

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de lastre que permita
disminuir la invasión de especies en las Galápagos.

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Naval

Presentado por:

Maria Daniela Sallo Saltos

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi madre Rocío y a mi padre Robert, porque han sido mi fuerza y mi fortaleza durante todos estos años. A mi hermano, por abrazarme a la distancia y ser mi ejemplo para seguir. A mi tía Beatriz, porque me brindó un techo para vivir durante toda mi formación académica. A mi pareja Carlos, por ser mi sostén y mi apoyo en estos últimos años de carrera. También le dedico mi trabajo a mis primos, Sofía y Adrián y a toda mi familia que no tuvo más que palabras de aliento para mí. Finalmente, le dedico este proyecto a mis amigos que estuvieron a mi lado durante todo este largo proceso de aprendizaje.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios y a mis padres por darme la oportunidad de culminar con mis estudios. A mi tutor, PhD. Patrick Townsend por brindarme sus conocimientos para poder cumplir con mi proyecto integrador. Agradezco también a la empresa TRANSNAVE, por permitirme utilizar una de sus embarcaciones para realizar mi trabajo. A todos mis maestros de la carrera, en especial al Ing. Isaac Mendoza y al PhD José Rolando Marín, por formar parte de mi formación académica y convertirse en un ejemplo para mi vida profesional. Agradezco a la ESPOL, por brindarme las herramientas necesarias para completar mis estudios. Finalmente, a mis amigos que considero hermanos Jean Pool, Tais y Josué que me ayudaron a sobrellevar mi último año académico.

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; María Daniela Sallo Saltos y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Daniela Sallo Saltos', enclosed within a circular scribble.

María Daniela Sallo Saltos

Evaluadores

MSc. David Plaza

Profesor de la materia

PhD. Patrick Townsend

Profesor tutor

Resumen

El agua de lastre es necesaria para mantener la estabilidad de las embarcaciones cuando cargan y descargan su mercancía. Sin embargo, también es una de las causas principales por las que se generan invasiones de especies en muchos puertos alrededor del mundo. Las Islas Galápagos no son la excepción a esta problemática, ya que según investigaciones se han encontrado un sin número de especies no nativas debido al transporte de lastre. Por ello, este proyecto se enfocó en la elaboración de un modelo alternativo para de un sistema de tratamiento de aguas de lastre utilizando el método químico para evitar la invasión de especies en las Islas. Como resultado, se obtuvieron dos modelos en los que se utilizan una bomba dosificadora de NaClO y dos bombas, respectivamente. Cada uno de ellos se lo realizó a partir del sistema de lastre del Isla de la Plata y utilizando el software RhinoCeros y AutoCAD. En conclusión, después del modelado de ambas propuestas y el análisis técnico del sistema de lastre actual de la embarcación, se determinó que cumplen con lo establecido por la OMI y que son la base para la posterior implementación de las alternativas.

Palabras Claves: Agua de lastre, sistema de tratamiento, sustancia activa, caudal, diseño.

Abstract

Ballast water is necessary to maintain the stability of the vessels when loading and unloading their merchandise. However, it is also one of the main causes of species invasions in many ports around the world. The Galapagos Islands are no exception to this problem, since according to investigations several non-native species have been found due to ballast transport. Therefore, this project focused on the development of an alternative model for a ballast water treatment system using the chemical method to prevent the invasion of species in the Islands. As a result, two models were obtained in which one NaClO dosing pump and two pumps are used, respectively. Each one of them was carried out from the Isla de la Plata ballast system and using RhinoCeros and AutoCAD software. In conclusion, after the modeling of both proposals and the technical analysis of the current ballast system of the vessel, it was determined that they comply with the provisions of the IMO and that they are the basis for the subsequent implementation of the alternatives.

Keywords: Ballast Water, Treatment System, Active Substance, Flowrate, Design.

Tabla de Contenido

Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Abreviaturas.....	XI
Simbología.....	XII
Índice de figuras.....	XIII
Índice de tablas.....	XIV
Índice de ilustraciones.....	XV
Índice de planos.....	XV
Capítulo 1.....	16
1.1. Introducción.....	17
1.2. Descripción del problema.....	18
1.3. Justificación del problema.....	19
1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo general.....	19
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
1.5. Marco teórico.....	20
1.5.1. Métodos aplicados para eliminación de agua de lastre en los buques.....	20
1.5.2. Resultados obtenidos en diferentes partes del Ecuador y el mundo con las aplicaciones actuales del manejo de agua de lastre.....	26
Capítulo 2.....	30
2.1. Metodología.....	31
2.1.1. Selección y descripción del buque prototipo.....	31
2.1.1.1. Ruta de navegación.....	32

2.1.2. Regulaciones de la OMI que se aplicarán según el año de construcción del buque y su capacidad de lastre.....	32
2.1.3. Diseño de la propuesta del sistema de tratamiento.	34
2.1.3.1. <i>Análisis técnico del circuito de lastre actual.</i>	35
2.1.3.2. Diseño de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas de lastre	38
2.1.4. Proyección económica preliminar del sistema de tratamiento	43
Capítulo 3.....	44
3.1 Resultados y análisis	45
3.1.1. <i>Selección del buque prototipo</i>	45
3.1.2. <i>Verificación del sistema de lastre existente en la embarcación</i>	46
3.1.2.1. Bomba de lastre.....	46
3.1.2.2. Red de tuberías del sistema de lastre	46
3.1.2.3. Pérdidas mayores y menores.....	47
3.1.2.4. Plano del sistema de lastre sin tratamiento.	51
3.1.3. Propuesta de solución del sistema de lastre incluyendo el tratamiento.....	51
3.1.3.1. <i>Primer modelo</i>	51
3.1.3.2. <i>Segundo Modelo</i>	56
3.1.4. Proyección de costo preliminar de la planta de tratamiento.....	58
3.1.5. Diagrama de flujo del funcionamiento de los sistemas.....	59
3.1.6. Análisis de los resultados esperados de las propuestas de diseño.....	61
3.1.7. Planos	63
3.1.7.1. <i>PLANO 1: Plano de Distribución General del M/N Isla de la Plata</i>	63

3.1.7.2.	<i>PLANO 2: Plano del sistema de lastre actual del M/N Isla de la Plata.....</i>	63
3.1.7.3.	<i>PLANO 3: Plano 2D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 1 del sistema de tratamiento.....</i>	63
3.1.7.4.	<i>PLANO 4: Plano 3D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 1 del sistema de tratamiento.....</i>	63
3.1.7.5.	<i>PLANO 5: Plano 2D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 2 del sistema de tratamiento.....</i>	63
3.1.7.6.	<i>PLANO 6: Plano 3D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 2 del sistema de tratamiento.....</i>	63
Capítulo 4.....		70
4.1. Conclusiones y recomendaciones		71
4.1.1. Conclusiones		71
4.1.2. Recomendaciones		72
Bibliografía		73
ANEXOS		79
A. Anexo 1: Lista de sistemas actuales aprobados por la OMI y la USCG.		79
B. Anexo 2: Catálogo de referencia para el filtro de agua de lastre.		81
C. Anexo 3: Catálogo de referencia para la bomba dosificadora.		83

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SPTMF	Subsecretaría De Puertos Y Transporte Marítimo Y Fluvial
OMI	Organización Marítima Mundial
BWM	Ballast Water Management
BWE	Ballast Water Exchange
BWT	Ballast Water Treatment
ABG	Agencia de Bioseguridad de las Galápagos
DPNG	Dirección del Parque Nacional Galápagos
CCREG	Consejo de Gobierno de Régimen Especial de las Galápagos
USCG	United States Coast Guard
BWMS	Ballast Water System
ABS	American Bureau of Shipping
DNV	Det Norske Veritas

Simbología

m	Metros lineales
tons	Toneladas
knots	Nudos
m^3	Metros cúbicos
$\frac{m^3}{h}$	Metros cúbicos por hora
mm	Milímetros
ppm	Parte por millón
mg	Miligramos
$\frac{L}{h}$	Litros por hora
MPa	Megapascales
kW	Kilovatio
bar	Bar
μm	Micrómetro

Índice de figuras

Figura 1. 1. Carga de Balasto en puertos usando el sistema JFE Ballast Ace en la embarcación Emerald Leader.....	22
Figura 1. 2. Descarga de Balasto en puertos usando el sistema JFE Ballast Ace en la embarcación Emerald Leader	22
Figura 1. 3. Sistema PureBallast 3.1.....	23
Figura 1. 4. Proceso de tratamiento del agua de lastre del sistema SeaCure.	24
Figura 1. 5. Carga de balasto utilizando el sistema PURIMAR.	25
Figura 1. 6. Descarga del agua de lastre utilizando el sistema PURIMAR.	26
Figura 2. 1. Ruta de navegación del MN Isla de la Plata hacia Galápagos.	32
Figura 2. 2. Coeficientes de fricción de los accesorios de acuerdo con el diámetro nominal.	37
Figura 2. 3. Factor KL para accesorios.	38
Figura 2. 4. Filtro de agua de lastre.	41
Figura 2. 5. Bomba dosificadora de químico de Inducom.....	42
Figura 2. 6. Eductor de Sólidos.....	43
Figura 3. 1. Diámetros de tubería correspondiente a un determinado caudal de bomba.	47
Figura 3. 2. Altura de la descarga del agua de lastre de acuerdo con ABS.	50
Figura 3. 3. Esquema del filtro en el sistema de tratamiento.....	52
Figura 3. 4. Esquema de la bomba dosificadora.	54
Figura 3. 5. Esquema de la planta de tratamiento química.	55
Figura 3. 6. Esquema del modelo 3D con la planta de tratamiento aplicada.	56
Figura 3. 7. Esquema 3D del segundo modelo del sistema de lastre.	57
Figura 3. 8. Diagrama del flujo del funcionamiento general del sistema de tratamiento.	60

Índice de tablas

Tabla 1. 1. Métodos aprobados por la OMI para el BWT.	21
Tabla 2. 1. Características principales del MN Isla de la Plata.....	31
Tabla 2. 2. Normativa del BWM Convention 2004.....	33
Tabla 2. 3. Regulación D-2 sobre el tamaño de los microorganismos.	34
Tabla 2. 4. Ecuaciones del coeficiente de fricción f.	37
Tabla 2. 5. Concentración máxima de descarga permitida de algunas sustancias activas de acuerdo con GESAMP.....	40
Tabla 3. 1. Capacidad de los tanques de lastre.	45
Tabla 3. 2. Valores de diámetro obtenidos para las tuberías del sistema de lastre.	47
Tabla 3. 3. Pérdidas mayores durante el lastrado.....	48
Tabla 3. 4. Pérdidas menores durante el lastrado.....	48
Tabla 3. 5. Pérdidas mayores durante el deslastrado.	49
Tabla 3. 6. Pérdidas menores durante el deslastrado.	49
Tabla 3. 7. Proyección del costo preliminar de los equipos y accesorios de la planta de tratamiento del modelo 1.	58
Tabla 3. 8. Proyección del costo preliminar de los equipos y accesorios de la planta de tratamiento del modelo 2.	59

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Sistemas aprobados por la OMI y la USCG.	80
Ilustración 2. Catálogo de referencia para elección del filtro de agua de lastre.	81
Ilustración 3. Catálogo de referencia para elección del filtro de agua de lastre.	82
Ilustración 4. Catálogo de referencia para la bomba dosificadora 1.....	83
Ilustración 5. Catálogo de referencia para la bomba dosificadora 2- Datos técnicos.....	83
Ilustración 6. Catálogo de referencia para la bomba dosificadora 3- Pesos de los modelos. ..	84

Índice de planos

PLANO 1: Plano de Distribución General del M/N Isla de la Plata	
PLANO 2: Plano del sistema de lastre actual del M/N Isla de la Plata	
PLANO 3: Plano 2D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 1 del sistema de tratamiento	
PLANO 4: Plano 3D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 1 del sistema de tratamiento	
PLANO 5: Plano 2D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 2 del sistema de tratamiento	
PLANO 6: Plano 3D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 2 del sistema de tratamiento	

Capítulo 1

1.1. Introducción

Los tanques de lastre son necesarios para mantener la estabilidad y la operación de las embarcaciones al momento de cargar y descargar los bienes que transportan. Según (Godey, Misra, & Sha, 2012) las embarcaciones mueven, aproximadamente, el 80% de la mercancía del mundo, provocando que se transfieran entre 3 a 5 billones de toneladas de agua de lastre cada año. Sin embargo, el incremento del tráfico marino ha provocado que en muchos puertos se produzcan invasiones de especies extranjeras que han sido trasladadas en el balasto que se almacena en los tanques de lastre.

En Ecuador, la situación no es diferente debido al comercio internacional marítimo. Según la SPTMF, en el primer trimestre del 2022, se movilizaron más de 1200 embarcaciones nacionales e internacionales entre los diferentes puertos más importantes del país; entre ellos, se destacan los buques tanqueros, porta contenedores y graneleros (Villegas, 2022). Por lo tanto, siendo las Islas Galápagos el mayor exponente de la biodiversidad endémica marina del país, es importante salvaguardarla, considerando el gran crecimiento que la industria naval ha tenido durante los últimos años. Este archipiélago ecuatoriano, cuenta con un total de 13 islas principales con un área mayor a 10 km^2 y geográficamente se encuentra ubicada a, aproximadamente, 1240 km de Guayaquil y 1140 km de Manta (Dirección del Parque Nacional Galápagos [DPNG], 2014).

A nivel mundial, la respuesta de la OMI ante las invasiones fue adoptar el Convenio BWM, en el que se establece que todos los buques deben implementar un plan de gestión y control del balasto aprobado por la OMI (Organización Marítima Internacional [OMI], s.f.). A partir de ello, se han establecido dos tipos principales de gestión de agua de lastre. El BWE, que corresponde al intercambio del balasto por medio de un flujo secuencial, flujo continuo o dilución. Mientras que, el BWT es el tratamiento individualizado a bordo de cada buque que se puede ejecutar inclusive en el proceso de navegación del barco o al llegar a

puerto, ya que existen tres formas de esterilizar el agua, que pueden ser físicos, mecánicos y químicos (Núñez, 2021).

Por lo tanto, en este trabajo se busca diseñar un sistema innovador considerando alternativas que sean amigables con el medio ambiente. Para ello, en una embarcación ya diseñada, se va a adaptar un sistema presurizado de tratamiento que involucre al hipoclorito de sodio como sustancia principal y que se aplique al momento de descargar el lastre. De esta forma, se busca eliminar los organismos a la salida en lugar de la entrada del balasto.

1.2. Descripción del problema

A pesar de que Galápagos no recibe directamente buques mercantes de tráfico internacional, se debe considerar que las naves que abastecen de mercadería desde el continente lo hacen desde el puerto de Guayaquil, que es el área de mayor tráfico marítimo del Ecuador (Hurtado & Hurtado Asociados, 2016, pág. 60). Pese a que muchas embarcaciones ya utilizan métodos para gestionar el agua de lastre, según (Carlton, Keith, & Ruiz, 2019, pág. 6)., durante el 2015 y 2016 en dos de las islas del archipiélago arribaron 53 especies de invertebrados marinos no autóctonos (...) y fueron descubiertas 33 especies de algas y especies criptogénicas, la mayor parte de ellas introducidas por parte del transporte marítimo.

La importancia de diseñar un sistema que evite la propagación de estas invasiones radica en que estas especies extranjeras son las causantes de problemas secundarios que amenazan a la diversidad biológica, la salud humana y la actividad económica (Keith, Bensted-Smith, Calderón, Iñiguez, & Terán, s.f.). Un ejemplo de esto es el cólera (*Vibrio Cholerae*), que comenzó en la costa de Perú y luego quedó documentado en varios puertos de América Latina, lo que llevó a la conclusión de que había sido introducido por el tráfico marino (GloBallast Partnerships, s.f.). Para llevar a cabo este proyecto se deben cumplir los requerimientos del Convenio BMW de la OMI, considerando aspectos como la dosificación

de la sustancia activa y el impacto económico y ambiental que tendrán los resultados esperados.

1.3. Justificación del problema

Actualmente, en las Islas Galápagos existe una estrategia de control de aguas de lastre monitoreado por la ABG, la DPNG, el CCREG y la Armada del Ecuador. No obstante, hay que considerar que existe una cantidad mínima inbombeable de los tanques que hace que no se vacíen completamente, almacenando en el fondo una mezcla de agua, organismos y sedimentos de los diferentes lugares donde tuvieron lugar los procesos de lastrado (Vega, 2021). En respuesta a esto, nace la idea de realizar un sistema de tratamiento que se aplique al momento de la descarga del lastre, considerando que el ambiente de los tanques es apto para la reproducción de más microorganismos.

El propósito de este proyecto es brindar alternativas más sustentables con el ecosistema marino de las Islas Galápagos en relación con el diseño del sistema de aguas de lastre de las embarcaciones. La idea principal es evitar que las invasiones afecten a corto y/o largo plazo a las especies nativas del archipiélago, previniendo el traslado de especies de puerto a puerto. Además, se pretende brindar beneficios a los armadores, ya que el diseño podrá ser adaptado a embarcaciones nuevas y antiguas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta de un sistema de tratamiento de aguas de lastre mediante la implementación de una sustancia activa que elimine los microorganismos al descargar el balasto para prever las invasiones de especies en los puertos de las Islas Galápagos

1.4.2. *Objetivos específicos*

1. Identificar el volumen y las especificaciones principales del manejo y operación del sistema de lastre de una embarcación mediante un análisis técnico para determinar el espacio disponible para ubicar el sistema de tratamiento.
2. Diseñar el sistema de tratamiento de aguas de lastre a partir de las variables de presión, caudal y dosificación de la sustancia para obtener las dimensiones de las válvulas, tuberías e inyectores que cumplan con las normas de las Sociedades Clasificadoras.
3. Calcular el costo de instalación del sistema de tratamiento considerando los costos de construcción para determinar la viabilidad del proyecto.

1.5. Marco teórico

1.5.1. *Métodos aplicados para eliminación de agua de lastre en los buques.*

1.5.1.1. Sistemas de BWT (Ballast Water Treatment)

Los diferentes sistemas sirven para eliminar, neutralizar o evitar la absorción o descarga de organismos acuáticos nocivos y patógenos en el agua de lastre y los sedimentos asociados (American Bureau of Shipping (ABS), 2016). En la Tabla 1.1., se describen los diferentes tipos de procesos de tratamiento de balasto que han sido aprobados por la OMI y que son la base para el desarrollo de los sistemas actuales.

Mecánicos	Físicos	Químicos
Filtración	Tratamiento Térmico	Peróxido de hidrógeno
Hidrociclón	Irradiación ultravioleta	Biocidas
Separación Magnética	Ultrasonido	Electro-cloración
	Cavitación	Ozono
	Desoxigenación	Electrocátalisis
	Al vacío	Dióxido de cloro
		Oxidación Avanzada
		Hipoclorito de sodio
		Hipobromito de bromo

Tabla 1. 1. Métodos aprobados por la OMI para el BWT.

Fuente: (American Bureau of Shipping (ABS), 2016). Recuperado el 13 de mayo del 2023 de https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/09/ABS-Updated-Ballast-Water-Treatment-Guide-2016_09.pdf

En el Anexo 1, se puede observar una lista de sistemas que han sido desarrollados por diferentes empresas en base a los métodos mencionados en la Tabla 1.1.

1.5.1.2. BallastAce- JFE Engineering Corporation

Este sistema fue desarrollado en Japón por medio de un laboratorio independiente llamado Control Union. *JFE BallastAce*, además de estar aprobado por la OMI, cuenta con la certificación de tipo de USCG desde el 13 de noviembre de 2018 y es el primer BWMS certificado por esta entidad en Japón (JFE Ballast Ace, 2018). Es un sistema de gestión de agua de lastre compuesto que comprende filtración, una sustancia activa líquida (nombre comercial: "TG BallastCleaner**", ingrediente principal: hipoclorito de sodio; en adelante, "agente de cloro líquido") y tubos Venturi (Shigeki, Atsushi, & Masanori, 2014, pág. 1).

A partir del 2010, este sistema ha sido el BWMS elegido por más de 700 embarcaciones de Japón y todo el mundo (JFE Ballast Ace, 2017). Su funcionamiento y operación se pueden observar en la Figura 1.1 y 1.2. Después de la absorción, el agua de mar

pasa por el filtro para luego ser inyectada por el hipoclorito de sodio haciendo uso de los tubos de Venturi. Para la descarga, se inyecta sulfito de sodio como agente neutralizador y se expulsa el agua de lastre.

