

# SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LASTRE POR LUZ ULTRAVIOLETA

**Trabajo Fin de Grado**  
Grado en Tecnologías Marinas  
Julio de 2023

Autor:  
**Guillermo García-Ramos García**  
78.858.019N

Tutor/a:  
Prof. Dña. Lidia Paola Padilla Cruz

**Escuela Politécnica Superior de Ingeniería**  
**Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval**  
Universidad de La Laguna

---



D/D<sup>a</sup>. Lidia Paola Padilla Cruz, Profesor/a de la UD de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima, perteneciente al Departamento de Construcciones Navales de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Guillermo García-Ramos García** con **DNI 78858019N**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LASTRE POR LUZ ULTRAVIOLETA**.

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 16 de Julio de 2023.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Lidia Paola Padilla Cruz', written in a cursive style.

Fdo.: Lidia Paola Padilla Cruz.

Tutor/a del trabajo.



*Guillermo García-Ramos García (2023). Sistema de tratamiento de agua de lastre por luz ultravioleta. Trabajo de fin de grado. Universidad de La Laguna*

## **RESUMEN**

Como bien expone el título del trabajo “Sistemas de tratamiento de agua de lastre por luz ultravioleta” se hará un estudio de los diferentes métodos de tratamiento de agua de lastre pasando por el estudio de la legislación vigente tanto a nivel internacional como nacional, los problemas medioambientales que genera la gestión de agua de lastre, además del estudio de los tipos de tratamiento que existen en la actualidad aprobados por el Comité de protección del medio marino (MEPC) y centrándose en el estudio del sistema por luz ultravioleta (UV) que vio el autor durante sus prácticas a bordo del buque “Andalucía Express” como alumno de máquinas.

Palabras clave: [Tratamiento de agua de lastre, MEPC, Luz UV]



*Guillermo García-Ramos García (2023). Sistema de tratamiento de agua de lastre por luz ultravioleta. Trabajo de fin de grado. Universidad de La Laguna*

## **ABSTRACT**

As the title of the work "Ballast water treatment systems by ultraviolet light" states, a study will be made of the different ballast water treatment methods, including a study of the current legislation at both international and national level, the environmental problems generated by ballast water management, as well as a study of the types of treatment currently approved by the Marine Environment Protection Committee (MEPC) and focusing on the study of the ultraviolet (UV) light system that the author saw during his work experience on board the ship "Andalucía Express" as an engine student

Keywords: [Ballast water treatment, MERP, UV light]





## **AGRADECIMIENTOS**

---

*A todas aquellas personas que nunca se rindieron conmigo.*

---



## Índice de contenido

<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
1. Objetivo general.....	2
2. Objetivos específicos .....	2
<b>III. Revisión y antecedentes.....</b>	<b>3</b>
1. Agua de lastre .....	3
2. Problemática medioambiental.....	4
3. Legislación y responsabilidad .....	5
3.1. Calendario de implantación .....	7
3.2. Legislación española .....	7
4. Sistemas de tratamiento de agua de lastre (BWTS) .....	9
4.1. Cambio de agua de lastre .....	14
4.2. Tratamiento a bordo.....	15
4.2.1. Separación física .....	15
4.2.2. Tratamientos secundarios.....	18
a. Tratamientos químicos.....	18
b. Tratamientos mecánicos .....	20
<b>IV. Material y método.....</b>	<b>22</b>
1. Material.....	22
1.1. Buque modelo .....	22
1.2. Elementos del sistema de tratamiento por luz UV PureBallast 3.2 .....	25
2. Metodología.....	26
2.1. Documentación bibliográfica.....	26
2.2. Metodología de trabajo .....	26
2.3. Marco referencial .....	27

---

<b>V. Resultados</b> .....	<b>28</b>
1. Tratamiento por luz UV .....	28
1.1. Luz UV.....	28
1.2. Fuentes de luz UV .....	29
1.3. Efecto de la luz UV en los organismos.....	32
2. Descripción de los elementos del sistema PureBallast 3.2 .....	33
2.1. Reactor UV .....	34
2.2. Filtro .....	37
2.3. Módulo CIP .....	43
2.4. Cabina eléctrica.....	45
2.4.1. Sistema de control .....	47
2.4.2. Panel de control.....	47
2.4.3 Cabina de control de lámparas UV .....	47
2.5. Válvulas principales .....	48
2.6. Caudalímetro .....	48
2.7. Controlador de presión .....	49
3. Operaciones del sistema. ....	49
3.1. Puesta en marcha.....	50
3.2. Lastrado .....	52
3.3. Retrolavado .....	55
3.4. Procedimiento CIP .....	56
3.5. Deslastrado .....	58
4. Legislación del buque Andalucía Express.....	59
<b>VI. Conclusión</b> .....	<b>61</b>
<b>VII. Bibliografía</b> .....	<b>62</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Proceso de estabilización por agua de lastre .....	3
Figura 2. Agua de lastre .....	4
Figura 3. Gestión de agua de lastre.....	14
Figura 4. Filtro pantalla.....	16
Figura 5. Coagulación/floculación.....	16
Figura 6. Filtro multimedia .....	17
Figura 7. Filtro hidrociclón .....	17
Figura 8. Plano tanque de lastre Andalucía Express .....	24
Figura 9. Espectro electromagnético de la luz UV .....	28
Figura 10. Esquema lámpara de descarga.....	29
Figura 11. Lámpara de descarga.....	30
Figura 12. Esquema de diodo LED.....	31
Figura 13. Esquema Zona P-N.....	31
Figura 14. La cinética de inactivación de la desinfección por UV.....	33
Figura 15. Reactor UV.....	34
Figura 16. Disposición real reactor UV .....	35
Figura 17. Destrucción del ADN. ....	36
Figura 18. Filtro .....	37
Figura 19. Disposición real del filtro.....	38
Figura 20. Funcionamiento del filtro.....	39
Figura 21. Retrolavado del filtro.....	40
Figura 22. Diferencia de presión en el filtro poco sucio en el tiempo. ....	41
Figura 23. Media carga de suciedad.....	42
Figura 24. Alta carga de suciedad. ....	43
Figura 25. Módulo CIP.....	44
Figura 26. Disposición real módulo CIP.....	45
Figura 27. Disposición real módulo CIP.....	45
Figura 28. Cabina eléctrica.....	46
Figura 29. Cabina de control de lámparas UV .....	47

---

Figura 30. Procedimientos operativos .....	50
Figura 31. Plano BWTS refrigeración lámparas UV .....	51
Figura 32. Puesta en marcha del lastrado y deslastrado .....	52
Figura 33. Plano Sistema de agua de lastre absorción del agua de lastre.....	53
Figura 34. Plano sistema de tratamiento de agua de lastre lastrado.....	54
Figura 35. Proceso de lastrado Sistema de tratamiento de agua PureBallast.....	55
Figura 36. Retrolavado del filtro.....	56
Figura 37. Plano sistema de limpieza CIP .....	57
Figura 38. Circulación del líquido CIP en el proceso de limpieza CIP .....	58
Figura 39. Operación de deslastrado.....	59

---

## Índice de tablas

---

Tabla 1. Cantidad máxima de microorganismos aceptada en la descarga de agua de lastre tratada (Convenio BWM) .....	6
Tabla 2. Lista de sistemas de gestión de agua de lastre que hacen uso de sustancias activas que recibió la aprobación final de la IMO.....	9
Tabla 3. Características del buque Andalucía Express.....	22
Tabla 4. Tanques de lastre Andalucía Express .....	23

---

## Listado de acrónimos

---

<b>OMI</b>	Organización Marítima Internacional
<b>MEPC</b>	Comité de protección del medio marino
<b>MSC</b>	Comité de seguridad marítima
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>Convenio BWM</b>	Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos.
<b>IOPP</b>	International Oil pollution prevention (Certificado internacional de la prevención de la contaminación de hidrocarburos).
<b>BWTS</b>	Ballast water treatment system (Sistema de tratamiento de agua de lastre)
<b>LED</b>	Light emitting diode (Diodo emisor de luz)
<b>CIP</b>	Clean in place (Limpieza en el sitio)
<b>BW</b>	Ballast water (Agua de lastre)
<b>LPS</b>	Limited power source (Fuente de alimentación)
<b>LED</b>	Light emitting diode(Diodo emisor de luz)



## I. Introducción

A lo largo de este trabajo se hará un estudio detallado del sistema PureBallast 3.2 un sistema de tratamiento de agua de lastre por luz UV, para ello se hará un repaso de todo lo que conlleva un sistema de tratamiento de agua de lastre se empezará por definir que es un barco eso llevará a la estabilidad y al agua de lastre, por tanto, se definirá que es el agua de lastre y los problemas medioambientales que esto conlleva debido al transporte de microorganismos en el agua, tanto para microorganismos patógenos para el medioambiente y para la salud humana. Se estudiará la legislación pertinente para la gestión del agua de lastre, pasando por la legislación internacional a nivel de la Organización marítima internacional (OMI) y a nivel nacional, y además todos los sistemas de tratamientos aprobados por la OMI. Se estudiará los diferentes tratamientos existentes por separado, ya sean físicos o químicos.

Se hará un estudio de la luz UV, de para qué es y para qué sirve, como es capaz de llevar a cabo un proceso de desinfección del agua de lastre y los diferentes métodos para generarla a partir de lámparas. Entrando más en materia se estudiará los diferentes elementos que componen el sistema PureBallast 3.2 como pueden ser el reactor UV, el filtro, el sistema de limpieza Clean in place (CIP) y los elementos de control y electricidad del sistema. Se estudiará las diferentes operativas que inmiscuyan al sistema de tratamiento de agua de lastre, tales como el retrolavado del filtro o el proceso de lastrado de tanques, pasando por el sistema de tratamiento para la desinfección del agua de lastre, además se hará el estudio de la legislación que atañe al barco donde se realizó el estudio el Andalucía Express.

## II. Objetivos

Los objetivos del trabajo se dividen en un objetivo general y objetivos específicos

### 1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es desarrollar el conocimiento necesario para saber si un sistema de tratamiento por agua de lastre cumple con los parámetros impuestos por la legislación y las necesidades específicas de la ruta que realizará el barco en cuestión, en este caso el sistema de tratamiento de agua de lastre PureBallast 3.2

### 2. Objetivos específicos

Para llegar al objetivo general expresado anteriormente se realizará lo siguiente:

---

Se estudiará del agua de lastre ¿qué es, y para qué sirve?

---

Se informará de la legislación pertinente al estudio de la gestión de agua de lastre

---

Los problemas medioambientales producidos por la falta de gestión de agua de lastre

---

Se desarrollará de los diferentes tipos de tratamiento y de los sistemas que implementan estos tratamientos.

---

El estudio completo de la luz UV

---

Se comprenderá el sistema de tratamiento de agua de lastre implantado en el Andalucía Express llamado Pureballast.

---

Se hará un repaso a todos los sistemas y maniobras posibles con el sistema de tratamiento de agua de lastre PureBallast

---

Se explicará con fotos in situ los elementos del sistema.

---

Estudio de la legislación pertinente al agua de lastre en el Andalucía Express

---

### III. Revisión y antecedentes

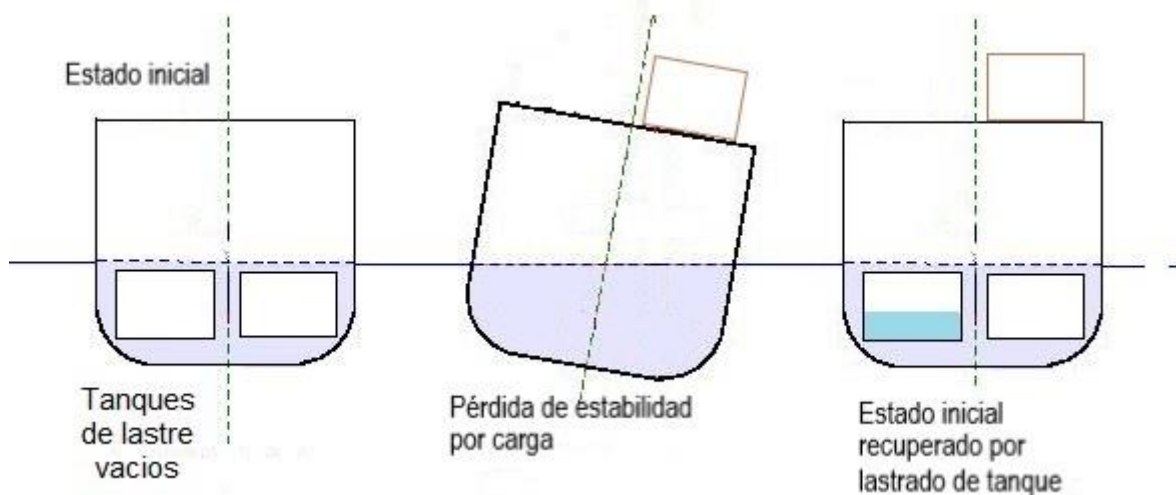
En revisión y antecedentes se estudiará los problemas medioambientales derivados de la gestión de agua de lastre, conjuntamente de la legislación vigente y su evolución a lo largo de los años, además del calendario de implantación previsto y las obligaciones adoptadas en España, añadiendo el estudio de los sistemas de tratamientos aprobados por el MEPC y un pequeño repaso de los tipos de tratamientos existentes.

Cabe añadir que, barco es todo aquel elemento con un cuerpo flotante simétrico por el plano de crujía, un plano imaginario trazado desde la proa hasta la popa del barco y divide la cubierta en dos partes iguales, todo barco debe tener propulsión y un gobierno además de reunir ciertos requisitos como: flotabilidad, resistencia estructural, estanqueidad, capacidad de carga, estabilidad y movilidad.

La estabilidad del barco es la propiedad de recobrar su posición inicial después de que algún elemento externo como el mar, el viento o una carga cambie esa posición inicial, por tanto, el barco viene provisto de unos espacios a lo largo y ancho del casco llamados tanques de lastre, que son espacios vacíos que se llenan principalmente de agua salada del mar que lo rodea, recogida por un sistema de bombas para generar carga en el barco y estabilizarlo.

(1)

Figura 1. Proceso de estabilización por agua de lastre



Elaboración propia. Fuente: (2)

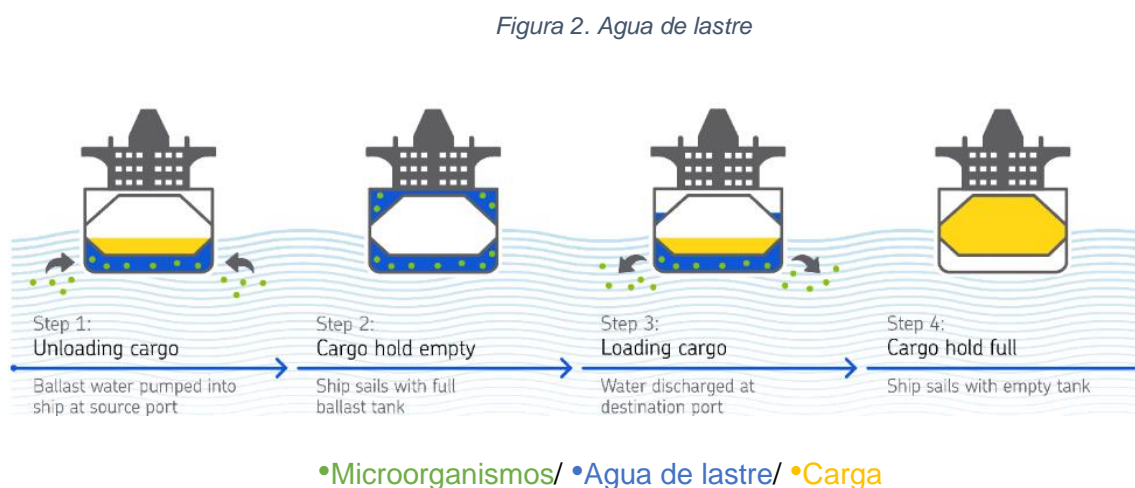
#### 1. Agua de lastre

El agua de lastre es agua salada recogida directamente del entorno que rodea al barco y la forma que tienen los barcos para mantener su estabilidad y seguridad operacional, se usa

el agua como elemento de lastre desde los primeros barcos con casco de acero. Esta práctica reduce los esfuerzos en el casco, facilita la estabilidad transversal, mejora la propulsión y la maniobrabilidad, y compensa los cambios de peso como consecuencia de los distintos niveles de carga y el consumo de combustible y agua. (3)

Aunque actualmente es indispensable, el uso de agua de lastre tiene unos inconvenientes ecológicos, económicos y de salud debido a la cantidad de microorganismos que contiene el agua de lastre. Existen diversos microorganismos como bacterias, microbios, pequeños invertebrados, huevos, quistes y larvas de distintas especies. Estos microorganismos pueden sobrevivir al sistema de lastre e implantarse en otros ecosistemas, son conocidas como las especies invasoras creando un problema medioambiental grave.

El problema de las especies en el agua de lastre irá en aumento conforme más aumente el comercio marítimo, estas especies implantadas en ecosistemas pueden suponer un gran problema y va en aumento.



Fuente: (4)

## 2. Problemática medioambiental

Se calcula que alrededor del mundo se transfieren alrededor de trece mil millones de toneladas de agua de lastre cada año. Dependiendo de las dimensiones de los buques y que en la actualidad hay buques cada vez más grandes y con más capacidad de carga diariamente, se bombean a los tanques de lastre en operativas de carga y descarga agua que pueden contener organismos vivos en todas sus etapas de vida, se pueden llegar a transportar hasta 7000 especies animales y vegetales al día en todo el mundo incluyendo virus bacterias huevos y larvas de diferentes especies.

Es cierto que la mayoría de las especies transportadas no sobrevive al proceso de carga y descarga de los tanques de lastre, además de que son descargados en ambientes extraños y hostiles con la que la gran mayoría no sobreviven, pero hay ciertos casos especiales en los cuales se dan las circunstancias ideales y estas especies se convierten en invasoras compitiendo con las especies nativas y afectando gravemente el ecosistema en el que se han insertado.

La presencia de especies invasoras se considera la segunda causa de pérdida de biodiversidad y constituye una gran amenaza para los ecosistemas y océanos del mundo. Desde el siglo XX aumentan considerablemente las especies invasoras en el mar Mediterráneo, habiendo en la actualidad más de 450 especies exóticas, siendo uno de los puntos más castigados del globo (5).

El problema de las especies invasoras se debe en gran parte al aumento considerable del comercio marítimo, dando así a un mayor volumen de tráfico en las últimas décadas y dado que la tendencia del comercio es seguir aumentando, es posible que el problema no haya alcanzado su máximo nivel. Los datos cuantitativos muestran que la tasa de bioinvasiones continúa aumentando a un ritmo alarmante y que invaden nuevas áreas todo el tiempo.

### **3. Legislación y responsabilidad**

Prevenir el traslado de especies invasoras y realizar una respuesta oportuna y eficaz requerirá la cooperación de diversos grupos tales como gobiernos, sectores económicos, organizaciones de tratados internacionales y organizaciones no gubernamentales. En la convención de las naciones unidas sobre el derecho del mar (artículo 196) (6) les exige a los estados una cooperación para prevenir y reducir la contaminación en el ámbito marino, incluyendo en este caso la transferencia intencional o no de especies invasoras en ámbitos marinos, donde puedan causar daños o cambios al ecosistema de destino. La iniciativa en este aspecto la ha llevado la OMI abordando el tema de las especies acuáticas invasoras (invasive aquatic species IAS) (7).

Para prevenir las introducciones de organismos acuáticos y patógenos no deseados a partir de descargas de agua de lastre y sedimentos de los buques, el MERC adoptó directrices internacionales (resolución MEPC.50(31)); mientras tanto en 1992 en Río de Janeiro se celebraba la conferencia de naciones unidas sobre medio ambiente y desarrollo en la cual se reconoció el tema como una preocupación internacional.

En la asamblea de la OMI de 1993 se adoptó la resolución A.774(18) basada en las directrices de 1991, pidiéndole una revisión al MEPC y al Comité de seguridad marítima (MSC) para desarrollar disposiciones jurídicamente vinculantes aplicables internacionalmente, más adelante en noviembre de 1997 se tomó la resolución A.868(20) unas directrices para minimizar la transferencia de organismos nocivos y patógenos en el agua de lastre invitando así a sus miembros a utilizar estas nuevas directrices en el tema de las IAS.

Después de 14 años se llegó a un consenso entre los estados miembros de la OMI, el 13 de febrero de 2004, en el convenio internacional para el control del agua de lastre y los sedimentos de los buques (convenio BWM) (8).

