/cm²) = 34.96 - 24.97 = **9.99m**

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.

4.1.4.4 Consecuencias debidas a las pérdidas de carga y aumento de presión

Considerando el mencionado rendimiento mecánico motor – bomba, las bombas tienen una potencia de 76.5 kW cada una (sin considerar la tercera más pequeña).

Esto significa 153 kW disponibles frente a los 115 kW necesarios para poder hacer frente a la demanda de presión y altura, considerando las pérdidas de carga en el sistema y en la instalación añadida.

Concluimos, pues, que el aumento de tubería, accesorios y pérdida de carga resultantes por la nueva planta no implican la necesidad de ampliar la capacidad de lastre existente por medio de bombas mayores.

Tenemos que tener en cuenta que hemos establecido, además, criterios muy conservadores en los cálculos:

- Toda la tubería de lastre se ha considerado de DN250, como el diámetro mayor del sistema.
- Todos los accesorios se han considerado, asimismo, de DN250.
- Se ha estimado un número muy alto de accesorios en la planta existente y válvulas de mariposa.
- La rugosidad absoluta se ha tomado como la peor para acero posible para acero comercial, tanto para la instalación nueva como para la existente.

Debido a estas consideraciones, el resultado ha sido muy cercano al límite, aunque el sistema de lastre del buque aún dispone de otra bomba auxiliar.

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.

Los fabricantes aseguran que sus sistemas apenas llegarán a ejercer una contrapresión de 0.4kg/cm^2 , pero aconsejan que las plantas trabajen a más de 3.5kg/cm^2 . Esta solicitud de mayor presión, al aplicar el Teorema de Bernouilli nos muestra un requerimiento mayor de potencia que el debido a la pérdida de carga.

Además, esto significará que cuando los filtros estén sucios, nos encontraremos con una pérdida de rendimiento aún mayor, debido a la contrapresión, que significará operaciones de lastrado más lentas y, por tanto con operaciones de carga/descarga más lentas también.

4.2 Gestión del Proyecto

4.2.1 Presupuesto de la obra de instalación de la Planta de Tratamiento de Agua de Lastre.

Para poder presupuestar, necesitamos primero tener claros los conceptos relaciones con el coste de los equipos, materiales, trabajos de astillero, etc.

Un armador podrá obtener un precio de venta de una planta, pero adicionalmente tendrá que establecer un cálculo de lo que la instalación conlleva. Los precios calculados en este proyecto están basados en tarifas reales modificadas de astilleros (como Astilleros de Santander S.A., “ASTANDER”). Normalmente los precios se calculan a partir de estudios históricos que los astilleros realizan a lo largo de los años. Existen guías que se han creado compilando esta información como asistencia a los representantes del armador durante las varadas (Referencia “Shipowners Guide to Yard Repairs”, Polytech Internacional, 1983).

El concepto Hora-hombre.

La forma de calcular cuánto va costar un trabajo está normalmente referido a las horas de trabajo, además de otras consideraciones si procediera (materiales, servicios, consumibles...). Por ello, es habitual referirse a los costes de los trabajos en horas. Se puede hablar de un trabajo que conlleva 300 horas y no estamos refiriéndonos al plazo, sino al coste. Hay que evitar caer en el error de no entender la hora-hombre como concepto precio sino como coste. El precio de hora ya lleva implícito costes de estructura (salarios, inmovilizado, ropa de trabajo...) además de un porcentaje de venta comercial. Este precio se puede encontrar en astilleros, en cualquier tipo de industria y, en la vida cotidiana, por ejemplo, en los talleres mecánicos.

Materiales: Obviamente los materiales usados en la obra (acero, consumibles, mantas de protección ignífuga, tubería). Además, hay que imputar los cargos de consumo de gases, electricidad...

Coste Exterior: Se trata del coste de la Industria Auxiliar. Hoy en día, el trabajo realizado por contratas externas normalmente representa, en los astilleros no estatales, más del 70%.

En cualquier caso, no es objeto de este proyecto calcular los costes del astillero, sino analizar y utilizar la otra Hora-hombre, para el cálculo de los presupuestos. No obstante, es importante explicar brevemente en qué consiste la diferencia entre una y otra.

De hecho, salvo en las ocasiones en las que los materiales tienen una relevancia especial, normalmente los trabajos se calculan y se refieren a las mencionadas “horas hombre”, englobando todos los precios. Tanto los libros y estudios de estos cálculos, como los experimentados presupuestadores de los astilleros hablan del precio de un trabajo medido en unas determinadas horas.

Para este proyecto, vamos a calcular un precio de venta de 35€/h. En caso de técnicos externos de gran cualificación, tomaremos 120€/h.