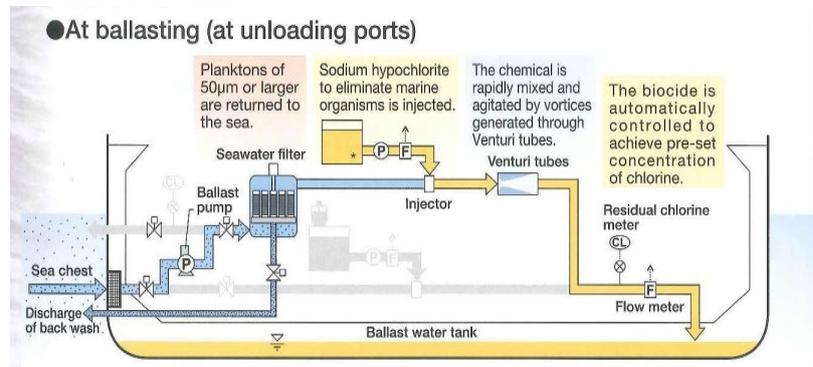


Figura 1. 1. Carga de Balasto en puertos usando el sistema JFE Ballast Ace en la embarcación Emerald Leader.

Fuente: (JFE Engineering Corporation, 2010). Recuperado el 13 de mayo de 2023 de <https://cdn1.shipserv.com/ShipServ/pages/profiles/51590/documents/JFE-Engineering-BWMS---Ballast-Ace.pdf>

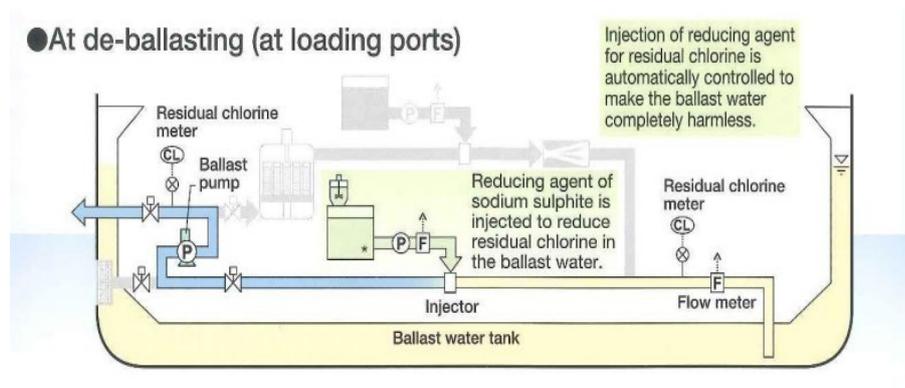


Figura 1. 2. Descarga de Balasto en puertos usando el sistema JFE Ballast Ace en la embarcación Emerald Leader

Fuente: (JFE Engineering Corporation, 2010). Recuperado el 13 de mayo de 2023 de <https://cdn1.shipserv.com/ShipServ/pages/profiles/51590/documents/JFE-Engineering-BWMS---Ballast-Ace.pdf>

1.5.1.3. PureBallast 3.1- Alfa Laval

Este es un sistema desarrollado por Alfa Laval en Suecia y cuenta con aprobaciones por parte de la OMI y la USCG. Se han vendido más de 1600 sistemas PureBallast y se han instalado cientos de sistemas PureBallast como renovaciones en una amplia gama de astilleros (Alfa Laval, 2023).

En la Figura 1.3 se puede observar el funcionamiento que sigue el sistema. El proceso inicia al absorber el agua de mar, la misma que ingresa a la etapa de filtrado. Tras la filtración, el agua pasa a través del reactor, donde se desinfecta mediante la acción de la luz UV antes de entrar en los tanques de agua de lastre (Vega, 2021, pág. 38). Posterior a esto, el reactor se enjuaga con agua dulce y se realiza un ciclo de limpieza in situ (CIP) automático (Vega, 2021, pág. 38). El deslastrado repite el proceso de lastrado sin necesidad de la etapa de filtro (ya que el agua ya se ha filtrado). Cuenta con la misma secuencia de encendido, CIP y apagado (Alfa Laval, 2023)



Figura 1. 3. Sistema PureBallast 3.1.

Fuente: (Alfa Laval, 2023). Recuperado el 13 de mayo de 2023 de

<http://m.sanitaryindustry.com/upload/201607/22/201607222104271531.pdf>

1.5.1.4. SeaCure- Evoqua Water Technologies Ltd

SeaCure, fue creado por Evoqua en Reino Unido y cumple con las regulaciones OMI y USCG. El sistema de gestión de agua de lastre SeaCURE utiliza una combinación de filtración seguida de producción in situ de biocida a partir de agua de mar mediante electrocloración (EVOQUA, 2023). Su funcionamiento se basa en la tecnología Chloropac que produce hipoclorito a través del proceso de electrocloración para proporcionar un tratamiento eficaz del agua de lastre (EVOQUA, 2023).

En la Figura 1.4, se puede observar el proceso que sigue el SeaCure. Después de que el agua de lastre ingresa, el sistema comienza a actuar mediante la inyección de una solución de biocida (hipoclorito de sodio) en la corriente de agua de lastre (Eco magazine, 2017). Todo esto después de que pasa por un electrolizador que produce el biocida necesario para tratar el agua.

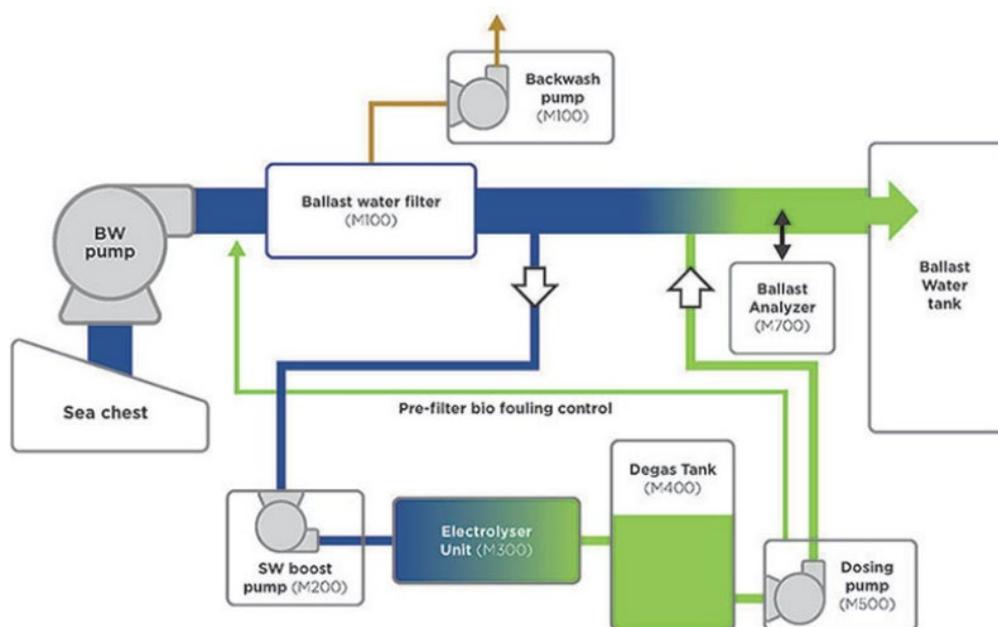


Figura 1. 4. Proceso de tratamiento del agua de lastre del sistema SeaCure.

Fuente: (Eco magazine, 2017). Recuperado el 14 de mayo del 2023 de

<https://www.ecomagazine.com/news/industry/hai-cheung-licensed-to-build-evoqua-seacure-ballast-water-management-system>

1.5.1.5. Purimar- S&SYS Co., Ltd

El Sistema Purimar cuenta con la aprobación de la OMI desde el 2011, además del certificado de homologación de USCG en el 2018. Su funcionamiento se basa en la electrólisis. Se caracteriza porque utiliza un pequeño volumen optimizado para tratar menos del 1% y producir la sustancia necesaria para tratar el agua de lastre restante, lo que produce un menor consumo de energía (S&SYS, 2018). Por lo tanto, después de que el agua de mar pasa por el filtro, se trata el 1% de agua de lastre en el sistema de electrólisis que servirá para eliminar los microorganismos del resto de agua de lastre, tal como se ve en la Figura 1.5. Para la descarga del balasto, se inyecta un agente neutralizador para eliminar restos faltantes de la sustancia activa, tal como se ve en la Figura 1.6.

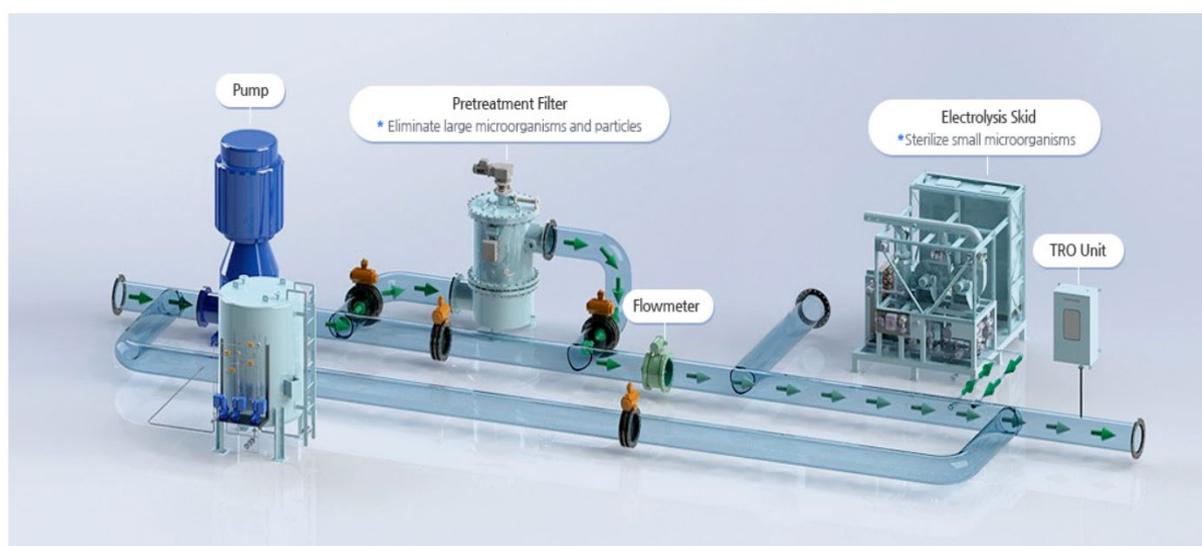


Figura 1. 5. Carga de balasto utilizando el sistema PURIMAR.

Fuente: (SnSYS, 2018). Recuperado el 14 de mayo de 2023 de

<http://www.snsys.net/eng/eco/bwms.php>

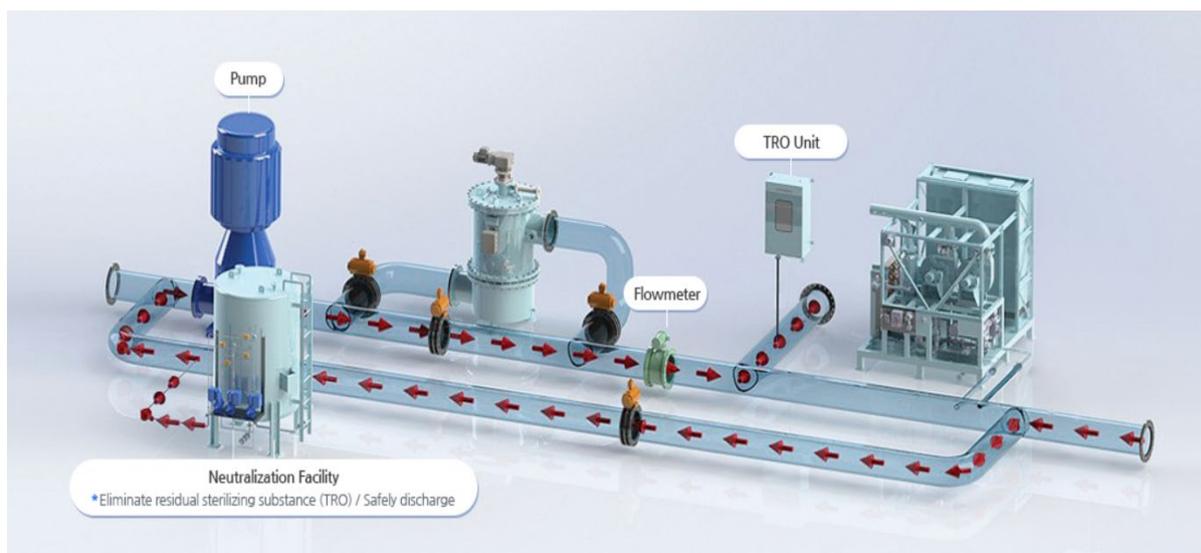


Figura 1. 6. Descarga del agua de lastre utilizando el sistema PURIMAR.

Fuente: (SnSYS, 2018). Recuperado el 14 de mayo de 2023 de

<http://www.snsys.net/eng/eco/bwms.php>

1.5.2. Resultados obtenidos en diferentes partes del Ecuador y el mundo con las aplicaciones actuales del manejo de agua de lastre.

1.5.2.1. Limitaciones de los métodos de tratamiento actuales.

El BWT es una de las formas actuales de gestionar el balasto. Sin embargo, existen ciertas desventajas y deficiencias en los métodos aplicados para el tratamiento de agua de lastre. Aquellos métodos mecánicos, como el de hidrociclón, a pesar de ser los más sencillos de utilizar, no son eficaces en la reducción de las bacterias, virus o fitoplancton, ya que son organismos muy pequeños y no les afecta (Romero, 2013, pág. 48). Además, estos métodos requieren equipo especializado, que puede ser muy costoso de comprar e instalar (Satir, 2014, pág. 3).

Los métodos físicos tienen la desventaja de que dependen de muchos aspectos exteriores al sistema. Tomando como referencia al buque *Cristina Masaveu*, al que se le instaló el sistema PureBallast 3.1 de Alfa Laval, se puede identificar que en aguas limpias ofrece óptimos resultados, pero en aguas turbias, la baja transmitancia de la radiación UV

exige una dosis más alta que reduce el caudal de agua de lastre (Vega, 2021, pág. 42). Por lo tanto, los resultados con este método se vuelven desfavorables ya que con menos de 500 horas de funcionamiento comienzan a fallar las lámparas UV, cuando la estimación es de 3000 horas (Vega, 2021, pág. 41).

Por otro lado, los métodos químicos son realmente eficientes ya que el uso de sustancias se ha utilizado durante años para la esterilización del agua y es una tecnología de tratamiento atractiva debido a la facilidad de aplicación (Tsolaki & Diamadopoulos, 2009, pág. 26). Sin embargo, pueden tener varias limitaciones ya que, dependiendo de la sustancia activa que se utilice, se podrían tener efectos tóxicos para el ser humano y para la vida marina. Es por ello por lo que el tipo específico de biocida a emplear debe elegirse con mucho cuidado para evitar efectos nocivos sobre los seres humanos y/o el medio ambiente (Satir, 2014, pág. 3).

El sistema Purimar, por ejemplo, produce el biocida utilizando la electrólisis in situ y el agua de mar, por lo que es poco probable que sea operativa en aguas con baja salinidad, como ríos, rías y estuarios con una entrada de agua dulce (Romero, 2013, pág. 65). Así mismo, la producción del biocida también puede verse reducida por las temperaturas del agua entre 10°C a 15°C, mientras que la tecnología no realiza su función si se encuentra por debajo de los 5°C (Romero, 2013, pág. 66).

1.5.2.2. Respuesta actual del Ecuador ante las invasiones por parte del agua de lastre de las embarcaciones.

La actual respuesta del Ecuador ante la gestión del agua de lastre ha sido establecer diferentes regulaciones. De acuerdo con la resolución Nro. MTOP-SPTM-2019-0029-R del (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2019) se establecen los siguientes requerimientos para las embarcaciones que navegan por zonas ecuatorianas:

Art. 2.- La resolución se aplicará a los siguientes buques: buques de bandera extranjera en tráfico internacional; buques de bandera nacional que hacen tráfico internacional; los buques que, sin bandera nacional se encuentran en el territorio nacional, bajo cualquier régimen.

Art. 3.- Los buques mencionados en el artículo anterior que recalen en puertos ecuatorianos, deberán realizar el cambio de agua de lastre según un calendario establecido, por lo menos una vez, fuera de las 50 millas náuticas de la línea base que une los puntos más salientes de la costa ecuatoriana y en profundidades de 200 metros como mínimo de acuerdo a lo establecido en las reglas B-3 y B-4 del Convenio BWM, 2004. (p. 2)

Para el caso del tratamiento de agua de lastre, se especifica el Art. 8.- donde los buques construidos antes del 8 de septiembre del 2012 deberán cumplir la norma de la Regla D-2, desde el 8 de septiembre de 2019 hasta el 8 de septiembre de 2023 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2019, pág. 3). Mientras que en el artículo 9 se manifiesta que cuando corresponda, el muestreo del buque se lo realizará aleatoriamente en los tanques de lastre o en las tomas de las tuberías de descarga para comprobar el cumplimiento de lo reglamentado (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2019, pág. 4).

Hay que considerar que un tanque de agua de lastre puede funcionar como una incubadora durante el crucero para algunas especies y pueden representar diferentes etapas de vida como huevos, quistes, esporas, larvas y adultos (GESAMP, 2019, pág. 18). De esta manera, a pesar de que se han establecido convenios, reglas y regulaciones, los datos cuantitativos señalan que el número de invasiones biológicas sigue aumentando de manera alarmante con un número de nuevas zonas invadidas cada vez mayor (Organización Marítima Internacional [OMI], s.f.). Es por ello por lo que esta problemática debe seguir siendo tratada con mucha importancia, considerando que el tráfico de aguas de lastre ha provocado que las

especies acuáticas invasoras se conviertan en una de las cuatro mayores amenazas para los océanos del mundo, causando impactos ambientales, económicos y de salud (GloBallast Partnerships, s.f.).

Capítulo 2

2.1. Metodología

Gestionar el agua de lastre no es el único interés de la OMI cuando se trata de la invasión de especies extranjeras en los puertos. Los sedimentos sólidos acumulados en los tanques de lastre contribuyen a la contaminación, tanto como el propio BW, ya que contienen especies vivas que son ajenas a las áreas de descarga (Pereira & Prange, 2013, pág. 1). Como método de solución, se estableció la implementación de un sistema de tratamiento que utiliza la inyección de una sustancia activa.

En primer lugar, se analizó el sistema de lastre de la nave MN Isla de la Plata, considerando el volumen de los tanques junto con el caudal de la bomba. Posteriormente, se diseñó la propuesta del sistema de tratamiento tomando en cuenta las normativas de la OMI. Luego, se realizó una proyección aproximada calculó el costo de instalación del sistema para analizar la viabilidad del proyecto. El proyecto se desarrolló con la ayuda de diferentes softwares como AutoCAD 2021 (Versión estudiantil) y RhinoCeros 7.

2.1.1. Selección y descripción del buque prototipo.

La motonave Isla de la Plata, es una de las embarcaciones encargadas de suplir de carga para diferentes islas de las Galápagos. Las características principales de esta embarcación son las especificada en la Tabla 2.1.

Eslora Total	LOA	91.30	m
Eslora entre perpendiculares	LPP	83.50	m
Manga	B	15.80	m
Profundidad hasta cubierta superior	D	8.20	m
Calado de diseño	T	5.30	m
Peso muerto (Hasta calado de diseño)	DWT	3000	tons
Desplazamiento	Δ	5172	tons
Capacidad de Bodega de carga		4700	m ³
Max. Velocidad de servicio	V	14.00	knots
Año de construcción		2012	

Tabla 2. 1. Características principales del MN Isla de la Plata.

Fuente: (TRANSNAVE, 2023), 2023.

2.1.1.1. Ruta de navegación.

Para realizar el análisis técnico del sistema de lastre de la embarcación, fue necesario conocer su ruta de navegación. A través del diseño del trayecto en la página web Windy que se muestra en la Figura 2.1., se obtuvo la distancia aproximada que recorre la nave que corresponde a 1340 km y equivale 720 mn. De esta forma, con las ecuaciones básicas de velocidad, distancia y tiempo, se obtuvo el tiempo estimado que dura completar el viaje de ida entre Guayaquil-San Cristóbal-Canal de Itabaca-Isabela.

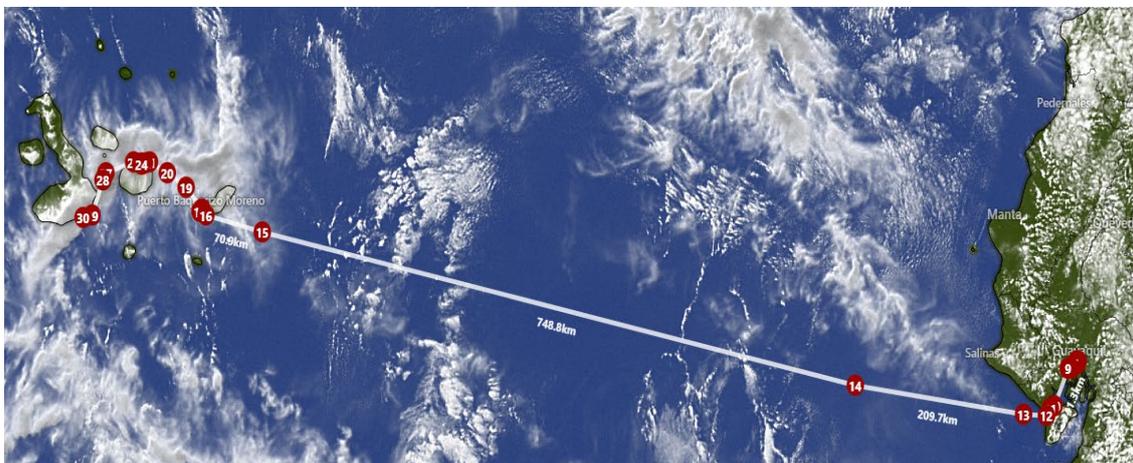


Figura 2. 1. Ruta de navegación del MN Isla de la Plata hacia Galápagos.

