



**Universidad
de La Laguna**

ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO

Sistema de tratamiento de agua de lastre del buque “Juan J. Sister”

Trabajo Fin de Máster
Grado en Gestión Náutica y Transporte Marítimo
Enero de 2024

Autor:
Pedro Luis Gil Villamer
54.055.131W

Tutor/a:
Prof. Dr. Alexis Dionis Melián

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval
Universidad de La Laguna; Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado

D/D^a. Alexis Dionis Melián, Profesor de la UD de Ingeniería Marítima, perteneciente al Departamento de Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Pedro Luis Gil Villamer** con **DNI 54055131W**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Sistema de tratamiento de agua de lastre del buque “Juan J. Sister”**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a la fecha de la firma electrónica.

Fdo.: Alexis Dionis Melián
Tutor/a del Trabajo Fin de Master

Gil Villamer, PL. (2024) .*Sistema de tratamiento de agua de lastre del buque "Juan J. Sister"* Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

El trabajo se centra en el sistema de tratamiento de agua de lastre del buque "Juan J. Sister", con el propósito de facilitar a los oficiales y tripulación las tareas relacionadas con el mantenimiento, comprensión y utilización del sistema.

Se describen las características técnicas del buque, su adhesión al convenio BWMS para operaciones internacionales, y destaca el uso del "método secuencial" para el intercambio de agua de lastre, cumpliendo con la norma D-1.

Se presenta el Sistema de Gestión de Agua de Lastre (BWMS) CompactClean-340 de DESMI, explicando su funcionamiento con filtración mecánica y lámparas UV para cumplir con las normativas. Se detalla la ubicación del sistema, la estructura y normas de instalación, así como características sobre los tanques de lastre. Se proporciona información detallada sobre aspectos operativos, incluyendo el llenado automático de agua dulce, las operaciones de lastrado y deslastrado, destacando la importancia de la regulación del flujo y la dosificación UV.

La sección de mantenimiento describe actividades programadas, verificación de fugas y corrosión, inspecciones anuales externas, y acciones específicas para mantenimiento diario, semanal, mensual y anual.

Finalmente, se especifican las responsabilidades del oficial a cargo de la gestión del agua de lastre, haciendo hincapié en la importancia de mantener al día la documentación.

Palabras claves: [lastre, BWM, CIP].

Gil Villamer, PL. (2024) .*Sistema de tratamiento de agua de lastre del buque "Juan J. Sister"* Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

The work focuses on the ballast water treatment system of the ship "Juan J. Sister", with the purpose of facilitating officers and crew with tasks related to the maintenance, understanding and use of the system.

The technical characteristics of the ship are described, its adherence to the BWMS convention for international operations, and highlights the use of the "sequential method" for ballast water exchange, complying with the D-1 standard.

DESMI's CompactClean-340 Ballast Water Management System (BWMS) is presented, explaining its operation with mechanical filtration and UV lamps to comply with regulations. The location of the system, the structure and installation standards, as well as characteristics of the ballast tanks, are detailed. Detailed information is provided on operational aspects, including automatic freshwater filling, ballasting and deballasting operations, highlighting the importance of flow regulation and UV dosing.

The maintenance section describes scheduled activities, checking for leaks and corrosion, annual external inspections, and specific actions for daily, weekly, monthly and annual maintenance.

Finally, the responsibilities of the officer in charge of ballast water management are specified, emphasizing the importance of keeping documentation up to date.

Keywords: [ballast, BWM, CIP].

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
3. Antecedentes	3
4. Características principales del buque “Juan J. Sister”	4
5. Información de los tanques para agua de lastre	6
5.1. Características de los tanques	6
5.2. Bombas utilizadas para el bombeo de lastre	7
6. Sistema de tratamiento de agua de lastre	8
6.1. Detalles del sistema de tratamiento de agua de lastre	8
6.2. Componentes principales.....	9
6.2.1. Unidad UV	9
6.2.2. Filtro mecánico	10
6.2.3. Panel principal	11
6.3. Ubicación del sistema	11
6.4. Sistema de tuberías.....	12
6.5. Estructura	13
6.6. Normas.....	14
7. Funcionamiento del sistema de gestión del agua de lastre	15
7.1. Llenado automático de agua dulce	15
7.2. Recirculación	16
7.3 Operación de lastrado.....	16
7.4 Operación de deslastrado	17
7.5. Función a contraflujo del filtro	17
7.6. Regulación del flujo y efecto de los rayos UV	17

8. Mantenimiento del sistema	18
9. Puntos de muestra de agua de lastre	21
10. Obligaciones del oficial a cargo de la gestión del agua de lastre	23
11. Requisitos de registro y notificación	24
12. Conclusiones	25
13. Bibliografía	26
14. Anexos	27
01.- Anexo I. Planos de tanques y compartimentos	27
02.- Anexo II. Disposición general BWTS.....	28
03.- Anexo III. Disposición de tuberías BWTS	29

1. Introducción

El agua de lastre es esencial para controlar el asiento, la escora, el calado, la estabilidad y los esfuerzos del buque. Aunque cumple una función crucial, existe el riesgo de que contenga organismos y agentes patógenos que, al ser introducidos en el mar, estuarios o cursos de agua dulce, puede crear riesgos para el medio ambiente, la salud pública, los bienes o los recursos, deteriorar la diversidad biológica o afectar otros usos legítimos de tales zonas.

Se estima que al menos 7000 especies diferentes son transportadas en los tanques de lastre de los buques de todo el mundo.

Por este motivo, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha desarrollado directrices para la creación e implementación de un plan de gestión del agua de lastre en buques. Estas directrices están diseñadas para ayudar a gobiernos, autoridades competentes, capitanes de buques, operadores, propietarios y autoridades portuarias, así como otras partes interesadas. El objetivo es prevenir, minimizar y, en última instancia, eliminar el riesgo de introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por los buques, incluyendo el agua de lastre y la sedimentación asociada, al tiempo que se protege la seguridad de los buques.

El Plan de Gestión de Aguas de Lastre (PGAL) está escrito de acuerdo con los requisitos de la regla B-1 del Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (2004) de la Organización Marítima Internacional (OMI), su entrada en vigor el 8 de septiembre de 2017 y el calendario de implantación aprobado en sus enmiendas en 2018, para el cumplimiento de las normas D-1 y D-2 del citado convenio.

Se debe tener en cuenta la necesidad de garantizar que las prácticas de gestión del agua de lastre aplicadas para cumplir el presente Convenio no causen un daño mayor del que se pretende evitar, al medio ambiente, la salud humana, los bienes o los recursos de los Estados y de la seguridad de los buques.

Para cumplir con el Plan de gestión de Aguas de Lastre en el buque JUAN J. SISTER, se instaló un equipo de tratamiento de agua de lastre objeto de estudio en este Trabajo de investigación.

2. Objetivos

Este trabajo tiene como finalidad proporcionar una descripción detallada y completa del sistema de tratamiento de lastre del buque "Juan J. Sister" y su cumplimiento con el convenio BWMS (Sistema de Gestión de Agua de Lastre). Se busca lograr los siguientes objetivos:

En primer lugar, proporcionar datos técnicos precisos y detallados sobre el buque, incluyendo su construcción, capacidad, dimensiones, y sistemas de propulsión, así como asegurar que se comprende que el buque sigue las normativas del convenio BWMS durante las operaciones de lastrado y deslastrado en viajes internacionales, con un enfoque especial en las normas D-1 y D-2.