En el convenio se recoge la idea de que todos los barcos deben implementar un sistema de gestión de agua de lastre. Debiendo llevar un registro de agua y llevando unos procedimientos de agua de lastre según unos estándares predeterminados.

El MEPC en su 53ª sesión en julio de 2005 amplió el programa para el desarrollo de directrices con 14 conjuntos más en los cuales se adoptó mediante la resolución MEPC.173(58) en octubre de 2008.

Dentro del convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (convenio BWM),2004 (8) existen dos normas:

1. Norma D-1 que expresa que es el buque tenga que cambiar de agua de lastre en mar abierto a unas 200 millas marinas de la costa y con una profundidad al menos de 200 metros. Acción que garantiza el menor número de microorganismos vivos en el agua de lastre, por lo tanto, será más difícil introducir especies invasoras.
2. Norma D-2 aplica que debe tener un máximo especificado de organismos en el agua que se vaya a descargar y limitando también la descarga de ciertos microbios perjudiciales para la salud humana. El máximo especificado de organismos viene dado por esta tabla:

Tabla 1. Cantidad máxima de microorganismos aceptada en la descarga de agua de lastre tratada (Convenio BWM)

<b>Tamaño microorganismos</b>	<b>Requisitos máximos según norma D-2</b>
Tamaño mínimo $\geq 50 \mu\text{m}$	<10 microorganismos viable/ $\text{m}^3$ agua de lastre
$10 \leq$ Tamaño mínimo $< 50 \mu\text{m}$	<10 microorganismos viable/ml agua de lastre
<i>Vibrio cholerae</i> toxicógeno	<1ufc (unidad formadora de colonias) /100ml
<i>Escherichia coli</i>	<250ufc (unidad formadora de colonias)/100ml
Enterococos intestinales	<100ufc (unidad formadora de colonias)/100ml

Fuente: (9)

NOTA: *Vibrio cholerae* toxicógeno bacteria que provoca el cólera

### 3.1. Calendario de implantación

La implantación de un calendario se hace con el objetivo de que cada vez más buques se adapten a la norma D-2 hasta una fecha límite del 8 de septiembre de 2024, este calendario ha sido acordado por el MEPC (10).

Desde el 8 de septiembre de 2017

- **Todos los buques de nueva construcción** deben cumplir la norma D-2
- **Los buques deben tener:** plan de gestión de agua de lastre, libro de gestión de agua de lastre y certificado internacional de gestión de agua de lastre
- **Los buques ya existentes** deberán de cumplir como mínimo la norma D-1, sin embargo, nada les impide la aplicación bajo su criterio de la norma D-2 esto no será obligatorio hasta la fecha límite.
- **Reconocimiento de renovación de certificado internacional de prevención de la contaminación por hidrocarburos (IOPP):** Los buques que tengan un reconocimiento de renovación relacionado con el Certificado IOPP después del 8 de septiembre de 2019, teniendo que cumplir la norma D-2 antes de la fecha del siguiente reconocimiento 5 años después, el 8 de septiembre de 2024.
- **Reconocimiento de renovación entre el 8 de septiembre de 2017 y el 8 de septiembre de 2019.**

Caso 1: si el reconocimiento de renovación IOPP fue entre el 8 de septiembre de 2014 y el 8 de septiembre de 2017, se deberá cumplir la norma D-2 antes del próximo reconocimiento de renovación que debe hacerse antes del 8 de septiembre de 2022.

Caso 2: Si el buque realizó el reconocimiento de renovación antes del 8 de septiembre de 2014, podrá esperar hasta el reconocimiento que tendrá lugar antes del 8 de septiembre de 2019.

En caso de que un buque no posea el reconocimiento IOPP deberá cumplir la norma D-2 en una fecha determinada por su estado de abanderamiento antes del 8 de septiembre de 2024. (11)

### 3.2. Legislación española

En España, el día 18 de enero de 2005 se firma el convenio internacional para el control y la gestión de agua de lastre y los sedimentos de los buques, 2004, hecho en Londres el 13 de febrero de 2004. Con autorización de las cortes generales prevista en el artículo 94.1 de la constitución (9).

Las obligaciones de carácter general recogidas en el artículo 2 del BOE número 282 del 22 de noviembre de 2016 expresan que:

1. Las partes se comprometen a prevenir, reducir y en último término, eliminar la transferencia de organismos y patógenos perjudiciales mediante el control y gestión del agua de lastre, haciendo plena y totalmente efectivas las disposiciones del convenio.
2. Salvo indicación expresa toda referencia al anexo en este convenio forma parte integrante del mismo, siendo el anexo parte integrante del presente convenio.
3. No se le impedirá a una parte, individualmente o en conjunto con otras partes, tomar acciones más restrictivas para la prevención, reducción o eliminación de la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos mediante el control y la gestión de las aguas de lastre y sedimentos.
4. Las partes se esforzarán por colaborar en la implantación, aplicación y cumplimiento efectivo del presente convenio
5. Las partes en la gestión del agua de lastre y las normas para prevenir, reducir, e incluso eliminar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos mediante la gestión del agua de lastre y sedimentos en los buques, se comprometen a fomentar el desarrollo continuo.
6. Las partes que estén de acuerdo con el convenio no podrán dañar ni deteriorar el medioambiente, la salud del de los seres humanos, los bienes o los recursos propios de otros estados.
7. Las partes deben garantizar que la propia gestión de agua de lastre y sedimentos no cause mayores daños que evitar desarrollar la propia gestión, evitando ejercer daños al medioambiente, la salud del de los seres humanos, los bienes o los recursos propios de otros estados
8. Las partes animarán a los buques con derecho a que eviten en la medida de lo posible la toma de agua de lastre y sedimentos allí donde puedan contener organismos perjudiciales o agentes patógenos aplicando el presente convenio y fomentando la implantación adecuada de las recomendaciones elaboradas por la Organización.
9. Las partes cooperarán bajo el ala de la Organización a fin de hacer frente a amenazas y riesgos contra la biodiversidad y los ecosistemas marinos.



#### 4. Sistemas de tratamiento de agua de lastre (BWTS)

Según lo relatado por la OMI la mejor manera de reducir la transferencia de microorganismos es sustituir el agua de lastre a más de 200 millas de la costa y esta técnica está sujeta a graves limitaciones de seguridad y aun con esta técnica no se eliminan los organismos de agua de lastre al 100%. Hay muchas técnicas para minimizar especies acuáticas invasoras, pero no hay ninguna técnica que por sí sola elimine todas las especies invasoras de los tanques de agua de lastre. Lo más efectivo es una combinación de diferentes métodos.

Desde la implantación del convenio BWM, muchas tecnologías de gestión de agua de lastre han sido testadas. En la tabla 2 se puede observar un listado de las actuales tecnologías aprobadas por la IMO (12)

*Tabla 2. Lista de sistemas de gestión de agua de lastre que hacen uso de sustancias activas que recibió la aprobación final de la IMO*

<b>Nombre del sistema y país</b>	<b>Nombre del fabricante</b>	<b>Tipo de tratamiento</b>	<b>Fecha de aprobación</b>
<i>PureBallast System, Norway</i>	<i>Alfa laval/wallenius wáter AB</i>	<i>Filtración + UV</i>	<i>13 julio 2007(MEPC56)</i>
<i>SEDNA® Ballast Water Management System (Using Peraclean® Ocean), Germany</i>	<i>Degussa GmbH</i>	<i>Hydrocyclone + Filtración + Biocida (Peraclean Ocean)</i>	<i>4 abril 2008 (MEPC 57)</i>
<i>Electro-Clean™ System, Republic of Korea</i>	<i>Techcross Ltd. and Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI)</i>	<i>Electrolisis + agente neutralizador (sodium thisulfate)</i>	<i>10 octubre 2008 (MEPC 58) 20 noviembre 2020 (MEPC 75)</i>
<i>OceanSaver® Ballast Water Management System, Norway</i>	<i>OceanSaver AS</i>	<i>Filtración + cavitación + Nitrógeno sobresaturado + electrólisis</i>	<i>10 octubre 2008 (MEPC 58)</i>
<i>NK-O3 BlueBallast System (Ozone), Republic of Korea (subsequently changed to NK-O3 BlueBallast II Plus)</i>	<i>NK Company Ltd.</i>	<i>Ozono</i>	<i>17 Julio 2009 (MEPC 59) 20 noviembre 2020 (MEPC 75)</i>
<i>Hitachi Ballast Water Purification System (ClearBallast), Japan</i>	<i>Hitachi, Ltd. /Hitachi Plant technologies, Ltd.</i>	<i>Coagulación + floculación + separador magnético + filtración</i>	<i>17 Julio 2009 (MEPC 59)</i>
<i>Greenship Sedinox Ballast Water Management System, the Netherlands</i>	<i>Greenship Ltd</i>	<i>Hydrocyclone + hipoclorito sódico</i>	<i>17 Julio 2009 (MEPC 59)</i>

<i>GloEn-Patrol™ Ballast Water Management System, Republic of Korea</i>	<i>Panasia Co., Ltd.</i>	<i>Filtración + UV</i>	<i>26 marzo 2010 (MEPC 60)</i>
<i>Resource Ballast Technologies System, South Africa</i>	<i>Resource Ballast Technologies (Pty) Ltd.</i>	<i>Filtración + cavitación + ozono + hipoclorito sódico</i>	<i>26 marzo 2010 (MEPC 60)</i>
<i>JFE BallastAce® Ballast Water Management System, Japan</i>	<i>JFE Engineering Corporation</i>	<i>Filtración + biocida (hipoclorito sódico) + cavitación + agente neutralizador (sulfito de sodio)</i>	<i>26 marzo 2010 (MEPC 60)</i>
<i>Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (HHI) Ballast Water Management System (EcoBallast), Republic of Korea</i>	<i>Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., Republic of Korea</i>	<i>Filtración + UV</i>	<i>26 marzo 2010 (MEPC 60)</i>
<i>Special Pipe Hybrid Ballast Water Management System combined with Ozone treatment version (SP-Hybrid BWMS Ozone version), Japan.</i>	<i>Mitsui Engineering &amp; Shipbuilding Co., Ltd.</i>	<i>Hydrodynamic shear+ cavitación + ozono</i>	<i>1 octubre 2010 (MEPC 61)</i>
<i>"ARA Ballast" Ballast Water Management System, Republic of Korea</i>	<i>21st Century Shipbuilding Co., Ltd.</i>	<i>Filtración + plasma + UV</i>	<i>1 octubre 2010 (MEPC 61)</i>
<i>BalClor Ballast Water Management System, China</i>	<i>Qingdao Sunrui Corrosion and Fouling Control Company</i>	<i>Filtración + electrochlorination + agente neutralizador (trisulfato de sodio)</i>	<i>1 octubre 2010 (MEPC 61)</i>
<i>OceanGuard™ Ballast Water Management System, Norway</i>	<i>Qingdao Headway Technology Co., Ltd</i>	<i>Filtración + electrolisis + ultrasonido</i>	<i>1 octubre 2010 (MEPC 61)</i>
<i>Ecochlor® Ballast Water Management System, Germany</i>	<i>Ecochlor Inc, Acton, the United States</i>	<i>Filtración + biocida (dióxido de cloro)</i>	<i>1 octubre 2010 (MEPC 61)</i>
<i>Severn Trent De Nora BalPure® Ballast Water Management System (subsequently changed to BalPure® BP-500, subsequently changed</i>	<i>Severn Trent De Nora (STDN), LLC (subsequently changed to De Nora Water Technologies (DNWT))</i>	<i>Filtración + Electrochlorination + Hydrocyclone + agente neutralizador (bisulfito de sodio)</i>	<i>1 octubre 2010 (MEPC 61)</i>

to BALPURE®), Germany			
Final Approval extended for use in fresh water, United Kingdom			20 noviembre 2020 (MEPC 75)
HiBallast™, Republic of Korea	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.	Filtración + electrolisis + agente neutralizador (tiosulfato de sodio)	15 Julio 2011 (MEPC 62)
Final Approval extended for use in fresh water			20 noviembre 2020 (MEPC 75)
Purimar™ Ballast Water Management System, Republic of Korea	Samsung Heavy Industries Co., Ltd	Filtración + electrolisis + agente neutralizador (tiosulfato de sodio)	15 Julio 2011 (MEPC 62)
Final Approval extended for use in fresh water			17 mayo 2019 (MEPC 74)
SiCURE™ Ballast Water Management System, Germany (subsequently changed to SeaCURE® BWMS)	Siemens Water Technologies (subsequently changed to Evoqua Water Technologies Ltd)	Filtración + electrochlorination	2 marzo 2012 (MEPC 63)  Revisado 20 noviembre 2020 (MEPC 75)
ERMA FIRST Ballast Water Management System (subsequently changed to ERMA FIRST BWTS), Greece	ERMA FIRST E.S.K. Engineering Solutions S.A.	Filtración + hydrocyclone+ electrolisis + agente neutralizador (bisulfito de sodio)	2 marzo 2012 (MEPC 63)
MICROFADE™ Ballast Water Management System, Japan	Kuraray Co., Ltd.	filtración + biocida (hipoclorito de calcio) + agente neutralizante (sulfito de sodio)	2 marzo 2012 (MEPC 63)
AquaStar™ Ballast Water Management, Republic of Korea (subsequently changed to AquaStar™ BWMS and MACGREGOR WATER BALLAST TREATMENT SYSTEM)	AQUA Eng. Co.	filtración + electrolisis + neutralizador (tiosulfato de sodio)	2 marzo 2012 (MEPC 63)
Neo-Purimar™ Ballast Water Management System, Republic of Korea	Samsung Heavy Industries Co., Ltd. (SHI)	filtración + electrolisis + neutralización (tiosulfato de sodio)	2 marzo 2012 (MEPC 63)
JFE BallastAce that makes use of NEO- CHLOR MARINE ®, Japan	JFE Engineering Corporation	filtración + biocida (sodium dichloroisocyanerate dihydrate (NaCyCl2)) +	5 octubre 2012 (MEPC 64)  Revisado 26 noviembre 2021 (MEPC 77)

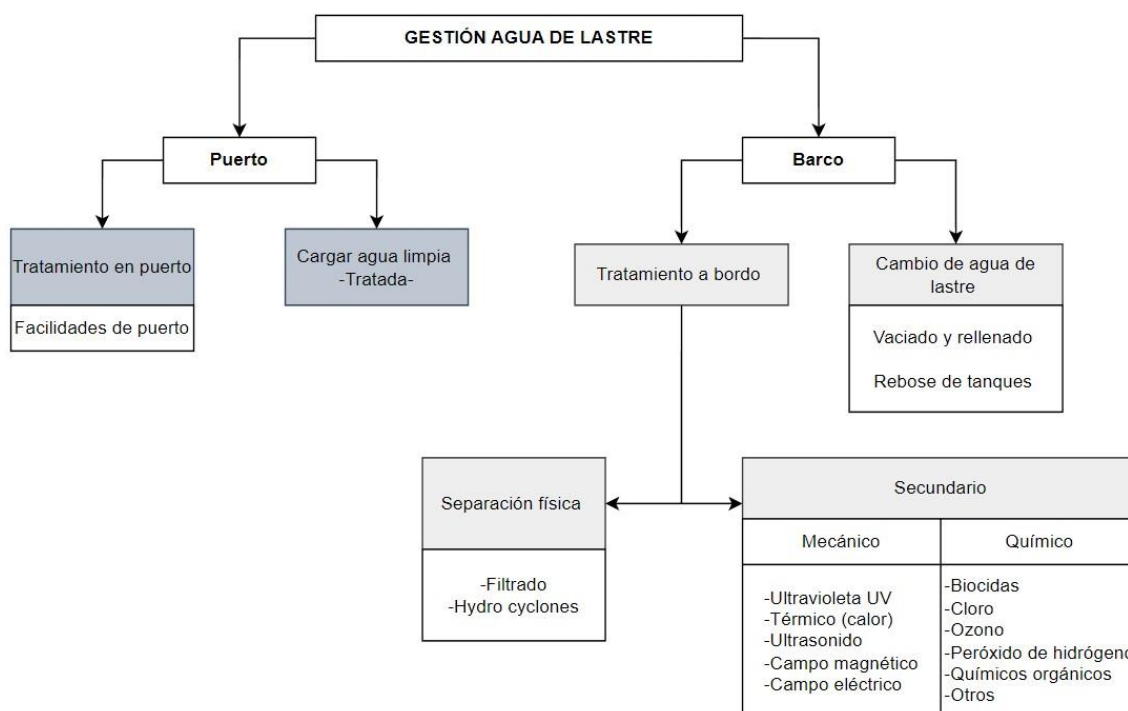
		<i>cavitación + agente neutralizador (sulfito de sodio)</i>	
<i>Smart Ballast BWMS, Republic of Korea</i>	<i>STX Metal Co., Ltd.</i>	<i>electrolisis + neutralización (tiosulfato de sodio)</i>	<i>5 octubre 2012 (MEPC 64)</i>
<i>AQUARIUS® EC Ballast Water Management System, the Netherlands (subsequently changed to Wärtsilä Aquarius EC BWMS)</i>	<i>Wärtsilä Water Systems Limited</i>	<i>filtración + electrolisis + neutralización (hipoclorito sódico)</i>	<i>17 mayo 2013 (MEPC 65)</i>
<i>EcoGuardian™ Ballast Water Management System, Republic of Korea</i>	<i>Hanla IMS Co., Ltd</i>	<i>Filtración + electrochlorination + neutralización (hipoclorito sódico)</i>	<i>17 mayo 2013 (MEPC 65)</i>
<i>Final Approval extended for use in fresh wáter</i>			<i>20 noviembre 2020 (MEPC 75)</i>
<i>OceanDoctor BWMS, China</i>	<i>Jiujiang Precision Measuring Technology Research Institute and Institute of Marine Materials Science and Engineering of Shanghai Maritime University</i>	<i>Filtración + - Advanced Electro-catalysis Oxidation Process (AEOP)</i>	<i>17 mayo 2013 (MEPC 65)</i>
<i>Ballast Water Management System with PERACLEAN® OCEAN (SKY-SYSTEM), Japan</i>	<i>Nippon Yuka Kogyo Co., and Katayama Chemical, Inc.</i>	<i>biocida (Peraclean Ocean) + neutralización (sulfito sódico)</i>	<i>4 april 2014 (MEPC 66)</i>
<i>Evonik Ballast Water Treatment System with PERACLEAN® OCEAN, Germany</i>	<i>Evonik Industries AG</i>	<i>Filtración + biocida (Peraclean Ocean) + neutralizador (sulfito sódico)</i>	<i>4 april 2014 (MEPC 66)</i>
<i>MARINOMATE™ Ballast Water Management System, Republic of Korea</i>	<i>KT Marine Co. Ltd.</i>	<i>Hydrodynamic shear + cavitación + electrolisis</i>	<i>17 octubre 2014 (MEPC 67)</i>
<i>BlueZone™ Ballast Water Management System, Republic of Korea</i>	<i>SUNBO Industries Co. Ltd.</i>	<i>Ozono</i>	<i>17 octubre 2014 (MEPC 67)</i>
<i>KURITA Ballast Water Management System, Japan</i>	<i>Kurita Water Industries Ltd.</i>	<i>Biocida (hipoclorito sódico) + agente neutralizador (sulfito sódico)</i>	<i>17 octubre 2014 (MEPC 67)</i>

<i>Ecomarine-EC Ballast Water Management System, Japan</i>	<i>Ecomarine Technology Research Association</i>	<i>Filtración + UV</i>	<i>15 mayo 2015 (MEPC 68)</i>
<i>ECS-HYCHLOR™ System, Republic of Korea</i>	<i>TEHCROSS Inc.</i>	<i>Filtración + electrolisis + biocida (hipoclorito sódico)</i>	<i>22 abril 2016 (MEPC 69)</i>
<i>NK-CI BlueBallast System, Republic of Korea</i>	<i>NK Company Ltd.</i>	<i>sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) + neutralizador (tiosulfato de sodio)</i>	<i>22 abril 2016 (MEPC 69)</i>
<i>ATPS-BLUEsys Ballast Water Management System, Japan</i>	<i>Panasonic Environmental Systems &amp; Engineering Co., Ltd.</i>	<i>Electrolisis + neutralizador</i>	<i>22 abril 2016 (MEPC 69)</i>
<i>ECS-HYCHEM™ System, Republic of Korea</i>	<i>TEHCROSS Inc</i>	<i>inyección química</i>	<i>28 octubre 2016 (MEPC 70)</i>
<i>ECS-HYBRID™ System, Republic of Korea</i>	<i>TEHCROSS Inc</i>	<i>Múltiples sistemas de desinfección</i>	<i>7 julio 2017 (MEPC 71)</i>
<i>Envirocleanse inTank™ BWTS (Electrochlorination Variation), Norway (subsequently changed to inTank BWTS Electrochlorination (EC) variation)</i>	<i>Envirocleanse, LLC. (ownership subsequently transferred to Scienco/FAST)</i>	<i>Electrochlorination (directo en los tanques) + neutralizador</i>	<i>26 octubre 2018 (MEPC 73)</i>
<i>Envirocleanse inTank™ BWTS (Bulk Chemical Variation), Norway (subsequently changed to inTank BWTS Bulk Chemical (BC) variation)</i>	<i>Envirocleanse, LLC (ownership subsequently transferred to Scienco/FAST)</i>	<i>Electrochlorination (directo en los tanques)</i>	<i>17 mayo 2019 (MEPC 74)</i>
<i>Envirocleanse inTank™ BWTS (Bulk Chemical Variation), Norway (subsequently changed to inTank BWTS Bulk Chemical (BC) variation)</i>	<i>Envirocleanse, LLC (ownership subsequently transferred to Scienco/FAST)</i>	<i>Biocida (hipoclorito sódico (directo en los tanques))</i>	<i>17 May 2019 (MEPC 74)</i>
<i>MICROFADE II, Japan</i>	<i>Kuraray Co., Ltd.</i>	<i>Filtración + neutralizador</i>	<i>17 mayo 2019 (MEPC 74)</i>
<i>CleanBallast® – Ocean Barrier System, Norway</i>	<i>Veolia Water Technologies Deutschland GmbH</i>	<i>Filtración + Electrochlorination</i>	<i>20 noviembre 2020 (MEPC 75)</i>

Elaboración propia. Fuente: (13)

De toda esta lista se puede hacer un esquema para ver los diferentes métodos que existen para la gestión del agua de lastre.