Fuente: (TRANSNAVE, 2023). Elaboración propia realizado en Windy.com de

<https://www.windy.com>.

2.1.2. Regulaciones de la OMI que se aplicarán según el año de construcción del buque y su capacidad de lastre.

El modelo de la propuesta de diseño del sistema de tratamiento se realizó considerando las regulaciones de la OMI. Estas normativas deben ser aplicadas de acuerdo con el año de construcción y la capacidad de lastre de la embarcación. En la Tabla 2.2, se resume la Regulación B-3 correspondiente a la Gestión del agua de lastre para buques.

Año de Construcción	Capacidad de lastre	2009	2012	2014	2016	2017	2024
Antes del 2009	$\geq 1500 \text{ m}^3$ y $\leq 5000 \text{ m}^3$	D-1 o D-2			D-2		
	$< 1500 \text{ m}^3$ o $> 5000 \text{ m}^3$	D-1 o D-2			D-2		
En 2009 o posteriormente	$< 5000 \text{ m}^3$	Debe cumplir al menos con la regla D-2 y con la D-1					
En 2009 o posteriormente pero antes del 2012	$\geq 5000 \text{ m}^3$	D-1 o D-2			D-2		
Posterior a 2012	$\geq 5000 \text{ m}^3$		D-2				

Tabla 2. 2. Normativa del BWM Convention 2004.

Fuente: (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2004). Recuperado el 18 de junio del 2023 de

<http://library.arcticportal.org/1913/1/International%20Convention%20for%20the%20Control%20and%20Management%20of%20Ships%27%20Ballast%20Water%20and%20Sediments>.

[pdf](#)

De acuerdo con (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2004, pág. 19), la regulación D-1 manifiesta que siempre que sea posible, se debe realizar el cambio de agua de lastre a una distancia mínima de 200 millas marinas de la tierra más cercana y en aguas de una profundidad mínima de 200 metros. En caso de que no se pueda realizar según lo descrito anteriormente, el intercambio se hará al menos a 50 millas náuticas de la tierra más cercana y en aguas de al menos 200 metros de profundidad (INTERNATIONAL

MARITIME ORGANIZATION, 2004, pág. 19). Por otro lado, la regulación D-2 corresponde a lo descrito en la Tabla 2.3.

Tamaño del organismo/Microbios indicadores	Regulación de descarga
Tamaño $\geq 50 \mu\text{m}$ en dimensión mínima	< 10 organismos viables/m ³
$10 \leq$ Tamaño < $50 \mu\text{m}$ en dimensión mínima	< 10 organismos viables/mililitro
Tamaño < $10 \mu\text{m}$ en dimensión mínima	Sin límite
Vibrio cólera toxicogénico (O1 y O139)	< 1 ufc*/100 mililitros, o muestras de zooplancton
Escherichia coli	< 250 ufc*/100 mililitros
Intestinal Enterococci	< 100 ufc/100 mililitros

Tabla 2. 3. Regulación D-2 sobre el tamaño de los microorganismos.

Fuente: (American Bureau of Shipping (ABS), 2016). Recuperado el 18 de junio de 2023 de https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/09/ABS-Updated-Ballast-Water-Treatment-Guide-2016_09.pdf

2.1.3. Diseño de la propuesta del sistema de tratamiento.

A partir de la Tabla 2.2, se determinó que la embarcación debe cumplir con ambas regulaciones debido a su año de construcción y la capacidad volumétrica de los tanques. Debido a esto, la embarcación no solo debe tener como alternativa el sistema de tratamiento, sino que también debe ser capaz de realizar el intercambio de aguas de lastre sin el mismo.

Por lo tanto, el proyecto se dividió en dos partes. El primer apartado corresponde al análisis técnico del sistema de aguas de lastre sin tratamiento, en donde se verificó que el sistema actual cumpla con lo que estipulan las regulaciones de las casas clasificadoras. A partir de esa verificación, se realizó la segunda parte, en donde se adaptaron dos modelos de

la planta de tratamiento utilizando los equipos e instrumentos del sistema de lastre actual que estuvieron en buena condición de diseño.

2.1.3.1. Análisis técnico del circuito de lastre actual.

Para realizar el análisis técnico del sistema de aguas de lastre, fue necesario identificar la capacidad total de los tanques que corresponden al balasto junto con el sistema de lastrado y deslastrado. A partir de ello se realizó el cálculo de las tuberías, las pérdidas y la bomba.

2.1.3.1.1. Análisis técnico de las bombas.

El dimensionamiento y la cantidad de bombas disponibles se verificaron según lo reglamentado en las sociedades clasificadoras. De acuerdo con ABS 2019 4-6-4/7.3, se deben instalar al menos dos bombas de lastre accionadas mecánicamente para que el sistema cumpla con sus normativas. Estas dos bombas deben ser capaces de lastrar y deslastrar los tanques de acuerdo con su capacidad volumétrica y el tiempo que demora el buque en hacer la maniobra. Para este ítem se tomó como referencia lo especificado en la información brindada por la empresa a cargo de la embarcación. Por lo tanto, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = 1.25 \left(\frac{5 \times 60(S_1 + 2S_2)}{10^3} + nq \right) m^3/h \quad (2.1)$$

Donde Q corresponde al caudal, S1 es el área de la primera bodega de carga, S2 es el área de la segunda bodega de carga, n es el número de mangueras contraincendios y q es el caudal de los inyectores establecido como $12.5 m^3/h$.

2.1.3.1.2. Análisis técnico de tuberías.

El análisis técnico de las tuberías se realizó considerando las reglas de la ABS 4-6-4/5.3.1 (2019), donde se consideró la **ecuación 2.2** para obtener el diámetro interno mínimo de las tuberías de succión (ABS, 2019).

$$d = 25 + 1.68 \sqrt{L(B + D)} mm \quad (2.2)$$

Donde d corresponde al diámetro interno y L , B y D corresponden a la eslora de escantillonado, la manga y la profundidad de la embarcación. Debido a que la presión de la bomba se estableció como una variable conocida, se utilizó la Tabla H1 de DNV 4-6-4/4-204 para determinar el diámetro nominal de la tubería principal del sistema.

2.1.3.1.3. Pérdidas mayores y menores.

Para el cálculo de la presión de la bomba que se necesita para lastar y deslastar los tanques, fue necesario determinar las pérdidas mayores y menores de la red de tuberías, ya que estos valores están directamente relacionados con la potencia necesaria para que el ventilador o bomba mantengan el flujo (Cengel & Cimbala, 2006, pág. 329).

Las pérdidas mayores, corresponden a aquellas ocasionadas por la fricción que se produce entre el flujo y la tubería. Para ello se utilizó la siguiente ecuación (Cengel & Cimbala, 2006, pág. 330):

$$hL = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.3)$$

Donde hL corresponde a la pérdida por tuberías; f es el coeficiente de fricción, L longitud de tubería, D es el diámetro de la tubería y g es la gravedad. La única variable desconocida es el coeficiente de fricción, el mismo que depende del número de Reynolds para determinar si el flujo es laminar o turbulento. Las ecuaciones se presentan en la Tabla 2.4.

Re	Flujo laminar	Flujo turbulento
		Se puede usar el diagrama de Moody o la ecuación de Colebrook:
<2300	$f = \frac{64}{Re}$	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$
>4000		
2300 < Re < 4000		Impreciso

Tabla 2. 4. Ecuaciones del coeficiente de fricción f .

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2006, págs. 330, 341). Recuperado el 22 de junio del Libro de Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones.

Las pérdidas menores son las que se relacionan con los accesorios del sistema como válvulas, codos, etc. Estas se calcularon de acuerdo con la siguiente ecuación (Cengel & Cimbala, 2006, pág. 349):

$$hL = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (2.4)$$

Donde K_L corresponde al coeficiente de pérdida que depende del accesorio y se muestran en la Figura 2.2 y 2.3. A partir del cálculo de pérdidas se puede seleccionar la presión a la que la bomba trabajará y el espesor de las tuberías.

	Nominal diameter, in								
	Screwed				Flanged				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20
Valves (fully open):									
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Elbows:									
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tees:									
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

Figura 2. 2. Coeficientes de fricción de los accesorios de acuerdo con el diámetro nominal.

Fuente: (White, 2011). Recuperado el 27 de junio del 2023.

Coefficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2 / (2g)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)*

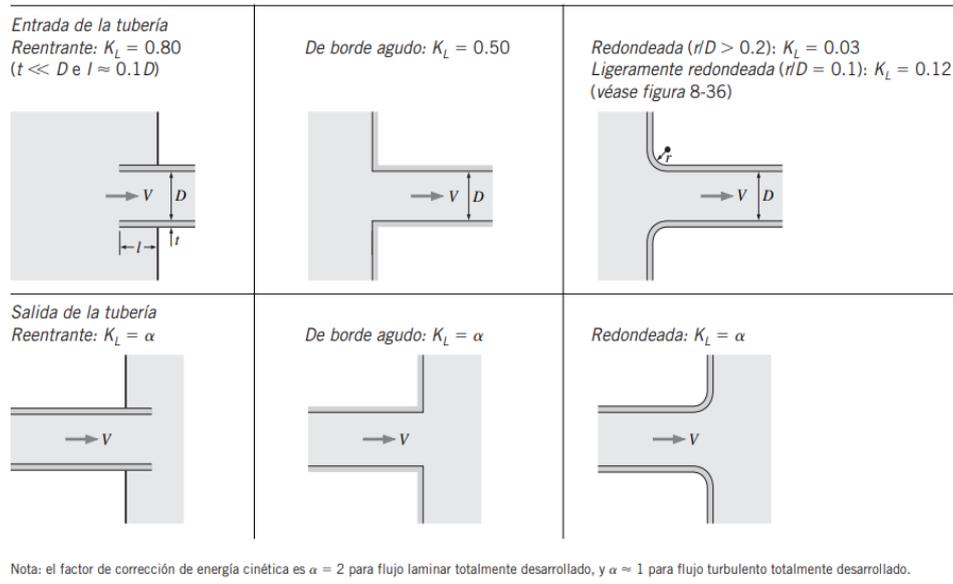


Figura 2. 3. Factor K_L para accesorios.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2006). Recuperado el 27 de junio del 2023.

2.1.3.2. Diseño de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas de lastre

Para el diseño de la propuesta del sistema de tratamiento se consideraron diferentes aspectos. En primer lugar, se analizaron las ventajas y limitaciones de los métodos existentes, las cuáles fueron mencionadas en el 1.5.2.1 de este proyecto. En segundo lugar, el sistema debía seguir las regulaciones de la OMI establecidas en cada casa clasificadora como los mencionados en el 2.1.2. Finalmente, el sistema tenía que ser viable económicamente para poder ser adaptada fácilmente al sistema de lastre actual de la embarcación sin necesidad de hacer grandes modificaciones estructurales o de maquinaria.

Hay que considerar que la planta de tratamiento debe tratar al menos la capacidad del flujo volumétrico de diseño de una bomba (DNV, 2010). Para ello, se consideraron dos casos. En el primer modelo se propuso una planta de tratamiento que conecte la red de tuberías de babor y estribor. En el segundo caso, se propusieron dos plantas de tratamiento, una en cada red de tubería. En ambos, se usó como base el modelo BallastAce, Chloropac y Ecochlor.

2.1.3.2.1. Descripción del método de tratamiento seleccionado

Para ambas opciones de diseño el sistema que se utilizó es el mismo, lo único diferente es la cantidad de equipos. Esto se realizó para verificar qué modelo sería más viable económicamente considerando los equipos y accesorios adicionados.

El sistema de tratamiento que se seleccionó se basará en el químico. Por lo tanto, trabajará con inyectores que aplicarán la dosificación recomendada por la OMI de la sustancia activa seleccionada (2.1.4.4.). Este sistema tendrá dos fases principales: filtrado y tratamiento con sustancia activa. La etapa de filtrado se aplicará al momento de lastrar la embarcación. De esta forma, después de que el agua de mar ingresa al sistema, pasará por un filtro antes de ingresar a los tanques. En la segunda etapa, el agua de los tanques es succionada para pasar por el inyector donde se aplicará el biocida antes de deslastrar, eliminando los microorganismos restantes de los tanques antes de ser expulsados al mar.

2.1.3.2.1.1. Localización del sistema de tratamiento

La localización del BWT se estableció de acuerdo con las regulaciones de DNV acerca del control de aguas de lastre. Según lo establecido el sistema debe ubicarse dentro de un compartimento separado rodeado de cubiertas y mamparos de acero y equipado con puertas automáticas con una altura de al menos 300 mm (Det Norske Veritas, 2010, pág. 12). Además, solo si se cumple con lo reglamentado en DNV 6-18-4/406 (2010) el equipo de tratamiento podrá estar ubicado fuera de su sala respectiva.

2.1.3.2.1.2. Sustancia activa escogida

Aquellas embarcaciones que han adoptado el BWT, por lo general utilizan sustancias activas para hacer que los organismos potencialmente presentes en el agua de lastre sean inofensivos (GESAMP, 2019). Para ello, las sustancias deben ser aprobadas por el GESAMP-OMI y deben adoptar la dosificación recomendada para poder ser descargadas en el mar y no presentar riesgos. Por lo tanto, la sustancia activa que se seleccionó se basó en aquellas

aprobadas por el GESAMP. En la tabla 2.5 se presentan algunas de las sustancias químicas aprobadas y su concentración máxima de descarga permitida (MADC).

Active Substance	MADC (mg/L)
chlorine dioxide	0.1
hydrogen oxide radical	not applicable ¹
hydrogen peroxide	0.5
hydrogen peroxide / peracetic acid	0.5 / 0.3
hypochlorous acid	0.1
ozone	0.1
polyaluminium chloride / polyamide sodium acrylate	not defined ²
sodium dichloroisocyanurate	0.1

Tabla 2. 5. Concentración máxima de descarga permitida de algunas sustancias activas de acuerdo con GESAMP.

Fuente: (GESAMP, 2019). Recuperado el 21 de junio del 2023 de

<http://www.gesamp.org/site/assets/files/2041/rs101e.pdf>

Cabe destacar que cada una de las dosificaciones presentadas deben seguirse literalmente para evitar una contaminación tóxica tanto para la fauna marina como para el ser humano. Por otro lado, cuando la base de la sustancia activa es el cloro, como el hipoclorito de sodio, se debe agregar aproximadamente 1-10 ppm para matar a los organismos y patógenos que se han pasado por el filtro de separación (World chlorine council, 2019). Sin embargo, existen sustancias que son nocivas para el ecosistema marino, por lo que no es viable que sean descargadas en el mar. Por ejemplo, el Cobre, Hierro y Vanadio son esenciales para ciertos animales, no obstante, estos tres metales en cantidades altas pueden ser mortales para algunos organismos.

2.1.3.2.1.3. Descripción de los elementos seleccionados

Para el desarrollo de este proyecto se tuvo que seleccionar con qué elementos va a trabajar el sistema de tratamiento escogido. Cada uno de ellos fueron escogidos según el

sistema de lastre actual y sus descripciones técnicas, desde el filtro hasta la unidad química dosificadora.

- **Filtro**

Al momento de lastrar la embarcación, se seleccionó un filtro capaz de eliminar los microorganismos grandes del agua de mar, de forma que actúe como un pretratamiento del agua de lastre. Para este tipo de sistemas lo ideal es un filtro que elimine a las especies y los sedimentos de entre 40 y 50 micrómetros y que tenga su proceso de auto lavado. Por ejemplo, en la Figura 2.4, se muestra un filtro fino que se instala entre el separador grueso y la unidad de desinfección química o física. Este tiene la tarea de retirar del agua de lastre los organismos animales y vegetales, así como los sedimentos $<50\mu\text{m}$ (BOLLFILTER Portection systems, 2023).

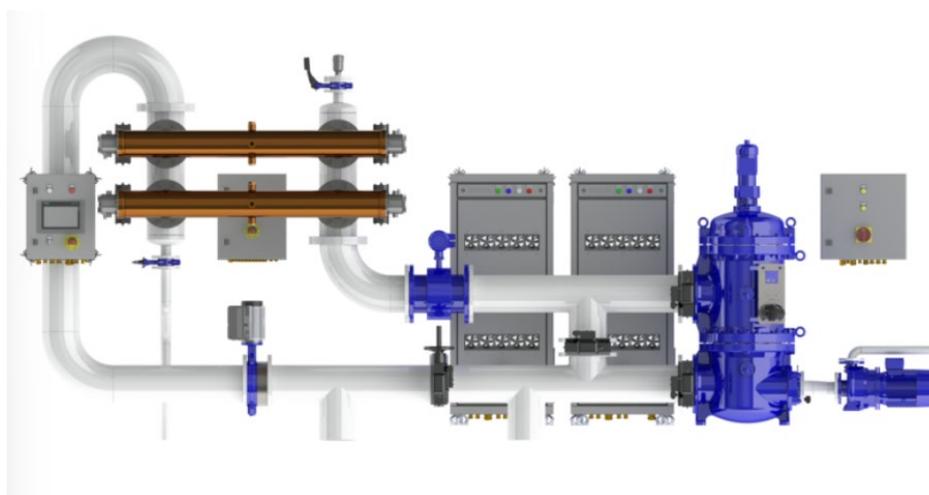


Figura 2. 4. Filtro de agua de lastre.

Fuente: (BOLLFILTER Portection systems, 2023). Recuperado el 19 de mayo del 2023 de

<https://www.bollfilter.com/es/filtros/agua/filtro-de-agua-de-lastre>

- **Bomba dosificadora de químicos**

Las bombas dosificadoras desempeñan un papel esencial en la inyección precisa de líquidos químicos en una amplia variedad de fluidos en diferentes industrias y aplicaciones (Inducom, 2023). Este tipo de dosificador se seleccionó debido a su facilidad de

funcionamiento y aplicabilidad en el ámbito del tratamiento de agua, considerando que va a trabajar con productos químicos que derivan del cloro, el oxígeno y otros elementos. La ventaja de este tipo de elementos es que, al eliminar la intervención manual, se minimizan los riesgos de dosificación incorrecta y se asegura un control exacto del volumen inyectado (Inducom, 2023). Un ejemplo de este tipo de bomba se muestra en la **Figura 2.5**.



Figura 2. 5. Bomba dosificadora de químico de Inducom.

Fuente: (Inducom, 2023). Recuperado el 23 de junio del 2023 de <https://inducom-ec.com/bombas-dosificadoras-de-quimicos/>

- ***Unidad de eliminación de residuos en los fondos de los tanques de lastre***

En ciertas embarcaciones, se utilizan eductores para secar los tanques de lastre cuando las bombas dejan de ser efectivas a la hora de deslastrear (FORTUNY, 2020). Este instrumento crea el efecto Venturi en su mecanismo debido a las diferentes secciones que tiene. Cuando la velocidad aumenta de manera notable, se producen presiones negativas lo que crea una aspiración del fluido de otro conducto, ambos fluidos se mezclan en el interior del eductor y serán expulsados por otro conducto (FORTUNY, 2020). Por lo general, los eductores trabajan en forma líquido-líquido. Sin embargo, existe una variación de este equipo

que es el eductor de sólidos, en el que la corriente aspirada es un líquido con algún sólido en suspensión (Equirepsa, S.A., 2009-2020)., ver la Figura 2.6.

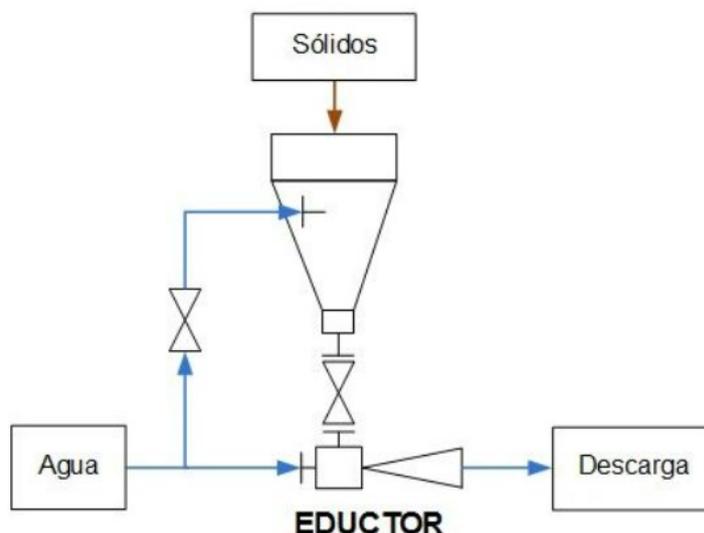


Figura 2. 6. Eductor de Sólidos.