Uno de los objetivos principales es detallar el sistema CompactClean-340 de DESMI que el buque utiliza para el tratamiento de agua de lastre, incluyendo sus componentes, tecnología, y ubicación a bordo. Explicar cómo opera el sistema BWMS durante las distintas fases de lastrado y deslastrado, haciendo énfasis en la importancia de la filtración mecánica y la radiación ultravioleta para cumplir con las regulaciones.

Por último, se pretende describir las prácticas de mantenimiento, destacando el "fresh water flush" y la "limpieza in situ", y clarificar las responsabilidades del oficial encargado de la gestión del agua de lastre y establecer los requisitos para el registro y notificación de las operaciones de agua de lastre, subrayando la importancia de mantener registros precisos y cumplir con las normativas de la IMO.

En resumen, el desarrollo del trabajo busca proporcionar una visión completa de cómo el buque "Juan J. Sister" cumple con las normativas del convenio BWMS y cómo opera su sistema de gestión de agua de lastre, detallando aspectos técnicos, operativos y normativos asociados.

3. Antecedentes

En la década de 1970, la comunidad científica inició estudios para abordar el problema de organismos invasores, capaces de establecerse en entornos diferentes a su origen, amenazando los ecosistemas locales y generando efectos negativos en la economía de esas áreas.

En la década de 1980, la Organización Marítima Internacional asumió la responsabilidad del problema de organismos invasores, abordándolo mediante estudios. Canadá fue pionero en 1989 al proponer la descarga en alta mar (a más de 200 millas de la costa más cercana) el agua de lastre como medida para enfrentar este desafío.

En 1991, como primera medida para combatir la contaminación marina, se adoptó la Resolución MEPC.50 (31): "Directrices internacionales para impedir la introducción de organismos acuáticos y agentes patógenos indeseados en el agua de lastre y en los sedimentos descargados por los buques".

En 1997 se adoptó la resolución A.868 (20): "Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques". La finalidad de esta nueva resolución era orientar a los Estados Miembros sobre cómo abordar cuestiones relacionadas con las especies acuáticas invasoras.

Una vez creada la base para combatir la contaminación marina, se adoptó en febrero de 2004 el Convenio BWM: "Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques", siendo su objetivo evitar la propagación de organismos acuáticos perjudiciales de una región a otra, estableciendo normas y procedimientos para la gestión y el control del agua de lastre y los sedimentos de los buques.

El Convenio BWM no ha sido ratificado hasta 2016, al no contar con el apoyo de los suficientes países ni tampoco alcanzar el porcentaje mínimo de la flota mercante mundial. Una vez aceptado por Finlandia el 8 de septiembre de 2016, se ha cumplido con la condición mínima de porcentaje de la flota mercante mundial, entrando finalmente el Convenio en vigor el año 2017.

4. Características principales del buque “Juan J. Sister”

El buque JUAN J. SISTER, de bandera española, está sujeto al convenio BWMS, ya que España es un Estado Contratante de dicho convenio. Dado que realiza operaciones de lastrado y deslastrado en viajes internacionales, se le exige cumplir con las normas D-1 y/o D-2 del mencionado convenio.



Ilustración 1. Buque Juan J. Sister. Fuente: <https://www.ferryhopper.com/en/ferry-operators/naviera-arnas/vessels/juan-j-sister>

El JUAN J. SISTER está sujeto a la norma D-1 del convenio BWMS, y el único método de intercambio de agua de lastre que se puede utilizar en este buque es el “método secuencial”.

El "método secuencial" es un proceso por el que un tanque de lastre previsto para el transporte de agua de lastre se vacía primero y luego se vuelve a llenar con agua de lastre de reemplazo para lograr al menos un 95% de cambio volumétrico.

En cada tanque, toda el agua de lastre se descarga hasta que la aspiración de las bombas se ha perdido, deben utilizarse bombas de agotamiento o eyectores en caso de que sea posible. Esto es para evitar una posible situación, donde los organismos permanezcan en la parte inferior del tanque y el tanque se rellene con agua nueva que pueda permitir la regeneración de dichos organismos.

El método secuencial requiere una cuidadosa planificación y seguimiento por parte del personal del buque para reducir los riesgos del buque con respecto a:

- La resistencia longitudinal.
 - Las cargas dinámicas.
 - Trimado excesivo.
-

- Pantocazo de proa.
- Emersión de la hélice.
- Estabilidad intacta.
- Visibilidad desde el puente.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE	
NOMBRE	JUAN J. SISTER
PUERTO DE MATRICULA	LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
DISTINTIVO	EAJB
CONSTRUIDO EN	TURKU(FINLANDIA)
AÑO DE CONSTRUCCION	1993
CLASIFICACION DEL BUQUE SEGÚN SOLAS	GRUPO 1 CLASE "A"
FECHA COLOCACION QUILLA	22.08.92
SOCIEDAD CLASIFICADORA/Nº DE REGISTRO	BUREAU VERITAS/38W821
Nº OMI	9039391
DESPLAZAMIENTO EN ROSCA	8385.97 Tons.
DESPLAZAMIENTO MAXIMO	13729 Tons.
PESO MUERTO	5632 Tons.
ESLORA MAXIMA	151,5 Mts.
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	133,31 Mts.
MANGA FUERA DE FORROS	26.6 Mts.
FRANCOBORDO	8,60 Mts.
CALADO MAXIMA CARGA	6,010 Mts.
CALADO EN ROSCA	4,00 Mts.
MOTORES PRINCIPALES	WARTSILA 8R32/E
POTENCIA DE M.M.P.P.	4 x 3150 Kw.
MOTORES AUXILIARES	WARTSILA 6R22/26
POTENCIA M.M.A.A.	4 x 1065 Kw.
NUMERO DE HELICES PROPULSORAS	2 LIPS BV
TIPO DE HELICES	4C11 PROP. D1A. 4500 mm.
NUMERO DE HELICES TRANSVERSALES	2 LIPS BV
TIPO DE HELICES TRANSVERSALES	CT 06H-2P 1550 mm.
ESTABILIZADORES	BROWN BROTHERS, 11Mts. ²

Tabla 1. Características principales del Juan J. Sister. Fuente: Elaboración propia a partir de las ship particulars

5. Información de los tanques para agua de lastre

El buque cuenta con cinco tanques de lastre, de los cuales, tres están a proa y dos a popa.