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

- Suministro: Para la planta elegida, Panasia ofrece un precio de unos 250,000 €. El precio es bastante parecido al de una planta similar del fabricante “Aura Marine”. Este precio incluye los elementos fabricados por Panasia (tubería específica, filtro automático, reactor UVA, flujómetro, válvulas, panel de control y repuestos, además de los gastos de transporte a un astillero europeo.
- “Commissioning”, o entrega. Un técnico se desplazará al astillero y se ocupará de supervisar el montaje y de llevar a cabo el protocolo de entrega, que asegure un correcto funcionamiento. Esta supervisión implica el trabajo

del técnico a lo largo del proceso de instalación, así como sus dietas y gastos de estancia.

- Trabajos auxiliares: Trabajo de tubería para modificar el circuito existente y conectar a la nueva planta. Conexión y alimentación del panel de control y del reactor UVA. Instalación del polín de la planta y posible reforzado.
- Instalación: Maniobras a través de la máquina o sala de bombas, posibles cesáreas. Conexión de tuberías existentes a la BWTS.
- Gastos de la Sociedad de Clasificación correspondiente para certificar que el funcionamiento está de acuerdo con la Reglamentación específica de la Clase.

Podemos estimar, por tanto el siguiente coste:

1) Suministro de la Nueva Planta Panasia 500:

Coste del equipo:	250,000.00 €
--------------------------	---------------------

2) Entrega:

2.1) Trabajo del técnico: 7 días x 10 horas/día x 120 €/h = 8,400.00 €

2.2) Dietas: 7 días x 90 €/día = 630.00 €

2.3) Transporte: Estimación de 1,500.00 €

2.4) Hotel: 120 €/día x 7 días = 840.00 €

Coste de la entrega:	20,400.00 €
-----------------------------	--------------------

3) **Trabajos auxiliares:**

3.1 Trabajo de tubería para modificar el circuito existente y conectar a la nueva planta.

Según vimos en el apartado 4.2.1, la tubería a modificar implica la adecuación de la zona (removidos y polines).

- Removido de 10 m² de paneles del piso de la máquina y de angulares que obstaculizan el montaje en la sala de máquinas.

Precio: 2 operarios x 4h x 35€/h = 280 €

- Preparar, montar y soldar un nuevo polín de 3000 x 2000 mm, según los planos de la Planta “GloEn-P500 system”.

Taller de Calderería: 2op x 10h x 1,5d = 30 h

Soldadura: 1op x 8h x 1d = 8 h

Trabajo a bordo, calderería: 2op x 10h x 1,5d = 30 h

Trabajo a bordo de soldadura: 1op x 8h x 1d = 8 h

Mano de obra: 76 h x 35 €/h = 2.660 €

Materiales y consumibles = 500 €

- Preparar, montar y soldar un nuevo polín de 2000 x 500 mm para la instalación del panel “POWER SUPPLY PANEL”.

Taller: Calderería: 2op x 8h x 1d = 16 h

Soldadura: 1op x 6h x 1d = 6 h

A bordo, calderería: 2op x 8h x 1d = 16 h

A bordo, soldadura: 1op x 6h x 1d = 6 h

Mano de obra: 44 h x 35 € = 1.540 €

Materiales y consumibles = 400 €

- Preparar, montar y soldar un nuevo polín de 800 x 400 mm para la instalación del panel “BWMS CONTROL PANEL”.

Taller: Calderería: 2op x 4h x 1d = 8 h

Soldadura: 1op x 3h x 1d = 3 h

A bordo, calderería: 2op x 4h x 1d = 8 h

A bordo, soldadura: 1op x 3h x 1d = 3 h

Mano de obra: 22 h x 35 € = 770 €

Materiales y consumibles = 200 €

- Maniobra dentro de la Sala de Máquinas para montar los polines y equipos “GloEn-P500 system”, “POWER SUPPLY PANEL” y el “BWMS CONTROL PANEL”.

Maniobra Sala de Maquinas: 4op x 8h = 32h

Montar los equipos en sus polines: 2op x 10h x 1,5 días = 30h

Mano de obra: 62 h x 35 € = 2.170 €

Materiales y consumibles: 200 €

- Modificar y adaptar 10m² de los paneles del suelo para recibir el nuevo equipo:

Mano de obra: 2op x 10h x 2,5días = 50h x 35€/h = 1.750 €

Materiales: 500 €

- Suministrar y conectar 30m de cable 3x25mm² del panel principal al panel de potencia de la planta y conectar 30m de cable 3x4 mm² del panel principal al panel de control de la planta y conectar solenoides, unidad UVA y filtro automático.

Mano de obra: 3 opx 5 días x 10 horas x 35€/h: 150 hs x 35 €/h = 5,250 €

- Maniobra de posicionamiento de la nueva planta a través de la Sala de Máquinas y amarre a los nuevos polines.