Fuente: (Equirepsa, S.A., 2009-2020). Recuperado el 17 de mayo del 2023 de

<https://equirepsa.com/eductores-y-sifones/>

2.1.4. Proyección económica preliminar del sistema de tratamiento

La proyección económica del proyecto es esencial para la inversión y la instalación del sistema de tratamiento, considerando que el diseño de la propuesta está dirigido a una empresa pública. Para ello se tomaron en cuenta el costo de los accesorios, bombas y equipo de tratamiento de agua lastre, con lo que se obtuvo el presupuesto final del coste de compra e instalación.

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

En esta sección se presenta un resumen de los cálculos obtenidos del sistema de lastre actual de la embarcación a partir de la información proporcionada. Además, se muestran los equipos escogidos para el sistema de tratamiento y los planos 2D y 3D de las alternativas propuestas.

3.1.1. Selección del buque prototipo

En el capítulo 2 se mencionaron las características principales del prototipo seleccionado, Isla de la Plata, junto con la ruta de navegación. Para el diseño de la propuesta fue necesario obtener el plano de distribución y de tanques de la M/N Isla de la Plata. De acuerdo con el Plano 1, la sala de máquinas se encuentra ubicada desde la cuaderna 2 hasta la cuaderna 26, teniendo un compartimento de 18 m de longitud. En la Tabla 3.1 se resume la capacidad de cada tanque de lastre al 100% y al 98%.

ID: Tk de Agua de lastre.	Volumen Neto (m3)		ID: Tk de Agua de lastre.	Volumen Neto (m3)	
	100%	98%		100%	98%
Peak de popa-B	38.0	37.2	NO4. BW TK- E	161.3	158.1
Peak de proa-E	35.1	34.4	NO2. BW TKDB- B	75.5	74.0
Peak de proa	122.1	119.7	NO2. BW TKDB- E	75.5	74.0
NO1. BW TK- B	81.9	80.7	NO3 BW TKDB- B	92.1	90.2
NO1. BW TK- E	81.9	80.7	NO3. BW TKDB- E	92.1	90.2
NO2 BW TK- B	125.3	122.8	NO4. BW TKDB- B	92.1	90.2
NO2. BW TK- E	125.3	122.8	NO4. BW TKDB- E	92.1	90.2
NO3. BW TK- B	154.6	151.5	NO5 BW TKDB- B	70.3	68.9
NO3. BW TK- E	149.8	145.6	NO5. BW TKDB- E	70.3	68.9
NO4 BW TK- B	158.3	153.2	TOTAL	1893.6	1853.3

Tabla 3. 1. Capacidad de los tanques de lastre.

Fuente: (TRANSNAVE, 2023). Creación propia.

3.1.2. Verificación del sistema de lastre existente en la embarcación

En la primera parte se consideró el sistema de lastre sin tratamiento. Esto se realizó para verificar el cumplimiento de la regla D-1 y posteriormente el diseño de la propuesta del sistema de tratamiento, relacionado a la regulación D-2.

3.1.2.1. Bomba de lastre

Esta bomba tiene la peculiaridad de que no solo se usa para el balasto, sino que también está conectada a las bodegas de carga. Por lo tanto, la capacidad de cada bomba deberá abastecer el espacio de carga total junto con los tanques de lastre. En el Plano 1 se identificó la ubicación de cada bodega de carga y sus áreas se usaron para el cálculo del caudal de la bomba. Utilizando la ecuación 2.1 se obtuvo el siguiente valor:

$$Q = 1.25 \left(\frac{5 \times 60(19.20 + 2 \times 536.25)}{10^3} + 4 \times 12.5 \right) m^3/h$$

$$Q = 472.4 m^3/h$$

Esto es equivalente a un caudal mínimo de $236.2 m^3/h$ por cada bomba. En el desarrollo de este proyecto se mantuvo el diseño de las bombas con el propósito de reutilizar estos equipos. A partir de ello, se estableció un caudal de $250 m^3/h$ para cada bomba, a una presión de 0.25 MPa y con la característica de ser auto-cebante.

3.1.2.2. Red de tuberías del sistema de lastre

Se calcularon tres diámetros que corresponden a la tubería de succión, tubería de succión por compartimento y la red de tubería principal de lastrado y deslastrado. A partir de ello se obtuvieron los siguientes valores.

Tipo de tubería	Fuente	Valor
Tubería de Succión	Utilizando la ecuación 2.2.	100 mm
Tubería de succión por compartimento	DNV 4-6-4/105	Según lo establecido en DNV, el área de la sección transversal de cada abertura de drenaje no debe ser menor que la correspondiente a un diámetro de tubería de 125 mm (DNV, 2016, pág. 22)
Red de tubería principal	Se usó el caudal de la bomba y la Figura 3.1.	Para un caudal de $250\text{m}^3/h$, se determinó una tubería de diámetro entre 200 mm y 210 mm.

Tabla 3. 2. Valores de diámetro obtenidos para las tuberías del sistema de lastre.

Fuente: Creación propia.

Table H1 Pipe diameter and corresponding bilge pump capacity			
<i>Bore of bilge pipe (mm)</i>	<i>Capacity of each pump (m³/hour)</i>	<i>Bore of bilge pipe (mm)</i>	<i>Capacity of each pump (m³/hour)</i>
50	15	130	97
55	18	135	105
60	21	140	113
65	25	145	121
70	29	150	130
75	33	155	138
80	37	160	147
85	42	165	157
90	47	170	166
95	52	175	176
100	58	180	186
105	64	185	197
110	70	190	208
115	76	195	219
120	83	200	230
125	90	205	246
		210	254

Figura 3. 1. Diámetros de tubería correspondiente a un determinado caudal de bomba.

Fuente: (DNV, 2016). Recuperado el 30 de junio del 2023 de

<https://civamblog.files.wordpress.com/2016/11/ts406.pdf>

3.1.2.3. Pérdidas mayores y menores.

Se calcularon las pérdidas mayores y menores al lastrear y deslastrear los tanques para verificar que la presión de la bomba tiene un margen de error que permita instalar una planta

de tratamiento sin necesidad de cambiar el equipo. Para ello se utilizaron las ecuaciones 2.3 y 2.4, obteniendo los resultados de la Tabla 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6.

La tabla 3.3 y 3.4 corresponden a las pérdidas durante el lastrado.

	L(m)	L/D	V(m/s)	HL (m)
DN200-1	50.0000	250.0000	2.2105	2.1786
DN125-1	15.0000	120.0000	5.6588	4.2833
DN125-2	13.3000	106.4000	5.6588	3.7978
DN125-3	1.4200	11.3600	5.6588	0.4055
DN125-4	11.8000	94.4000	5.6588	3.3695
DN200-2	9.1000	45.5000	2.2105	0.3965
Total, HL				14.4311

Tabla 3. 3. Pérdidas mayores durante el lastrado.

Fuente: Creación Propia.

	KL	Ha (m)
Entrada de mar	1.0000	0.5000
Válvula Mariposa	15.0000	0.0070
Válvula Mariposa sin retorno	1.0000	2.0000
TEES	12.0000	0.1000
Codo suave de 90°	14.0000	0.1500
Total		1.4342
Total, lastrado (HL+Ha)		15.8653
Total, lastrado (HL+Ha)- Mpa		0.1555

Tabla 3. 4. Pérdidas menores durante el lastrado.

Fuente: Creación propia.

	L(m)	L/D	V(m/s)	HL (m)
DN200-1	50.0000	250.0000	2.2105	2.1786
DN125-1	15.0000	120.0000	5.6588	4.2833
DN125-2	13.3000	106.4000	5.6588	3.7978
DN125-3	1.4200	11.3600	5.6588	0.4055
DN125-4	11.8000	94.4000	5.6588	3.3695
DN200-2	22.0000	110.0000	2.2105	0.9586
Total, HL				14.9932

Tabla 3. 5. Pérdidas mayores durante el deslastrado.

Fuente: Creación propia.

		KL	Ha (m)
Salida de mar	1.0000	1.0000	0.1734
Válvula Globo sin retorno	1.0000	2.0000	0.4986
Válvula Mariposa sin retorno	1.0000	2.0000	0.4986
Válvula Mariposa	16.0000	0.0070	0.0279
TEES	12.0000	0.1000	0.2992
Codo suave de 90°	17.0000	0.1500	0.6357
Total			2.1334
Total, Deslastrado (HL+Ha)			17.1266
Total, Deslastrado (HL+Ha)-MPa			0.1670

Tabla 3. 6. Pérdidas menores durante el deslastrado.

Fuente: Creación propia.

Además de las pérdidas, también se realizó el cálculo de la presión necesaria para el proceso de deslastrado de acuerdo con la altura a la que estará ubicada la descarga.

Considerando ABS 4-6-4/3.3.4, las tuberías de descarga deberían ubicarse a menos de 600 mm, por encima de la línea de flotación de carga de verano y deben estar provistos de un

dispositivo antirretorno (ABS, 2019). Por lo tanto, considerando que el calado de la embarcación es de 5.30 m, la descarga se ubicó a los 6 m desde la línea base, como se indica en la Figura 3.2.

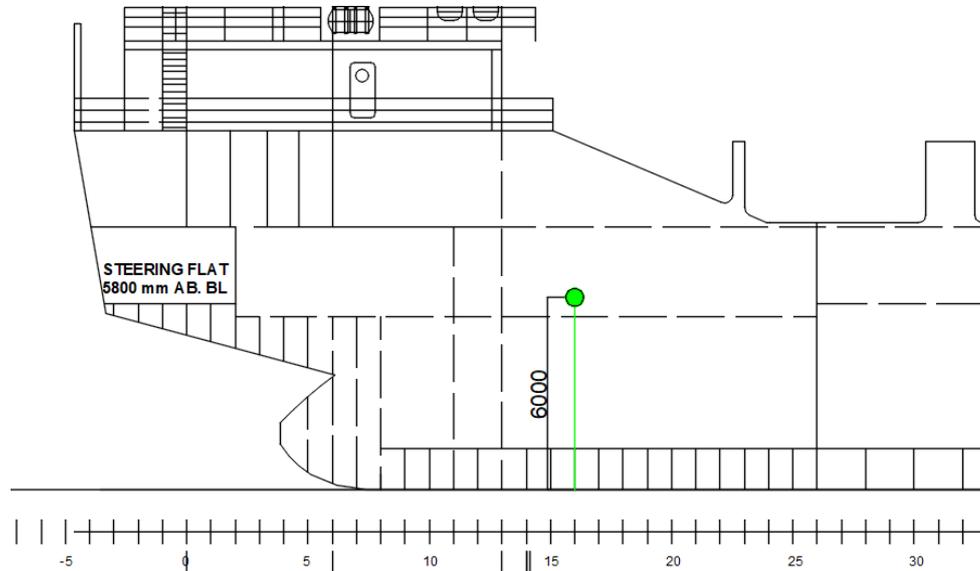


Figura 3. 2. Altura de la descarga del agua de lastre de acuerdo con ABS.

Fuente: Creación propia.

A partir de la ecuación de Bernoulli, se calculó la diferencia de presión a la altura establecida de descarga.

$$\frac{V_A^2}{2} + \frac{P_A}{\rho} + Z_A g = \frac{V_B^2}{2} + \frac{P_B}{\rho} + Z_B g$$

$$\cancel{\frac{V_A^2}{2}} + \cancel{\frac{P_A}{\rho}} + Z_A g = \cancel{\frac{V_B^2}{2}} + \cancel{\frac{P_B}{\rho}} + Z_B g$$

$$Z_A g \rho = P_B - P_A$$

$$(6m) \times (9.8 m/s^2) \times 1025 kg/m^3 = \Delta P$$

$$\Delta P = 60270 Pa = 0.06 MPa$$

Las pérdidas de la tabla 3.6 se suman para obtener la presión aproximada necesaria para deslastrar y se obtiene:

$$H_{total\ deslastr e} = 0.06MPa + 0.1670 Mpa = 0.23MPa$$

Considerando que la bomba actual trabaja con una presión de 0.25MPa y la presión total requerida en los cálculos es de 0.227 MPa sin considerar las pérdidas de la planta de tratamiento, se concluye que se tiene un margen de error disponible.

3.1.2.4.Plano del sistema de lastre sin tratamiento.

En el Plano 2, se realizó el esquema del sistema de aguas de lastre sin tratamiento, considerando los valores obtenidos a lo largo del ítem 3.1.2.

3.1.3. Propuesta de solución del sistema de lastre incluyendo el tratamiento.

Establecida la capacidad del sistema de lastre y el flujo volumétrico de las bombas se procedió a realizar el diseño de la propuesta del sistema de tratamiento. Debido a que el sistema actual cuenta con equipos disponibles en buen funcionamiento y que cumplen con las regulaciones, se mantuvieron las características principales del sistema actual. Se desarrollaron dos modelos.

3.1.3.1.Primer modelo

Este modelo cuenta con los siguientes elementos: dos filtros a la entrada de mar, una bomba dosificadora de químicos, un tanque de almacenamiento de la sustancia activa, un inyector y un controlador de flujo.

3.1.3.1.1. Filtro

Debido a que el tratamiento por método químico se aplicará al deslastrar la embarcación, el filtro tuvo que disponer de un grado de filtración de 25 μm , de forma que menos microorganismos penetren los tanques de lastre. Este filtro tendrá la capacidad de dejar pasar un flujo de al menos 250 m³/h, que es el total de cada bomba. Cada uno estará ubicado después de la toma de mar y después de la bomba de cada ramal de tubería de babor y estribor. Un esquema de este se representa a continuación en la figura 3.3.

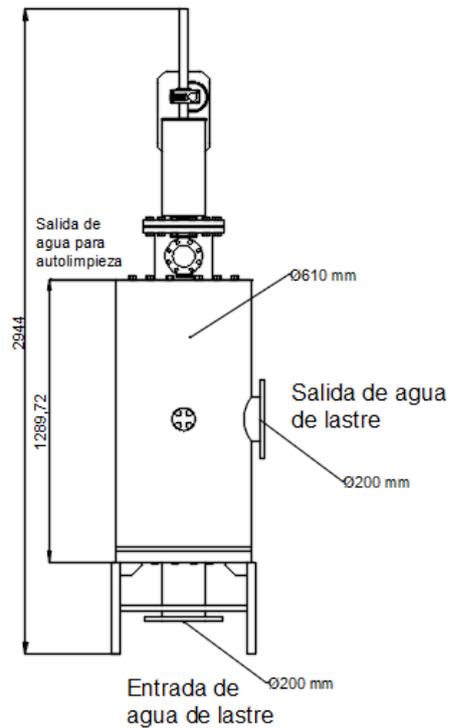


Figura 3. 3. Esquema del filtro en el sistema de tratamiento.

Fuente: Creación propia.

Tanto como para la entrada como para la salida de agua de lastre se definieron diámetros de 200 mm, que corresponden a la misma medida de las tuberías del sistema de lastre conectadas. Las medidas se establecieron de acuerdo con la guía del catálogo de (Filtersafe, 2023), ver Anexo 2. Por lo tanto, el diámetro para la abertura que corresponde a la autolimpieza se va a establecer en 76 mm. El máximo flujo volumétrico del dispositivo será de 294 m³/h, con una presión mínima de 1.6 bar y un valor de 0.4 bar de pérdida.

Como se puede observar, el filtro contará con un soporte en la parte inferior que se acoplará al piso de la sala máquinas. Así mismo, tendrá una configuración vertical u horizontal, dependiendo de la disposición que se requiera en el sistema.

3.1.3.1.2. Bomba dosificadora química.

Para este caso se utilizó solo una planta de tratamiento, por lo tanto, toda la capacidad deberá ser tratada con una bomba dosificadora. Debido a que la cantidad de horas para lastrar

y deslastrar la embarcación no fue un dato conocido, se estableció un estimado a partir de la capacidad de los tanques y el caudal total de las bombas de lastre, obteniendo un valor de 7.5 h. Así mismo, se estableció una dosificación de hipoclorito de sodio de 7 ppm (mg/L), que se encuentra dentro del rango establecido y aceptado por la OMI. A partir de esto se calculó el caudal de la bomba dosificadora del químico.

Si se aplican 7 mg por litro de NaClO para tratar el total de la capacidad de tanques que es equivalente a $1.8936E^6 L$, se necesitarán $1.3255E^7 mg$. Por lo tanto, para determinar el caudal por hora necesario para transportar la cantidad de mg calculados, primero se obtuvo el valor equivalente de los miligramos de la sustancia en litros haciendo uso de su densidad con la ecuación 3.1.

$$V = \frac{m}{\rho} \left[\frac{mg}{\frac{mg}{L}} \right] \quad (3.1)$$

$$V = \frac{1.3255E^7 mg}{1.11E^6 \frac{mg}{L}} = 12 L$$

Utilizando la fórmula 3.2 del caudal, se calculó el flujo volumétrico necesario de la bomba dosificadora para tratar el 100% del agua de lastre.

$$Q = \frac{V}{h} \left[\frac{L}{h} \right] \quad (3.2)$$

$$Q = \frac{12 L}{7.5 h} = 1.6 \frac{L}{h}$$

El caudal mínimo de la bomba dosificadora del químico deberá ser de 1.6 L/h para poder tratar el total de la capacidad de lastre en las horas determinadas. Las bombas dosificadoras tienen la ventaja de que se pueden regular de acuerdo con el caudal que se necesite para realizar la inyección. A continuación, se muestra un esquema de la bomba con sus partes esenciales y dimensiones aproximadas en la figura 3.4. Cabe destacar que se eligió una bomba dosificadora de diafragma, de forma que se evita que exista algún tipo de fuga.

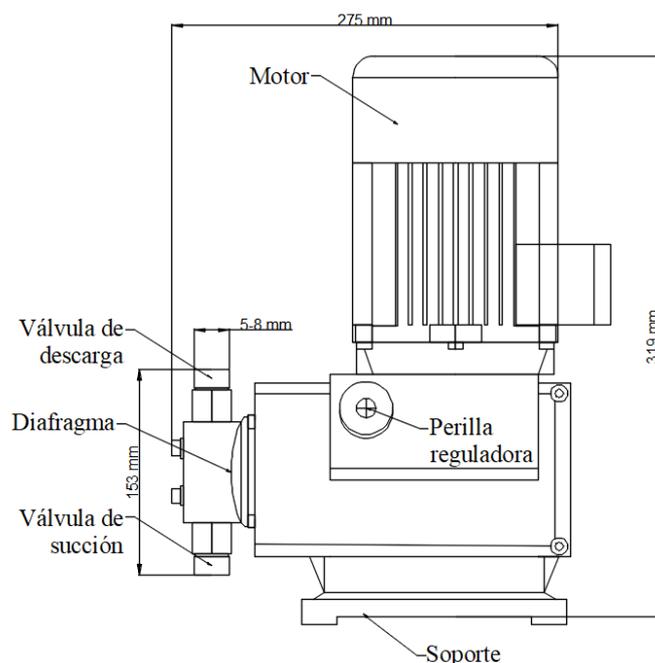


Figura 3. 4. Esquema de la bomba dosificadora.

Fuente: Creación propia.

La referencia se la obtuvo a partir de (GRUNDFOS, 2023), observar el Anexo 3. Por lo tanto, de acuerdo con lo que muestra el catálogo, la bomba que se eligió tendrá un caudal de 4 L/h, presión máxima de 10 bar y necesitará una potencia de 0.09 kW. Por lo general, estas bombas están fabricadas para inyectar la sustancia química a un tanque o a una tubería regulando su caudal y para ello necesita otros equipos que se describen a continuación:

Tanque de almacenamiento del químico: De acuerdo con los cálculos obtenidos anteriormente se necesita un total de 12 L para tratar el agua de lastre al momento de deslastrar los tanques. Para determinar la cantidad de NaClO se utilizó como referencia el sistema JFE Ballast Ace que usa un tanque de polietileno de 200L/drum con una vida útil de 6 meses. Con esta cantidad se podrán realizar aproximadamente 17 tratamientos. Además, se pueden almacenar más tanques de acuerdo con la cantidad de viajes que realice la embarcación. Por otro lado, el material del tanque de almacenamiento que forma parte del sistema será de fibra de vidrio PRFV para evitar que exista corrosión y alguna reacción

química contraproducente. Las medidas se eligieron considerando que se van a almacenar en el tanque de fibra de vidrio dos tanques de NaClO, es decir 400 L. Obteniendo medidas de (0.80 x 0.60 x 0.85) m.

Inyector: El inyector tendrá el mismo diámetro de descarga de la bomba dosificadora y será un inyector sencillo y directo que aplicará la solución a la tubería debido a la diferencia de presión. Se utilizará un accesorio tipo T para acoplar el inyector al sistema de tuberías principal.

Tubería de succión y descarga: Se utilizará una red de tubería de fibra de vidrio de acuerdo con el diámetro de la entrada y salida de la bomba. Estas pueden ser tuberías tipo mangueras o rígidas, pero debido al tipo de sistema se escogió rígida.