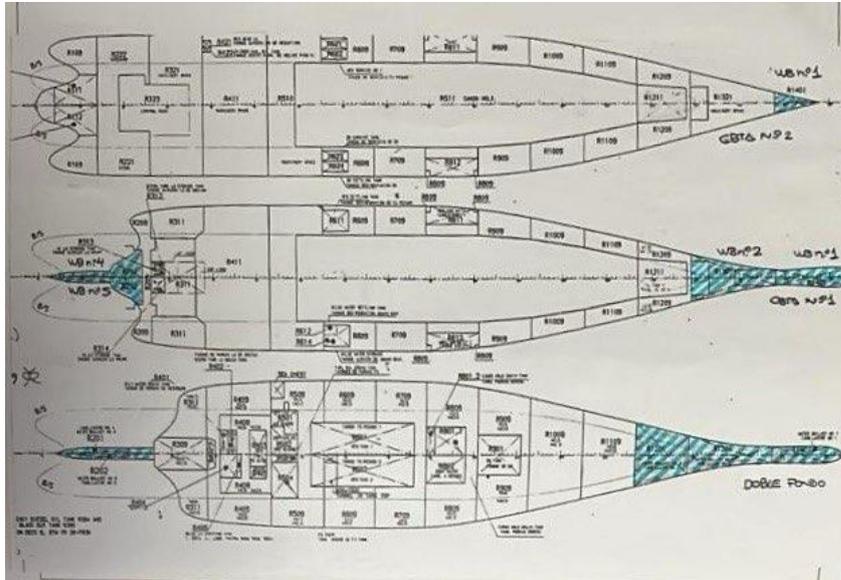


Ilustración 2. Plano de disposición de los tanques de lastre. Fuente: Elaboración propia a partir del plano de disposición de tanques de lastre

5.1. Características de los tanques

La capacidad total de agua de lastre de los cinco tanques es de 827,59 m³.

TANQUES	VOLUMEN (m ³)	ALTURA (M)	CUADERNAS
R201	131,056	3,106	4-26
R202	136,813	3,392	4-26
R1201	135,471	1,275	137-149
R1301	243,800	2,987	149-168
R1401	180,450	3,397	168-184

Tabla 2. Características de los tanques. Fuente: Elaboración propia a partir del libro de sondas

5.2. Bombas utilizadas para el bombeo de lastre

El buque dispone de una bomba para las operaciones de lastre y deslastre.



Ilustración 3. Bomba de lastre. Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN BOMBA	UBICACIÓN	CAPACIDAD BOMBA
Bomba de lastre N°1	Cámara de máquinas	200 m ³ /h.

Tabla 3. Característica de la bomba de lastre. Fuente: Elaboración propia

6. Sistema de tratamiento de agua de lastre

El Sistema de Gestión de Agua de Lastre (BWMS, por sus siglas en inglés) es cualquier sistema que procesa el agua de lastre para cumplir con las normativas de rendimiento del agua de lastre. Este sistema engloba el equipo de tratamiento, los dispositivos de control y monitoreo, así como las instalaciones de muestreo. El BWMS utiliza métodos mecánicos, físicos, químicos o biológicos, de manera individual o combinada, para eliminar, neutralizar o prevenir la carga o descarga de organismos acuáticos nocivos y agentes patógenos en el agua de lastre y en los sedimentos. Puede operar durante la captación o descarga del agua de lastre, durante el viaje, o en una combinación de estos eventos.

Todos los sistemas deben ser aprobados por una sociedad de clasificación y físicamente inspeccionados por un inspector de la sociedad de clasificación tras ser instalados a bordo.

El sistema debe operarse únicamente siguiendo las especificaciones de diseño del mismo y conforme al manual de usuario y mantenimiento del fabricante. Cuando el sistema tenga un mal funcionamiento o un fallo, este debe quedar registrado en el libro de registro de agua de lastre.

6.1. Detalles del sistema de tratamiento de agua de lastre

Fabricante	DESMI Ocean Guard A/S
Modelo / Tipo	CompactClean-340 BWMS, Non-EX, Loose component delivery
Tecnología	Filtro y lámparas UV.
Operaciones requeridas	Lastrado y deslastrado
TRC (Capacidad) en m³/h	9-340 m ³ /h
Nº Certificado de clase	LR2015792TA-03*
TAC emitido por:	LR Lloyds Register
Nº de bombas de lastre a ser utilizadas simultáneamente	1

Tabla 4. Especificaciones del sistema de tratamiento de agua de lastre. Fuente: Elaboración propia a partir del Manual de operación, mantenimiento y seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard

En el buque se instaló un equipo de la compañía DESMI, modelo CC 340. Se trata en un filtro basado en el tratamiento mediante luz UV del agua de lastrado.

Su montaje se realizó en la tubería de descarga de las bombas de lastre, de manera que toda el agua pasa por el equipo de tratamiento tanto en el lastrado como en el deslastrado.

6.2. Componentes principales

Componente	Tipo de componente	Material
Unidad UV	Componente principal	AluBronze C333G
Filtro mecánico	Componente principal	AluBronze C333G
Panel principal	Componente principal	Acero dulce pintado
Panel de control externo	Componente secundario	Acero dulce pintado
Sensores	Componente secundario	AISI 316L
Medidores de flujo	Componente secundario	Acero dulce pintado
Válvulas de mariposa	Componente secundario	Camisa de GGG40+pintura, Válvula AB2, Forro de caucho de nitrilo (NBR)
Válvulas de esfera	Componente secundario	AISI 316L con forro de NBR
Bomba BWMS	Componente secundario	AluBronze C333G
Bastidor de deslizamiento	Componente secundario	Acero dulce pintado
Tuberías	Componente secundario	Acero dulce galvanizado en caliente

Tabla 5. Componentes del sistema de tratamiento de agua de lastre. Fuente: Elaboración propia a partir del Manual de operación, mantenimiento y seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard

6.2.1. Unidad UV

El sistema UV consiste de una serie de unidades UV de distintos tamaños, con una cantidad de lámparas UV de media presión que se corresponde con la tasa de flujo prevista para su uso. Las lámparas convierten la electricidad en luz UV. La dosis UV aplicada se regula en base a la intensidad radiada a través del agua. Cuando se trata de agua limpia a normal,

la regulación se hace reduciendo la potencia que pasa a las lámparas UV, mientras que cuando se trata de agua menos limpia, se reduce el flujo que pasa a través de la unidad UV.



Ilustración 4. Unidad UV. Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Filtro mecánico

El filtro mecánico del sistema es un filtro presurizado estándar que se encuentra ubicado después de la bomba de lastre, que se limpia y enjuaga automáticamente durante la operación cuando la presión diferencial sobrepasa el valor predefinido. Durante la limpieza automática, el filtro usa parte del agua ya filtrada para el enjuague a contraflujo. La cesta interna del filtro es intercambiable y su ubicación permite un acceso fácil para el mantenimiento.



Ilustración 5. Filtro mecánico. Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Panel principal

El BWMS cuenta con un panel principal que contiene el Controlador Lógico Programable (PLC) y los drivers de las lámparas, conectados directamente a la unidad UV. El panel principal se enfría con aire, por este motivo, al instalador se le recomienda asegurar que el área cuente con suministro ininterrumpido de aire, a fin de que haya suficiente capacidad de enfriamiento durante la operación. Se puede ubicar en cualquier lugar que resulte apropiado, a menos de 100 metros de la unidad UV. El panel principal está equipado con una Interfaz Hombre Máquina (HMI), desde donde se monitorea y controla el sistema. Todas las operaciones se pueden llevar a cabo desde esta Interfaz. El interruptor principal del sistema también está ubicado dentro del panel principal.