Mano de obra: 6 opx 3 días x 10 horas x 35€/h: 180 hs x 35 €/h = 6,300 €

Coste de los trabajos auxiliares: 22,520.00 €

4) Conexión de la Planta a la tubería existente:

La conexión es muy sencilla, porque si nos fijamos en la figura de la Planta Figura X (Planta de Tratamiento PANASIA 500) de la Página 39, vemos que tan sólo tenemos que insertar la nueva planta en un tramo de las descarga de las bombas. Suponiendo que tenemos un colector común de descarga, sólo habría que cortar un tramo de 1,629mm (según el plano, incluyendo las bridas, un total de 2,110mm).

Una vez hecho el corte, sólo habría que acoplar unos nuevos carretes y bridas que unan el sistema existente con la nueva planta.

Mano de obra: $2op \times 10h \times 2,5días = 50h \times 35€/h = 1.750 €$

Materiales: 500 €

Coste de la conexión de tubería: 2,250.00 €

Coste total de la instalación: Costes de Suministro + Coste de la Entrega + Coste de los trabajos auxiliares + Coste de conexión de tubería =

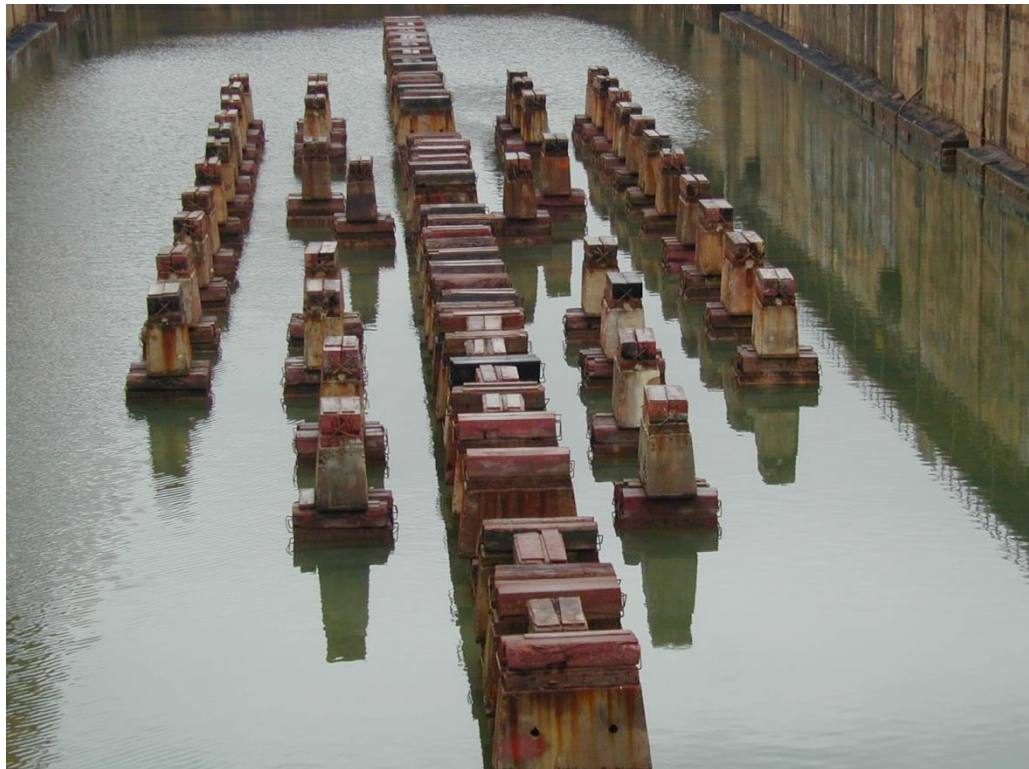
= $250.000 + 20.400 + 22.520 + 2.250 =$ **295,170.00 €**

Nota: No se ha considerado un posible reforzado de la zona donde la planta vaya a ser instalada. Este reforzado adicional podría representar un coste elevado. Tampoco se ha considerado la reubicación de otros equipos o sistemas existentes en la zona donde fuera a instalarse la planta.

4.2.2 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.

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.