Figura 3. Gestión de agua de lastre.



Fuente: (14)

A continuación, se hará un pequeño resumen de la gestión de agua lastre, describiendo punto por punto de que se trata cada elemento de la figura 3.

#### 4.1. Cambio de agua de lastre

Hay dos tipos principales en el cambio de agua de lastre, el vaciado y rellenado de tanques o el rebose de los tanques de agua de lastre, ambos con agua de mar abierto. Deberá haber una modificación en los sistemas de tuberías de lastrado de tanques, siendo un factor crucial para la eficacia de los métodos. Las estructuras de los tanques de lastre también factor que afecta la eficacia de los métodos en los diseños actuales incluyen soportes estructurales, esquinas extrañas que atrapan organismos dentro de los tanques de agua de lastre, esto

podrá cambiarse cambiando dichas estructuras o introduciendo un sistema de bombeo para vaciar completamente esas partes.

En el sistema de Vaciado y rellenado de agua de los tanques de agua de lastre requiere que se vacíen completamente y se vuelvan a rellenar durante el viaje que se vaya a realizar utilizando el sistema de bombeo del sistema de agua de lastre del propio buque. La OMI recomienda que el agua de lastre de los tanques se descargue hasta perder por completo la succión. Este sistema puede afectar a la estabilidad o al asiento del buque. En términos de eficacia, este método tiende a dejar parte de sedimentos y organismos en el fondo, ya que no podrían ser removidos del todo, haciendo poco efectivo este método, además de que al deslastrar y volver a lastrar resulte en la suspensión de sedimentos y organismos.

Sistema de Rebose de tanques se trata de un método por el cual se va metiendo agua en los tanques de lastres sustituyendo la de puerto dejando que esté rebose. Este método requiere de unos sistemas separados de toma de agua de mar y salida de agua de mar. El agua se introduce al tanque por el sistema de bombeo de agua de mar y la salida será por ventiladores o manholes en la cubierta del buque. La OMI recomienda que deberás cambiar como mínimo el volumen del tanque 3 veces, esto en teoría hace que el 95% del agua de lastre inicial sea renovada.

## **4.2. Tratamiento a bordo**

Para conseguir una gestión de agua de lastre según lo especificado en la regla D-2 del convenio BWM es necesario hacer uso de diferentes métodos de tratamiento de agua de lastre, pero casi la gran mayoría empiezan con un tratamiento previo o filtrado.

### **4.2.1. Separación física**

Los filtros son la opción más económica para acabar con la gran mayoría de especies, sedimentos y microorganismos, encargándose de todo aquello que no supere o iguale los 50  $\mu\text{m}$ . La salinidad, la temperatura, la turbidez, los elementos orgánicos y otras variables pueden alterar el proceso de filtración (15). Existen diversos tipos de filtros como:

- Filtros de pantalla que pueden ser fijas o móviles, una campana metálica agujereada para dejar fluir el agua, pero retener las partículas de mayor tamaño, al no usar ningún tipo de químico son amigables con el medio ambiente y aunque son bastante eficaces separando las partículas de mayor tamaño no son suficientes para los estándares puestos por la OMI con lo que se necesitara otro sistema de tratamiento aparte del filtrado (16).

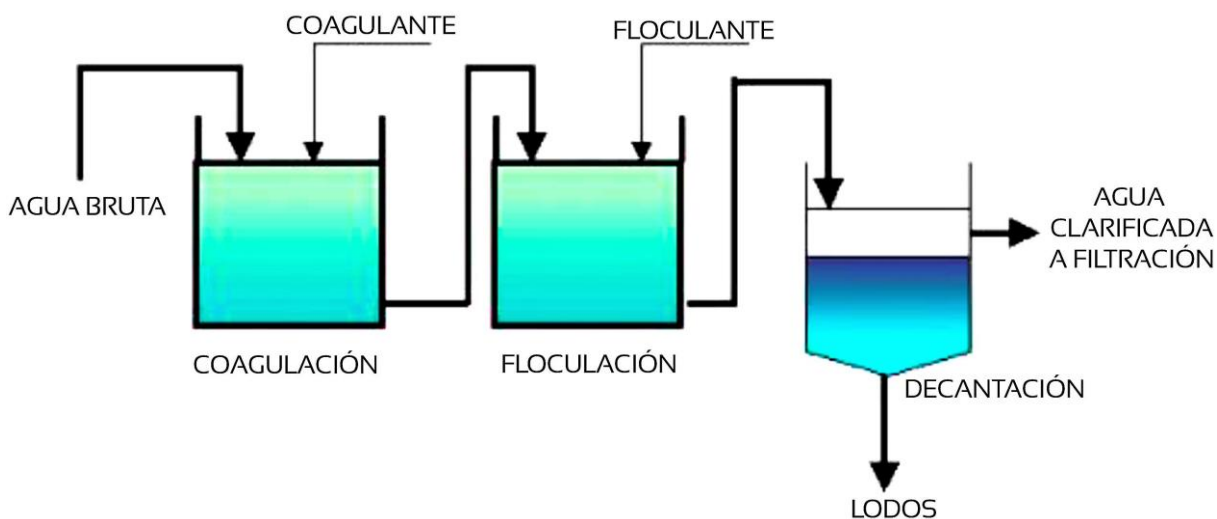
Figura 4. Filtro pantalla



Fuente: (17)

- Coagulación es un método por el cual añadiendo químicos al agua hace que las partículas más pequeñas que no puede atrapar un filtro normal se junten creando partículas más grandes, por lo tanto, se usara antes del proceso de filtración para aumentar su eficacia. La floculación es el mismo proceso que la coagulación, ahora une las partículas coaguladas haciéndolas más grandes, llamándose estas partículas microfloculos. Algunos tratamientos que usan este método de coagulación/floculación necesitan de un tanque adicional o utilizar unos filtros más gruesos, con lo que esto requiere de un mayor espacio a bordo de los buques. (18)

Figura 5. Coagulación/floculación



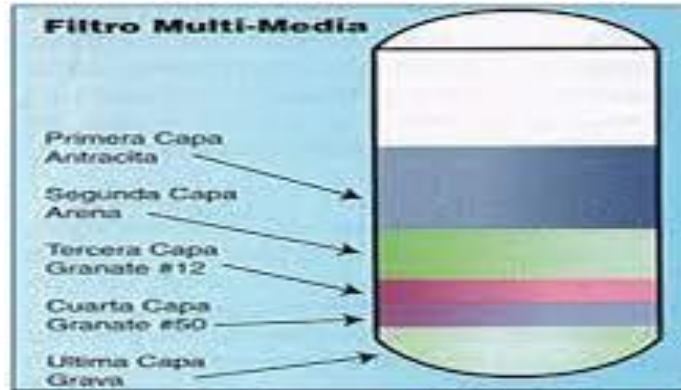
Fuente: (18)

- Filtros multimedia son filtros que usan materiales filtrantes comunes como pueden ser la antracita, el carbón granulado, arena de cuarzo u otros



materiales filtrantes. Se ha descubierto que los filtros de medios compresibles (crumb rubber) son más adecuados para su uso a bordo debido a su tamaño compacto y menor densidad en comparación con los otros sistemas de filtración granular convencionales.

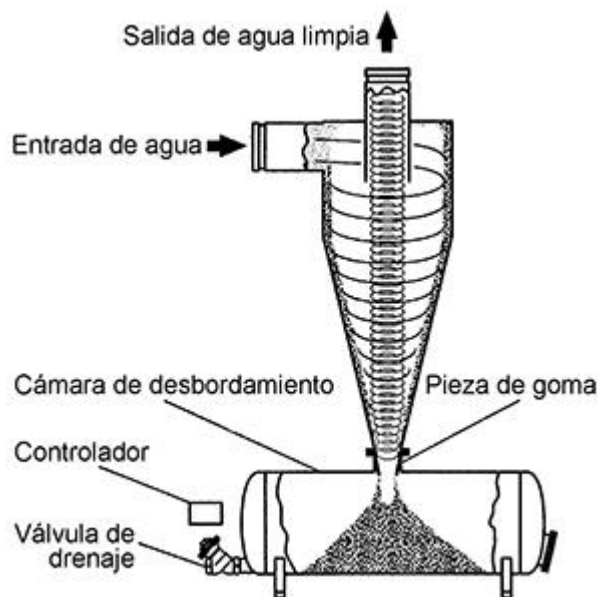
Figura 6. Filtro multimedia



Fuente: (19)

- Filtro hidrociclón o Hydrocyclone son filtros que usan la fuerza centrífuga para separar las partículas más pesadas del agua debido a que cuando se le aplica a un fluido una fuerza centrífuga hace que los elementos de mayor densidad se desplacen hacia las paredes del mismo haciendo posible así su separación física. Son filtros de fácil instalación y mantenimiento, con lo que lo hacen un buen recurso para los barcos, aunque no son buenos separando las partículas y organismos más pequeños del agua.

Figura 7. Filtro hidrociclón



Fuente: (20)

#### **4.2.2. Tratamientos secundarios**

Como se puede ver en la Figura 1 se pueden diferenciar dos tipos de tratamientos secundarios, los mecánicos y los químicos. Los tratamientos mecánicos son aquellos que utilizan algún tipo de mecanismo para tratar el agua de lastre, en cambio, los químicos son aquellos que tratan el agua agregando algún tipo de producto químico.

##### **a. Tratamientos químicos**

El tratamiento con estas sustancias debe de tener en cuenta que pueden interferir con el propio buque contra la salud humana, contra el medio ambiente o la vida marina. Los tratamientos químicos tienen facilidad de aplicación, ya que se pueden aplicar por bombas de inyección de productos químicos y hacerlo de manera secuencial, llevando el control solo de la cantidad de productos químicos, aparte de tener un escaso mantenimiento. Se debe tener en cuenta que estos productos químicos pueden producir efectos corrosivos sobre los materiales de la instalación, no siendo visibles estos al instante y pudiendo producir fugas de productos químicos con el peligro que esto conlleva, con el tiempo estos productos pueden generar otros subproductos peligrosos para el buque, la salud humana, o para el medioambiente.

- **Biocidas**

Son sustancias o mezclas de ellas que generan otras sustancias activas con el fin de eliminar contrarrestar o mantener un control sobre organismos nocivos. Hay dos tipos de biocidas, los Oxidantes y lo no Oxidantes, también hay algunos agentes biológicos naturales que actúan como biocidas.

Biocidas oxidantes: funciona destruyendo la membrana de las células matándolas en el proceso. Son biocidas que actúan realmente rápido.

Biocidas no oxidantes: Funcionan interfiriendo directamente en las funciones vitales como el metabolismo o la reproducción. Estos productos tardan un tiempo en degradarse en productos no tóxicos para el medio ambiente, con lo que no son factibles en trayectos cortos, ya que pueden ser un peligro en la descarga de agua de lastre.

- **Cloro**

El cloro es un agente oxidante muy efectivo, pero el cloro en estado gaseoso es muy peligroso de usar, con lo que se suele usar junto con otros elementos para rebajar esta toxicidad y no perder la función oxidante del mismo, se puede mezclar con el calcio o el sodio.

Hipoclorito sódico (NaClO): Cuando se libera hipoclorito sódico en el agua se produce ácido hipocloroso creando una reacción de oxidación que termina con patógenos, virus y protozoos, evitando que puedan reproducirse o representar un riesgo para la salud.  $\text{Na}^+ \text{OCl}^- + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ \text{OCl}^- + \text{Na}^+ \text{OH}^-$  el hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) es el ion desinfectante en el compuesto. (21)

Dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ): El dióxido de cloro es un gas de color amarillo o amarillo rojizo que se descompone rápidamente en el aire. Es un compuesto altamente usado para la desinfección de agua para uso público por su menor toxicidad en subproductos. En muchas circunstancias es un agente desinfectante mejor que el cloro libre. Es un agente oxidante con una gran aptitud antimicrobiana en un gran rango de pH. Debido a que el dióxido de cloro no puede almacenarse como un gas porque a concentraciones mayores al 10% o bajo presión existe el riesgo de explosión. Si se almacena durante periodos largos, se descompone en subproductos, con lo que se almacena en concentraciones del 0.3% (3 g / L) y se mantienen alejado de la luz y calor. La solución es generarlo in situ utilizando métodos que lo hacen sin una etapa gaseosa. (22)

- Ozono

La química del ozono es diferente en agua salada que en agua dulce debido a que el agua salada contiene muchas más cantidades de cationes y aniones disueltos que el agua dulce. El agua salada tiene mayor concentración de bromuro y cloruro que el agua dulce y el bromuro es un ion clave en el proceso de ozonización, ya que es un gran reactivo del ozono produciendo bromo oxidante, un compuesto con menor potencial oxidante, pero más estable que el ozono. La química del ozono en agua salada se puede ver afectado por varios factores como la temperatura, la cantidad inicial de ozono, la salinidad o el pH. Los subproductos generados por la ozonización del agua de mar siguen siendo tóxicos en recipientes cerrados y oscuros por al menos 4 días, estos agentes oxidantes residuales se van perdiendo lentamente en periodos largos. Esto puede tener implicaciones prácticas en los sistemas de tratamiento de agua de lastre en aguas de lastre. (23)

- Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

El peróxido de hidrógeno más conocido como agua oxigenada, es un producto incoloro. El peróxido se descompone rápidamente en oxígeno y agua con una reacción exotérmica. Es un agente altamente oxidante, aunque puede causar combustión espontánea cuando se combina con materia orgánica. Sus ventajas incluyen su potente actividad antimicrobiana de amplio espectro, flexibilidad de uso y perfil de seguridad en comparación con otros microbiocidas. Se ha demostrado que el peróxido de hidrógeno es efectivo contra todas las formas de microorganismos. Tiene ventajas con su toxicidad y perfil ambiental. El

mecanismo de desinfección del peróxido de hidrógeno se basa en la liberación de radicales libres de oxígeno  $H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2$ .

### **b. Tratamientos mecánicos**

Es el tratamiento del agua de lastre donde esté involucrado cualquier tipo de agente físico como puede ser la luz, el sonido, la electricidad o el magnetismo, para la contención o eliminación completa o parcial de microorganismos presentes en el agua. Son tratamientos que no añaden ningún tipo de sustancia, con lo que no se altera la composición del agua en su proceso. Este tratamiento suele venir acompañado de otros para mejorar su eficiencia.

- **Ultrasonido**

El tratamiento por ultrasonido es un tratamiento mecánico/físico donde no se necesitan productos químicos para la desinfección del agua de lastre, con lo que no tendrá problemas de contaminación o toxicidad en el agua. Es un sistema que utiliza ondas ultrasónicas de alta potencia para generar cavitación dentro del fluido matando así a los pequeños microorganismos del mismo. Al usar ondas de ultrasonido en un líquido se crearán en este una alteración entre altas y bajas presiones en el fluido. En la fase de baja presión se irán creando burbujas de vacío y en cuanto estas burbujas alcanzan un volumen donde no pueden absorber más energía colapsan violentamente dando lugar al ciclo de alta presión proceso de compresión. Durante este proceso se llegan a alcanzar localmente temperaturas y presiones muy altas. Este proceso altamente energético desestabiliza la estructura molecular de los organismos eliminándolos de forma efectiva. (24)

El ultrasonido es un método que no produce problemas medioambientales y que tiene bajo mantenimiento, haciéndolo un método seguro y fiable.

- **Térmico (calor)**

La gran mayoría de organismos vivos en el agua de lastre, morirán a una cierta temperatura, como por ejemplo la mayoría de fitoplancton, incluidas diatomeas, morirán a una temperatura próxima a 35 °C y cuando la incrementas hasta los 80 °C morirán la gran mayoría de fitoplancton y zooplancton.

Este sistema puede aprovechar el calor residual del motor principal o de generadores de calor como calderas de los buques para la eliminación de organismos en el agua, calentando directamente los tanques de agua de lastre o calentando el sistema de tuberías de agua de lastre. En algunos casos se deberá tener un equipo extra que genere calor en momentos específicos como cuando el motor principal esté apagado y sea necesario un aporte extra de calor para el tratamiento de agua de lastre.

Este sistema tiene unas ventajas que al no usar productos químicos ni generar subproductos del agua de lastre no tiene problemas medioambientales, pero tiene una gran desventaja que es que la producción de calor tiene un alto consumo energético, además de que el calor en un sistema puede aumentar los efectos del óxido en el sistema. (15)

- **Electrólisis**

En el sistema de tratamiento de agua de lastre por electrólisis es la utilización de un sistema de ánodo cátodo en el cual se aprovecha el cloruro sódico (NaCl) presente en el agua marina para formar cloro en ánodo e hidróxido de sodio en el cátodo. Estos productos se recombinan formando hipoclorito sódico (NaOCl) que se disocia creando ácido hipocloroso que actúa como desinfectante.

El sistema tiene una celda electrolítica donde tienen lugar las reacciones, está compuesta por un ánodo (+) y un cátodo (-), estos se sumergen en agua salada y pasa una corriente eléctrica entre las placas del ánodo, el cátodo y el agua salada que actúa como conductor.

- **Electro-ionización de separación magnética**

Se introduce un flujo continuo de gas ionizado que contiene oxígeno y nitrógeno en el flujo de agua, a continuación, se hace pasar por fuertes campos UV y magnéticos que crean iones de oxígeno y nitrógeno, agentes que coagulan con los contaminantes al añadirlos en agua de lastre creando partículas grandes que son filtradas por separación magnética.

## IV. Material y método

### 1. Material

En este apartado se describirá el buque modelo “Andalucía Express” y el esquema del sistema de tratamiento de agua de lastre.

#### 1.1. Buque modelo

El buque modelo es el buque “Andalucía Express” un buque que lleva carga rodada y contenedores entre las Islas Canarias y Andalucía (Sevilla) en donde se ha empezado el estudio de los sistemas de agua de lastre.

*Tabla 3. Características del buque Andalucía Express.*

BUQUE	ANDALUCÍA EXPRESS
Manager	Bernhard Schulte Canarias, S.A.U.
Tipo	RO-RO Container (CON-RO)
Bandera	Española
Astillero	Fujian Mawei Shipbuilding Ltd.
Fecha de construcción	15.05.2007
Sociedad de clasificación	Germanisher Lloyd, 111434
Call Sing	ECKZ
IMO N°	9331206
M.M.S. I	2225302000
Eslora	145m
Manga	22m
Calado de verano, cv	6,014m
Arqueo bruto, gt	11,197 tons
Desplazamiento máximo	12,658 tons
Peso muerto	7,238tons
Motor principal, MP	Mak 12 VM 32C 6000KW

Motores auxiliares MMAA	D 2842 LE 596KW
Hélice transversal proa	800KW
Hélice transversal popa	600KW
Sistema de tratamiento de agua de lastre	PureBallast 3.2 500 Compact Flex

Elaboración propia. Fuente: (25)

A continuación, se expresarán todos los tanques de lastre del buque Andalucía Express.