Ilustración 6. Panel principal. Fuente: Elaboración propia

6.3. Ubicación del sistema

La ubicación del equipo se sitúa en el local de motores principales, al costado de estribor, longitudinal 14 y a proa en la cuaderna 41. El espacio contó con un puntal suficiente para la instalación del reactor UV, el filtro y el sistema de lavado con su descarga directa al mar a un metro sobre la flotación.

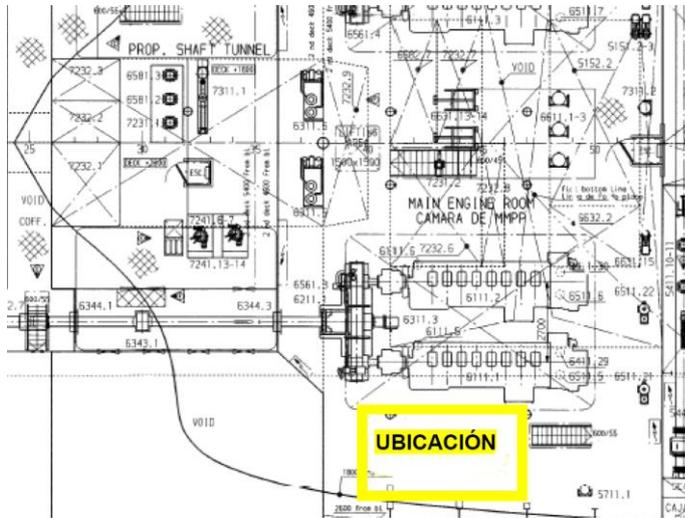


Ilustración 7. Ubicación del sistema de tratamiento. Fuente: (Izquierda) elaboración propia a partir del plano de cámara de máquina. (Derecha) elaboración propia

El armario eléctrico y de control del equipo (panel principal) de dimensiones 606 x 594 x 1795 mm, se instaló en el mismo local, a proa del reactor UV.

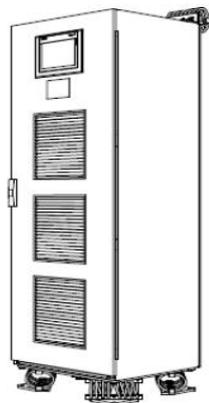


Ilustración 8. Panel principal. Fuente: (Izquierda) Manual de operación, mantenimiento y seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard. (Derecha) elaboración propia.

El resto de componentes menores del sistema se colocaron estratégicamente, siguiendo el trazado de la tubería y cumpliendo criterios técnicos y de ergonomía.

6.4. Sistema de tuberías

Se modificó la tubería de impulsión de la bomba de lastre, realizando un bypass entre ambas líneas para que confluyan a un colector común de entrada al equipo DESMI CC OPTIMO 340 donde regresará al otro colector común repartiéndose al sistema existente.

Además, se instalaron válvulas entre las conexiones a la tubería existente de impulsión de ambas líneas, de esta manera ambas líneas confluyen en un colector único de entrada e impidiendo la entrada de agua directa al sistema de lastre sin pasar al equipo.

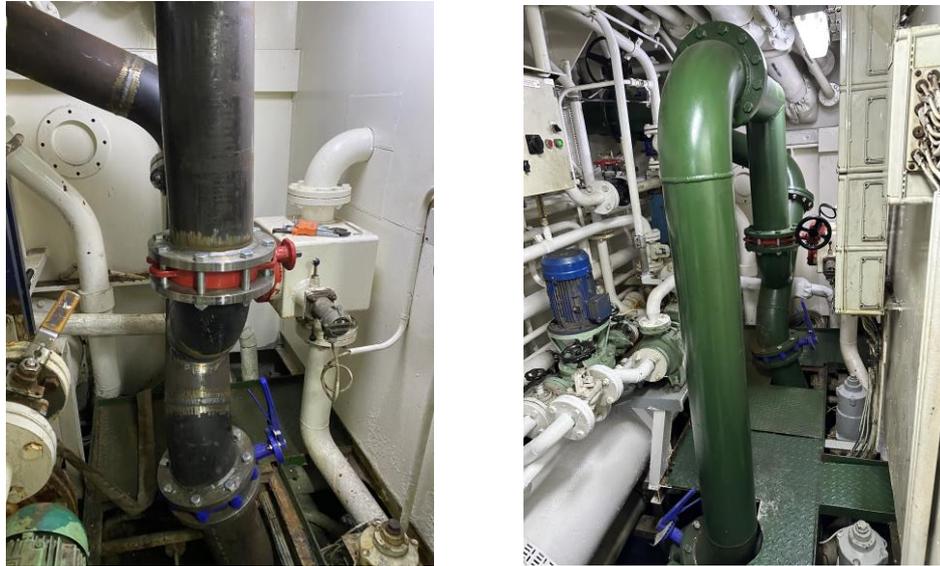


Ilustración 9. Colector común. Fuente: Elaboración propia

El servicio de agua dulce se encuentra en la proximidad, por lo cual, con la elaboración del rutado conceptual fue suficiente para la instalación.



Ilustración 10. Hidróforo de agua dulce. Fuente: Elaboración propia

6.5. Estructura

Al tener que ubicar los equipos más pesados de DESMI Optimo 340 en la zona más baja, y evitar interferir con los espacios de trabajo y los medios de seguridad existentes, fue necesario soportarlo sobre polines reforzados convenientemente.

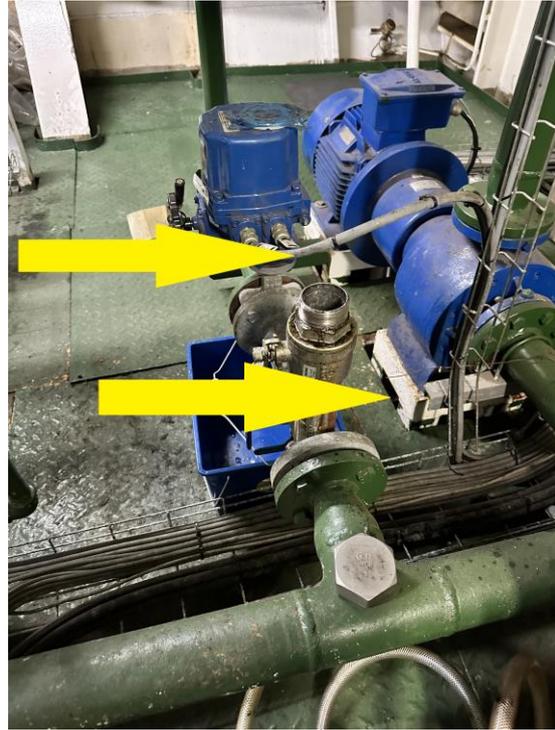


Ilustración 11. Señalización de los polines. Fuente: Elaboración propia

6.6. Normas

Se recurrió a la norma DIN:

- Tubería: DIN 2448 o el equivalente EN 10216-1.
- Brida plana slip-on: DIN 2576 PN10 ó DIN 2502 PN16. Ambas normas tienen su equivalente en la norma EN-1092-1 Tipo 1 en sus correspondientes PN.
- Codos: DIN 2605 o su equivalente EN 10253-2.
- Reducciones: DIN 2616.
- T's: DIN 2615.
- Material: St 37.0 / P235TR1.