1. Maniobras:

1.1 Entrada y estancia del buque en dique, Tarea “A”:

Maniobra de entrada: 1,500.00 €

Estancia en dique (12 días): 600 EUR/día x 12días = 7,200.00 €

Total tarea “A”: 8,700.00 €

1.2 Salida de muelle y estancia a flote, Tarea “U”:

Maniobra de salida a muelle, Tarea “U”: 700.00 €

1.3 Estancia en muelle, Tarea “V” (2 días): 150 EUR/día x 2días = 300.00 €

1.4 Salida del astillero, tarea “W”: 750.00 €

2. Servicios y conexión de suministros, Tarea “B”:

2.1 Limpieza de dique: 500.00 €

2.2 Conexión eléctrica y consumo de 1,500 kW.h/día

Precio para 12 días: 1,950.00 €

2.3 Conexión de agua de refrigeración y consumo

Precio para 12 días: 500.00 €

2.4 Sistema Contraincendios. Conexión y consumo

Precio para 12 días:: 500.00 €

2.5 Escalas (2 en dique, 1 a flote): 360.00 €

2.6 Seguridad, bombero (15 días): 4,500.00 €

Total tarea “B”: 8,310.00 €



3. Trabajos mecánicos:

3.1 (Des)montar guardacabos, Tarea “C”: 300.00 €

3.2 Sellos, Tarea “D”: 1,200.00 €

3.3 Pala de Timón, Tarea “E”: 3,500.00 €

3.4 (Des)montar ejes de cola y reparar camisas bocina, Tarea “F1”= 12,000.00 €

3.5 (Des)montar hélices en taller, Tarea “F2”: 8 palas x 800 = 6,400.00 €

3.6 Reparación de válvulas de fondo, Tarea “G”: 2,600.00 €



3.7 (Des)montar núcleo de la hélice, Tarea “H”: 1,200.00 €

3.8 Overhaul completo MMPP, Tarea “I”: (5,663 HP, 7SMC): 7,000.00 €

3.9 Overhaul Turbos, Tarea “J”: 4 x 2,200 = 8,800.00 €

4. Overhaul completo MMAA, Tarea “K”: (2x700 kVA): 2x4,800 = 9,600.00 €

5. Tratamiento del casco (4,300m²):

5.1 Lavado a presión 4,300m², Tarea “L”: 3,870.00 €

5.2 Chorro arena, 20 % SA-2.5, Tarea “M”: 12,900.00 €

5.3 Parcheado (2 capas) y pintado (4 manos generales), Tarea “N”: 10,320.00 €



6. Presupuesto de la instalación de la Planta de Tratamiento, Tarea “Z”

6.1 Instalación: Suministro, entrega, trabajos auxiliares y tubería: 294,970.00 €



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 €

Como podemos observar, el suministro y la instalación de la planta representan un valor muy alto, en comparación con el trabajo habitual de varada.

Más aún, el suministro de por sí, está estimado entre 250,000 y 300,000 €. La explicación no hay que buscarla sólo en la fabricación y suministro, sino en el coste del estudio de estas nuevas plantas y el hecho de que sólo tendrán un pico de suministro, como veíamos en la Tabla III (página 9) entre 2015 y 2020. A partir de ahí, los fabricantes habrán de centrarse exclusivamente en los buques de nueva construcción, reduciéndose la demanda. Dicho de otro modo, no hay una relación directa o constante entre el coste fabricación e instalación y el precio. También hay

que tener en cuenta el gran desarrollo invertido en poco tiempo para atender un pico de demanda muy puntual.

4.2.3 Plazo de ejecución de los trabajos.

El astillero conoce el tiempo que lleva cada trabajo y el plazo final de la obra. El plazo total de la obra no será, obviamente, la suma de los tiempos parciales de cada tarea. En un proyecto las tareas están interrelacionadas, de modo que existe una antelación con que un trabajo debe ser atendido respecto a otro. Existen, por tanto, interferencias entre trabajos, otros no se podrán comenzar hasta que el anterior haya terminado, etc.

A partir de la siguiente tabla que relaciona, no sólo la duración de los trabajos, sino las relaciones de prelación (actividades antecesoras), podremos calcular al plazo final de la obra y conocer cuál es el camino crítico.

Podemos establecer la siguiente tabla, que relaciona cada trabajo, su duración y el orden de prelación:

Descripción	Tarea	Precedente	Tiempo normal
Entrada en Dique (Estancia)	A	-	0.3 (12 D)
Conexión Servicios	B	A	0,3
Guardacabos	C	B	0,2
Sellos	D	C	3
Timón	E	B	1
Eje Cola y Reparac. Camisa bocina	F1	E	5
Hélices-palas	F2	B	2
Reparación Válvulas Fondo	G	B	4
Hélices-núcleos	H	F2	2
MMPP	I	B	8
Turbos	J	B	6
MMAA	K	B	6
Lavado Presión	L	B	1
Chorro	M	L	3
Pintura	N	M	4
Instalación BTWS	Z	B	12
Salida a muelle	U	D, G, F1, F2, H, I, J, K, N, Z	0,3
Pruebas Planta (estancia a Flote)	V	U	2
Salida del astillero	W	V	0,3

Tabla X: Tiempos en días para cada actividad y relación de orden entre ellas (prelación)

Cuando gestionamos un proyecto, hay una serie de conceptos básicos, que debemos conocer y que conviene aclarar:

- **Camino crítico**

El camino crítico en un proyecto es la sucesión de actividades que dan lugar al máximo tiempo acumulativo. Determina el tiempo más corto que podemos tardar en hacer el proyecto si se dispone de todos los recursos necesarios.

Como veremos más adelante, al acortar el camino crítico de nuestro proyecto, nos puede ocurrir que el camino crítico cambien y, las actividades críticas, sean otras diferentes.