Flujómetro: Se van a instalar dos flujómetros, uno en la tubería principal y otro en la red de tubería de descarga de la planta química. Cada uno tendrá un diámetro igual a la tubería en la que se va a instalar.

A continuación, se muestra un esquema 2D y 3D de la planta de tratamiento en las figuras 3.5 y 3.6.

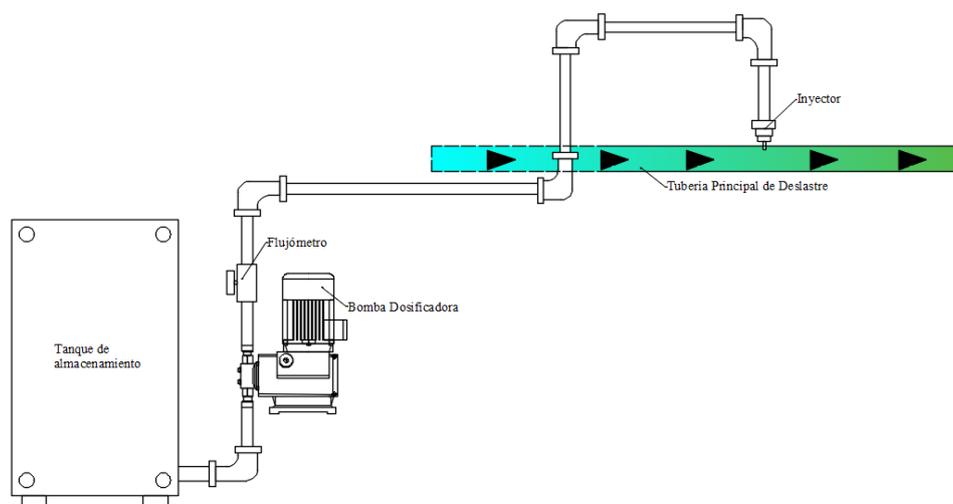


Figura 3. 5. Esquema de la planta de tratamiento química.

Fuente: Creación propia.

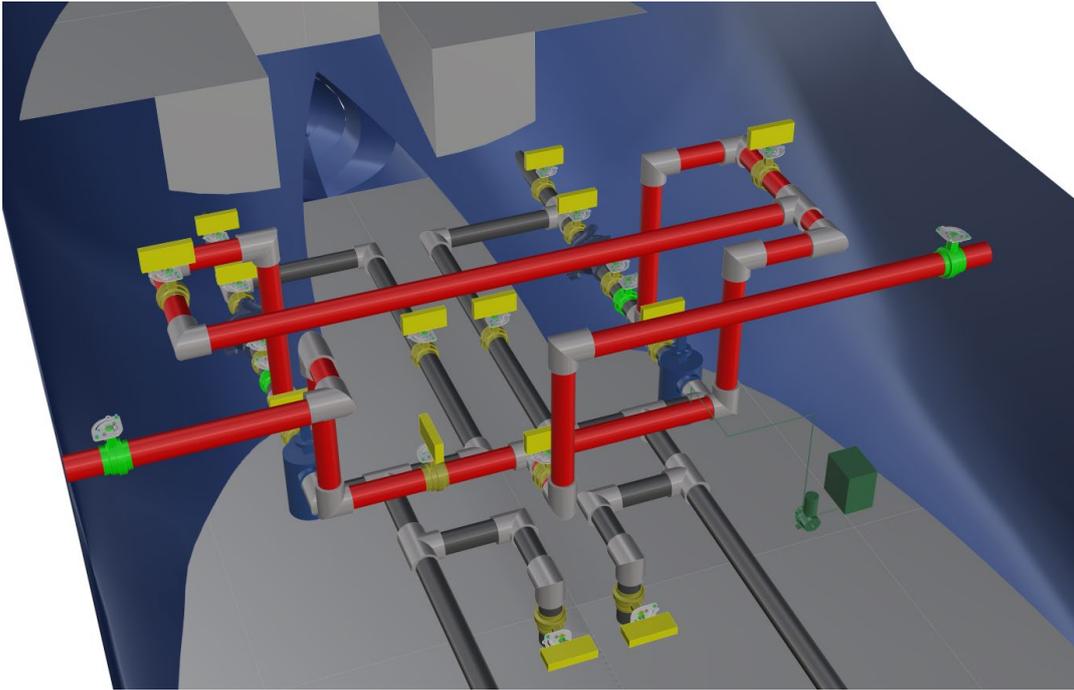


Figura 3. 6. Esquema del modelo 3D con la planta de tratamiento aplicada.

Fuente: Creación propia.

Como se puede observar, la figura 3.5 presenta un esquema general de la forma en la que trabajaría el sistema. Por otro lado, en la figura 3.6 se muestra un modelo 3D en donde las tuberías rojas son las que se han agregado para que el sistema de tratamiento funcione, el mismo que se representa de color verde.

3.1.3.1.3. Plano 2D y 3D del sistema de lastre con el primero modelo de la planta de tratamiento adaptada.

En el plano 3 y 4 se encuentran los modelos 2D y 3D, respectivamente. En estos planos se realizó una demostración de cómo quedaría distribuido el primer modelo del tratamiento.

3.1.3.2. Segundo Modelo

La segunda propuesta contará con los mismos elementos mencionados en el primer modelo, con la diferencia de que se usarán dos bombas dosificadoras y la disposición de los

equipos se dispondrán de acuerdo con los ramales de babor y estribor. Un esquema 3D se presenta a continuación en la figura 3.7.

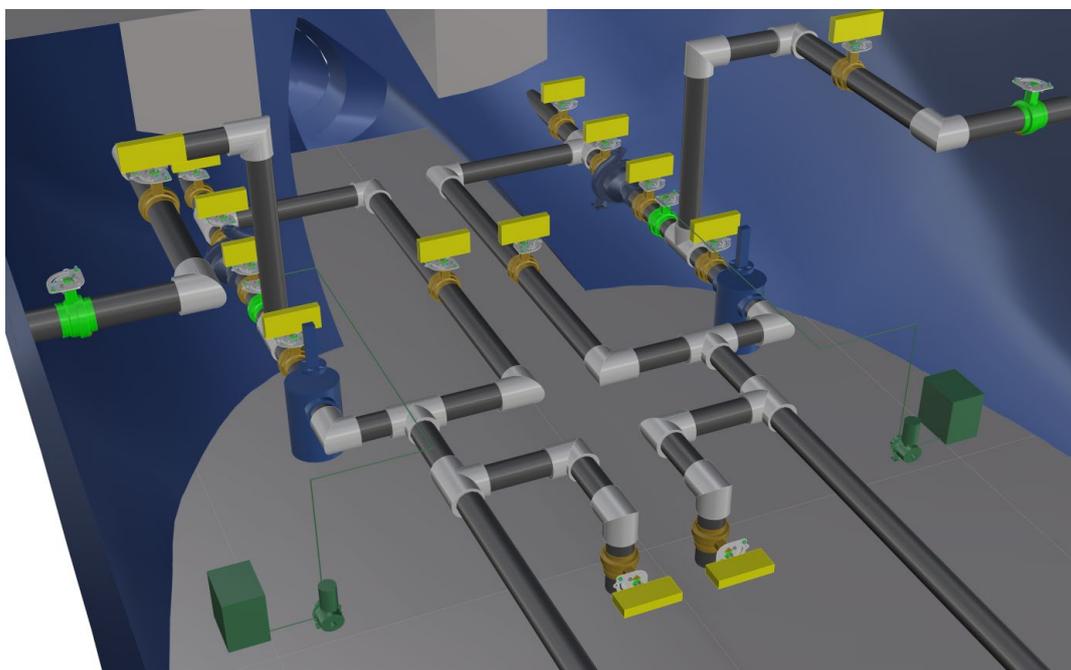


Figura 3. 7. Esquema 3D del segundo modelo del sistema de lastre.

Fuente: Creación propia.

La ventaja de esta propuesta de diseño es que no tendrá la necesidad de adaptar nuevas tuberías como el modelo anterior. Sin embargo, se debe adaptar dos bombas dosificadoras, lo que va a requerir una mayor inversión.

3.1.3.2.1. Plano 2D y 3D del sistema de lastre con el segundo modelo de la planta de tratamiento adaptada.

En el plano 5 y 6 se encuentran los modelos 2D y 3D, respectivamente. En estos planos se realizó una demostración de cómo quedaría distribuido el segundo modelo del tratamiento.

3.1.4. Proyección de costo preliminar de la planta de tratamiento.

Para la proyección del costo preliminar de este proyecto se van a considerar los equipos y accesorios agregados al sistema de lastre actual de la motonave Isla de la Plata. A partir de los catálogos tomados como referencia y las cotizaciones que se realizaron en diferentes páginas web se van a establecer los precios para ambos modelos. En la tabla 3.7 y 3.8, se presenta un desglose de los valores estimados.

MODELO 1				
Elemento	Cantidad	Precio \$/u	Precio total	Fuente
Filtro de agua de lastre	2	\$500.00	\$1,000.00	Aproximado
Bombas dosificadoras	1	\$2,331.00	\$2,331.00	(Grundfos, 2023)
Inyector	1	\$100.00	\$100.00	Aproximado
Flujómetro tubería principal	1	\$791.00	\$791.00	(MundoRiego, 2023)
Tuberías de la planta de tratamiento	2	\$4.89	\$9.78	(The Composite Store, 2023)
Tuberías principales agregadas	15	\$180.00	\$2,700.00	(O-Tek Flowtite, 2015)
Válvula mariposa	2	\$200.00	\$400.00	Aproximado
Válvula de retención	1	\$190.00	\$190.00	Aproximado
Armador	1	\$90.00	\$360.00	Mano de obra aproximada
Soldador	1	\$90.00	\$360.00	
Ayudante	1	\$40.00	\$160.00	
Subtotal			\$8,401.78	

Tabla 3. 7. Proyección del costo preliminar de los equipos y accesorios de la planta de tratamiento del modelo 1.

Fuente: Creación propia.

MODELO 2				
Elemento	Cantidad	Precio \$/u	Precio total	Fuente
Filtro de agua de lastre	2	\$500.00	\$1,000.00	Aproximado
Bombas dosificadoras	2	\$2,331.00	\$4,662.00	(Grundfos, 2023)
Inyector	2	\$100.00	\$200.00	Aproximado
Flujómetro tubería principal	2	\$791.00	\$1,582.00	(MundoRiego, 2023)
Tuberías de la planta de tratamiento	2	\$4.89	\$9.78	(The Composite Store, 2023)
Armador	1	\$90.00	\$180.00	
Soldador	1	\$90.00	\$180.00	Mano de obra aproximada
Ayudante	1	\$40.00	\$80.00	
Subtotal			\$7,893.78	

Tabla 3. 8. *Proyección del costo preliminar de los equipos y accesorios de la planta de tratamiento del modelo 2.*

Fuente: Creación propia.

3.1.5. Diagrama de flujo del funcionamiento de los sistemas.

A continuación, se muestra un diagrama de la forma general en la que el sistema de tratamiento trabajará durante el proceso de lastrado y deslastrado. Para ello se va a considerar el BWE y el BWT y la figura 3.8.

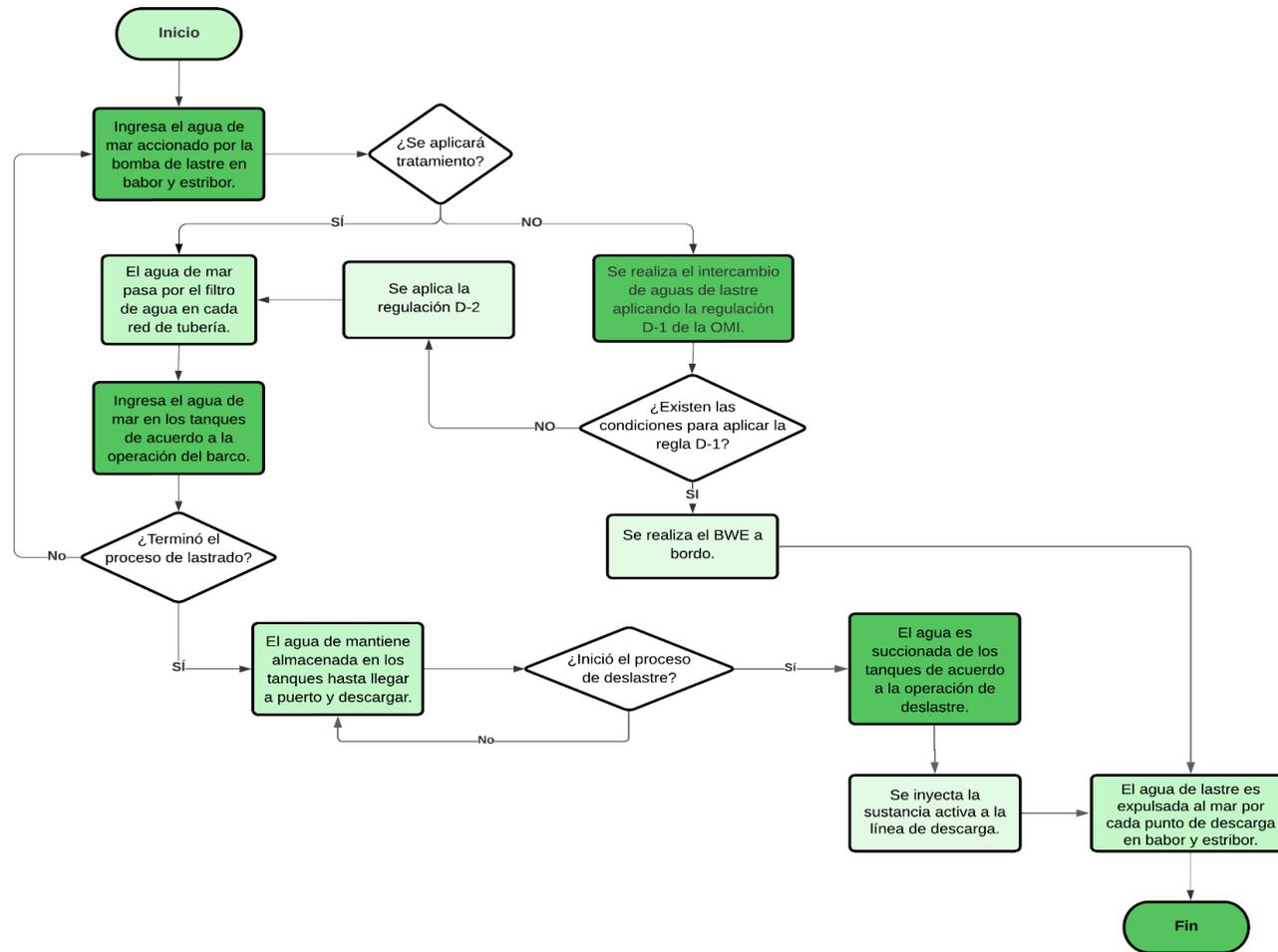


Figura 3. 8. Diagrama del flujo del funcionamiento general del sistema de tratamiento.

Fuente: Creación propia.

3.1.6. Análisis de los resultados esperados de las propuestas de diseño.

A partir de los dos modelos de propuestas de diseño que se desarrollaron durante este proyecto, se puede evidenciar que inicialmente son de fácil instalación y que además no ocupan una cantidad de espacio significativo que afecte la operación de la embarcación. Esto resulta en una gran ventaja para el M/N Isla de la Plata, considerando que su estabilidad no debe verse afectada durante el traslado de la carga hacia las diferentes islas de las Galápagos.

Por otro lado, los equipos preliminares que fueron seleccionados para conformar ambas plantas de tratamiento no requieren de un gran cambio en la estructura de la embarcación ni en el circuito existente y eso se puede observar en los Planos 2D 3 y 5, cuando se los compara con el Plano 2. Además, la bomba dosificadora necesita de 0.9 kW de potencia eléctrica y cuenta con aproximadamente 7 kg de peso, de acuerdo con la referencia en la que se basó la elección del equipo. Por lo tanto, se puede evidenciar que estos no son valores significativos considerando el tonelaje de la embarcación y su capacidad de carga.

Como se observa en los Planos 3 y 4 para el primer modelo se tuvieron que agregar tuberías que conecten la red de babor y estribor, de forma que solo una bomba dosificadora pueda ser utilizada. No obstante, se espera que las modificaciones relacionadas a las tuberías no afecten al lastrado y deslastrado de los tanques ni mucho menos a los demás circuitos de alrededor, aunque significará un aumento en el costo de compra de los equipos y la mano de obra.

En el caso del segundo modelo resulta mucho más fácil la instalación. Como se puede observar en los Planos 5 y 6, las bombas dosificadoras junto con todo su equipo serán ubicados en cada red de tubería, por lo que se esperaría que no haya ningún tipo de problema en la operación de carga y descarga del balasto. Así mismo, este modelo no influye en gran medida en las pérdidas de presión ya que no se está modificando ningún equipo ni tubería del sistema de lastre original a diferencia del modelo 1 que se propuso. Es importante resaltar

que, como se observa en el 3D de ambos modelos, la planta de tratamiento se la ubicó en un compartimento cerrado de otra sala para evitar algún tipo de contaminación directa con las personas en caso de fuga o problemas en el sistema.

Respecto al funcionamiento de estas alternativas, se tiene la ventaja de que la bomba dosificadora realiza el trabajo principal aplicando la dosificación por hora requerida para tratar el agua al deslastrar la embarcación como se puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 3.8. Además, es un modelo sencillo de utilizar porque en caso de que se cumplan con las condiciones para no utilizar el tratamiento, el sistema podrá seguir trabajando y aplicando el BWE, cumpliendo así con lo reglamentado por la OMI. Sin embargo, también se tendrá la alternativa que podrá controlar en mejor medida la descarga de organismos, lo que resulta más amigable con el medio ambiente.

Cabe destacar que, debido a que se tienen las dos redes de tuberías resultaría más ventajoso utilizar el segundo modelo, por mayor facilidad de adaptación y considerando el aspecto económico. Sin embargo, para ello se tendría que realizar un análisis económico más profundo de las opciones que resulten más viables.

Finalmente, también resulta ser una alternativa muy ventajosa con respecto al medio ambiente ya que con este tratamiento se espera que se reduzca la invasión de especies en la Islas Galápagos. A pesar de que esta embarcación no suele deslastrar en la Islas el 100% del tiempo, cuando no cumple con la carga total debe lastrar al salir del Puerto de Guayaquil para mantener la estabilidad inicial de la embarcación. Esto significa que tendrá que deslastrar en una de las islas de su ruta de navegación debido a que almacenar por tantos días el agua de lastre generaría más microorganismos. De esta forma se espera cumplir con lo reglamentado en el D-1 y D-2 de la OMI y, además, ser una de las pocas embarcaciones que contribuyen al cuidado del medio ambiente marino. Junto a esto también se espera que la motonave sea parte

de los medios de transportes marinos que ayudan a conservar y mantener los océanos, cumpliendo así con el Objetivo de Desarrollo Sostenible #14 acerca de la vida submarina.