7. Funcionamiento del sistema de gestión del agua de lastre

El sistema de gestión del agua de lastre instalado en el JUAN J. SISTER combina dos tecnologías de tratamiento para desinfectar el agua de lastre:

- Filtración mecánica.
- Radiación ultravioleta (UV).

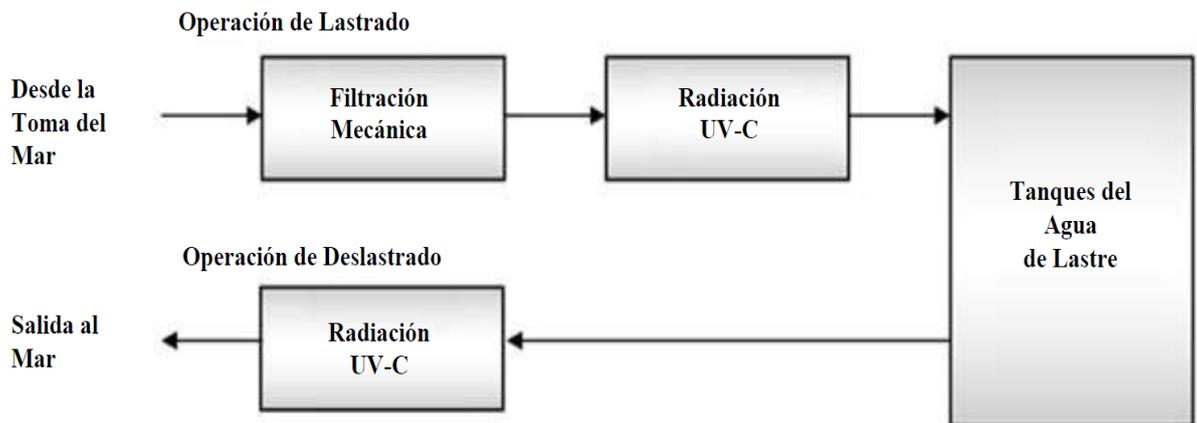


Ilustración 12. Resumen de operaciones de lastrado y deslastrado. Fuente: Manual de operación, mantenimiento y seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard

Debido a la alta eficiencia de su filtración y radiación UV, se puede considerar como un tratamiento instantáneo, que no afecta el tanque de lastre ni el ambiente.

El sistema se puede operar desde el panel principal ubicado en los motores principales y en el repetidor que tenemos en la oficina de carga ubicada en la popa.

Antes de iniciar cualquier operación, el sistema realiza una secuencia interna que incluye el llenado de agua y la recirculación para asegurarse de estar listo para funcionar.

7.1. Llenado automático de agua dulce

El sistema cuenta con una función automática de llenado de agua y purga de aire. Si el interruptor de nivel no se activa, indicando que el sistema no está lleno, se inicia automáticamente el llenado con agua dulce desde el sistema de aguas tratadas del buque. El proceso continúa hasta que el agua cubre las lámparas UV, momento en el cual se activa el interruptor de nivel. Después de las operaciones de lastrado o deslastrado, el operador puede optar por iniciar un enjuague con agua dulce para limpiar la unidad, reducir la salinidad y minimizar el riesgo de corrosión.

7.2. Recirculación

Durante el arranque, las lámparas de rayos ultravioleta deben estar encendidas durante un tiempo predeterminado antes de lograr una completa radiación. A fin de evitar un recalentamiento a nivel local, el agua se mantiene circulando en el sistema, a través de la bomba de contraflujo que opera a velocidad reducida (40- 60%) durante este proceso. Cuando se deban arrancar las bombas de lastre, aparece un mensaje en la pantalla de la interfaz. A fines de protección, el sistema se apaga automáticamente cuando su temperatura llega al límite. La función de recirculación también se puede usar en modo manual, lo que resulta muy útil cuando se tiene que detectar algún problema, o hacer una prueba de fuga, etc.

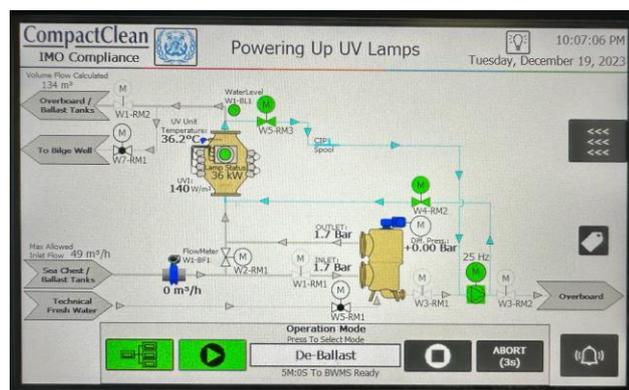


Ilustración 13. Operación de recirculación en el sistema DESMI. Fuente: Elaboración propia

7.3 Operación de lastrado

En el proceso de lastrado, el agua entra al buque y es bombeada a través de un filtro mecánico, que separa las partículas y organismos más grandes. Posteriormente, el agua se dirige a una unidad UV, donde los organismos restantes son expuestos a radiación UV, antes de pasar a los tanques de agua de lastre.

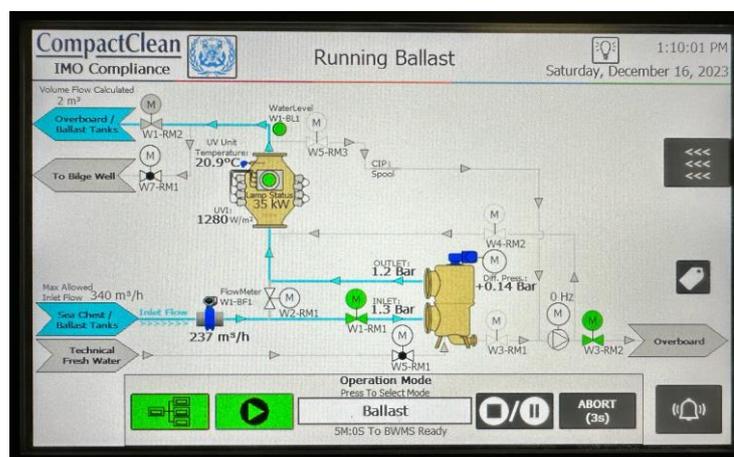


Ilustración 14. Operación de lastrado en el sistema DESMI. Fuente: Elaboración propia

7.4 Operación de deslastrado

Durante el deslastrado, el agua se bombea directamente desde los tanques de agua de lastre a la Unidad UV, y el filtro permanece inactivo. Al recibir la señal de encendido de la bomba de lastre, el sistema abre la válvula para derivar el agua y bypasear el filtro.