Tabla 4. Tanques de lastre Andalucía Express

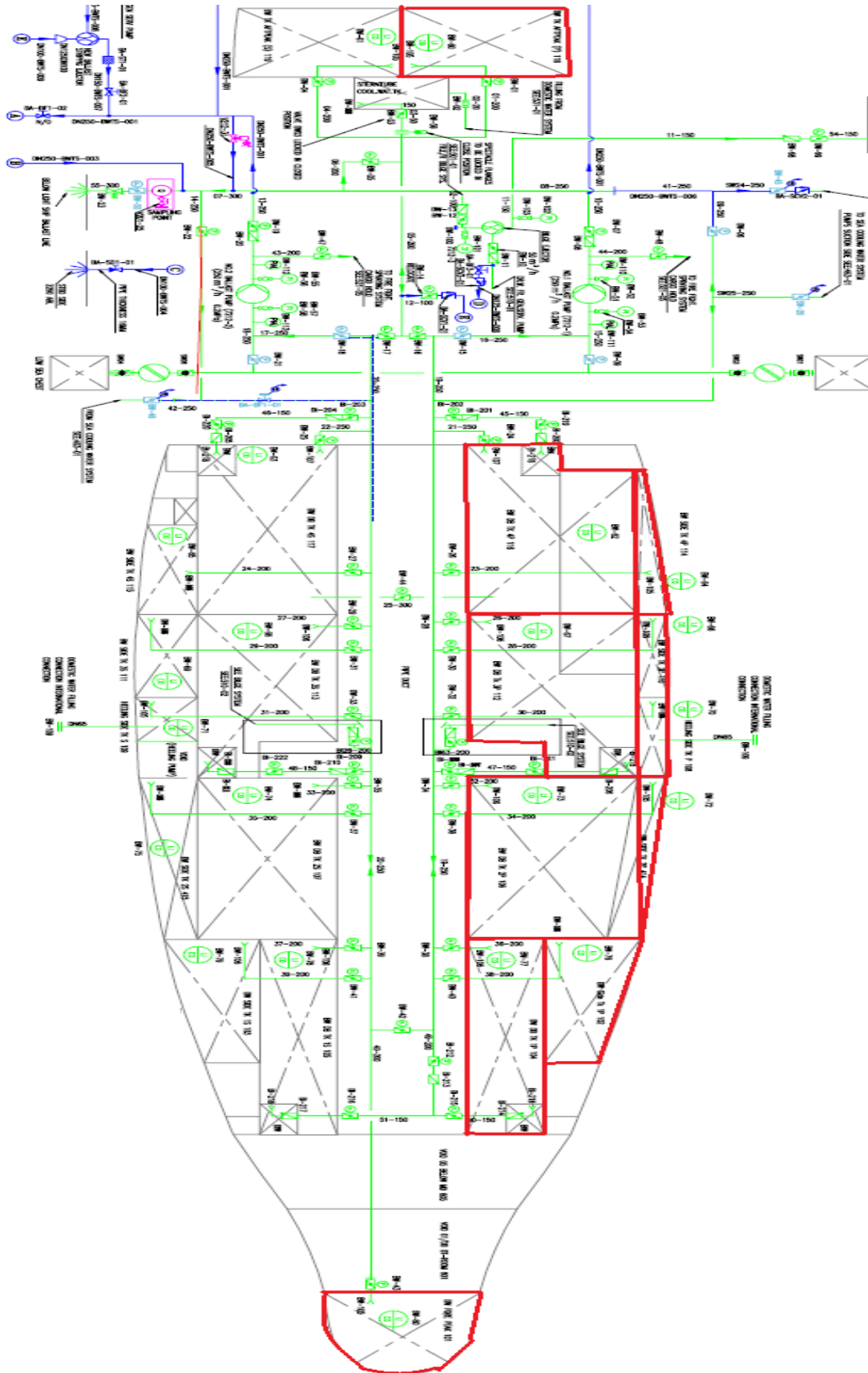
	Babor	Estribor
Nombre tanque de lastre	BW TK AFTPEAK (P) 118	BW TK AFTPEAK (S) 119
	BW SIDE TK 4P 114	BW SIDE TK 4S 115
	BW DB TK 4P 116	BW DB TK 4S 117
	BW SIDE TK 3P 112	BW SIDE TK 3S 113
	BW SIDE TK 3P 110	BW SIDE TK 3S 111
	HELLING SIDE TK P 108	HELLING SIDE TK S 109
	BW SIDE TK 2P 414	BW SIDE TK 2S 415
	BW DB TK 2P 106	BW DB TK 2S 107
	BW SIDE TK 1P 102	BW SIDE TK 1S 103
	BW SIDE TK 1P 104	BW SIDE TK 1S 105
	BW FORE PEAK 101	

\*P=Port (Babor) / S=Starboard (Estribor) / Aftpeak=Popa / Forepeak=Proa / Side=Lado

Elaboración propia. Fuente: (26)

Para que quede más claro se añadirá un plano de los tanques de lastre en el Andalucía Express, señalado en rojo los tanques del lado de babor ya que todos los tanques son simétricos están igual en babor que en estribor.

Figura 8. Plano tanque de lastre Andalucía Express



Fuente: (27)



## 1.2. Elementos del sistema de tratamiento por luz UV PureBallast 3.2

En el buque recién mencionado se instaló el sistema PureBallast 3.2 que comentaremos más adelante en la sección de resultados, pero se hará una pequeña introducción de sus especificaciones técnicas de los componentes principales, que son:

La calidad del agua debe cumplir unos parámetros de vital importancia:

- El tamaño máximo de las partículas será de 50µm
- La dureza deberá estar entre 0 – 20ºdH.  
Habrá que tener cuidado con la dureza del agua ya que producirá incrustaciones en las fundas de cristal de cuarzo de las lámparas
- La cantidad máxima de cloruros 170ppm NaCl (equivalente a 100mg cloro/litro)
- pH>6
- Máxima temperatura 0-60ºC

El líquido CIP deberá presentar estas características:

- Apariencia líquida
- Color amarillo flojo
- Deberá ser soluble en agua
- Densidad 1110 Kg/m<sup>3</sup>a 20ºC
- Reactivo a sustancias alcalinas
- Deberá ser monohidrato de ácido cítrico
- pH de 1 a 20ºC
- su disolución será 1:20 (1 líquido CIP: 20 Agua dulce)
- pH de la disolución 2.1 a 20ºC

El reactor UV tendrá estas especificaciones:

- Caudal máximo certificado: 600m<sup>3</sup>/h
- Presión máxima de trabajo 6 bar, 9bar
- Material de las piezas húmedas EN 1.4547 acero al cromo-níquel martensítico endurecible inoxidable y EN 1.4529 acero inoxidable súper austenítico de níquel-cromo-molibdeno-cobre
- Las juntas son de NBR caucho de nitrilo y EPDM caucho de polietileno
- Protección IP 55, protección de equipos eléctricos contra polvo y chorros de agua
- La carcasa exterior es de acero inoxidable.
- Las piezas del bastidor son de acero dulce recubiertas de epoxi

- Peso aproximado 400kg
- Volumen 100L

El filtro tendrá estas especificaciones técnicas:

- Capacidad máxima de  $515m^3/h$
- Presión de trabajo 0.5bar – 10bar
- Presión de trabajo de aire 5.5bar – 8bar
- Carcaza del filtro de aluminio y bronce
- Volumen aproximado 146L
- Peso aproximado seco 664 Kg y cuando está en funcionamiento el sistema 810 Kg

El modulo de limpieza CIP tiene estas especificaciones:

- Tuberías y válvulas son de polipropileno reforzado
- La bomba tiene una capacidad de 100 L/s
- Presión de aire de servicio 5.5bar – 8bar
- El tanque es de polietileno
- Volumen de 15L
- Pesa 63 Kg seco y 75 incluyendo el liquido CIP 15L

## **2. Metodología**

### **2.1. Documentación bibliográfica**

En este apartado se hace referencia a todos los documentos estudiados tanto como libros, publicaciones de la OMI, Marpol, diferentes páginas web, documentos, planos, manuales, artículos de revistas y demás documentos que se han utilizado para la elaboración de este trabajo que va totalmente referenciado en el apartado bibliográfico del trabajo.

### **2.2. Metodología de trabajo**

La elaboración de este trabajo ha consistido en el descubrimiento en las prácticas profesionales del autor como alumno de máquinas el sistema de tratamiento por luz UV aplicado en el buque “Andalucía Express” y el posterior estudio de los demás sistemas existentes y su legislación pertinente además de la preocupación medioambiental debido a la contaminación por microorganismos.

Se ha elaborado un trabajo con el fin de estudiar en profundidad el sistema por luz UV y expresarlo para que el lector pueda llegar a conocerlo y entenderlo.

### **2.3. Marco referencial**

El marco referencial del trabajo es el sistema de tratamiento de agua de lastre existente en el buque “Andalucía Express” donde el autor realizó sus prácticas profesionales y le dio pie a la investigación de los diferentes métodos de tratamiento y la legislación pertinente, además del estudio del propio sistema de agua de lastre por luz UV.

## V. Resultados

En este apartado se explicará la luz UV y el sistema de tratamiento de agua de lastre PureBallast 3.2 instalado en el buque Andalucía Express, así como sus elementos y sus posibles maniobras.

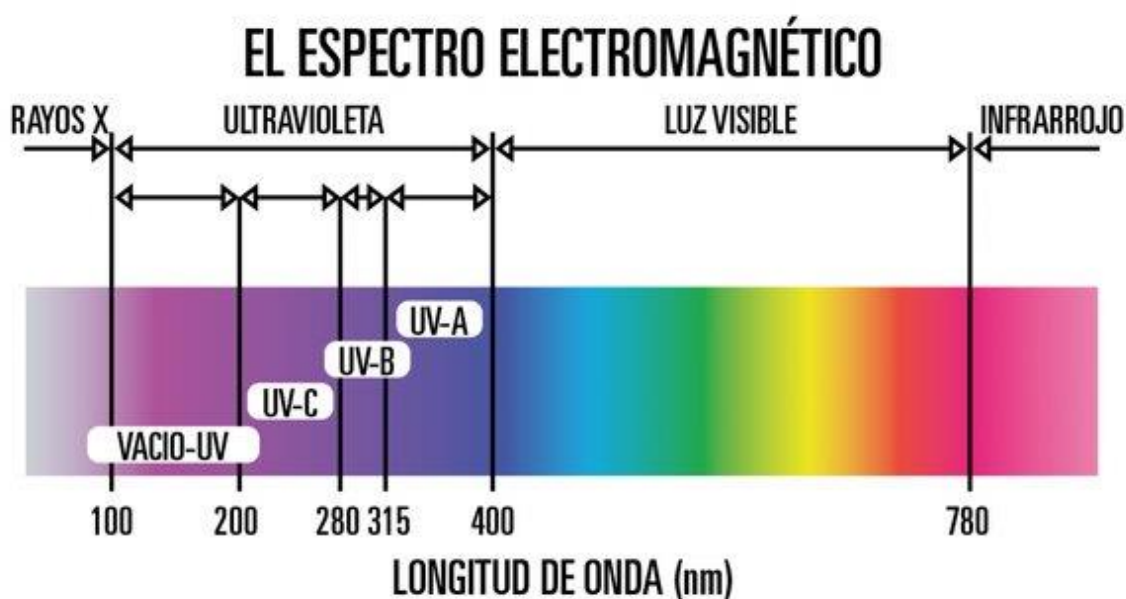
### 1. Tratamiento por luz UV

La luz UV es comúnmente usada como desinfectante, ya que degrada el material genético y estructura molecular de los microorganismos evitando que puedan ser infecciosos. La luz UV es utilizada para desinfectar agua, aire e incluso superficies, aunque la longitud de onda con mayor potencial desinfectante es también dañina para el ser humano.

#### 1.1. Luz UV

La luz es ampliamente conocido que tiene lo conocido como dualidad onda-partícula, ya que se puede tratar como ambos. Como partícula se le llama fotón, que es una partícula sin masa que transporta energía lumínica a la velocidad de la luz. Como onda, la energía es irradiada mediante oscilaciones del campo electromagnético. Dentro del espectro electromagnético, la luz UV se sitúa en el lado de las ondas cortas en un rango de 100 y 400 nm. A su vez se divide en cuatro UV-A (315 nm – 400 nm), UV-B (280 nm – 315 nm), UV-C (200 nm – 280 nm), UV de vacío (100 nm – 200 nm) (28)

Figura 9. Espectro electromagnético de la luz UV



Fuente: (29)

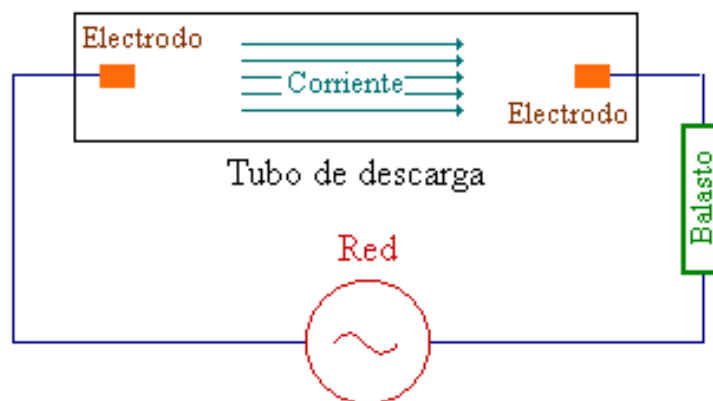
La energía transportada por la luz es inversamente proporcional a su longitud de onda de esta, con lo que se entiende que a menor longitud de onda mayor energía es por esto por lo que el UV-C es más dañino que la UV-A siendo la primera el rango del espectro electromagnético usado para la desinfección. El rango óptimo para la desinfección está en los 265 nm con lo que todos los sistemas de desinfección usaran equipos que rondan este valor.

## 1.2. Fuentes de luz UV

La luz UV se puede producir de manera natural o de manera artificial y como toda luz del espectro electromagnético es producido de manera natural por el Sol, aunque una parte puede llegar a la superficie terrestre y otra se queda en la atmósfera. Debido a que la atmósfera absorbe la radiación de más alta energía, casi nada de UV-C llega a la superficie terrestre, además que el espectro de radiación de luz solar varía según el punto geográfico de la tierra.

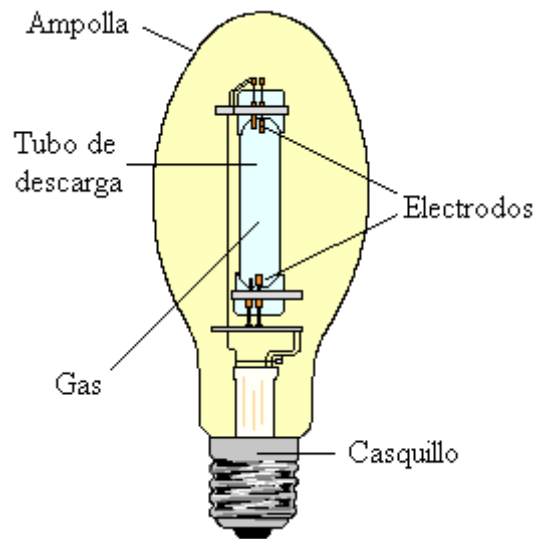
La luz artificial UV es producida por lámparas de descarga, así como emisores de luz LED, aparte de que puede ser producida de forma no intencional en algunos procesos que crean arco eléctrico como la soldadura. Las lámparas de descarga contienen una mezcla de gas en el interior de un contenedor de vidrio, normalmente un tubo es entonces cuando si le añadimos un voltaje correcto a los electrodos de dentro de la lámpara este gas se vuelve un conductor(plasma). Al añadirle energía los electrones comienzan a moverse por el plasma excitando a los átomos de éste, esto hace que los electrones suban a un estado energético mayor, cuando estos vuelven a un estado energético base decayendo se crea el fotón de UV. El espectro de luz emitida por estos dependerá de los elementos del gas, siendo los más comunes: vapor de mercurio, de haluro metálico, de xenón (UV pulsado). También se encuentran las lámparas de excimer y de exiplex y las lámparas de deuterio (29)

Figura 10. Esquema lámpara de descarga



Fuente: (29)

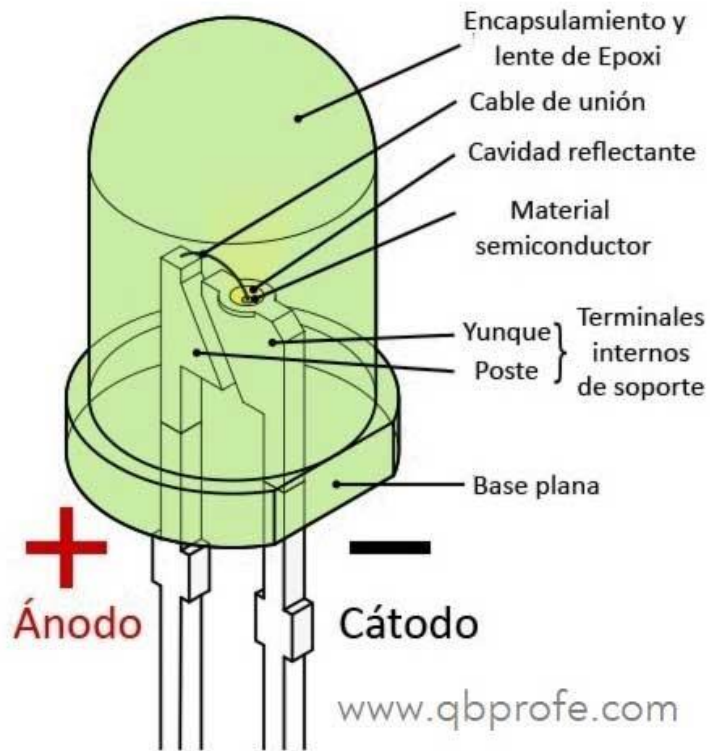
Figura 11. Lámpara de descarga.



Fuente: (29)

Los diodos emisores de luz UV o LED UV (Light emitting diode) son un dispositivo con un semiconductor y dos terminales P-N uniéndose el material de tipo n con el material de tipo p provoca un exceso de electrones en el material de tipo n que se difunden hacia el lado de tipo p y el exceso de huecos a partir del material de tipo p se difunden hacia el lado de tipo n. El movimiento de electrones para el lado de tipo p expone núcleos de iones positivos en el lado de tipo n mientras que el movimiento de huecos para el lado de tipo n expone núcleos de iones negativos en el lado de tipo p, lo que resulta en un campo de electrones en la unión y la formación de la región de agotamiento (30). Si se aplica la tensión adecuada, los electrones se combinan en los huecos en la región de la unión p-n liberando fotones. La elección del material semiconductor a utilizar para producir un LED determina el tamaño de la banda energética y por ende la longitud de onda del fotón emitido. Los UV LEDs que se comercializan están compuestos por estructuras cristalinas hechas mediante una combinación de nitruro de galio y aluminio (AlGaN: aluminum gallium nitride) depositadas sobre una base sólida llamada substrato (zafiro o nitruro de aluminio); la proporción de aluminio y galio presente en las capas determina el ancho de las bandas energéticas, y en consecuencia determina la longitud de onda emitida por el LED (31).

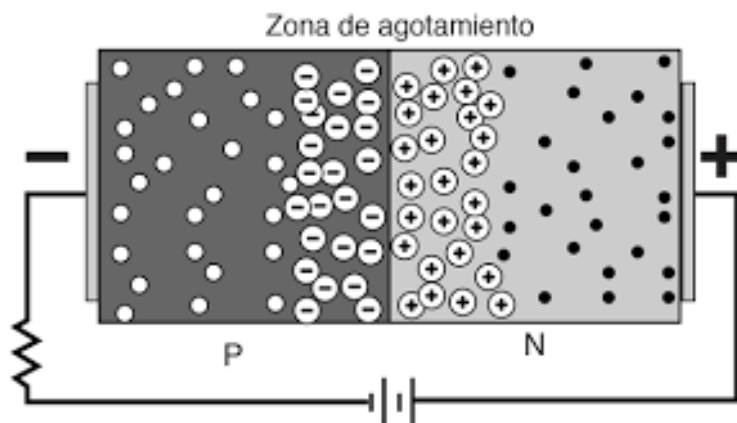
Figura 12. Esquema de diodo LED



Partes de un Diodo LED

Fuente: (32)

Figura 13. Esquema Zona P-N



Fuente: (33)

### 1.3. Efecto de la luz UV en los organismos

El UV-C y UV-B tienen un efecto de desinfección directa, debido a que el material genético de los organismos absorbe la radiación y le impide la replicación, también en otros componentes celulares o vitales como las proteínas, teniendo el mismo efecto. Los fotones UV-C y UV -B actúan directamente en el ADN en el RNA inhibiendo las funciones de replicación de los organismos, evitando que estos sean infecciosos.