3.1.7. Planos

3.1.7.1. PLANO 1: Plano de Distribución General del M/N Isla de la Plata

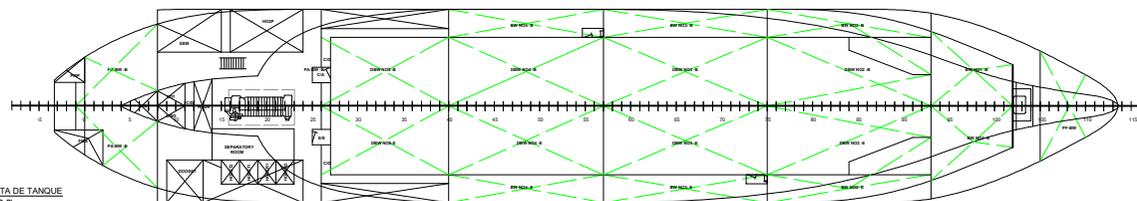
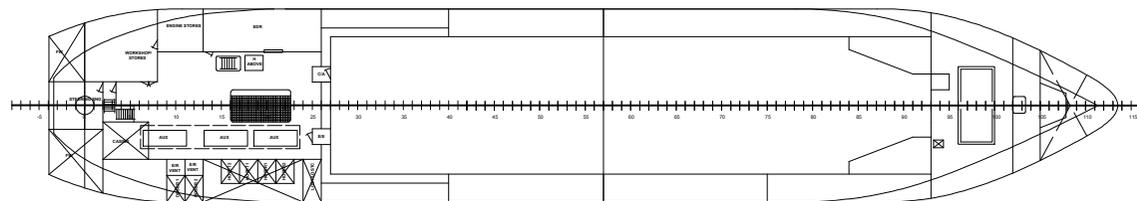
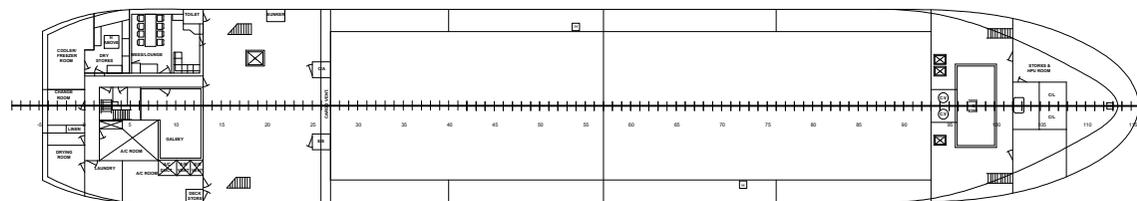
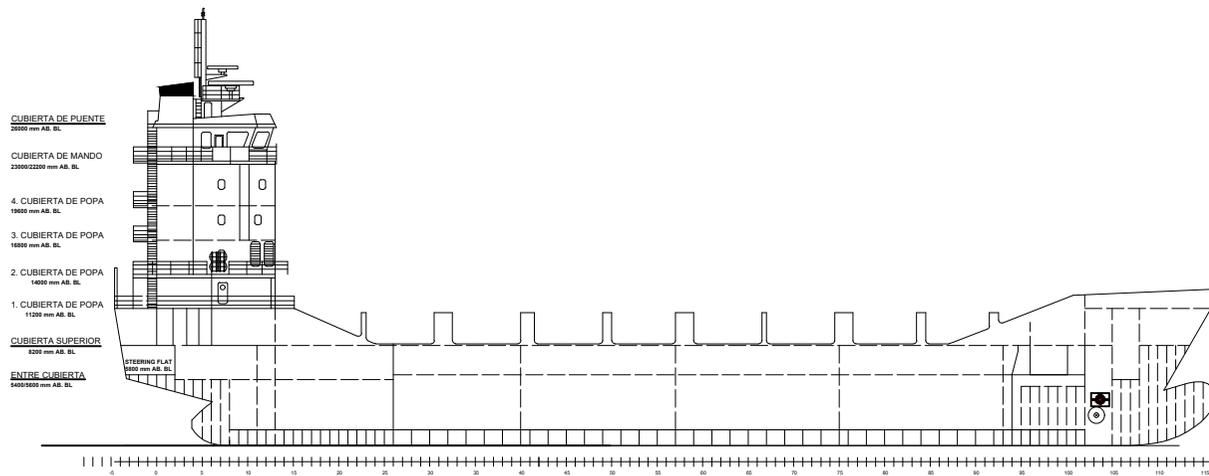
3.1.7.2. PLANO 2: Plano del sistema de lastre actual del M/N Isla de la Plata

3.1.7.3. PLANO 3: Plano 2D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 1 del sistema de tratamiento.

3.1.7.4. PLANO 4: Plano 3D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 1 del sistema de tratamiento.

3.1.7.5. PLANO 5: Plano 2D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 2 del sistema de tratamiento.

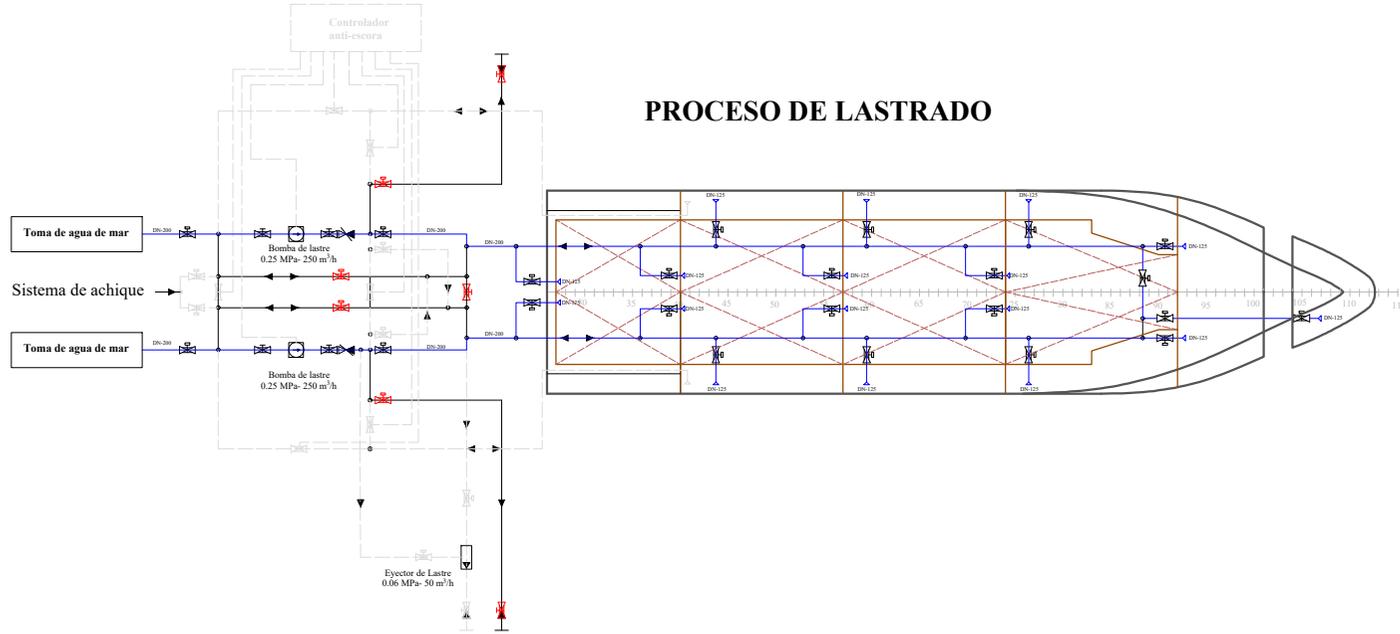
3.1.7.6. PLANO 6: Plano 3D del sistema de lastre del M/N Isla de la Plata con el modelo 2 del sistema de tratamiento.



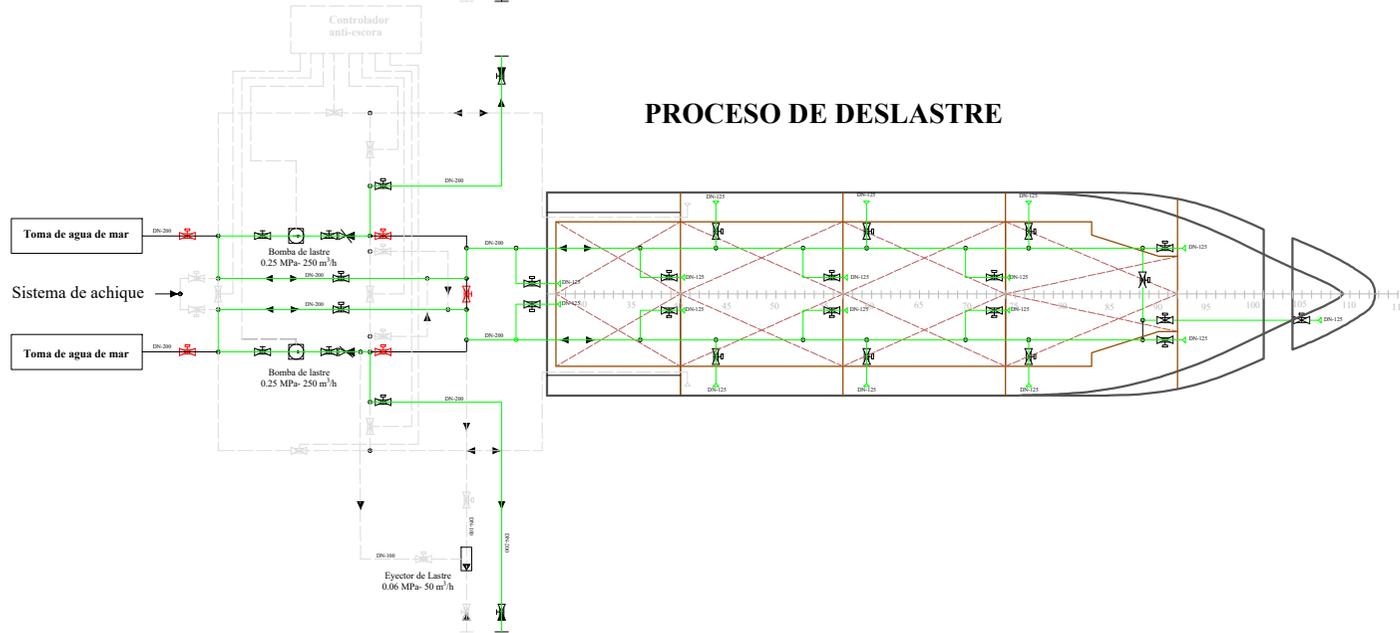
ESLORA TOTAL	91.3 m
MANGA	15.8 m
CALADO DE DISEÑO	5.30 m
DESPLAZAMIENTO	5172 tons
MAX. VEL. DE SERVICIO	14 knots
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2012

Elaborado por:		
María Daniela Sallo Saltos		
Plano:		
Plano de Distribución General		
Nombre de la embarcación:		
M/N ISLA DE LA PLATA		
Fecha:	Firma:	
06/07/2023		
Escala:	Modelo:	A4

PROCESO DE LASTRADO



PROCESO DE DESLASTRE



Descripción de elementos del sistema

	Tubería de lastrado
	Tubería de deslastre
	Tubería de sistemas alternos
	Bomba de lastrado y deslastre
	Válvula mariposa
	Válvula de retención
	Válvula mariposa de retención
	Eyector de lastre
	Tubería de succión
	Válvula mariposa cerrada
	Válvula mariposa de retención cerrada

Elaborado por:
María Daniela Sallo Salto

Plano:
Circuito del sistema de aguas de lastre

Nombre de la embarcación:
M/N ISLA DE LA PLATA

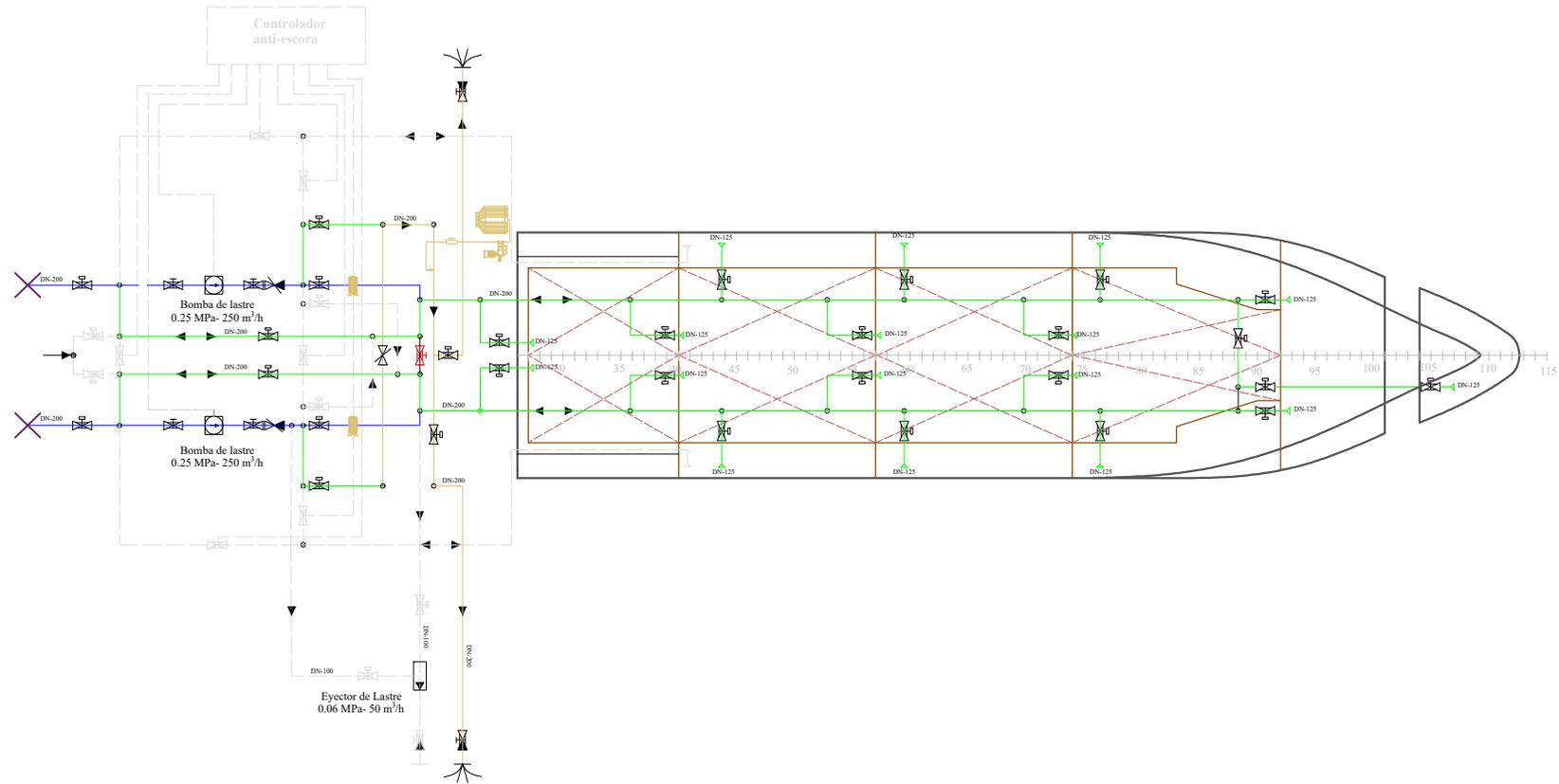
Fecha:

06/07/2023

Firma:

Escala:

Modelo:
A4

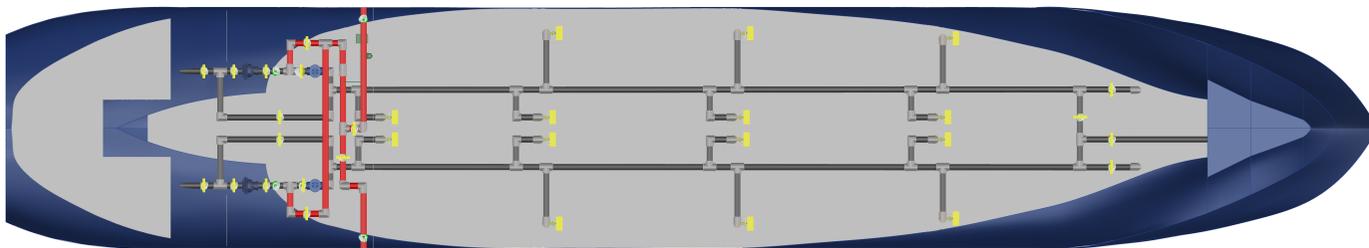
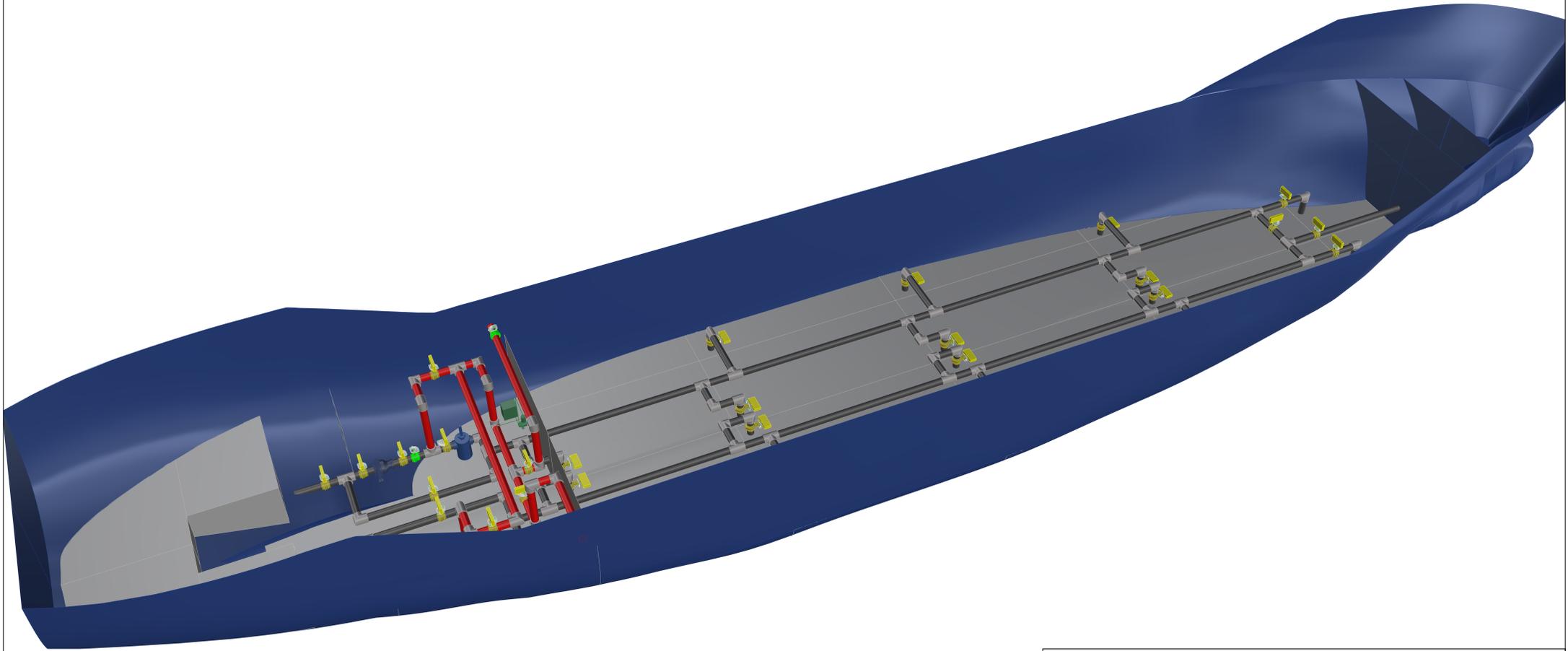


Descripción de elementos del sistema	
	Tubería de lastrado
	Tubería de deslastrado
	Tubería de sistemas alternos
	Bomba de lastrado y deslastrado
	Válvula mariposa

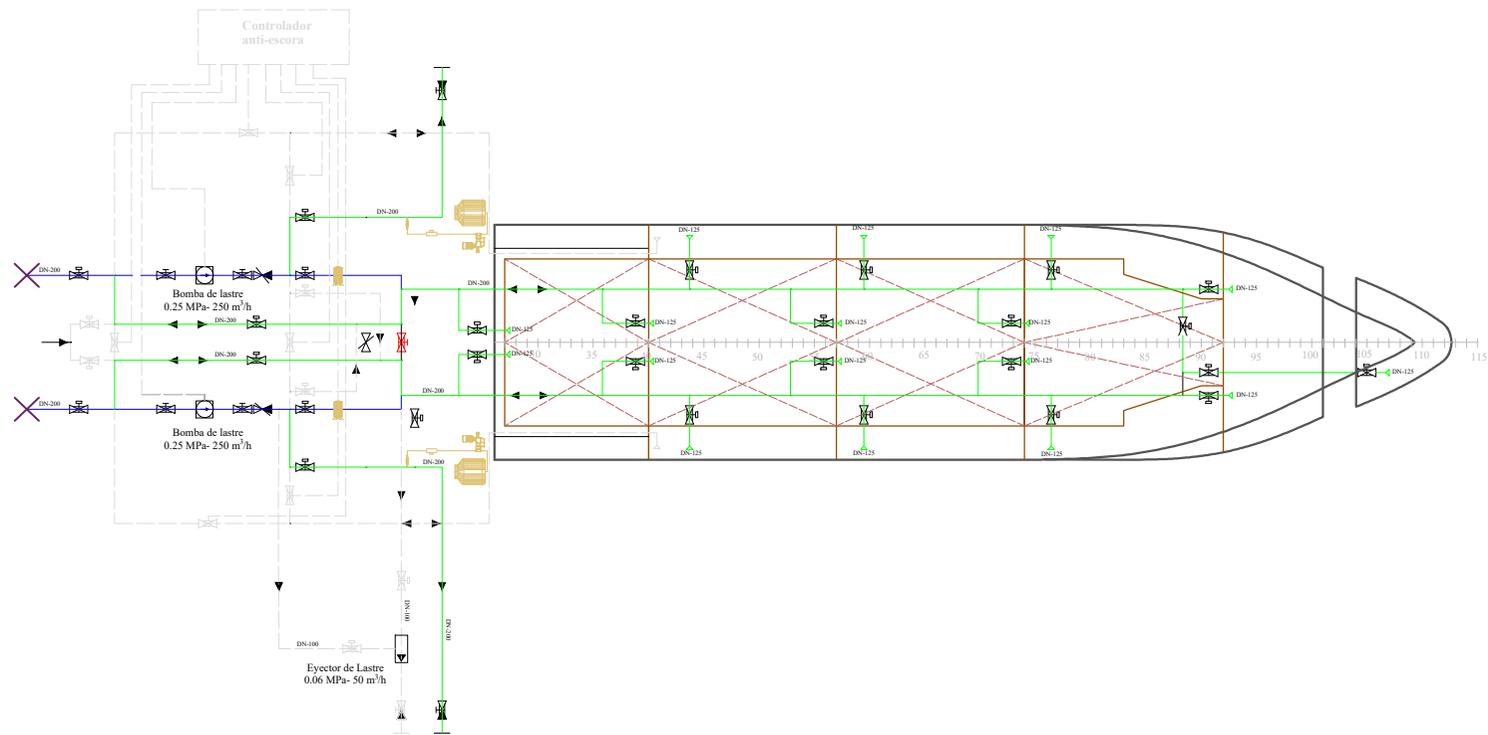
	Válvula de retención
	Válvula mariposa de retención
	Eyector de lastre
	Tubería de succión
	Válvula mariposa cerrada
	Válvula mariposa de retención cerrada