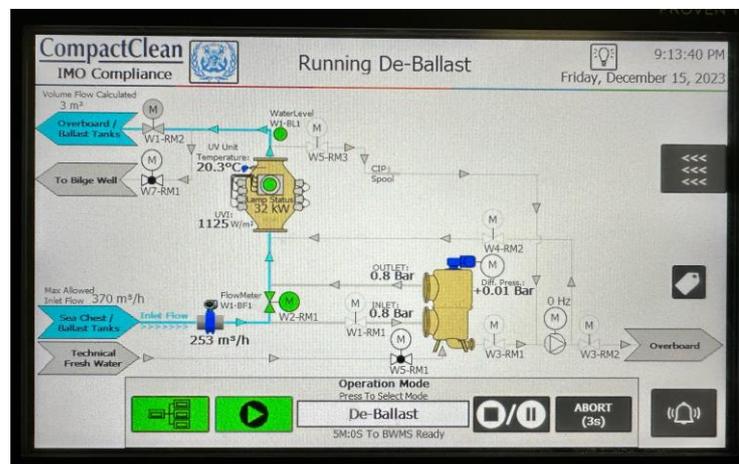


Ilustración 15. Operación de deslastrado en el sistema DESMI. Fuente: Elaboración propia

7.5. Función a contraflujo del filtro

Durante las operaciones de lastrado, el filtro se auto-lava de manera automática. Los residuos del agua de lastre que quedan atrapados en la malla del filtro se envían de vuelta al mar o puerto. La función de limpieza del filtro se controla por medio de la presión diferencial que se mide a través del filtro. La bomba ayuda a remover los sedimentos generados por el enjuague a contraflujo y los descarga al mar. El agua que se usa para limpiar el filtro, se descarga al mar y, en consecuencia, se resta del caudal del agua de lastre. Cuando el filtro refleja una presión diferencial predeterminada, el sistema se desagua automáticamente.

7.6. Regulación del flujo y efecto de los rayos UV

Para que la desinfección UV pueda ser efectiva, se necesita una dosificación mínima. La dosificación aplicada se calcula en función de la intensidad de la radiación UV y el tiempo de exposición. La tasa de flujo y la transmisión de los rayos ultravioleta afectan estos parámetros en forma directa. Para atenuar la intensidad de las lámparas UV en las aguas muy limpias, donde la transmisión sea muy alta, su valor se monitorea constantemente en línea dentro de la unidad UV. Teniendo en cuenta que la regulación del flujo asegura el tratamiento apropiado de las aguas muy sucias con baja transmisión de rayos UV, esto también garantiza un mínimo consumo de electricidad y un tratamiento UV dosificado con gran precisión, a fin de garantizar el debido cumplimiento de las normas de la IMO.

8. Mantenimiento del sistema

Para asegurar que el sistema siga operando debidamente y se mantenga en cumplimiento de las normas, se debe comprobar lo siguiente:

- Cumplir el mantenimiento programado.
- Verificar si hay fugas o goteos, especialmente en las conexiones y sellos.
- Verificar si hay corrosión o cualquier otro daño.
- Observar la presión diferencial y anotar cualquier cambio no previsto.
- Verificar las condiciones de todas las conexiones atornilladas y verificar si están bien ajustadas.

Inspeccionar el sistema al menos una vez al año en relación con lo siguiente:

- La condición de todos los sellos.
- La condición de todas las tuberías.
- La condición de los elementos del filtro.
- La condición del cojinete y del casquillo del cojinete.
- La condición del sensor UV.
- La condición de la conexión equipotencial y si está bien ajustada.

El mantenimiento principal que realizaba a bordo era el “fresh water flush” (enjuaje con agua dulce) y la “limpieza in situ” (CIP).

El enjuague con agua dulce lo realizábamos semanalmente, sólo había que seleccionar la opción en el panel principal y se hacía automáticamente, ayudaba a proteger el sistema contra la corrosión y la acumulación de minerales.

La “limpieza in situ” (CIP) se recomienda mensualmente, pero el buque al realizar la ruta Almería-Nador tocaba puerto marroquí a diario (aguas que estaban muy sucias), por lo que, realizábamos la limpieza semanalmente. Consistía en aplicar un líquido desincrustante (ácido cítrico) al sistema, a través de un contenedor CIP.

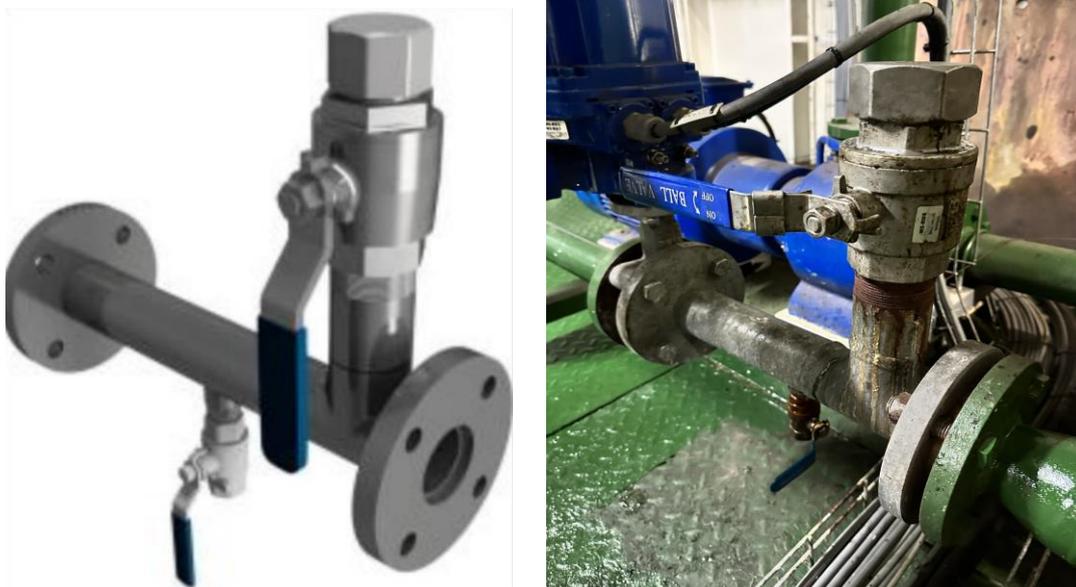


Ilustración 16. Contenedor CIP. Fuente: (Izquierda) Manual de operación, mantenimiento y seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard. (Derecha) elaboración propia.

A continuación enumero los pasos que seguía para realizar la "limpieza in situ":

1. Ir al panel principal y hacer un drenaje del sistema para vaciar el agua de las tuberías.
2. Ir al contenedor CIP, quitar el tapón de rosca y abrir la válvula superior.
3. Abrir la válvula de drenaje del contenedor CIP, al abrir la válvula comenzará a salir el líquido remanente que quedó de realizar el drenaje del sistema.



Ilustración 17. Realizando una "limpieza in situ". Fuente: Elaboración propia

4. Una vez que termine de salir líquido, cerramos la válvula de drenaje y podemos introducir el polvo limpiador desincrustante por la válvula superior del contenedor CIP. El polvo limpiador es una mezcla homogénea de ácido cítrico y agua, de proporción 1-3, por cada litro de agua se tiene que poner 0,33 kg de ácido cítrico.