La luz UV-A desinfecta activando los componentes naturales en el agua o las células objetivas, lo que genera gran cantidad de especies químicas reactivas, estas especies reactivas pueden causar la degradación de componentes químicos que la fotólisis UV no afecta directamente. Aunque las propiedades desinfectantes del UV-A son menores que las provocadas por los UV-B y UV-C no puede ser totalmente descartado, ya que la UV-A es proporcionada naturalmente por el sol.

Aplicar todas las longitudes de onda del espectro UV al objetivo que queremos desinfectar es más eficaz porque al contener diferentes tipos de microorganismos es una estrategia más eficaz, dado que está demostrado que cada espectro del UV afecta mejor a diferentes tipos de microorganismos, comparándolo a una aplicación que solo contenga una sola longitud de onda.

En el aire y en las superficies (incluidas las superficies de trabajo), la luz UV puede inactivar a los microbios del agua y otros líquidos. La desinfección química o física (ej. Calor) exige una concentración específica y una duración de la exposición. Alcanzar un objetivo de inactivación de un microorganismo. Similar a esto, la cantidad de luz UV que se expone al microorganismo objetivo determina qué tan efectiva será la desinfección UV. La efectividad de la desinfección también está influenciada por las características del microorganismo y la longitud de onda de la radiación UV. (15)

“Dosis UV” o “Fluencia UV” en tratamiento de agua o aire es el grado de exposición UV se expresa como la potencia irradiada por unidad de área en un tiempo dado ( $\text{mJ cm}^{-2}$ ) se puede expresar como la cantidad de luz UV entregada a un objetivo. La dosis UV es el producto de la irradiancia UV y el tiempo de exposición, esto significa que una alta dosis UV podría ser aplicada aumentando la intensidad de luz UV (irradiancia), el tiempo de exposición o ambos (31).

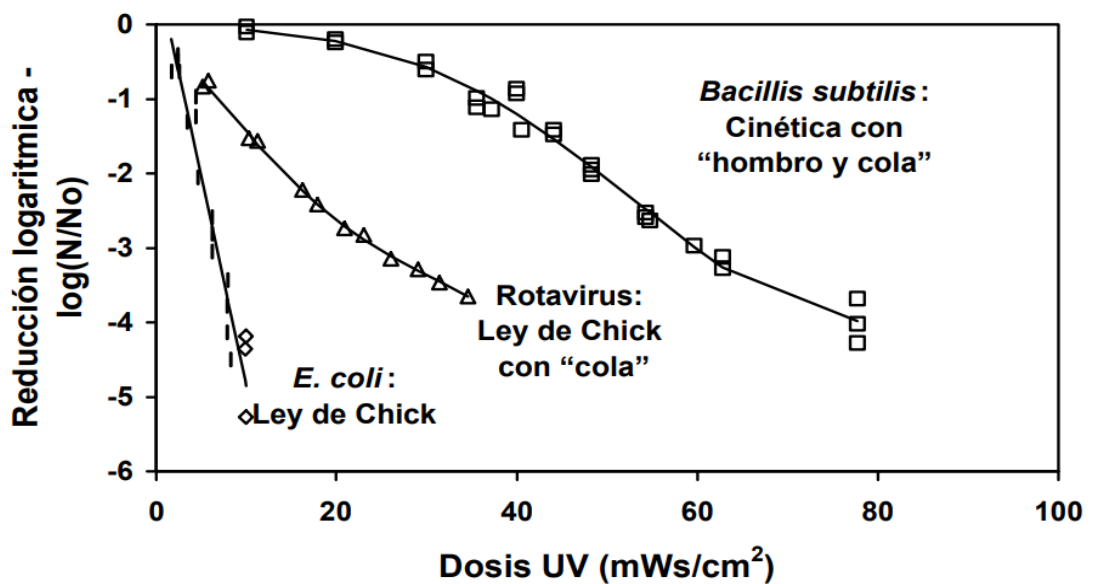
La cinética de inactivación microbiana por UV es citada a menudo como siguiendo la ley de Chick:

$$N = N_0 e^{-klt}$$



Donde  $N_0$  es la concentración inicial de microbios previa a la aplicación de UV,  $N$  es el número de microbios que restan después de la exposición a la luz UV.  $I$  es la intensidad UV,  $t$  es el tiempo de exposición, y  $k$  es la constante del ritmo de inactivación. La dosis UV se define como el producto de la intensidad UV y tiempo. La Figura 8 presenta una representación gráfica de la ley de Chick mostrando inactivación como función de la dosis UV aplicada. Una interpretación útil de la ley de Chick es que por cada incremento en dosis UV igual a  $2.3/k$  hay una reducción en el orden de magnitud de la población microbiana (34). Las curvas de las gráficas son conocidas como hombros (dosis bajas) y cola (dosis altas).

Figura 14. La cinética de inactivación de la desinfección por UV



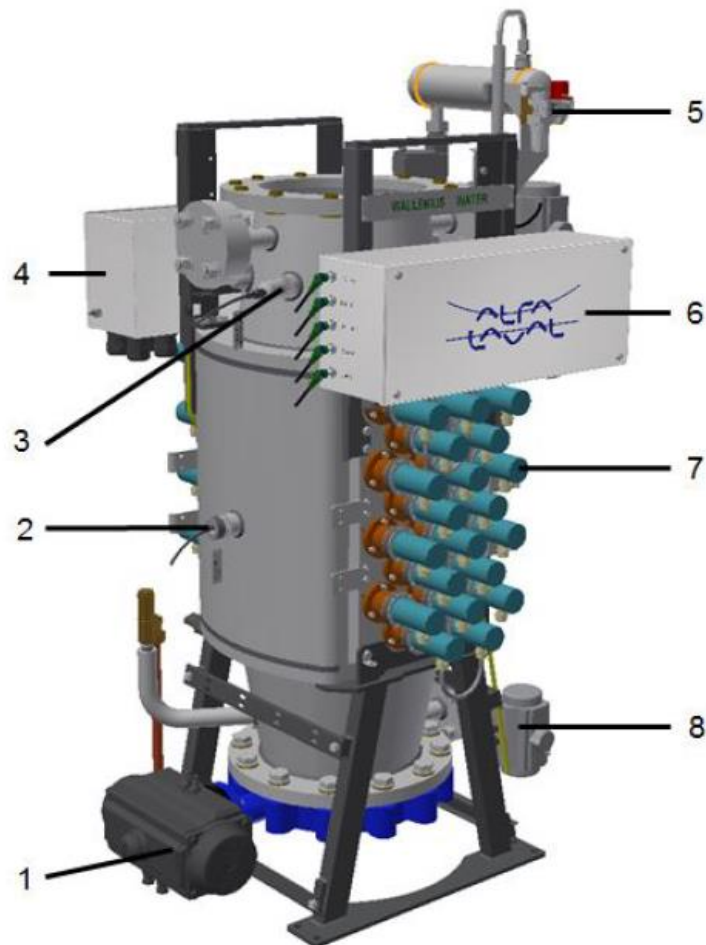
Fuente: (34)

## 2. Descripción de los elementos del sistema PureBallast 3.2

El sistema PureBallast en el buque Andalucía Express es un sistema de tratamiento que consta de un filtro, un reactor UV, un sistema CIP de limpieza, cabinas y un sistema de control.

## 2.1. Reactor UV

Figura 15. Reactor UV.



Fuente: (27)

1. Válvula de entrada
2. Sensor UV
3. Interruptor de nivel
4. Caja de control
5. Regulador de aire
6. Caja de conexiones
7. Lámparas UV
8. Válvula de servicio CIP

La disposición real en el barco Andalucía Express del reactor UV sería la siguiente:

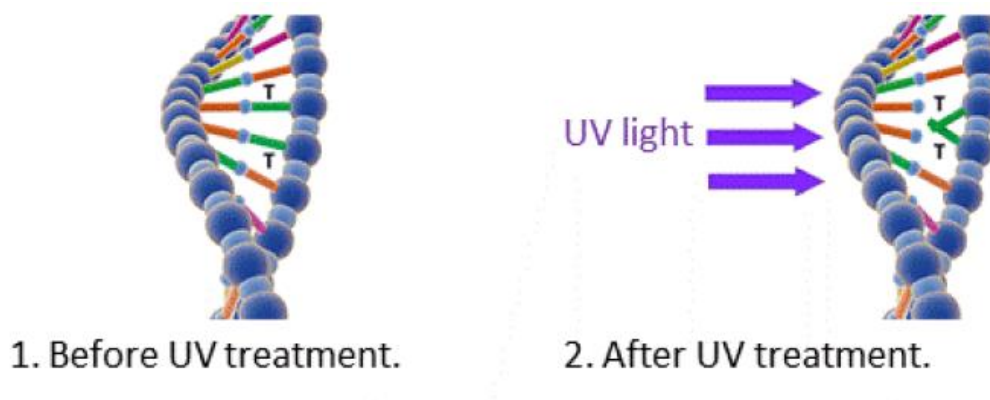
Figura 16. Disposición real reactor UV



Elaboración propia. Fuente: (25)

La principal función del reactor UV es exponer al fluido este caso agua de lastre a la luz UV, proceso en el cual la desinfecta por el proceso de destrucción de las conexiones T+T del ADN imposibilitando su infectividad.

Figura 17. Destrucción del ADN.



Fuente: (27)

El reactor UV tiene capacidad para 20 lámparas UV de media presión (3 kW cada una) las lámparas están encerradas en unas fundas de vidrio de cuarzo, hay que tener en cuenta que estas lámparas se calientan mucho con lo que siempre deben ir refrigeradas por el propio agua técnica/potable para asegurar este proceso, hay instalado en el sistema un interruptor de nivel el elemento nº 3 de la figura 9 también se utiliza para el momento de limpieza CIP asegurando un flujo suficiente para refrigerar las lámparas. Para asegurar que siempre están refrigeradas las lámparas hay un seguro triple de 3 niveles:

1. El transmisor de calor convierte la señal de temperatura en una señal de instrumentación y envía esta información al sistema de control. El reactor UV se apagará a 60°C
2. El transmisor de temperatura envía una señal a un relé de seguridad en la cabina eléctrica. El reactor UV se apagará a 62,5°C.
3. A 65°C el interruptor de temperatura apaga automáticamente el reactor UV.

Un sensor UV controla la eficiencia de las lámparas con relación a la cantidad de luz UV cedida al agua, con base en esto se regula la potencia de las lámparas UV para ahorrar energía poniendo las lámparas en la mínima potencia necesaria, pero manteniendo la eficacia.

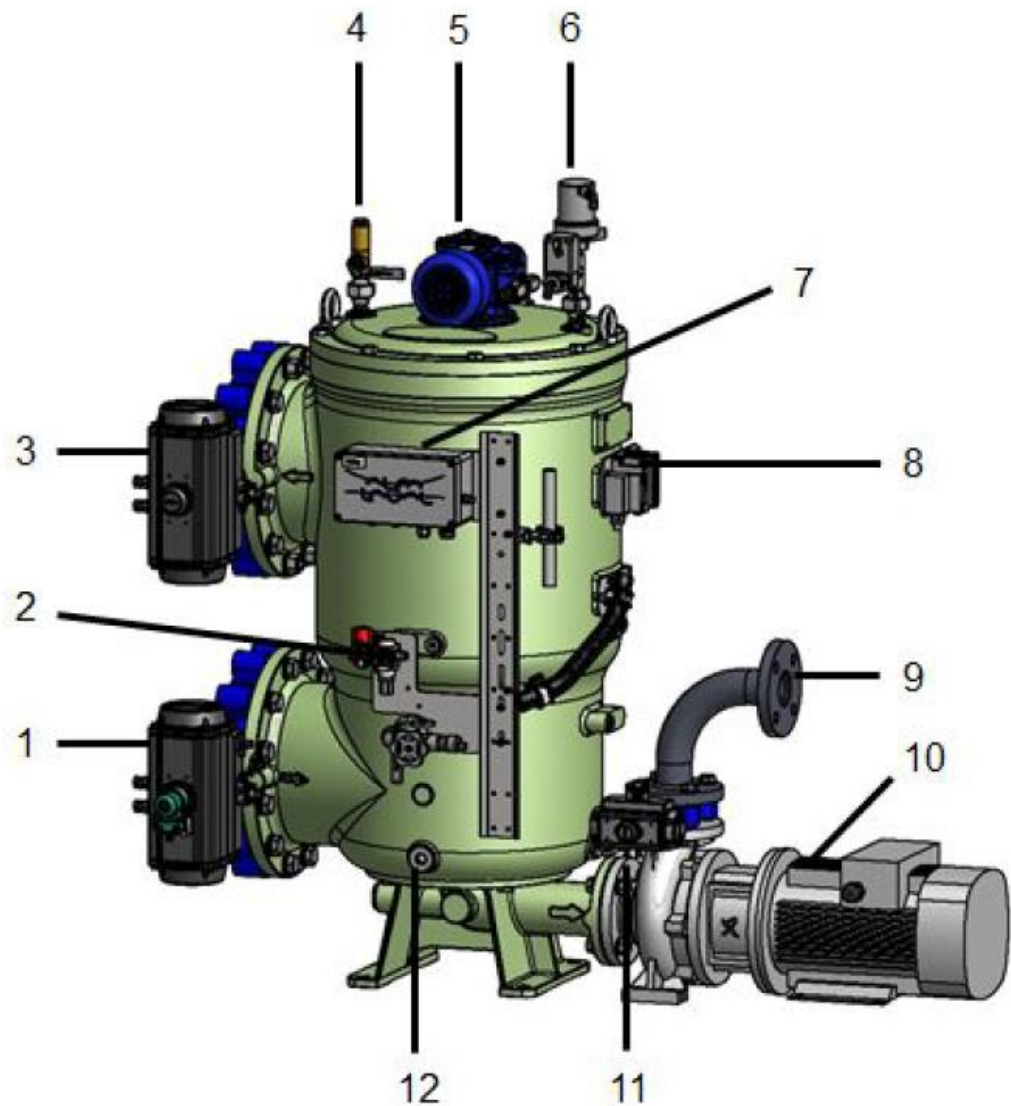
Las lámparas se encienden a plena potencia durante los primeros 2 minutos después del arranque para asegurar su eficiencia total, además de mantenerse 10 segundos encendidas al 100% antes de apagarse, esto se hace para prolongar la vida útil de las lámparas.

## 2.2. Filtro

El filtro del sistema es un filtro automático con autolavado, su función principal es la de retener partículas y organismos del flujo de agua de lastre antes de pasar por el reactor UV.

El filtro tiene las siguientes partes:

Figura 18. Filtro



Fuente: (27)

1. Válvula de entrada
2. Regulador de aire de entrada
3. Válvula de salida
4. Válvula de alivio (sobrepresión)
5. Motor engranado

6. Válvula de desaireación automática controlada por PLC para dejar aire durante el drenaje
7. Caja de conexiones
8. Bloque de válvulas
9. Salida del retrolavado
10. Bomba de retrolavado
11. Válvula de retrolavado
12. Tapón de drenado

La disposición real del filtro en el barco Andalucía Express sería esta:

*Figura 19. Disposición real del filtro*

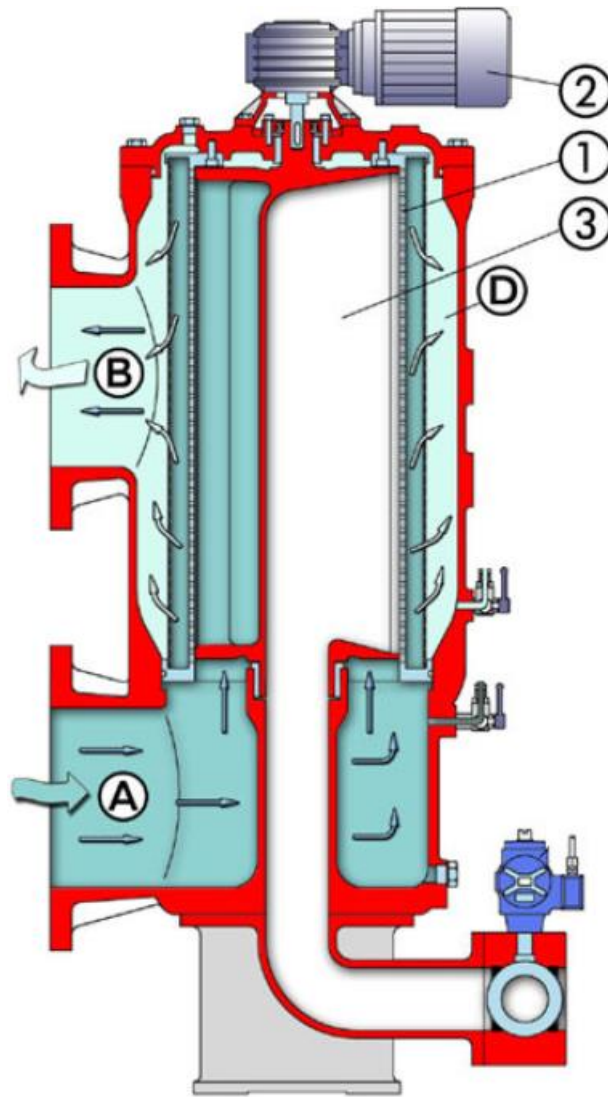


*Elaboración propia. Fuente: (25)*

Para asegurar un filtrado correcto se hace un retrolavado en intervalos controlados de tiempo o cuando se indica suciedad en el filtro, esto se ve debido a una caída de presión en el filtro cuando los sensores detectan una caída de presión dentro del filtro monitoreado en la entrada y salida por sensores de presión se inicia automáticamente un retrolavado.

Este sistema de retrolavado no interrumpe la acción del filtro, puesto que se hace por diferentes partes del filtro. La limpieza por retrolavado se puede hacer de manera manual desde el sistema de control.

Figura 20. Funcionamiento del filtro

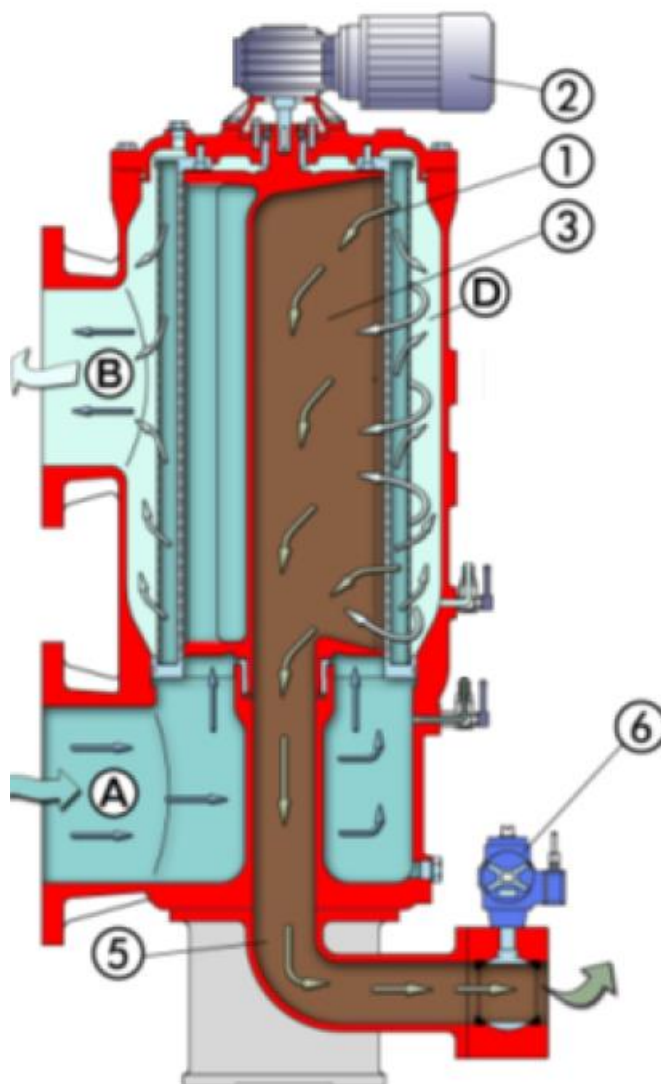


Fuente: (27)

El agua entra por la brida (A) y fluye a través de un prefiltro y del elemento filtrante (1) desde el interior al exterior, atrapando la suciedad en el elemento filtrante, a continuación, pasa a la cámara (D) y de ahí hacia la brida de salida(B) hacia el reactor UV. Durante este proceso funciona como un filtro estático sin partes móviles, el motor (2) no funciona y la parte (3) esta estática.