	Tanque de NaClO
	Bomba dosificadora
	Flujómetro
	Inyector
	Filtro
	Tubería de tratamiento

Elaborado por: María Daniela Sallo Saltos		
Plano: Circuito de lastre con modelo de tratamiento 1		
Nombre de la embarcación: M/N ISLA DE LA PLATA		
Fecha: 06/07/2023	Firma:	
Escala:	Modelo: A4	



Elaborado por: María Daniela Sallo Saltos		
Plano: Circuito de lastre con modelo de tratamiento 1		
Nombre de la Embarcación: M/N Isla de la Plata		FIRMA:
Fecha: 06/07/2023	Formato: A4	

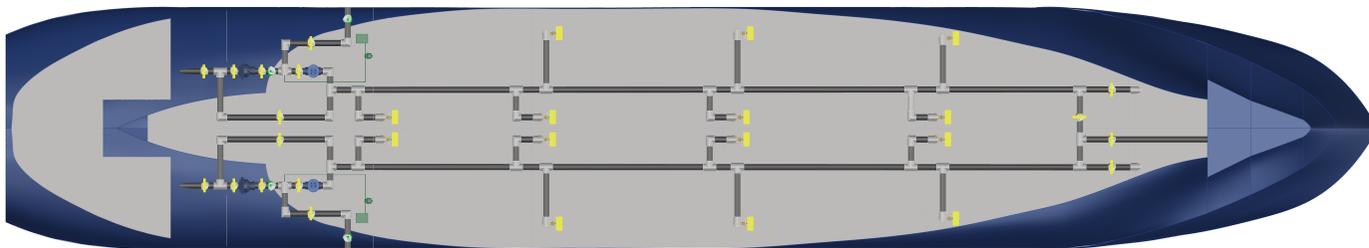
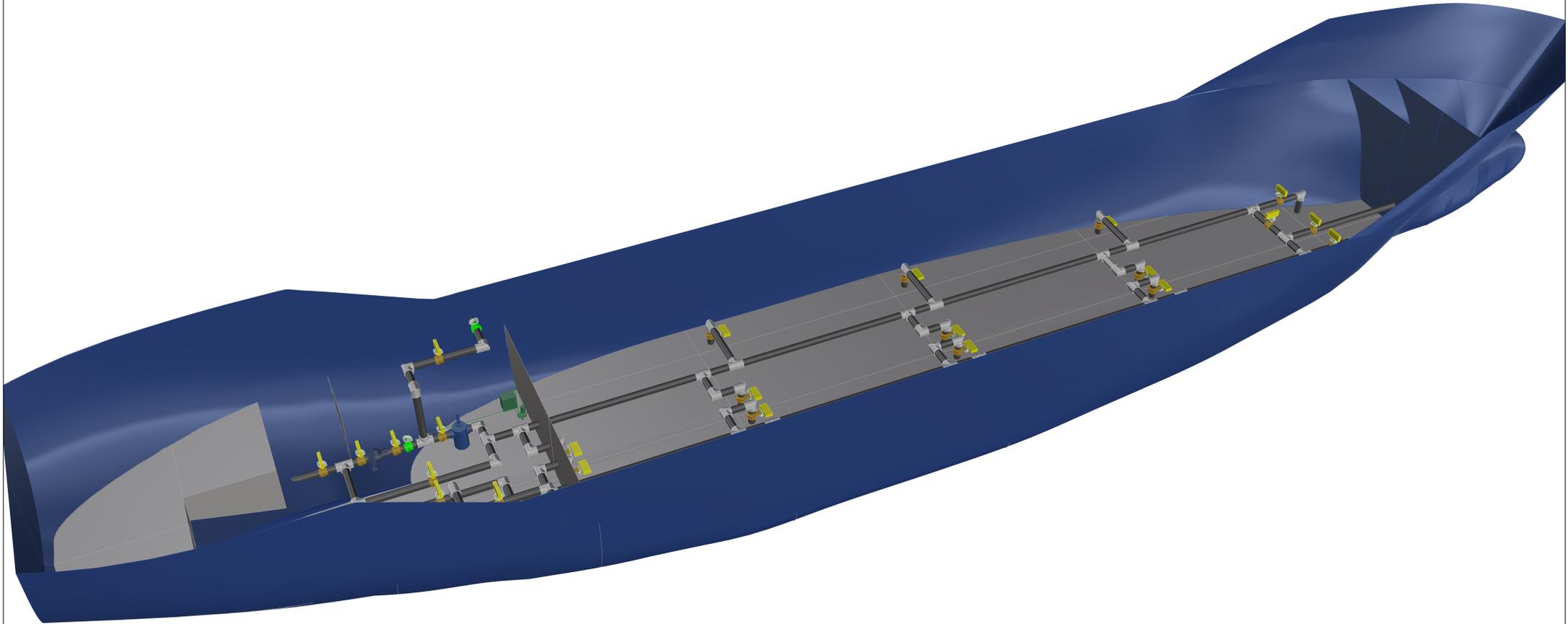


Descripción de elementos del sistema	
	Tubería de lastrado
	Tubería de deslastrado
	Tubería de sistemas alternos
	Bomba de lastrado y deslastrado
	Válvula mariposa

	Válvula de retención
	Válvula mariposa de retención
	Eyector de lastre
	Tubería de succión
	Válvula mariposa cerrada
	Válvula mariposa de retención cerrada

	Tanque de NaClO
	Bomba dosificadora
	Flujómetro
	Inyector
	Filtro
	Tubería de tratamiento

Elaborado por:		
María Daniela Sallo Saltos		
Plano:		
Circuito de lastre con modelo de tratamiento 2		
Nombre de la embarcación:		
M/N ISLA DE LA PLATA		
Fecha:		Firma:
08/07/2023		
Escala:	Modelo:	
	A4	



Elaborado por: María Daniela Sallo Saltos	
Plano: Circuito de lastre con modelo de tratamiento 2	
Nombre de la Embarcación: M/N Isla de la Plata	FIRMA:
Fecha: 06/07/2023	Formato: A4

Capítulo 4

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1. Conclusiones

- Dado que la embarcación cuenta con una ruta hacia Galápagos y que lleva lastre en sus tanques, la propuesta de diseño resulta atractiva para ser instalada. Considerando las especificaciones iniciales del barco, se pudo evidenciar que los equipos actuales del sistema de lastre pueden ser reutilizados y en lugar de reemplazarlos, se pueden adaptar al sistema de tratamiento. Se cuenta con dos bombas de agua de lastre que permite tener un rango de pérdidas disponibles que se pueden aprovechar en la instalación de la bomba dosificadora y en las tuberías
- Se verificó la existencia del espacio disponible para instalar los nuevos equipos con la ayuda de los planos de la embarcación. En el plano de distribución general se identificó el circuito actual, en el que se diseñó la nueva red de tubería para el Modelo 1 y el compartimento para ubicar las bombas dosificadoras en el Modelo 2.
- Se establecieron las medidas finales y los nuevos equipos que se adicionaron al circuito. Para el modelo 1, se adicionó una bomba dosificadora para tratar los dos ramales de tubería de babor y estribor. Además, se adicionaron tuberías para la conexión entre los ramales que pueden resultar en una debilidad de este modelo debido a que existen más circuitos dentro de la sala de máquinas que pueden obstruir el paso del sistema de tratamiento de lastre.
- El segundo modelo cuenta con dos bombas dosificadoras que se adaptan fácilmente en los compartimentos de la embarcación y al sistema de tratamiento. Esto se debe a que en cada ramal se instalará una bomba, por lo que no es necesario agregar tuberías de conexión. La debilidad de este procedimiento es el espacio disponible en el compartimento, ya que, así como en el apartado anterior, se desconoce la distribución

de circuitos y maquinarias en la embarcación, por lo que pueden existir algunas obstrucciones.

- Referente al costo, se puede determinar que ambos modelos son relativamente factibles, sin embargo, si se necesita de una inversión inicial que involucra la compra de equipos y la mano de obra. También hay que considerar el tiempo de construcción o adaptación del sistema de tratamiento.
- Finalmente, la ventaja principal de este proyecto es destacar el interés ambiental que representa, relacionándose directamente con los objetivos de desarrollo sostenible. Esto contribuye a la conservación de las especies marinas y a las Islas Galápagos que son un patrimonio nacional y mundial.

4.1.2. Recomendaciones

- Debido a que el proyecto es netamente teórico, se recomienda realizar un prototipo o diseño experimental en el que se pueda evidenciar la eliminación de especies utilizando ambos modelos diseñados. Con esto, se da inicio a nuevos proyectos relaciones que busquen la conservación marina en relación con las aguas de lastre de las embarcaciones.
- Además, se recomienda que el proyecto sea multidisciplinario, junto con estudiantes de la carrera de Oceanografía o Química, de forma que se pueda realizar un análisis cuantitativo y experimental de la cantidad de especies eliminadas cuando se usa el NaClO como biocida para los invasores.
- Así mismo, se recomienda considerar más embarcaciones, de forma que la propuesta de diseño tenga un rango mayor de barcos en los que se puede instalar un sistema de tratamiento. A partir de esto, la idea es que el proyecto no solo quede en una proyección, sino que también pueda hacerse posible en diferentes tipos de barcos que llegan a las Galápagos y a los diferentes puertos del país.

BIBLIOGRAFÍA

- ABS. (2019). Part 4 Vessel Systems and Machinery. En *Rules for Building and classing STEEL VESSELS* (pág. 947). Recuperado el 22 de Junio de 2023, de https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/archives/conventional_ocean_service/2-steelvesselrules/svr-part-4-july-19.pdf
- Alfa Laval. (2023). *Alfa Laval*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://www.alfalaval.es/productos-y-soluciones/soluciones-de-proceso/soluciones-para-agua-de-lastre/pureballast-3/>
- American Bureau of Shipping (ABS). (1 de Agosto de 2016). *GUIDE FOR BALLAST WATER TREATMENT*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2016/09/ABS-Updated-Ballast-Water-Treatment-Guide-2016_09.pdf
- BOLLFILTER Portection systems. (2023). *Boll Filter*. Recuperado el 19 de Mayo de 2023, de <https://www.bollfilter.com/es/filtros/agua/filtro-de-agua-de-lastre>
- Carlton, J., Keith, I., & Ruiz, G. (2019). Assessing marine bioinvasions in the Galápagos Islands: implications for conservation biology and marine protected areas. *Aquatic Invasions*, 14, 20. Recuperado el 2 de Mayo de 2023
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones* (1ra ed.). McGraw-Hill Interamericana. doi:ISBN 970-10-5612-4
- Det Norske Veritas. (2010). Ballast Water Management. En *Rules for Classification of Ships Parte 6 Capítulo 18* (pág. 11). Recuperado el 22 de Junio de 2023, de <https://www.yumpu.com/en/document/read/11798998/ship-rules-pt6-ch18-ballast-water-management-dnv-exchange>
- Dirección del Parque Nacional Galápagos [DPNG]. (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*. Galápagos.

- DNV. (2010). Ballast Water Management. En *Rules for classification of ships* (pág. 14). Recuperado el 27 de Junio de 2023, de <https://www.yumpu.com/en/document/read/11798998/ship-rules-pt6-ch18-ballast-water-management-dnv-exchange>
- DNV. (2016). Piping systems. En *RULES FOR CLASSIFICATION OF Ships* (pág. 89). Recuperado el 27 de Junio de 2023, de <https://civamblog.files.wordpress.com/2016/11/ts406.pdf>
- Eco magazine. (13 de Febrero de 2017). *ECO environment coastal and offshore*. Recuperado el 14 de Mayo de 2023, de <https://www.ecomagazine.com/news/industry/hai-cheung-licensed-to-build-evoqua-seacure-ballast-water-management-system>
- Equirepsa, S.A. (2009-2020). *Equirepsa*. Recuperado el 17 de Mayo de 2023, de <https://equirepsa.com/eductores-y-sifones/>
- EVOQUA. (2023). *Evoqua Water Technologies*. Recuperado el 14 de Mayo de 2023, de <https://www.evoqua.com/en/evoqua/products--services/electrochemical-products/electrochlorination-systems/seacure-ballast-water-management-system/>
- Filtersafe. (2023). *BallastSafe e-Series*. Catálogo. Recuperado el 30 de Junio de 2023, de https://filtersafe.net/wp-content/uploads/2022/03/DOC-00447_BallastSafe_Catalog.pdf
- FORTUNY, P. (2020). *PROCEDIMIENTOS PARA OPERACIONES CON CARGAS LÍQUIDAS REFINADAS EN B/T DE PRODUCTOS "CASTILLO DE TRUJILLO"*. Trabajo de Fin de Grado, Universidad de La Laguna, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA SECCIÓN DE PUENTE, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL. Recuperado el 17 de Mayo de 2023, de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20677/PROCEDIMIENTOS%20PARA%20OPERACIONES%20CON%20CARGAS%20LIQUIDAS%20REFINADAS%20>

EN%20BT%20DE%20PRODUCTOS%20%C2%BFCASTILLO%20DE%20TRUJIL
LO%C2%BF.pdf?sequence=1

GESAMP. (2019). Methodology for the evaluation of ballast water management systems using Active Substances. (101, 110), 110. doi:ISSN 1020–4873

GloBallast Partnerships. (s.f.). Recuperado el 8 de Mayo de 2023, de <https://archive.iwlearn.net/globalballast.imo.org/index.html>

Godey, A., Misra, S., & Sha, O. (2012). Development of a Ballast Free Ship Design. *International Journal of Innovative Research and Development* .

González., J. J., Alvarez, C., Beiras, R., Besada, V., Fumega, J., Franco, M., . . . Viñas, L. (s.f.). Contaminación.

GRUNDFOS. (2023). *BOMBA DOSIFICADORA DMX y DMH*. Catálogo. Recuperado el 30 de Junio de 2023, de <https://docplayer.es/62098195-Catalogo-grundfos-dmx-y-dmh-bombas-dosificadoras.html>

Grundfos. (2023). *GRUNDFOS España S.A.* Recuperado el 6 de Julio de 2023, de <https://product-selection.grundfos.com/es/products/dosing-pumps-mechanical/dmx/dmx-4-10-99591986?tab=variant-curves&pumpsystemid=2137710355>

Hurtado & Hurtado Asociados. (2016). *Estrategia Nacional para la Gestión de Agua de Lastre en Ecuador*. Informe, CPPS – MTOP (SPTMF), Guayaquil. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/SPTMF_GTE_INFORME-FINAL-ENGAL-24-11-2016-rev-GTE-FEBRERO-2017-LMF.pdf

Inducom. (16 de Junio de 2023). *Inducom Soluciones Industriales*. Recuperado el 23 de Junio de 2023, de <https://inducom-ec.com/bombas-dosificadoras-de-quimicos/>

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. (2004). *ADOPTION OF THE FINAL ACT AND ANY INSTRUMENTS, RECOMMENDATIONS AND RESOLUTIONS RESULTING FROM THE WORK OF THE CONFERENCE*. Informe de Conferencia. doi:BWM/CONF/36

JFE Ballast Ace. (2017). *JFE Ballast Ace Ballast Water Management System*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://jfe-ballast-ace.com/product/>

JFE Ballast Ace. (14 de Noviembre de 2018). *JFE Ballast Ace*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Ballast Water Management System: <https://jfe-ballast-ace.com/news/148/>

JFE Engineering Corporation. (Mayo de 2010). *JFE Ballast Ace (Ballast Water System)*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://cdn1.shipserv.com/ShipServ/pages/profiles/51590/documents/JFE-Engineering-BWMS---Ballast-Ace.pdf>

Keith, I., Bensted-Smith, W., Calderón, R., Iñiguez, W., & Terán, F. (s.f.). *Fundación Charles Darwin*. Obtenido de <https://www.darwinfoundation.org/es/investigacion/proyectos/programa-de-especies-invasoras-marinas>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2019). *Nro. MTOP-SPTM-2019-0029-R*. Guayaquil.

MundoRiego. (2023). Recuperado el 6 de Julio de 2023, de <https://mundoriego.es/producto/contador-woltman-dn200-8-wmn-250m3h-brida/>

Núñez, L. (2021). *Planta de Lastre para Buques de Tráfico Marítimo Internacional*. Maestría en Gestión Marítima y Portuaria, UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO, Guayaquil. Recuperado el 1 de Mayo de 2023

Organización Marítima Internacional [OMI]. (s.f.). *IMO.org*. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de

<https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx>

O-Tek Flowtite. (junio de 2015). *Dokumen*. Recuperado el 6 de Julio de 2023, de <https://dokumen.tips/documents/lista-de-precios-tuberias-grp-o-tek-2015-1.html?page=1>

Pereira, N., & Prange, G. (Junio de 2013). Ship Ballast Tank Sediment Reduction Methods. *NAVAL ENGINEERS JOURNAL* . doi:No. 125-2

Romero, L. (5 de Mayo de 2013). *Universidad Politecnica de Catalunya Barcelonatech*. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18035/PFC.%20Estudio%20del%20dispositivo%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20de%20lastre..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

S&SYS (Productor). (2018). *PURIMAR* [Película]. Recuperado el 14 de May de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=qupTDbSIEsY&t=260s>

Satir, T. (2014). Ballast water treatment systems: design, regulations, and selection under the choice varying priorities. Springer. doi:10.1007/s11356-014-3087-1

Shigeki, F., Atsushi, H., & Masanori, N. (Marzo de 2014). *Ballast Water Management System Using Solid Chemical*. Recuperado el 14 de Mayo de 2023, de <https://www.jfe-steel.co.jp/en/research/report/019/pdf/019-28.pdf>

SnSYS. (2018). *SnSYS*. Recuperado el 14 de Mayo de 2023, de <http://www.snsys.net/eng/eco/bwms.php>

The Composite Store. (2023). Recuperado el 6 de julio de 2023, de <https://thecompositestore.com/Carbon-GRP-Fibre-Glass-Tubes-Bars/GRP-Tube-ID-8mm?limit=15>

TRANSNAVE. (Junio de 2023). Guayaquil, Ecuador.

Tsolaki, E., & Diamadopoulos, E. (12 de Octubre de 2009). Technologies for ballast water treatment: a review. *Wiley Interscience*. doi:10.1002/jctb.2276

United States Coast Guard- U.S. Department of Homeland Security. (10 de Octubre de 2017). Recuperado el 17 de Mayo de 2023, de <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/Assistant-Commandant-for-Prevention-Policy-CG-5P/Commercial-Regulations-standards-CG-5PS/Marine-Safety-Center-MSC/Ballast-Water/>

Vega, P. (2021). *Tratamiento de agua de lastre mediante luz ultravioleta en aguas con altas concentraciones de sólidos en suspensión*. Tesis de máster, Universidad de Oviedo, Escuela Superior de la Marina Civil de Gijón, Oviedo. Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/59885/TFM_PaulinoVegaMarques.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Villegas, J. (19 de Abril de 2022). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/mas-de-1200-buques-ingresaron-por-los-puertos-del-pais-en-el-primer-trimestre-del-2022/>

White, F. (2011). *Fluid Mechanics* (7 ma ed.). New York: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering. Recuperado el 28 de Junio de 2023

World chlorine council. (2019). *Ballast Water Treatment with Chlorine-based Disinfectants*.