5. Cerramos la válvula superior y colocamos el tapón de rosca.
6. Iremos al panel principal y seleccionaremos la opción “cleaning in place”. Las válvulas se abrirán y se cerrarán para formar un circuito cerrado en las tuberías que conectan al contenedor CIP con la unidad UV y la bomba del sistema. El contenedor CIP agregará el líquido desincrustante al circuito y arrancará la bomba, haciendo circular el ácido cítrico por el sistema limpiando los tubos de cuarzo y quitarles el sucio, los desechos y las incrustaciones.

Después de recircular el líquido a través de la unidad UV durante 15 minutos, el sistema se para automáticamente. Debemos de dejar el líquido un mínimo de 12 horas antes de usar de nuevo el sistema, y un máximo de 24 horas. Si el sistema no se va a utilizar durante un mayor plazo de tiempo, se tendrá que realizar un enjuague del sistema con agua dulce. En nuestro caso, realizábamos la limpieza el día de parada.

Intervalo	Tipo de mantenimiento
Diario	Mantenimiento visual en el panel principal, Caudal, temperatura, potencia, posibles fugas y/o comportamiento inusual del sistema
Semanal	Fres water flush (enjuague con agua dulce)
Mensual	Limpieza in situ (CIP)
Anual	Revisión del sistema por parte de una empresa externa.

Tabla 6. Mantenimiento programado del sistema. Fuente: Manual de operación, mantenimiento y seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard

9. Puntos de muestra de agua de lastre

El oficial del puerto puede solicitar tomar muestras del agua de lastre al llegar el buque al puerto. Deben ser informados sobre todos los procedimientos de seguridad que deben respetarse al ingresar a áreas cerradas.

Los puntos de toma de muestra de agua de lastre están ubicados conforme a los registros estancos de los diversos tanques de lastre, tal como se indica en el plano mencionado en el anexo I "PLANO DE TANQUES Y COMPARTIMENTOS" de este documento. En el caso de los tanques de doble fondo, los puntos de muestreo son los cabezales de sus respiros una vez desmontados, una operación fácil de realizar. Respecto a la temperatura de los tanques de lastre, los puntos de muestreo son los tubos de sonda de dichos tanques.

La supervisión del cumplimiento puede ser llevada a cabo por oficiales autorizados, como el Control del Estado del Puerto (PSC), quienes pueden encargarse de tomar y analizar muestras de agua de lastre y sedimentos de los buques. La participación de la tripulación en la toma de muestras es poco probable, a menos que se solicite expresamente y bajo la supervisión de un oficial autorizado.

Durante el proceso de toma de muestras para el cumplimiento o seguimiento efectivo, el tiempo necesario para analizarlas no debe utilizarse como base para retrasar indebidamente las operaciones o la salida del buque.

Cuando se toman muestras para investigación o control de cumplimiento según este Plan, los oficiales autorizados, como el Control del Estado del Puerto (PSC), deben notificar al Capitán y a tantos organismos como sea posible para ayudar en la planificación de los recursos de personal y operación del buque.

El Capitán tiene la responsabilidad de brindar asistencia razonable para el control previo y proporcionar información sobre los sistemas de lastre y los puntos de muestreo. Las autoridades del puerto deben indicar al Capitán o al oficial responsable el propósito de la toma de muestras, ya sea para control, investigación o ejecución.

Las autoridades portuarias podrán tomar o exigir muestras para analizar el agua de lastre y los sedimentos antes de permitir que un buque descargue el agua de lastre. La toma de muestras puede ocurrir si el buque tiene un historial de posible incumplimiento, si se informa de una violación, si hay evidencia razonable de incumplimiento de los requisitos del

PGAL o si existen discrepancias significativas entre los registros del buque en el PGAL, las operaciones previstas y/o la documentación respaldatoria del buque (planos, tablas, etc.).

Los funcionarios autorizados pueden tomar muestras del agua de lastre cuando el buque informa sobre el cambio del agua de lastre, hay sospechas de descarga de lastre en aguas territoriales y/o cuando un buque incumple alguna de las prácticas del PGAL u otros elementos de inspección.

10. Obligaciones del oficial a cargo de la gestión del agua de lastre

Las obligaciones del oficial designado a cargo de la gestión del agua de lastre (en el buque JUAN J. SISTER el oficial designado es el primer oficial de cubierta) son las siguientes:

- Garantizar el cumplimiento de la gestión del agua de lastre y su registro.
- Asegurar el personal con equipos adecuados y suficientes para la ejecución del intercambio de agua de lastre.
- Garantizar que los pasos de las secuencias de cambio de lastre se siguen en el orden preparado.
- Informar a la autoridad en tierra el inicio, interrupción o finalización del intercambio agua de lastre, utilizando el formulario de notificación.
- Mantener el Libro de Registro del agua de lastre y cualquier otra documentación relevante.
- Preparar a los formularios de Declaración de Aguas de Lastre de los organismos nacionales o puerto, antes de la llegada a su destino.
- Ayudar a los oficiales de control del puerto del Estado o guardia, para cualquier muestreo que deba realizarse.
- Llevar a cabo la familiarización y formación de la tripulación en los requisitos para la gestión del agua de lastre y de los sistemas de a bordo y procedimientos aplicables.
- Otras operaciones especificadas por la Compañía.

El Capitán debe asegurarse de que el Plan de Gestión del Agua de Lastre es entendido claramente por el oficial designado y por cualquier otro personal del buque que pueda estar involucrado.

El oficial designado a cargo de la gestión del agua de lastre debe mantener al Capitán informado sobre el progreso y la ejecución del plan. Si hubiera alguna duda, o si el plan de gestión no cumple con la planificación y/o procedimientos acordados, el Capitán será informado en consecuencia.

11. Requisitos de registro y notificación

El oficial responsable de la gestión del agua de lastre debe garantizar que el libro de registro del agua de lastre y cualquier otra documentación necesaria son completados y se mantienen al día.

Cada operación sobre el agua de lastre será registrada sin demora en el libro de agua de Lastre. Cada registro será firmado por el oficial a cargo de la operación en cuestión, y cada página completa será firmada por el Capitán.

El libro registro del agua de lastre se mantendrá a bordo durante un mínimo de dos años con el fin de proporcionar al control del puerto del Estado u otras personas autorizadas, la información que precisen sobre el agua de lastre a bordo del buque. A partir de entonces, el plan debe mantenerse bajo control de la compañía durante un período mínimo de 3 años.

En el caso de la descarga de agua de lastre de acuerdo con las reglas A-3, A-4 y B-3.6, o en caso de vertido accidental o excepcional de agua de lastre, que no estén exento por la Convención, será registrado en el libro de registro del agua de lastre describiendo las circunstancias y el motivo de la descarga.

Las entradas en el libro de registro del agua de lastre deberán ser en el idioma de trabajo del buque.

Los oficiales debidamente autorizados pueden inspeccionar el libro de registro del agua de lastre a bordo y podrán sacar copia de cualquier entrada, y exigir al capitán que certifique que la copia es una copia fiel. Toda copia certificada será admisible en cualquier procedimiento judicial como prueba de los hechos declarados en el mismo.