- **Holguras**

La holgura de una actividad es el margen suplementario de tiempo que tenemos para determinar esa actividad. Las actividades críticas no tienen holgura. En nuestro caso, cuando “aceleremos” el proyecto, es obvio que no tiene sentido “acelerar” actividades con holguras para el camino crítico. Sin embargo, tendremos que tener en cuenta que, al variar emplazo final, las actividades “no críticas” reducirán sus holguras incluso hasta convertirse en críticas.

- **Actividades críticas**

Una actividad es crítica cuando no se puede cambiar sus instantes de comienzo y finalización sin modificar la duración total del proyecto. La concatenación de actividades críticas es el camino crítico.

Por otra parte, tenemos diferentes gráficos que nos ayudan a plasmar visualmente el proyecto y nos dan información clara sobre cómo se ha de producir y cuál es el camino crítico. Podemos utilizar un Diagrama de Gantt (muy utilizado), gráficos ADM y el Diagrama de Pert.

4.2.4 Planificación de trabajos.

Diagrama de Pert. (Program Evaluation and Review Technique).

Generalmente se denominan técnicas PERT al conjunto de modelos abstractos para la programación y análisis de proyectos de ingeniería. Estas técnicas nos ayudan a programar un proyecto con el coste mínimo y la duración más adecuada. Están especialmente difundidas el PERT y el CPM.

Está orientada a los sucesos o eventos, y se ha utilizado típicamente en proyectos de I+D en los que el tiempo de duración de las actividades es una incertidumbre. Dado que las estimaciones de duración comportan incertidumbre se estudian las distribuciones de probabilidad de las duraciones. Con un diagrama PERT se obtiene un conocimiento preciso de la secuencia necesaria, o planificada para la ejecución de cada actividad y utilización de diagramas de red.

Se trata de un método muy orientado al plazo de ejecución, con poca consideración hacia al coste. Se suponen tres duraciones para cada suceso, la optimista a, la pesimista b y la normal m.

(<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/diaggantaleja.htm>)

El diagrama PERT permite calcular los inicios mínimos y los finales máximos de todas las tareas del proyecto. En cada nodo obtendremos el inicio mínimo de todas las tareas que tengan origen en ese nodo y el final máximo de todas las tareas que lleguen a él.

El diagrama PERT permite calcular los inicios mínimos y los finales máximos de todas las tareas del proyecto. En cada nodo obtendremos el inicio mínimo de todas las tareas que tengan origen en ese nodo y el final máximo de todas las tareas que lleguen a él.

Aplicación de las técnicas PERT:

- Determinar las actividades necesarias y cuando lo son.
- Calcular el plazo mínimo de ejecución del proyecto, e identificar las actividades críticas, es decir, aquellas cuyo retraso en la ejecución supone un retraso del proyecto completo.
- Identificar las ligaduras temporales entre actividades del proyecto.
- Identificar el camino crítico, que es aquel formado por la secuencia de actividades críticas del proyecto.
- Detectar y cuantificar las holguras de las actividades no críticas, es decir, el tiempo que pueden retrasarse (en su comienzo o finalización) sin que el proyecto se vea retrasado por ello.
- Si se está fuera de tiempo durante la ejecución del proyecto, señala las actividades que hay que forzar.
- Nos da un proyecto de coste mínimo.

En nuestro proyecto no vamos a plantear estas posibilidades optimista, pesimista y normal, ya que, aunque en la fase de producción se pueden dar situaciones que alteren los planes, estamos partiendo de la hipótesis de que conocemos perfectamente la duración de las actividades. Sólo trabajaremos con la posibilidad “normal”, como veremos en los Gráficos Gantt y ADM.

Diagrama de Gantt.

El diagrama de Gantt consiste en la representación gráfica de la relación entre las tareas que componen el proyecto y la duración de cada una de ellas.

En el eje de horizontal representaremos la escala temporal que más nos convenga y en el vertical, las actividades. Debemos establecer los inicios (fechas) y finales de los trabajos.

Si hacemos un estudio más profundo, podemos añadir las prelación o actividades “predecesoras” unas de otras. Utilizando el programa Microsoft PROJECT, creamos el diagrama de Gantt del proyecto teniendo en cuenta, además de las duraciones, las prelación analizadas en la Tabla X.

Se ha establecido que el comienzo del proyecto sea el día 1 de octubre y la relación entre actividades nos lleva a un proyecto final de unos 15 días.

En realidad, el diagrama nos sirve para tener una imagen del proyecto y las relaciones entre actividades, pero no da respuestas de ninguna clase. De hecho, hay que alimentarlo con todos los datos y simplemente los representa de forma gráfica.