- A. Entrada
- B. Salida
- D. Cámara
- 1. Elemento filtrante
- 2. Motor
- 3. Boquilla (Estática durante la filtración) (girando durante el retrolavado)
- 6. Válvula de retrolavado

Figura 21. Retrolavado del filtro



Fuente: (27)

Para hacer el retrolavado el motor (2) se pone en marcha con lo que hace girar la cámara (3) y simultáneamente se abre la válvula (6). Al girar hace pasar el agua de la cámara (D) en dirección contraria al sentido normal arrastrando la suciedad del elemento filtrante (1) el agua con la suciedad fluye por el conducto (5) y hacia fuera por la válvula de retrolavado (6).

Todas las áreas que no estén enfrente de la boquilla estarán filtrando el agua como se describió en primera instancia, el agua fluye por la entrada (A) pasa por elemento filtrante (3) y sale por la salida (B).

Cuando el proceso de retrolavado haya terminado en aproximadamente 40 segundos, se cierra la válvula de retrolavado (6) y se para el motor (2). Si se hace un nuevo retrolavado

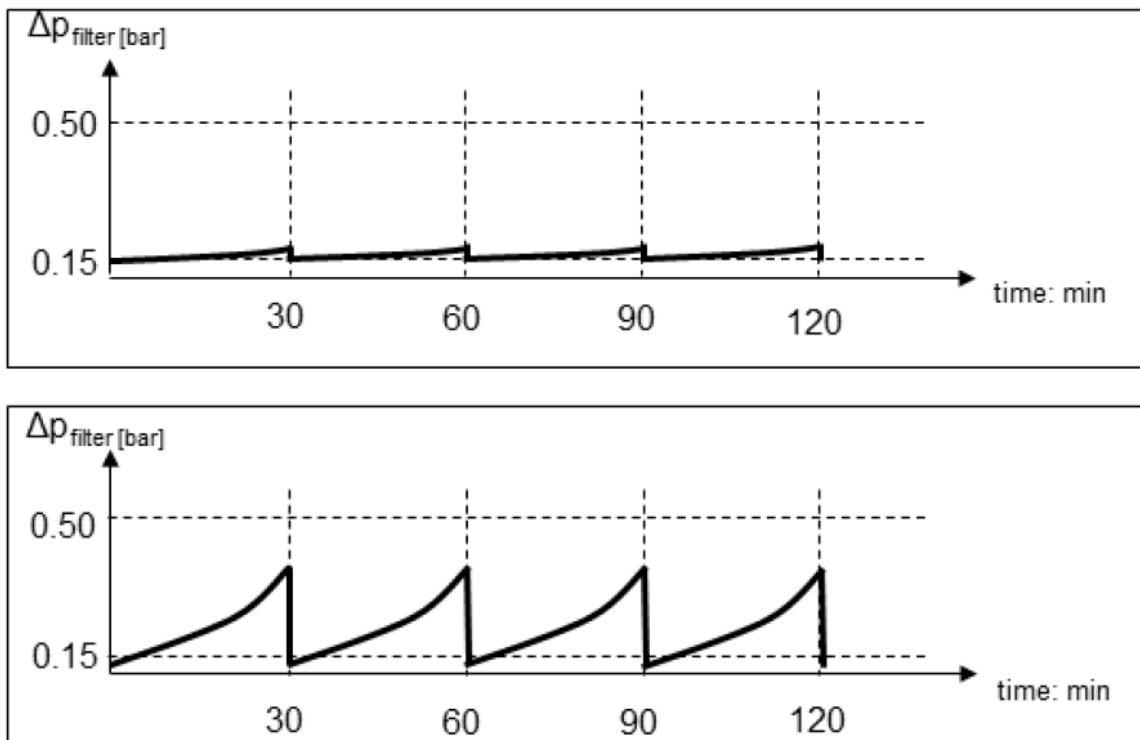


en los siguientes 2 minutos después de terminar uno, el filtro hará un retrolavado durante 20 minutos.

A continuación, se ilustrará la caída de presión ( $P_{filtro}$ ) a lo largo del tiempo en diferentes cantidades de suciedad en el filtro, esto viene dado por la condición del agua haciendo que el uso del retrolavado sea muy diferente.

- Baja carga de suciedad: Con baja carga de suciedad y mientras no se supere una diferencia de presión de (0.50 bar) el retrolavado se hará cada 30 minutos el valor predeterminado

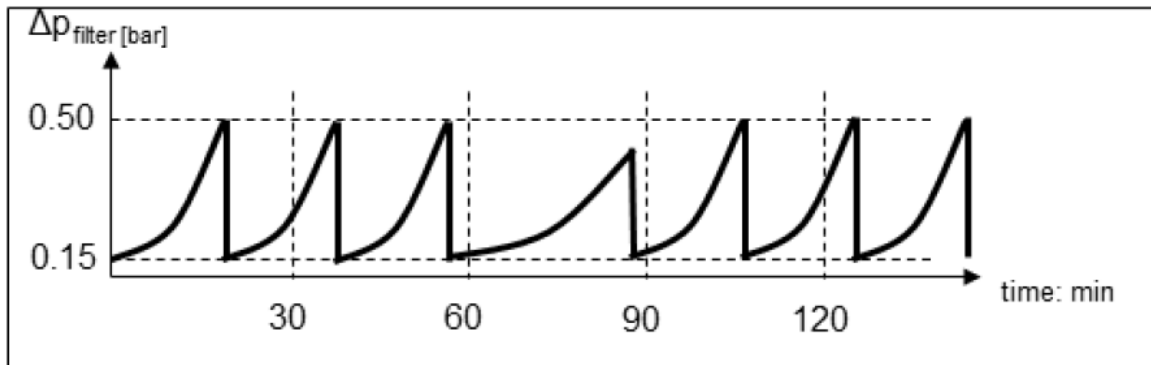
Figura 22. Diferencia de presión en el filtro poco sucio en el tiempo.



Fuente: (27)

- Media carga de suciedad: Cuando la diferencia de presión supera (0.50 bar) se inicia un retrolavado y reinicia el contador de tiempo de 30 minutos y se hará un retrolavado cuando se alcancen nuevamente los (0.50 bar) de presión o los 30 minutos lo que pase antes. La siguiente figura representará un caso en el que se activa el retrolavado por superar la presión 3 veces y luego no hay tanta suciedad para superar la presión y salta el retrolavado por tiempo.

Figura 23. Media carga de suciedad.

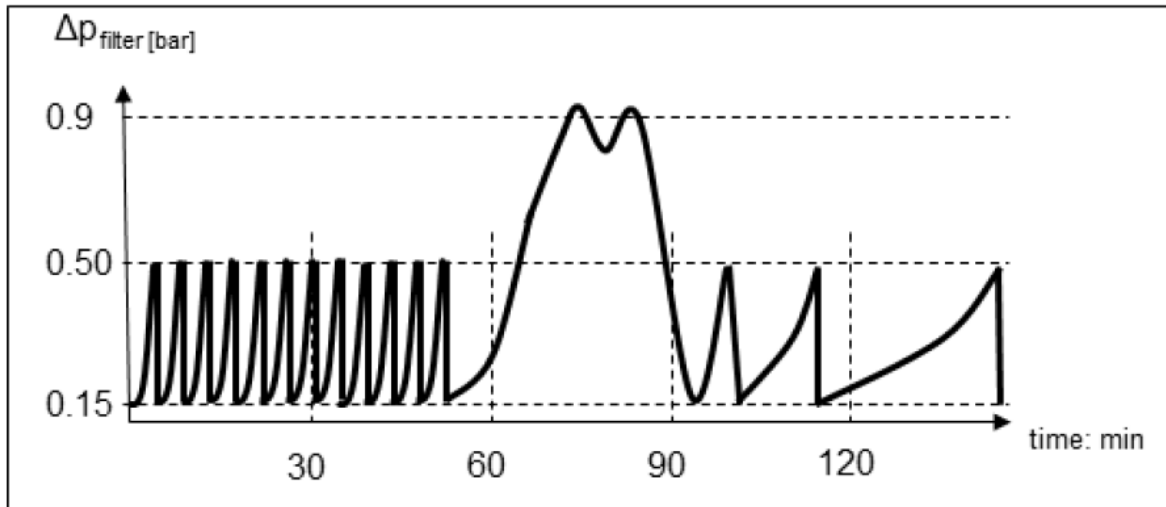


Fuente: (27)

- Carga alta de suciedad: En condiciones de alta suciedad el sistema puede mantenerse haciendo retrolavados constantes para mantener el filtro limpio, pero si se activa un retrolavado antes de un tiempo establecido se mantendrá haciendo un retrolavado continuo con un parámetro de tiempo para mantener el filtro limpio a fondo, pero si la presión después de este no baja y se queda por encima del 80% de la presión para realizar un retrolavado este continuará haciéndolo hasta que baje por debajo de este valor. Las fluctuaciones puntuales de presión ósea, unos picos muy pronunciados de presión en poco tiempo pueden ser algo normal o que fluctúe en forma de curva, pero el sistema deberá poder llegar a estabilizarse.

En el siguiente ejemplo se realizarán una serie de retrolavados cada 4 minutos, después de esto, la presión sube por encima de (0.50 bar) donde el filtro se mantiene haciendo un retrolavado y hasta que no baje hasta una presión inferior a (0.50 bar) y por último se activa por presión 2 veces más y se activa una última vez por tiempo.

Figura 24. Alta carga de suciedad.



Fuente: (27)

- Acumulación de suciedad a lo largo del tiempo: El filtro irá acumulando suciedad a lo largo del tiempo, incluso aunque se hagan correctamente los retrolavados este se verá reflejado en un aumento de presión “normal” a lo largo del tiempo, por esto el programa de mantenimiento hace que 1 vez al año el filtro debe ser inspeccionado y limpiado manualmente aunque si las condiciones del agua hacen que esta presión “normal” crezca de manera rápida es posible tener que realizar este mantenimiento más de una vez al año.

### 2.3. Módulo CIP

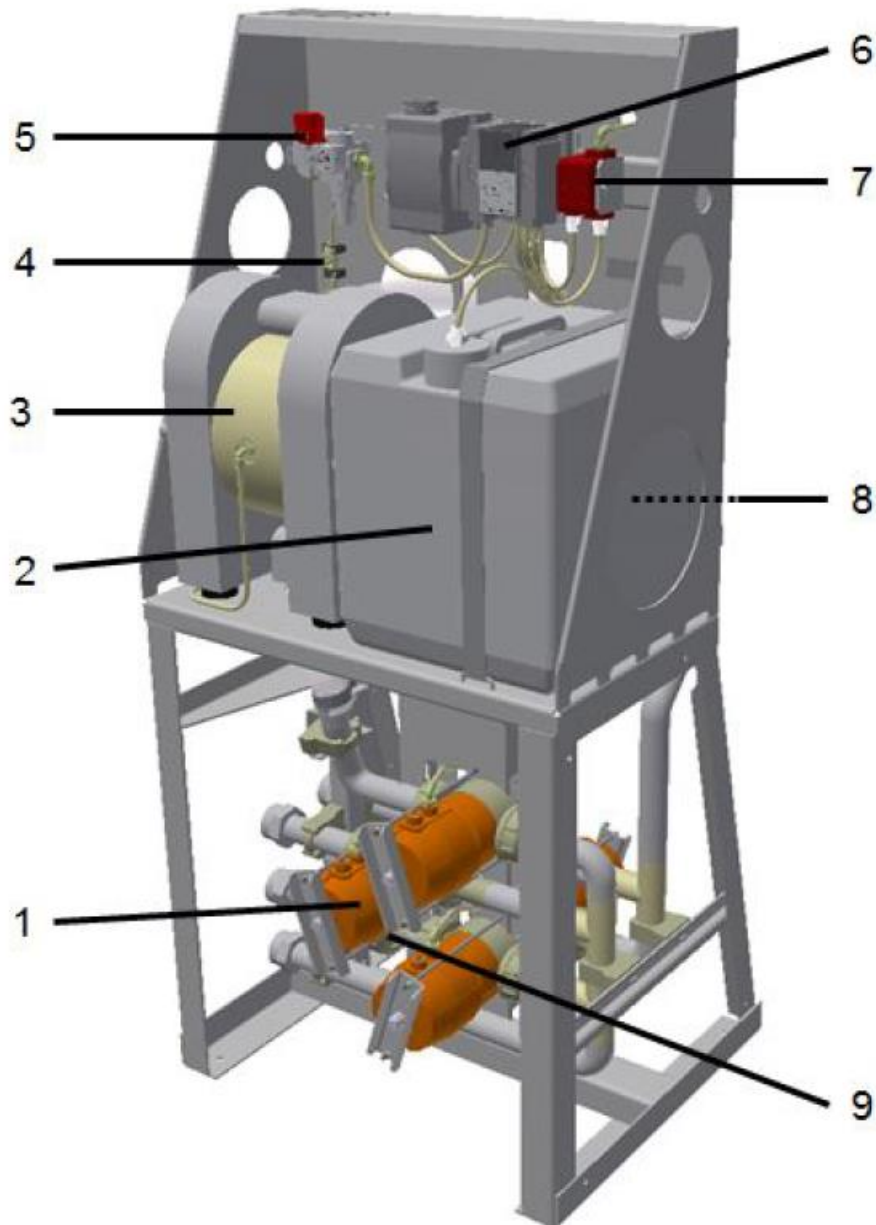
La función principal del módulo de limpieza CIP es limpiar el cristal de cuarzo de las lámparas UV y el sensor UV, esto hará que las lámparas UV traten de manera eficiente el agua y que los parámetros de control del sensor UV de control de flujo y potencia funcionen de manera eficiente dando una lectura correcta al sensor.

Después de que el reactor UV es drenado de agua salada, el reactor y el filtro están llenos de agua tratada o agua técnica. El reactor UV se añade 1 litro de producto químico concentrado del CIP esto unido al PH tan bajo de esta concentración hace que remueva las incrustaciones de cloruros de calcio, iones metálicos y ensuciamientos químicos en los cristales de cuarzo de las lámparas UV. El líquido se deja durante 6 horas y cuatro veces por hora aproximadamente, el líquido del CIP circula para mejorar la eficiencia de limpieza y por último se llena el reactor UV se llena con agua tratada o técnica para evitar incrustaciones, crecimiento de algas, etc.

Los componentes involucrados en el proceso de limpieza CIP son:

- T320: Contenedor de líquido concentrado CIP.
- Bomba P320-1: Dosifica el líquido concentrado del CIP por una tubería hasta el reactor UV.
- Bomba P460-1: Drena el filtro y el reactor UV. Circula el líquido CIP en el reactor UV durante el proceso CIP.
- Válvula V320-2: Conduce el líquido CIP al reactor UV
- LS320-3: Control de nivel del tanque T320 da una alarma cuando está bajo el nivel de líquido CIP

Figura 25. Módulo CIP



Fuente: (27)

1. Válvulas de servicio (5 piezas)
2. Contenedor de líquido CIP concentrado (T320)
3. Bomba P460-1, drenaje y circulación
4. Válvula de regulación para la bomba de diafragma p460-1
5. Regulador de aire
6. Bloque de válvulas
7. Bomba dosificadora P320-1 de líquido concentrado CIP
8. Sensor bajo de nivel del tanque
9. Válvula de retención

La disposición real en el Andalucía Express del sistema de limpieza CIP sería el siguiente:

Figura 26. Disposición real módulo CIP



Elaboración propia. Fuente: (25)

Figura 27. Disposición real módulo CIP



Elaboración propia. Fuente: (25)

## 2.4. Cabina eléctrica

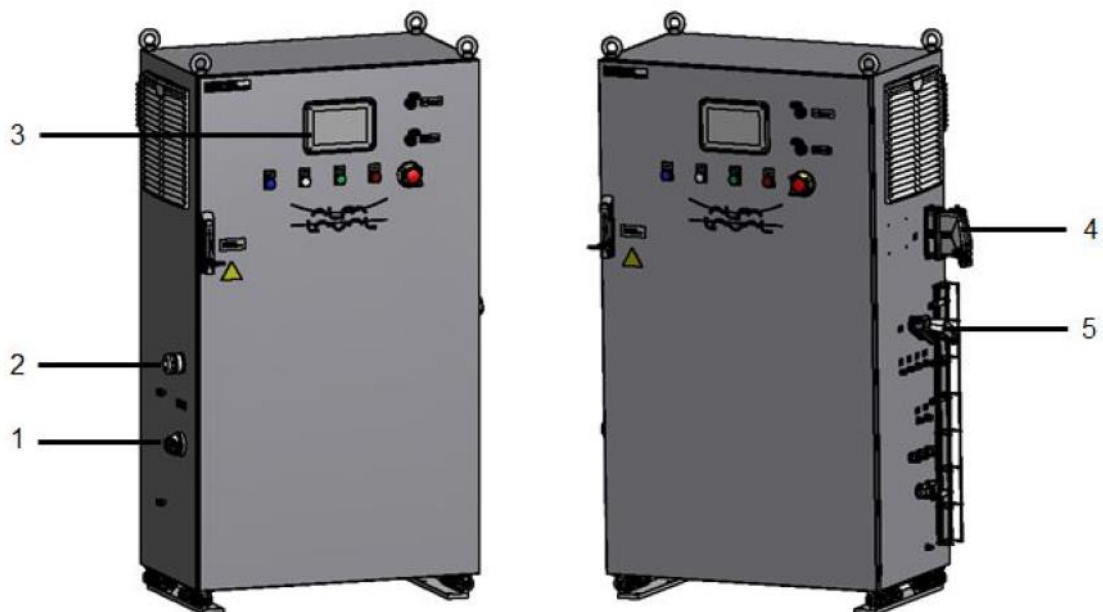
La cabina eléctrica (EC) está equipada con el panel de control del sistema usado para controlar el sistema, un botón de parada de emergencia, una alarma visible y audible y puertos USB para actualizaciones de software y poder cargar y exportar archivo. Los LED's de cabina indican si tienen energía, si las lámparas UV están encendidas y si la cabina necesita un reinicio después de un apagado, además de tener 5 alimentadores de lámparas LPS (Limited power source) que dotan de energía a las lámparas

Un LPS alimenta 2 lámparas UV también LPS controla y monitorea la función de cada lámpara UV y toma medidas si algún fallo ocurre.

La cabina eléctrica se usa como único punto para todos los cables de señal de todos los componentes y opciones instaladas como: Panel de control remoto, Sistema de administración energética o power management system (PMS). También puede añadir otros componentes como bombas de agua de lastre o GPS haciéndolo al cuadro eléctrico.

La cabina eléctrica tiene un ventilador para regular la temperatura interna, arranca a los 30 °C y se detiene a los 27 °C.

Figura 28. Cabina eléctrica.



Fuente: (27)

1. Interruptor principal.
2. Cable de alimentación principal.
3. Panel de control principal.
4. Cable de alimentación de lámparas a UVR.

5. Señal a LDC 1.

### 2.4.1. Sistema de control

El sistema de control se utiliza para establecer parámetros, operar y monitorear el sistema PureBallast. Este sistema de control monitorea continuamente PureBallast (sensores, comunicación, estado del PLC) lo hace tanto en funcionamiento como en modo de espera y corrige cualquier desviación dentro del sistema, aunque no todos los riesgos de seguridad son corregidos automáticamente. Todos los registros de alarmas se guardan durante 24 meses y cuando pasa este tiempo se van borrando, aunque se puede a través de los USB exportar los archivos de alarma antes de que se borren.

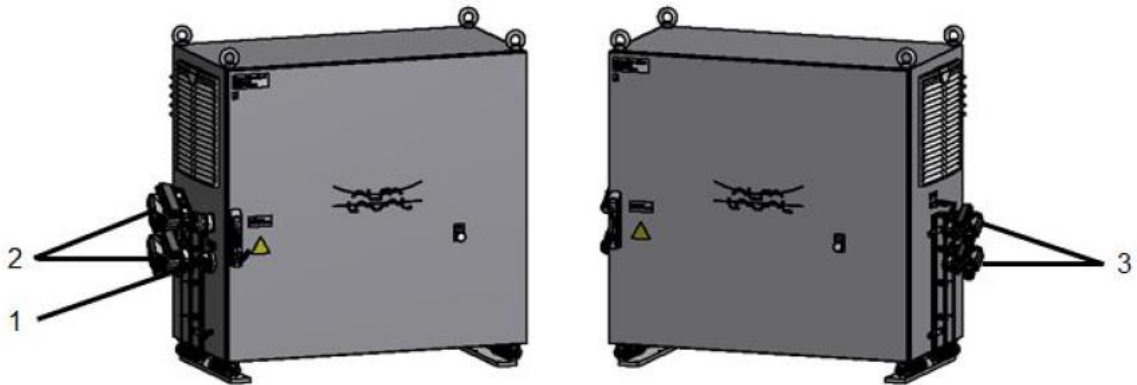
### 2.4.2. Panel de control

El panel de control principal maneja cada aspecto del sistema de control. Permite al operador monitorear el sistema, operarlo manual y automáticamente, y configurar parámetros. Tener en cuenta que algunas de las operaciones están protegidas con contraseña

### 2.4.3 Cabina de control de lámparas UV

Es una cabina eléctrica adicional para alimentar eléctricamente a más lámparas UV.