12. Conclusiones

Como principales conclusiones de este Trabajo de Fin de Master sobre la implantación del Sistema de Lastre en el buque modelo seleccionado destacamos:

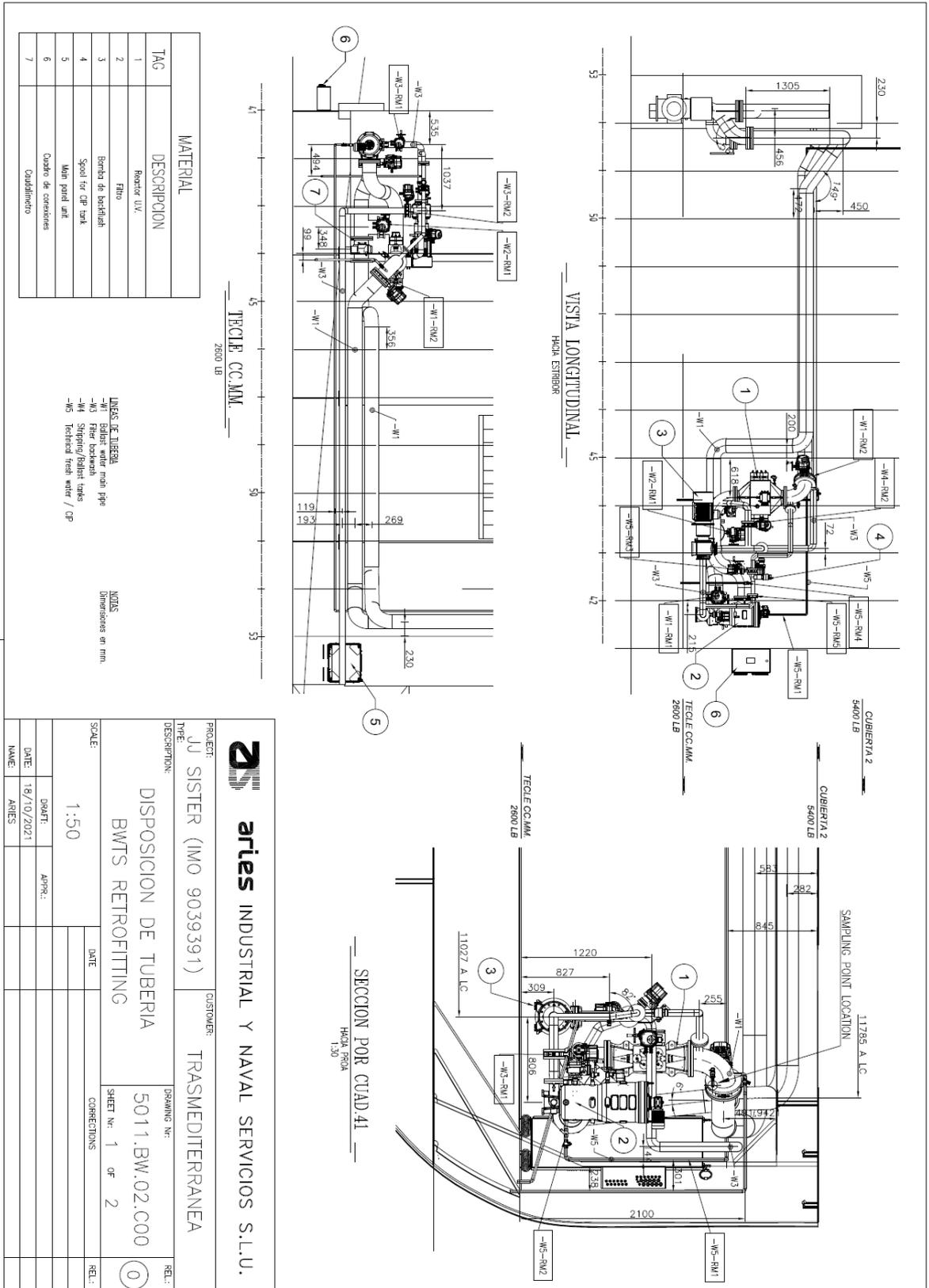
1. Su impacto positivo en la conservación del ecosistema marino, al mitigar la introducción y propagación de especies invasoras, en pleno cumplimiento de normativas internacionales, como el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de lastre y los Sedimentos, de la Organización Marítima Internacional (IMO).
2. Las implicaciones medioambientales positivas, sino que también conlleva mejoras significativas en la eficiencia operativa del barco. Garantiza un intercambio de lastre seguro y conforme a las normativas vigentes, lo que no solo optimiza las operaciones marítimas, sino que también refleja un compromiso con la responsabilidad ambiental por parte de la industria naviera.
3. La reducción de riesgos legales asociados con la contaminación marina. Al seguir las directrices y protocolos establecidos para el tratamiento de agua de lastre, se minimizan los riesgos de sanciones legales y se refuerza el cumplimiento de regulaciones ambientales.
4. La adopción de tecnologías avanzadas para la implementación de estos sistemas no solo se traduce en beneficios operativos, sino que también impulsa la innovación dentro de la industria marítima. Este enfoque tecnológico contribuye a mantener a la industria a la vanguardia, adaptándose a estándares ambientales más rigurosos y fomentando la evolución constante en la búsqueda de soluciones más eficientes y sostenibles.

En resumen, la introducción y adopción de sistemas de tratamiento de agua de lastre representan una evolución positiva y esencial en la industria marítima. Esta iniciativa no solo promueve la sostenibilidad y eficiencia operativa, sino que también refuerza el compromiso con el respeto y la protección del medio ambiente marino, marcando así un hito significativo en la continua búsqueda de prácticas marítimas más responsables y sostenibles.

13. Bibliografía

- [1] <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx>
 - [2] <https://diccionario-nautico.com.ar/lastre/>
 - [3] <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx>
 - [4] <https://www.sym-naval.com/es/agua-lastre/#None>
 - [5] <https://desmioceanguard.com/landing-pages-dog/sistema-de-gestion-de-aguas-de-lastre-compactclean/>
 - [6] <https://prezi.com/ckg7qd09sz5c/sistema-de-lastre/>
 - [7] https://www.garrigues.com/es_ES/noticia/el-convenio-bwm
 - [8] Aries industrial y naval servicios S.L.U. (2021). PLAN DE GESTIÓN AGUA DE LASTRE "JUAN J. SISTER". Madrid.
 - [9] Aries industrial y naval servicios S.L.U. (2021). PROYECTO DE INSTALACIÓN BWMS "JUAN J. SISTER". Madrid.
 - [10] Aries industrial y naval servicios S.L.U. (2021). RETROFITTING BWTS DESMI "JUAN J. SISTER". Madrid.
 - [11] Manual de Operación, Mantenimiento y Seguridad del Compact Clean DESMI Ocean Guard.
 - [12] Libro de sondas del Buque Juan J. Sister
 - [13] Libro de Registro de Aguas de Lastre del Buque Juan J. Sister
-

03.- Anexo III. Disposición de tuberías BWTS



Permiso de divulgación del Trabajo Fin de Máster

El alumno **Pedro Luis Gil Villamer**, autor del trabajo final de Máster titulado “**Sistema de tratamiento de agua de lastre del buque Juan J. Sister**”, y tutorizado por el profesor **Alexis Dionis Melián**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFM), manifiesta que **PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica, y Marítima de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.