La ventaja de este gráfico reside en que al plasmas las actividades, según su orden de prelación, obtendremos una representación muy clara de cómo se desarrollará el proyecto. Fácilmente, representado en rojo, visualizaremos el camino crítico:

Cámino crítico:

- Entrada en dique
- Conexión de servicios
- Instalación de la BWTS (actividad más larga y más larga que las otras actividades “encadenadas” de más duración).
- Salida a muelle
- Pruebas de la Planta
- Salida del astillero

El plazo del proyecto lo obtendremos, sencillamente, sumando las duraciones de las actividades del camino crítico:

$$\text{Plazo del Proyecto} = 0.3 + 0.3 + 12 + 0.3 + 2 + 0.3 = 15.2 \text{ días}$$

Ver, a continuación, la Figura XVIII: Diagrama de Gantt para el Proyecto (Varada e instalación de la Planta de Tratamiento de Agua de Lastre).

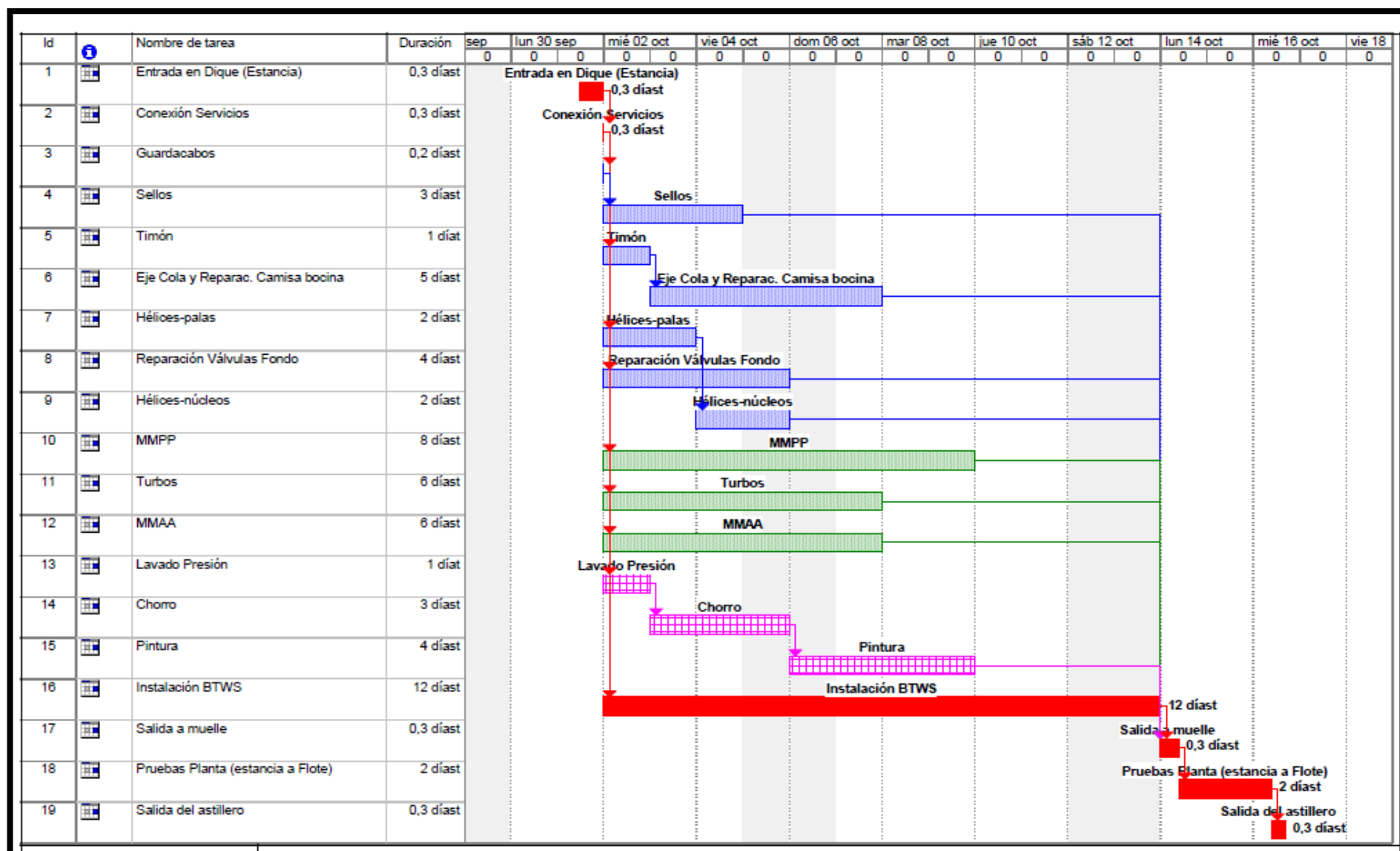


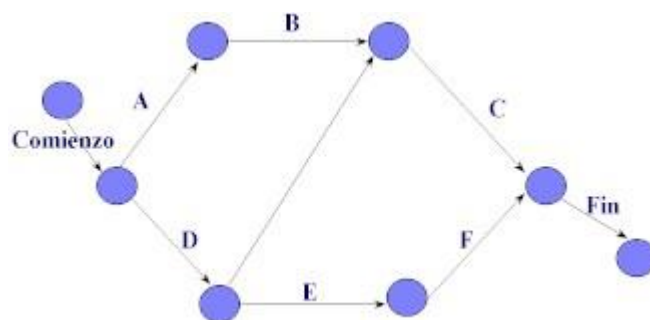
Gráfico ADM.