Figura 29. Cabina de control de lámparas UV



Fuente: (27)

1. Interruptor principal
2. Cable de alimentación UVR
3. Cable de señal

## 2.5. Válvulas principales

Las válvulas principales del sistema son:

- Válvula de entrada del filtro (V201-3) Entrada desde el sistema de agua de lastre del buque durante el lastre. El agua se dirige a través del filtro al reactor UV.
- Válvula de salida del filtro (V201-32) La válvula dirige el flujo de agua desde el filtro al reactor UV durante el lastre.
- Válvula de bypass del filtro (V201-9) Válvula que deriva el flujo de agua de lastre sin pasar por el filtro al reactor UV. Válvula de entrada durante el deslastre no tiene que volver a pasar por el filtro, debido al paso en el momento de lastre.
- Válvula de entrada UVR (V201-19) Válvula de entrada al reactor UV.
- Válvula de control (V201-8) la válvula tiene las siguientes funciones:
  - Regular el flujo durante la operación para que no supere el máximo certificado. Lo regula según el indicador de flujo.
  - Regulación automática para mantener la presión necesaria para realizar el retrolavado del filtro se regula por el sensor de presión de la entrada.
  - Salida del sistema de agua de lastre Pureballast.
- Válvula de agua técnica/potable(V310-1) la válvula tiene las siguientes funciones:
  - Suministra agua de refrigeración al reactor UV para enfriar las lámparas UV cuando aumenta su temperatura a 38 °C durante el proceso.
  - Suministra agua al filtro y al reactor UV en el proceso de CIP.
- Válvula bypass del Pureballast (V212-31): Válvula para evitar totalmente el sistema de tratamiento de agua de lastre Pureballast, aunque esto debe estar reflejado como un evento en el monitor de control además de tener un volante para operarla manualmente por cualquier fallo que se pueda producir.

## 2.6. Caudalímetro

El caudalímetro (FT201-1) tiene dos funciones:

- Monitorear el flujo
- Monitorear la conductividad.

El caudalímetro consiste en 3 partes:



- El sensor de flujo monitorea el flujo en el sistema. Funciona junto con el transmisor de flujo.
- El transmisor de flujo envía información al sistema de control. Está montado en el sensor de flujo.
- El sensor de conductividad calcula la conductividad del agua.

Controlador de flujo:

El controlador de flujo monitorea el caudal dentro del sistema para asegurar que no supera el caudal certificado en el caso de que el caudal sobrepase manda información al sistema de control.

Controlador de conductividad:

El controlador de conductividad controla la conductividad del agua que junto a la temperatura calcula la salinidad del agua. El sistema tendrá que cambiar parámetros cuando se trate de agua dulce o agua salada.

### **2.7. Controlador de presión**

Dos transmisores de presión monitorean la presión en el sistema:

- PT201-16: Presión del sistema después del filtro. El sistema de control utiliza la información para tomar las medidas correspondientes, por ejemplo, emitir advertencias, cerrar, bajar el sistema y ajustar la válvula de control para obtener la presión óptima durante el retrolavado del filtro.
  - Manómetro (PI201-18): Visualización analógica de la presión actual.
  - Válvula de aguja (V201-17): Permite la conexión de instrumentos externos para calibración.
  - Válvula de alivio (RV201): Válvula de seguridad para alivio de sobrepresión.
- PT201-71: Presión del sistema en el filtro. Se usa para calcular la presión diferencial sobre el filtro para indicar que el elemento del filtro está sucio.

### **3. Operaciones del sistema.**

A continuación, describiré las diferentes operaciones del sistema de tratamiento de agua de lastre por luz UV PureBallast.

Figura 30. Procedimientos operativos



Fuente:(27)

### 3.1. Puesta en marcha

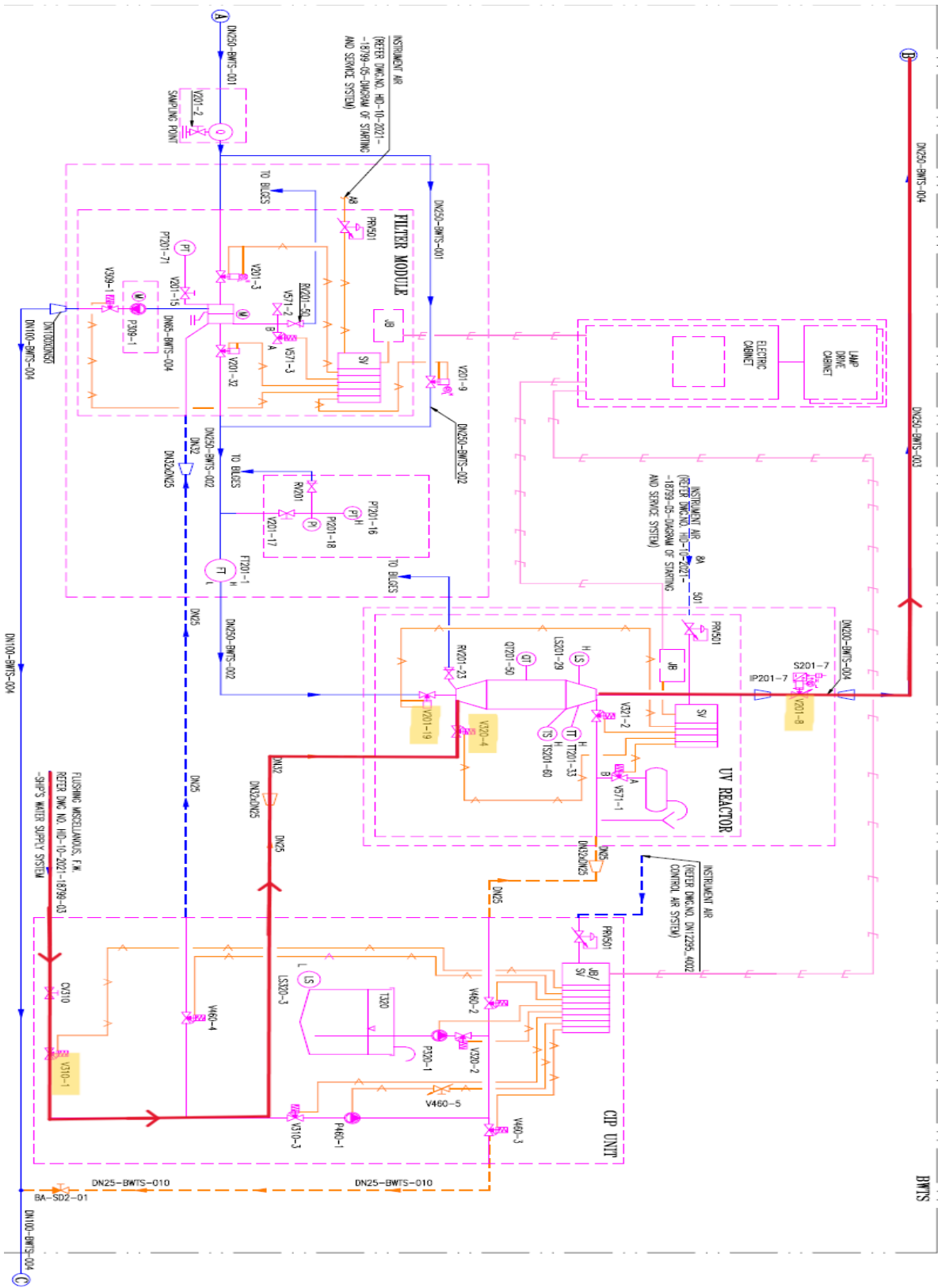
El lastrado y deslastrado comienza con una fase de puesta en marcha. Durante la puesta en marcha, las lámparas UV se calientan durante 90 segundos. El transmisor de temperatura y el interruptor de nivel aseguran que haya agua en el reactor UV y que las lámparas UV estén suficientemente enfriadas. Si la temperatura en el reactor UV alcanza los 38 °C, el agua de refrigeración (agua técnica/agua potable) es bombeado a través del reactor UV para asegurar que las lámparas UV no se sobrecalienten.

Para la refrigeración de las lámparas UV habrá que abrir una serie de válvulas en el circuito siempre y cuando se cumplan los parámetros de temperatura, dichas válvulas son:

- V301-1: Válvula que conecta el sistema de agua dulce/técnica con el reactor UV.
- V320-4: Válvula de entrada en el reactor UV
- V201-19: Válvula que conecta el agua proveniente del filtro con el reactor UV.
- V201-8: Válvula de salida del reactor UV que conecta con el sistema de agua de lastre.

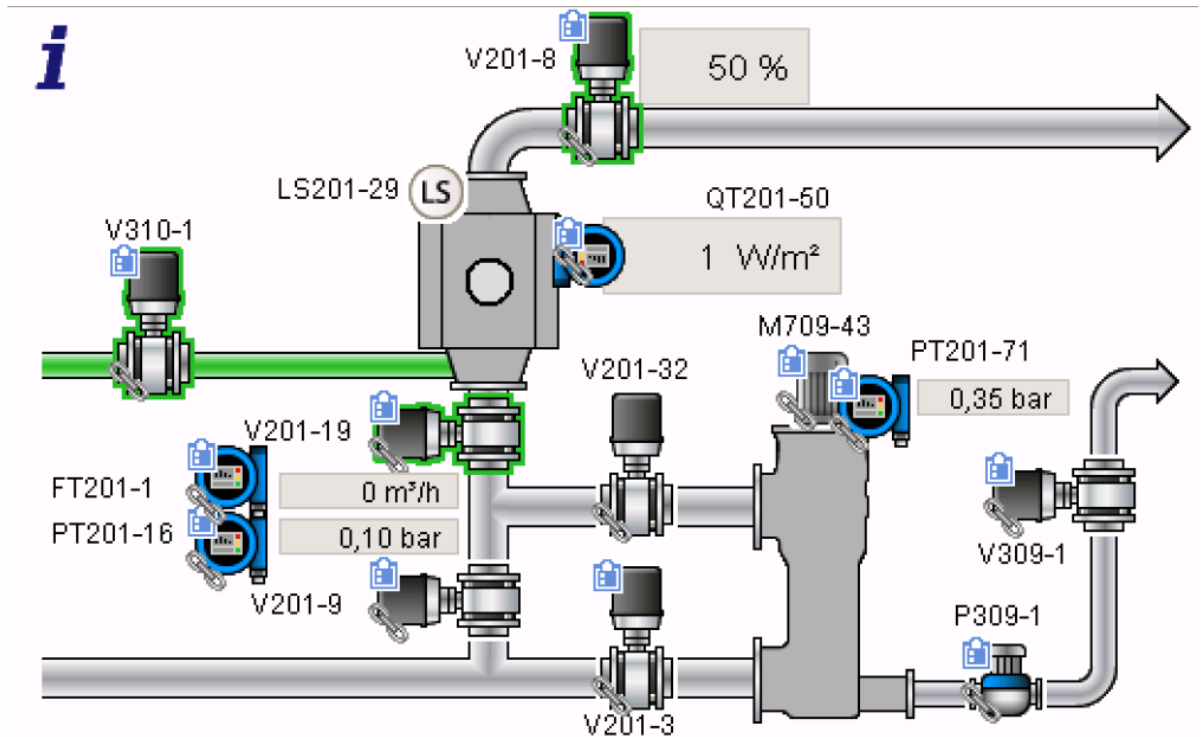
Dentro del plano del sistema quedaría así donde la línea roja es el flujo de agua de refrigeración y las válvulas que deberán ser accionadas en amarillo.

Figura 31. Plano BWTs refrigeración lámparas UV



Fuente: (27)

Figura 32. Puesta en marcha del lastrado y deslastro



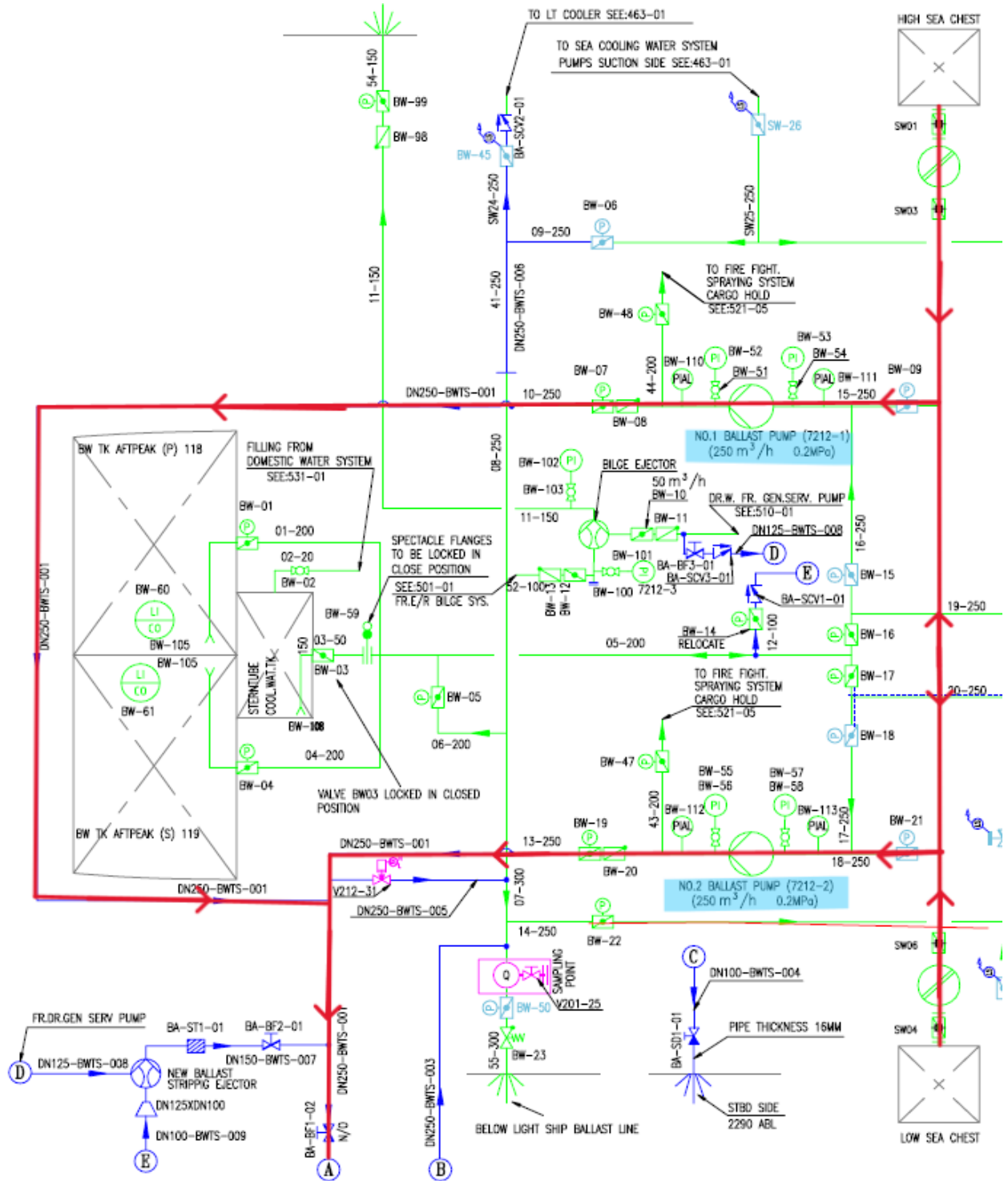
Fuente: (27)

### 3.2. Lastrado

Después de la puesta en marcha, cuando las lámparas están listas, se solicita al operador que inicie la bomba de lastre. El agua de lastre se bombea desde la caja de mar hasta el filtro, que elimina partículas y organismos más grandes. Esto también reduce la cantidad de acumulación de sedimentos en los tanques de agua de lastre. Los organismos y sedimentos atrapados en el filtro se arrojan por la borda a través de operaciones regulares de retrolavado del filtro. El agua finalmente se conduce al reactor UV, que produce radicales y luz UV, que descompone y neutraliza los organismos.

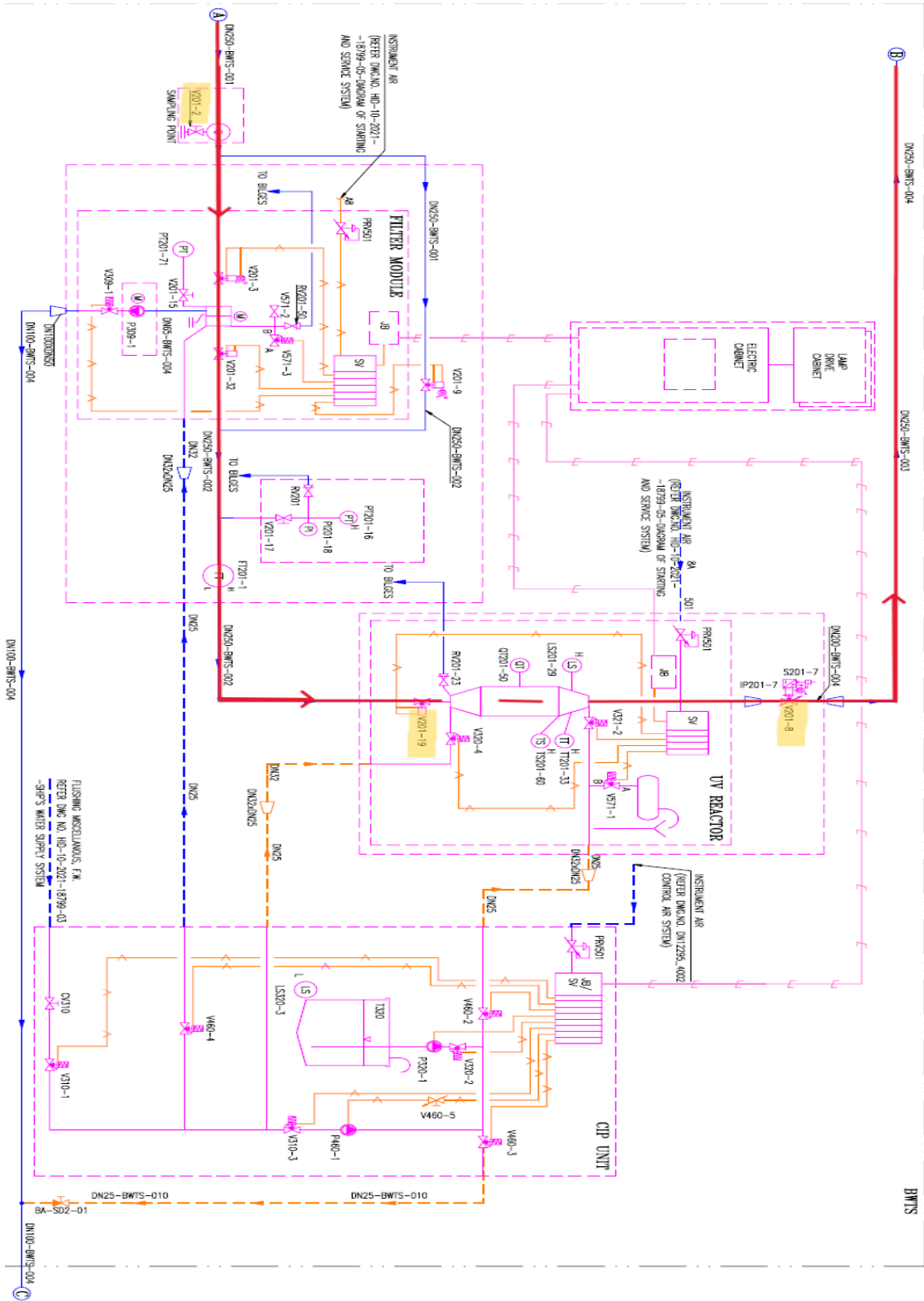
La línea roja representa el camino que realiza el agua de lastre desde sea chest (Caja de mar) pasando por las bombas de agua de lastre señalizadas en azul, pasando por el filtro y el reactor UV para su tratamiento

Figura 33. Plano Sistema de agua de lastre absorción del agua de lastre



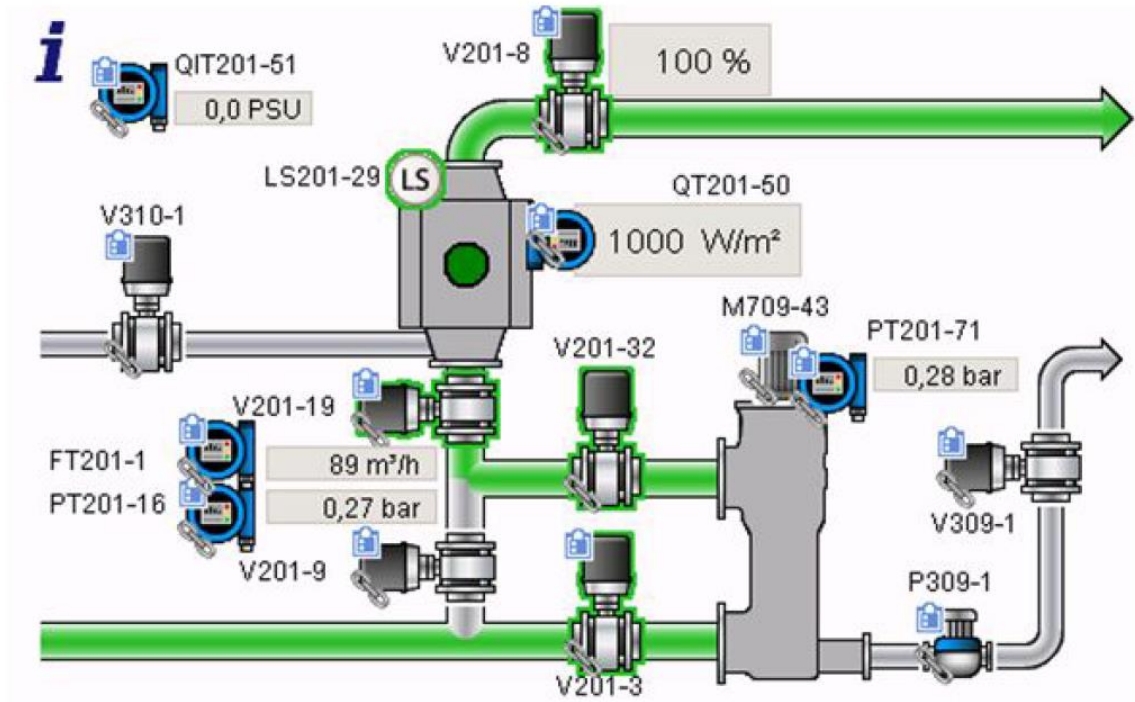
Fuente: (27)

Figura 34. Plano sistema de tratamiento de agua de lastre lastrado



Fuente: (27)

Figura 35. Proceso de lastrado Sistema de tratamiento de agua PureBallast.