ANEXOS

A. Anexo 1: Lista de sistemas actuales aprobados por la OMI y la USCG.

<i>Approved</i>						
Application Received	Manufacturer (Country)	Model	Independent Laboratory	System Type	Capacity	Certificate Issued* (Amended)
20-Sep-2016	Optimarin (Norway)	OBS/OBS Ex	DNV	Filtration + Ultraviolet	65 – 3,000 m ³ /h	02-Dec-2016 (31-Mar-2023)
21-Sep-2016	Alfa Laval (Sweden)	PureBallast 3.0/3.1	DNV	Filtration + Ultraviolet	85 – 3,000 m ³ /h	23-Dec-2016 (16-Dec-2021)
23-Sep-2016	TeamTec BWMS AS (Norway)	Oceansaver MK II	DNV	Filtration + Electrodialysis	200 – 7,200 m ³ /h	23-Dec-2016 (9-Nov-2022)
24-Jan-2017	Sunrui (China)	BalClor	DNV	Filtration + Electrolysis	50 – 8,500 m ³ /h	06-Jun-2017 (03-Jun-2022)
31-Mar-2017	Ecochlor, Inc. (USA)	Ecochlor, EcoOne, EcoOne Hybrid	DNV	Filtration + Chemical Injection	500 – 16,200 m ³ /h	10-Aug-2017 (Pending)
2-May-2017	ERMA FIRST (Greece)	Erma First FIT	Lloyd's Register	Filtration + Electrolysis	100 – 3,740 m ³ /h	18-Oct-2017 (18-Oct-2022)
31-Oct-2017	Techcross, Inc. (Republic of Korea)	ECS & ECS-A	Korean Register	Electrolysis	150 – 12,000 m ³ /h	05-Jun-2018 (16-Oct-2020)
28-Sep-2017	S&SYS Co., Ltd (Republic of Korea)	Purimar	Korean Register	Filtration + Electrolysis	250 – 10,000 m ³ /h	15-Jun-2018 (15-Jul-2022)
12-Mar-2018	BIO-UV Group (France)	BIO-SEA	DNV	Filtration + Ultraviolet	55 – 1,400 m ³ /h	20-Jun-2018 (Pending)
9-Apr-2018	Wärtsilä Water Systems, Ltd. (UK)	Aquarius EC	DNV	Filtration + Electrolysis	250 – 4,000 m ³ /h	30-Aug-2018 (02-Dec-2021)
31-May-2018	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (Republic of Korea)	HiBallast	DNV	Filtration + Electrolysis	75 – 10,000 m ³ /h	26-Oct-2018 (17-Apr-2020)
9-May-2018	Headway Technology Co., Ltd. (People's Republic of China)	OceanGuard	DNV	Filtration + Electrolysis	65 – 5,200 m ³ /h	06-Nov-2018 (07-Mar-2022)
29-Mar-2018	JFE Engineering Corporation (Japan)	BallastAce	Control Union	Filtration + Chemical Injection	500 – 4,000 m ³ /h	13-Nov-2018 (06-May-2021)

<i>Approved</i>						
Application Received	Manufacturer (Country)	Model	Independent Laboratory	System Type	Capacity	Certificate Issued* (Amended)
30-Mar-2018	Panasia Co., Ltd. (Republic of Korea)	GloEn-Patrol	DNV	Filtration + Ultraviolet	50 – 6,000 m ³ /h	14-Dec-2018 (10-Nov-2022)
3-Mar-2018	De Nora (USA)	BALPURE	Lloyd's Register	Filtration + Electrolysis	400 – 8,570 m ³ /h	19-Dec-2018 (17-Dec-2020)
20-Jul-2018	Scienco/FAST (USA)	inTank BWTS	DNV	Electrolysis + Chemical Injection	Up to 200,000 m ³	01-Feb-2019 (23-Sep-2021)
18-Oct-2018	DESMI Ocean Guard A/S (Denmark)	CompactClean	Lloyd's Register	Filtration + Ultraviolet	35 – 3,000 m ³ /h	16-Apr-2019 (04-Feb-2022)
19-Oct-2018	Wärtsilä Water Systems, Ltd. (UK)	Aquarius UV	DNV	Filtration + Ultraviolet	50 – 1,000 m ³ /h	02-May-2019 (26-Apr-2021)
21-Sep-2016/18-Mar-2019	Alfa Laval (Sweden)	PureBallast 3.2	DNV	Filtration + Ultraviolet	85 – 3,000 m ³ /h	15-May-2019 (21-Mar-2023)
19-Oct-2018	Cathelco Ltd (UK)	Evolution	Lloyd's Register	Filtration + Ultraviolet	55 – 1,500 m ³ /h	25-Jun-2019
13-Jun-2019	COSCO Shipping Heavy Industry Technology Co., Ltd. (China)	Blue Ocean Shield (BOS)	DNV	Filtration + Ultraviolet	100 – 3,200 m ³ /h	09-Sep-2019 (26-Aug-2022)
1-Apr-2019	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (Republic of Korea)	EcoBallast	Korean Register	Filtration + Ultraviolet	250 – 2,160 m ³ /h	7-Oct-2019
16-Apr-2019	Miura Co., Ltd. (Japan)	HK-(E)C	DNV	Filtration + Ultraviolet	160 – 900 m ³ /h	28-Oct-2019 (10-Mar-2021)
28-Jun-2019	HANLA IMS Co., Ltd. (Republic of Korea)	EcoGuardian	Korean Register	Filtration + Electrolysis	130 – 4,000 m ³ /h	05-Nov-2019 (09-Feb-2021)
23-Jan-2019	Miura Co., Ltd. (Japan)	HK-S(E)	NSF International	Filtration + Ultraviolet	200 – 900 m ³ /h	8-Jan-2020
19-Jul-2019	BAWAT A/S (Denmark)	BAWAT BWMS Mk2	Lloyd's Register	Heat	50 – 5,000 m ³ /h	04-Mar-2020 (Pending)

<i>Approved</i>						
Application Received	Manufacturer (Country)	Model	Independent Laboratory	System Type	Capacity	Certificate Issued* (Amended)
30 Mar 2018/ 30 Sep 2019	Panasia Co., Ltd. (Republic of Korea)	GloEn-Patrol 2.0	DNV	Filtration + Ultraviolet	50 – 6,000 m ³ /h	19-Mar-2020 (10-Nov-2022)
30-Aug-2018	NK Co., Ltd. (Republic of Korea)	NK-O3 BlueBallast II	Lloyd's Register	Ozone	200 – 8,000 m ³ /h	23-Mar-2020
27-Sep-2018	NK Co., Ltd. (Republic of Korea)	NK-O3 Blue-Ballast II Plus	Lloyd's Register	Ozone	200 – 8,000 m ³ /h	23-Mar-2020
27-Dec-2019	Hyde Marine Inc. (USA)	Guardian-US	DNV	Filtration + Ultraviolet	60 – 3,000 m ³ /h	29-Apr-2020 (15-Feb-23)
31-Dec-2019	Miura Co., Ltd. (Japan)	HK-(E)R	Korean Register	Filtration + Ultraviolet	200 – 900 m ³ /h	07-May-2020 (21-Feb-2023)
13-Jan-2020	Techcross, Inc. (Republic of Korea)	ECS-Hychlor	DNV	Filtration + Electrolysis	300 – 8,000 m ³ /h	11-May-2020
27-Nov-2018	Semb-Eco Pte, Ltd. (Singapore)	LUV U1	Lloyd's Register	Filtration + Ultraviolet	500 m ³ /h	27-May-2020
4-Feb-2020	Kuraray Co., Ltd. (Japan)	Microfade II	Control Union	Filtration + Chemical Injection	250 – 2,000 m ³ /h	24-Jun-2020
12-Jun-2020	oneTank, LLC (USA)	oneTank	DNV	Chemical Injection	Up to 4,000 m ³ /tank	14-Sep-2020 (15-Jun-2022)
17-Jun-2020	Elite Marine Corp. (China)	Seascape	DNV	Filtration + Ultraviolet	80 – 5,000 m ³ /h	16-Oct-2020
30-Jan-2020	Panasonic Environmental Systems & Engineering Co., Ltd. (Japan)	ATPS-BLUEsys	DNV	Electrolysis	150 – 3,600 m ³ /h	21-Oct-2020
31-Jul-2020	Knutsen Ballast Water AS (Norway)	KBAL BWMS	Lloyd's Register	Pressure Vacuum + Ultraviolet	400 - 3,000 m ³ /h	05-Nov-2020 (26-Jan-2022)
28-Sep-2020	Alfa Laval (Sweden)	PureBallast 2.0	DNV	Filtration + Ultraviolet	250 – 2,500 m ³ /h	30-Dec-2020

<i>Approved</i>						
Application Received	Manufacturer (Country)	Model	Independent Laboratory	System Type	Capacity	Certificate Issued* (Amended)
9-Oct-2020	TeamTee BWMS AS (Norway)	Senza BWMS	DNV	Chemical Injection	375 – 3,750 m ³ /h	11-Feb-2021 (Pending)
28-Sep-2020	SKF Marine GmbH (Germany)	SKF BlueSonic BWMS	DNV	Filtration + Ultraviolet + Ultrasound	100 – 1,500 m ³ /h	14-Apr-2021 (07-Apr-2022)
30-Dec-2020	Wuxi Brightsky Electronic Co. (China)	BSKY	Korean Register	Separation + Ultraviolet	80 – 6,000 m ³ /h	27-Apr-2021 (28-Feb-2022)
7-Jun-2019	Evoqua Water Technologies Ltd. (United Kingdom)	SeaCURE	PIA	Filtration + Electrolysis	500 – 6,000 m ³ /h	08-Jun-2021 (16-Dec-2021)
31-May-2021	Jiangsu Nanji Machinery Co. Ltd. (China)	NiBallast	DNV	Filtration + Deoxygenation	100 – 4,000 m ³ /h	10-Sep-2021
23-Apr-2021	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (Republic of Korea)	HiBallast NF	KIOST	Electrolysis	75 – 10,000 m ³ /h	27-Oct-2021 (31-Oct-2021)
27-Jul-2021	RWO GmbH (Germany)	CleanBallast-OBS	DNV	Filtration + Electrolysis	500 – 3,000 m ³ /h	16-Dec-2021
3-Jun-2021	Norwegian Greentech AS (Norway)	NGT BWMS	DNV	Filtration + Ultraviolet	27 – 609 m ³ /h	24-Feb-2022
10-May-2021	Atlantium Technologies Ltd. (Israel)	Purestream	LR	Filtration + Ultraviolet	100 – 1,500 m ³ /h	21-Apr-2022
31-May-2022	Langh Tech Oy AB (Finland)	LanghBW	DNV	Filtration + Ultraviolet	300 – 600 m ³ /h	16-Sep-2022
3-Jun-2022	AQUASTAR Co., Ltd (Republic of Korea)	AquaStar	Korean Register	Electrolysis	200- 5,000 m ³ /h	7-Nov-2022

Ilustración 1. Sistemas aprobados por la OMI y la USCG.

Fuente: (U.S. COAST GUARD MARINE SAFETY CENTER, 2017). Recuperado el 17 de mayo de <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/Assistant-Commandant-for-Prevention-Policy-CG-5P/Commercial-Regulations-standards-CG-5PS/Marine-Safety-Center-MSB/Ballast-Water/>

B. Anexo 2: Catálogo de referencia para el filtro de agua de lastre.

**COMPACT
BallastSafe
e-SERIES FILTERS**

Model	In/Out Connections (Inch)	50 µm		40 µm		25 µm	
		Max. Flow Rates (m³/hr)	Flushing Flow Rate (m³/hr)	Max. Flow Rates (m³/hr)	Flushing Flow Rate (m³/hr)	Max. Flow Rates (m³/hr)	Flushing Flow Rate (m³/hr)
BSE0101 (BSE-101E)	Standard	320	11	250	11	150	11
	turbo™	376	17	300	17	176	16
	super turbo™	427	23	350	23	200	21
	Standard	480	17	375	17	250	16
BSE0151 (BSE-151E)	turbo™	565	28	450	28	294	26
	super turbo™	640	34	525	34	333	32
	Standard	640	23	500	23	335	21
	turbo™	753	34	600	34	394	32
BSE0201 (BSE-201E)	super turbo™	853	45	700	45	447	42

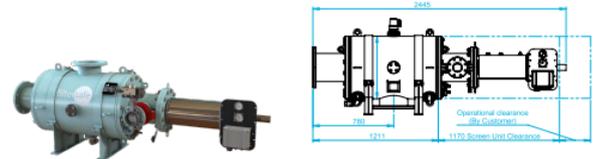
Note: Maximum flow rates at TSS loading of up to 50PPM as per IMO CB Guidelines. When unsure of TSS loadings, consult Filtersafe.

853 m³/h Max. Flow Rate	Dedicated to BWT Market - 25, 40, 50 micron Filtration Degree	100% Screen Cleaning	1.6 bar Min. Operating Pressure	Up to 20,000 cm² screen in a single filter	Horizontal & Vertical Configuration
-------------------------	---	----------------------	---------------------------------	--	-------------------------------------

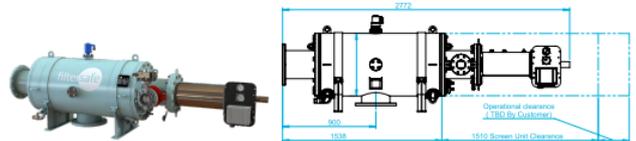
COMPACT BallastSafe e-SERIES

Horizontal Configuration Dimensions

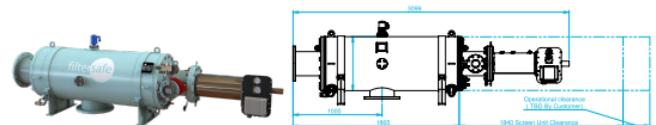
BallastSafe 101E (BSE0101/BS-101E)



BallastSafe 151E (BSE0151/BS-151E)



BallastSafe 201E (BSE0201/BS-201E)



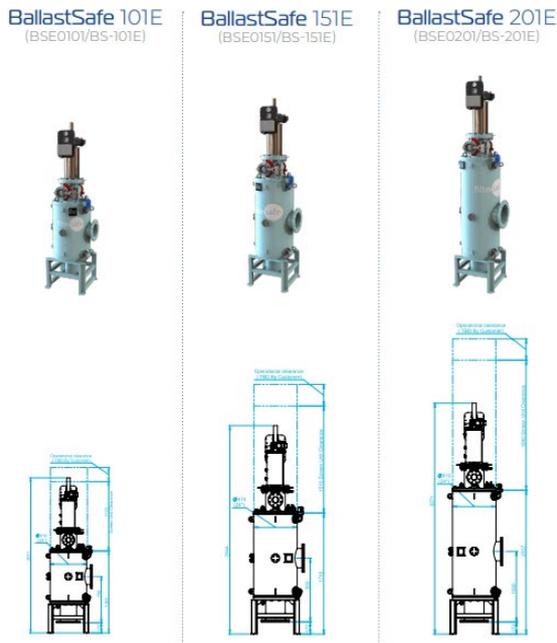
turbo™ & super turbo™ upgrades available

Ilustración 2. Catálogo de referencia para elección del filtro de agua de lastre.

Fuente: (Filtersafe, 2023). Recuperado el 30 de junio del 2023 de https://filtersafe.net/wp-content/uploads/2022/03/DOC-00447_BallastSafe_Catalog.pdf

COMPACT BallastSafe e-SERIES

Vertical Configuration Dimensions



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Compact BallastSafe e-Series Models			
	BSE0101 (BSE-101E)	BSE0151 (BSE-151E)	BSE0201 (BSE-201E)
GENERAL DATA			
Screen Area	10,000 cm ²	15,000 cm ²	20,000 cm ²
Screen Type	smartweave 4-layer sintered weaved screen fine filter		
In/Out Connections	6"-10"	8"-12"	8"-14"
Flush Outlet Diameter	3"		
Design Pressure	10 bar		
Design Approvals	BV, LR, DNV-GL, ABS, CCS (others available upon request)		
Minimum Working Pressure	2.0 bar @40/50µm - 2.4 bar @25µm		
Weight (kg, Dry)	490	580	620
Weight (kg, Wet)	860	1,040	1380

Global Model Data

CONSTRUCTION & MATERIALS		CONTROL & ELECTRICITY	
Pressure Vessel	Carbon Steel	ΔP Transmitter	Analog
Housing & Lid		Electric Motor	0.18 kW
Pressure Vessel Coating	Wet Paint	Control Voltage	24 DC (pneumatic available upon request)
Screen Material	904L	Rated Operation Voltage	400-480V, 3 Ph @ 50/60Hz
Cleaning Mechanism	316L / POM	PLC Controller	Unitronics IP55
Flush Valve	SS 316/ Marine Bronze		
Seals	Synthetic Rubber		
Internals	SS316/POM/PPH		
FLUSHING & DESIGN DATA		ADDITIONAL UPGRADES READILY AVAILABLE:	
Design ΔP Setpoint	0.4 bar	Safe Zone, Ex Ia prepared, Ex d prepared	
Flush Cycle Duration	45 sec	turbo™ superturbo™	
Design Flush Cycles per Annum	25,000	Additional Equipment & Materials available upon request	
Design Temperature	4 - 50°C		
Filter Orientation	Horizontal & Vertical		

turbo™ & superturbo™ upgrades available

Ilustración 3. Catálogo de referencia para elección del filtro de agua de lastre.

Fuente: (Filtersafe, 2023). Recuperado el 30 de junio del 2023 de https://filtersafe.net/wp-content/uploads/2022/03/DOC-00447_BallastSafe_Catalog.pdf

C. Anexo 3: Catálogo de referencia para la bomba dosificadora.

Dimensiones, modelo DMX 221

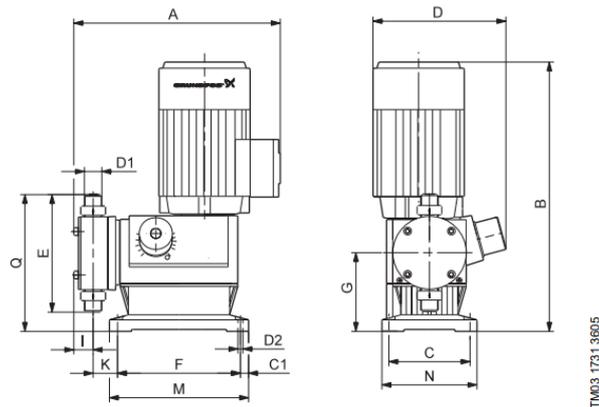


Fig. 24 Dimensiones, modelo DMX 221

Bomba	Modelo	A [mm]	B [mm]	C [mm]	C1 [mm]	D [mm]	D1 [mm]	D2 [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	I [mm]	K [mm]	M [mm]	N [mm]	Q [mm]
DMX 4-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 7-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 7,2-16	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 8-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 9-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 12-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 13,7-16	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 14-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 16-10	221	275	319	105	10,5	175	R 5/8	6,5	153	159	102,5	25	32	180	123	179
DMX 17-4	221	323	319	105	10,5	175	R 1 1/4	6,5	177	159	102,5	38	64	180	123	192

Ilustración 4. Catálogo de referencia para la bomba dosificadora 1.

Fuente: (GRUNDFOS, 2023). Recuperado el 30 de junio del 2023.

Datos de funcionamiento, modelo DMX 221

Bomba	Modelo	Vcarrera [cm ³]	50 Hz			Potencia de motor	
			Capacidad ¹⁾ [l/h]	Presión máx. ²⁾ [bar]	Frecuencia emboladas [n/min]	Estándar [kW]	PTC ³⁾ [kW]
DMX 4-10	221	2,2	4	10	29	0,09	0,09
DMX 7-10	221	3,8	7	10	29	0,09	0,09
DMX 7,2-16*	221	1,9	7,2	16	63	0,09	0,18
DMX 8-10	221	2,2	8	10	63	0,09	0,09
DMX 9-10	221	4,9	9	10	29	0,09	0,09
DMX 12-10	221	6,9	12	10	29	0,09	0,18
DMX 13,7-16*	221	1,9	13,7	16	120	0,09	0,18
DMX 14-10	221	3,8	14	10	63	0,09	0,09
DMX 16-10	221	2,2	16	10	120	0,09	-
DMX 17-4	221	10,4	17	4	29	0,09	0,18
DMX 18-10	221	4,9	18	10	63	0,09	0,09
DMX 25-3	221	16	27	3	29	0,09	0,18
DMX 26-10	221	6,9	26	10	63	0,09	0,18
DMX 27-10	221	3,8	27	10	120	0,09	-
DMX 35-10	221	4,9	35	10	120	0,09	-
DMX 39-4	221	10,4	39	4	63	0,09	0,18
DMX 50-10	221	6,9	50	10	120	0,09	-
DMX 60-3	221	16	60	3	63	0,09	0,18
DMX 75-4	221	10,4	75	4	120	0,09	-
DMX 115-3	221	16	115	3	120	0,09	-

Ilustración 5. Catálogo de referencia para la bomba dosificadora 2- Datos técnicos.

Fuente: (GRUNDFOS, 2023). Recuperado el 30 de junio del 2023.

Pesos, modelo DMX 221

Bomba	Pesos [kg]	
	Plásticos	Acero inoxidable
DMX 4-10	5	7
DMX 7-10	5	7
DMX 7,2-16	5	7
DMX 8-10	5	7
DMX 9-10	5	7
DMX 12-10	5	7
DMX 13,7-16	5	7
DMX 14-10	5	7
DMX 16-10	5	7
DMX 17-4	7,5	12
DMX 18-10	5	7
DMX 25-3	8	13
DMX 26-10	5	7
DMX 27-10	5	7
DMX 35-10	5	7
DMX 39-4	7,5	12
DMX 50-10	5	7
DMX 60-3	8	13
DMX 75-4	7,5	12
DMX 115-3	8	13

Los pesos son aproximados.

Ilustración 6. Catálogo de referencia para la bomba dosificadora 3- Pesos de los modelos.

Fuente: (GRUNDFOS, 2023). Recuperado el 30 de junio del 2023.