Esta técnica también se denomina “actividad sobre flecha”. Se trata de un gráfico de Gantt en el que aparecen las dependencias entre actividades y los recursos implicados en cada una de ellas. Permite de esta forma tener una idea más real del proyecto que la que obteníamos con el diagrama de Gantt que mostrábamos anteriormente.

También es muy sencillo el calcular el plazo total del proyecto e identificar el camino crítico.

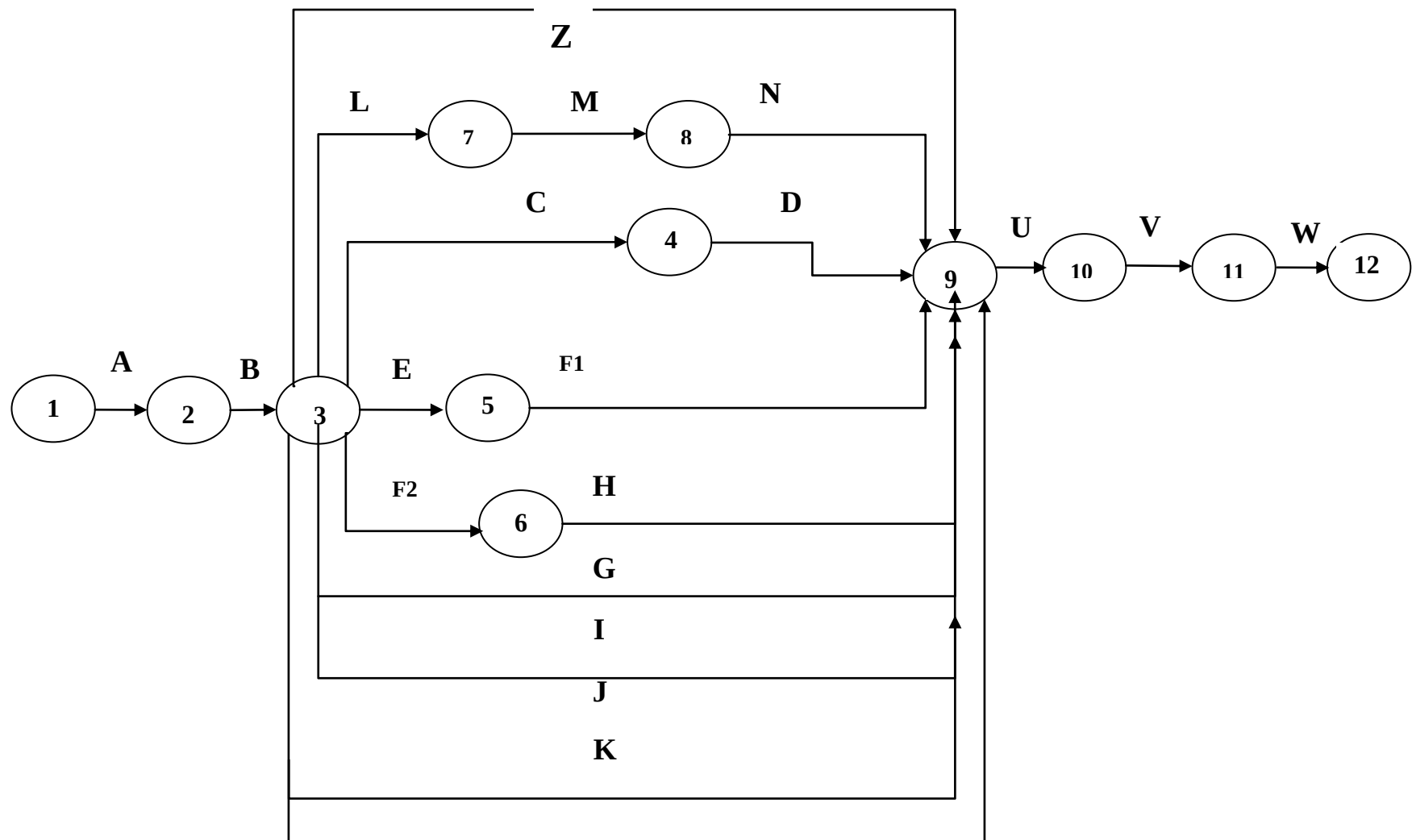
Para dibujar el gráfico “Actividad sobre flecha”, tendremos en cuenta que las actividades son las flechas y no los nodos. Los nodos representan momentos específicos en el proyecto. Al terminar una actividad se conecta a la siguiente por medio de nodos para mostrar las dependencias.

En el gráfico siguiente podemos ver que hay un hito inicial (nodo), comienzo del proyecto y dos actividades que comienzan simultáneamente A y D. Al terminar D, hay un nodo del que parten dos actividades. Estas actividades no comenzarán hasta que termine D. La actividad D es, por tanto, predecesora de estas dos. La actividad B no comenzará hasta que haya terminado A, y así sucesivamente.



De este modo, podemos ir sumando los tiempos que se tardan en desarrollar las actividades, según el camino que elijamos. De los diferentes caminos posibles, habrá uno que será el más largo. Este es el camino crítico, o el tiempo mínimo que necesita el proyecto para poder terminarse. Transcurrido ese tiempo, todas las actividades habrán terminado.

El gráfico “Actividad sobre flecha” (Figura XIX) de nuestro proyecto se muestra a continuación:



5. Conclusiones

1. Después de analizar diferentes plantas actuales, lo primero que llama la atención es el hecho de que están diseñadas para cumplir con una normativa, pero que no tenemos ninguna medida sobre la eficacia del tratamiento.

Partimos de las variables de diseño buscadas en la normativa (bien IMO D-2, o la más restrictiva exigencia americana) para “asegurar” que obtendremos agua de lastre tratada que cumpla la exigencia, una vez que haya pasado a través del filtro y el reactor UVA. Sin embargo, no tenemos medios de análisis que nos aporten un “feedback” en caso de que la planta no esté trabajando eficientemente.

En principio, podría pensarse que las plantas se autorregulan, por medio de un análisis y un controlador que, por ejemplo, recirculara el agua que no cumpliera, o bien diera más intensidad al reactor. Esto, no sólo no es así, sino que ni siquiera las plantas tienen un analizador del agua que estamos enviando a los tanques o a la mar. Tan sólo está prevista una toma de muestras que permita enviar el agua tratada al laboratorio. Esto en sí sólo permite confirmar si la planta trabaja o no adecuadamente, ya que no se va a esperar a lastrar/deslastrar un buque hasta obtener una respuesta de un laboratorio.

A mi entender, la conclusión es que los fabricantes se han encontrado con unos plazos muy inminentes de entrega y que las plantas no están suficientemente desarrolladas. Por otra parte, las plantas existentes en la actualidad están certificadas por las Sociedades de Clasificación y cumplen con la normativa exigida.

2. Otra conclusión de este trabajo es que 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. De no ser así, posiblemente se produzca 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. En este proyecto he querido comprobar 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.
4. No obstante, las plantas presentan otras limitaciones:
 - 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 Exigen unas presiones altas de descarga de las bombas de lastre para compensar las contrapresiones generadas en los reactores UVA y en los filtros. Hemos podido comprobar que es mayor el impacto debido a la contrapresión que a la pérdida de carga.

4.4 Debido la necesidad de utilizar plantas del menor tamaño posible, los filtros diseñados por los principales fabricantes son muy grandes y únicos. Esto tiene un problema obvio: no podemos by-passear el filtro en caso de problema de obstrucción, obligando a parar el lastre y, por tanto, el proceso de carga o descarga. Otros fabricantes, como el americano Hyde Marine, han desarrollado unos filtros muchos más pequeños, con el fin de poder ubicar mejor las plantas en salas más reducidas. Esta batería de filtros, permite además, dejar una serie en stand-by en caso de problemas.

6. **Bibliografía:**

- “Redes de Distribución de Fluidos Térmicos”, Centro de Estudios de la Energía, Ministerio de Industria y Energía (1983), Madrid.
- <http://www.lr.org/bwm>: “Ballast Water Treatment Systems, Guidance for ship operators on procurement, installation and operation”.
- Libro Instrucciones “GloEn-Patrol™ Ballast Water Management System”, Panasia Co Ltd, 2012.
- “Hidráulica General de Gilberto Sotelo Ávila”, Editorial Limusa, Universidad de Texas, 1974
- Libro Instrucciones Planta Aura Marine CB, Frydenbo 2013.
- ABS “Ballast Water Treatment Advisory”: <http://www.eagle.org>
- Reactor UVA” Artículo “UV disinfection improves EOR Meets other functions as well” – Offshore 2012, John McLean, ETS.
- <http://workingwithwater.filtsep.com/view/897/ultraviolet-reactor-for-water-treatment/>
- <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/diaggantaleja.htm>
- Ballast Water Management Systems Q&A, Hamworthy, 2012:
http://www.hamworthy.com/ballast_water_management
- “Shipowners Guide to Yard Repairs”, Polytech Internacional, 1983.
- http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/ayudas_fpresion.pdf

- http://natedynamics.com.au/kb/fluid_flow/pressure-loss-from-fittings-equivalent-length-method/
- <http://www.cheresources.com/content/articles/fluid-flow/using-equivalent-lengths-of-valves-and-fittings?pg=5>
- <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.htm>
- http://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html
- <http://www.hydemarine.com>
- <http://maquinashidraulicasunefm.bligoo.es>