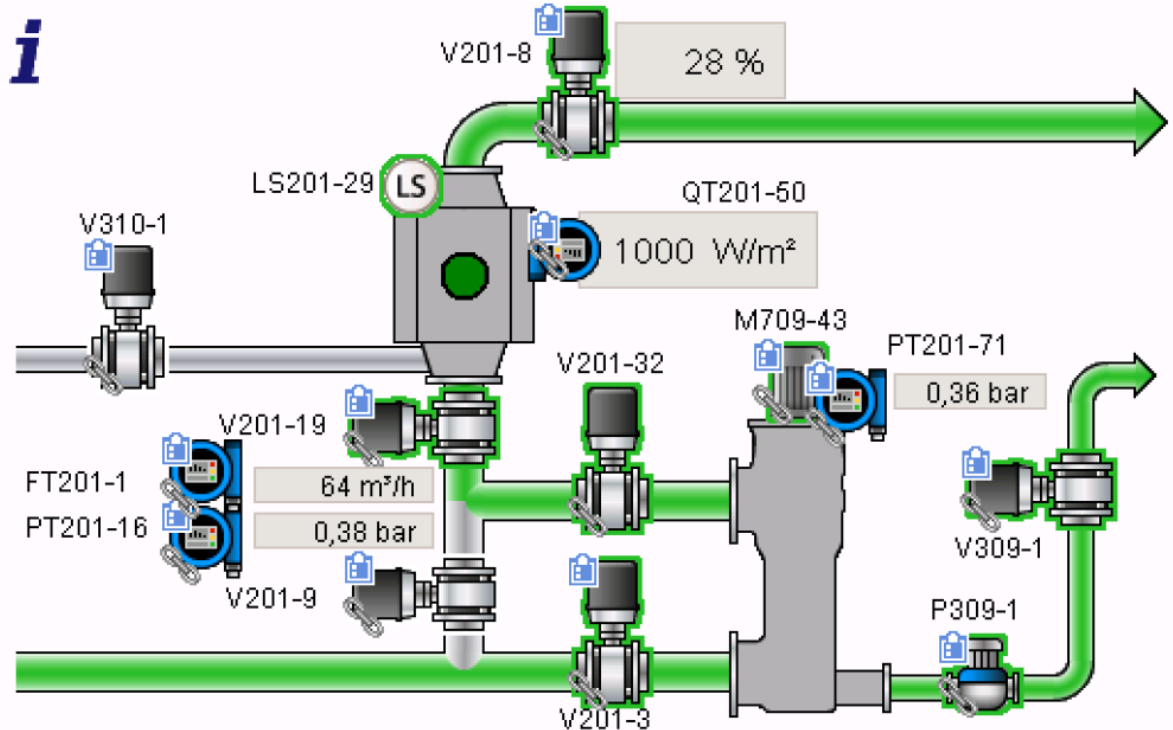
Fuente: (27)

### 3.3. Retrolavado

Para mantener el filtro limpio, se retrolava automáticamente. El retrolavado es realizado durante el proceso en curso sin interrumpir el proceso de lastrado. Cuando se detiene una operación de lastrado, se realiza un retrolavado antes de que el sistema se detiene por completo. El agua de lastre utilizada para el retrolavado es devuelta al mar directamente.

Primeramente, se regula la apertura de la válvula V201-8 según la información transmitida por el controlador de presión, a continuación, se enciende el motor M709-43 y la bomba P309-1 y se abre la válvula V309-1.

Figura 36. Retrolavado del filtro



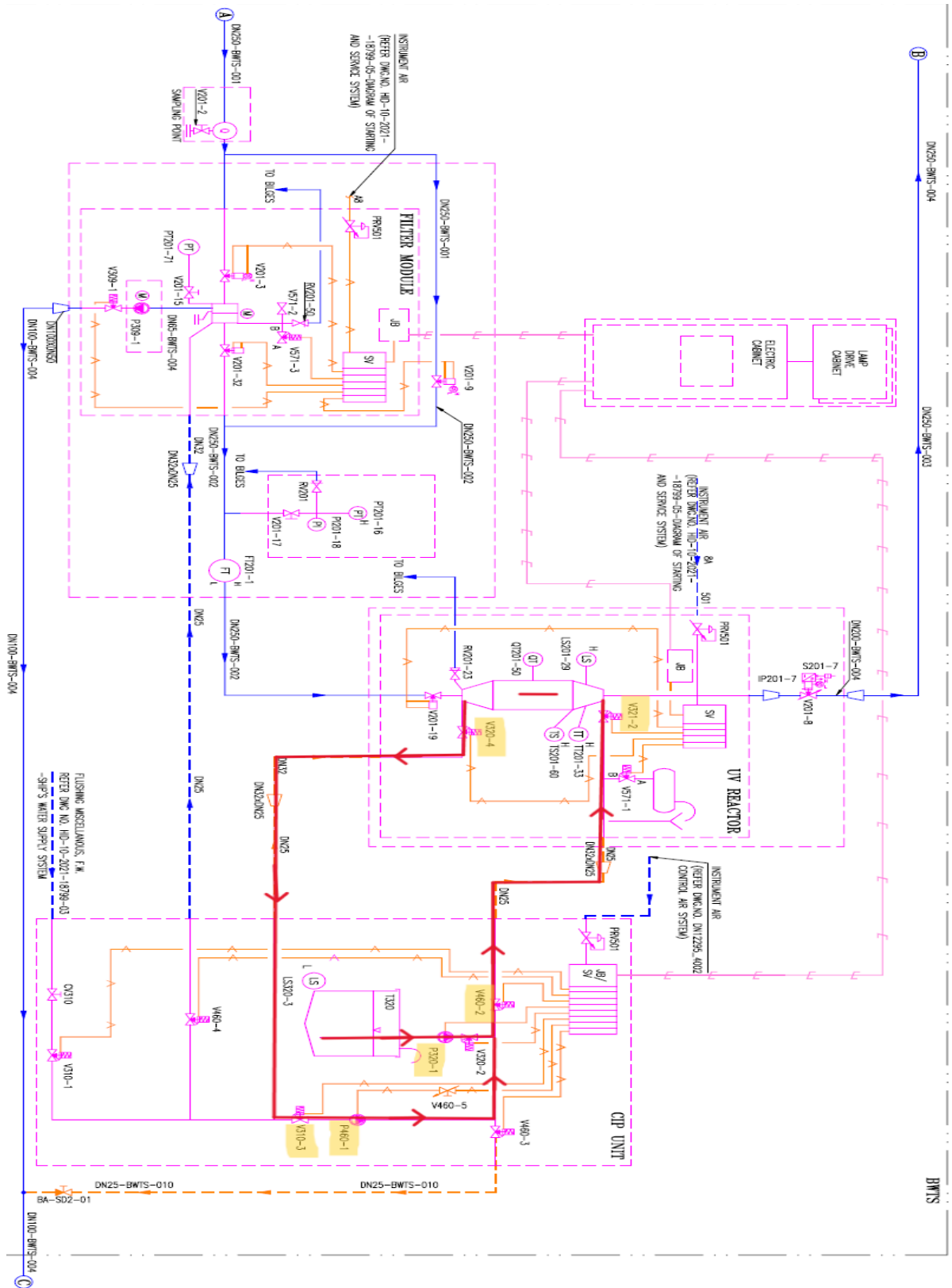
Fuente: (27)

### 3.4. Procedimiento CIP

Después de una operación de lastre, se realiza un proceso CIP (limpieza en el lugar) para limpiar el reactor UV. Este proceso puede realizarse inmediatamente después una operación de lastre o en 30 horas contadas desde que el proceso empezó. Tenga en cuenta que es posible realizar nuevos procesos durante estas 30 horas. Recomendamos que un proceso CIP se realice en la misma ubicación que se hizo la operación de lastre. Si no es posible, se deberá hacerlo en aguas internacionales (200 millas náuticas desde la línea de base). Esto debido al riesgo de no tratar o no completamente el agua tratada que queda en el reactor/filtro. El reactor UV y el filtro se enjuagan con agua técnica/agua potable. Entonces, el reactor UV está lleno de líquido CIP biodegradable y agua técnica / agua potable, que circula periódicamente, aproximadamente cuatro veces por hora, durante el proceso CIP de 6 horas para eliminar las incrustaciones del vidrio de cuarzo y del sensor UV. Una vez finalizada la limpieza, el reactor UV se llena con agua técnica / agua potable para evitar incrustaciones, crecimiento de algas, etc.

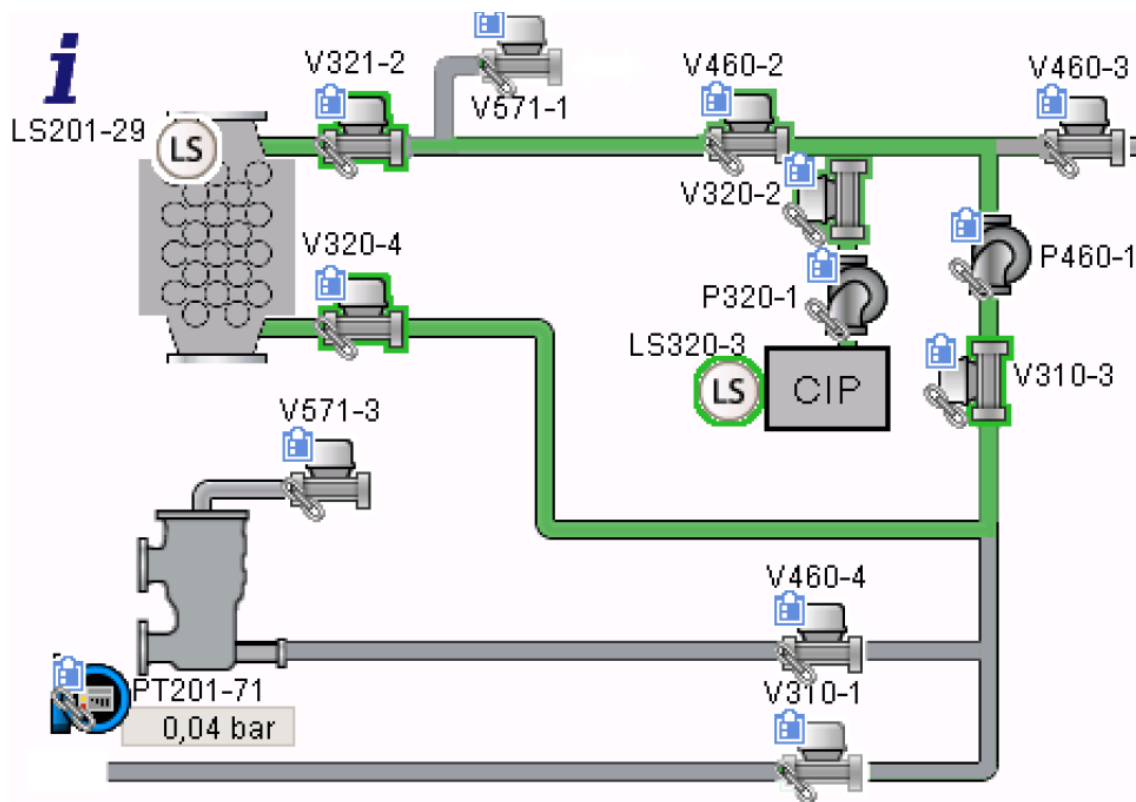


Figura 37. Plano sistema de limpieza CIP



Fuente: (27)

Figura 38. Circulación del líquido CIP en el proceso de limpieza CIP

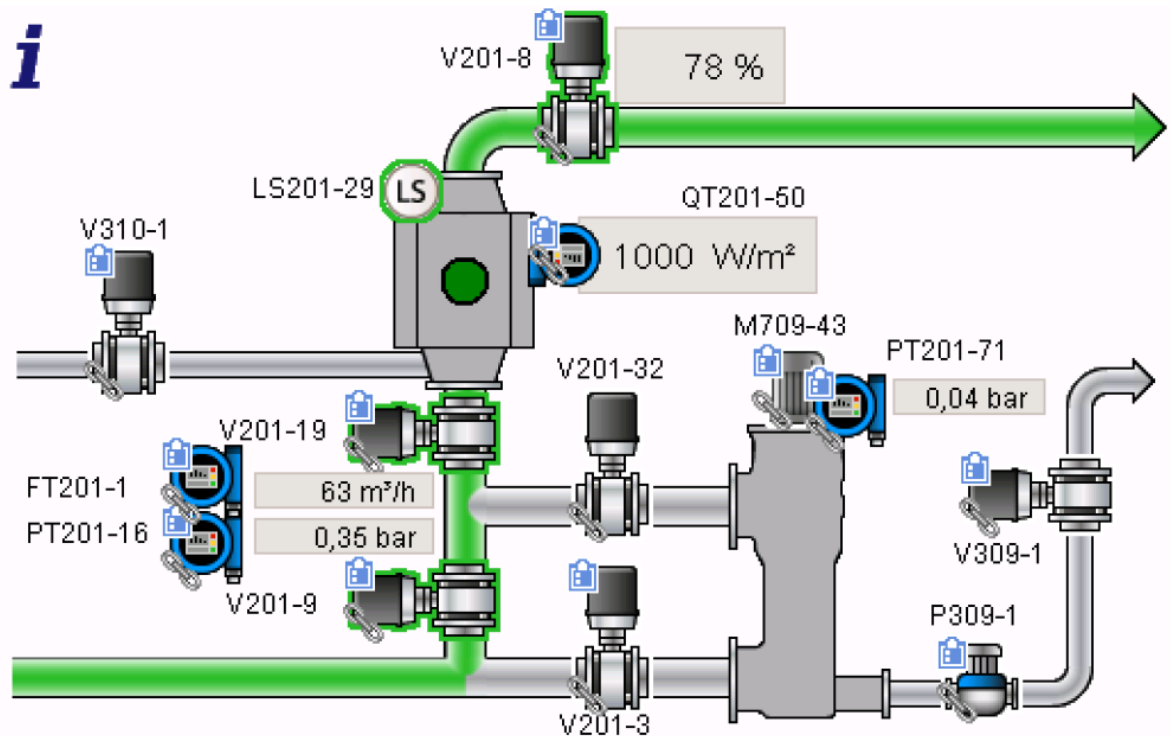


Fuente: (27)

### 3.5. Deslastrado

El deslastrado usa el mismo proceso de arranque que durante el lastre. Después de la puesta en marcha, cuando las lámparas están listas, se solicita al operador que encienda la bomba de lastre. El agua pasa a través del reactor UV, pero el filtro se pasa por alto, de ahí que el agua ya ha sido filtrada durante el lastrado. El motivo del tratamiento del agua por segunda vez durante el deslastrado es para asegurar que el tratamiento es completamente eficaz. La parte menor de los organismos, que solo resultaron lesionados durante lastre, quedarán totalmente inofensivos durante el deslastrado. El control de flujo y la optimización de energía funcionan de la misma manera que durante el lastrado.

Figura 39. Operación de deslastrado



Fuente: (27)

#### 4. Legislación del buque Andalucía Express

Debido a que el buque fue construido el día 15 de mayo de 2007 y según el calendario de implantación determinado por el MERC. Los buques existentes han de cumplir como mínimo la norma D-1 (norma para el cambio del agua de lastre); también pueden elegir de instalar un sistema de gestión del agua de lastre o alternatively cumplir la norma D-2 (descarga) pero esto no es obligatorio hasta la correspondiente fecha de cumplimiento.

Caso 1: Si el reconocimiento de renovación IOPP previo se ha realizado entre el 8 de septiembre de 2014 y el 8 de septiembre de 2017, entonces el buque debe cumplir con la norma D-2 en el siguiente reconocimiento de renovación (que se realizará a más tardar antes del 8 de septiembre de 2022). En el caso del Andalucía Express se instaló el sistema de tratamiento de agua de lastre en mayo de 2022.

Según el BOE núm.282 de 2016, en la regla B-3 del anexo.

Los buques construidos antes de 2009:

1. Con una capacidad de agua de lastre comprendida entre 1 500 y 5 000 metros cúbicos, inclusive, habrán de llevar a cabo una gestión del agua de lastre que

cumpla como mínimo la norma descrita en la regla D-1 o bien en la regla D-2 hasta 2014, fecha después de la cual habrá de cumplir como mínimo la norma descrita en la regla D-2;

Pero en la parte de exenciones de la misma regla A-4 del anexo se describe perfectamente que:

Una Parte o Partes podrán conceder, en las aguas bajo su jurisdicción, exenciones con respecto a cualquier prescripción de aplicar las reglas B-3 o C-1, además de las que figuran en otras disposiciones del presente Convenio, pero solo cuando tales exenciones:

1. Se concedan a un buque o buques que realicen un viaje o viajes entre puertos o lugares específicos; o a un buque que opere exclusivamente entre puertos o lugares específicos;
2. Sean efectivas por un periodo no superior a cinco años, a reserva de un examen intermedio;
3. Se concedan a buques que no mezclen agua de lastre ni sedimentos, excepto entre los puertos o lugares especificados en el párrafo 1.1;
4. Se concedan de conformidad con las Directrices sobre la evaluación de riesgos elaboradas por la Organización.

Por lo tanto, el Andalucía Express instaló el sistema de tratamiento del agua de lastre PureBallast 3.2 para cumplir con la norma D-2, explicada en el apartado III. Revisión y antecedentes en el subapartado 3. Legislación y responsabilidad, este sistema es el encargado de reducir la cantidad de microorganismos en el agua de lastre para cumplir con la anteriormente mencionada norma D-2 ya que todo barco después del 2024 debe tener un sistema de tratamiento de agua de lastre y debido a que el buque realizó una varada en el año 2022, se instaló dicho sistema de tratamiento de agua de lastre.

## VI. Conclusión

En este último apartado se explicará cómo se ha podido llegar a desarrollar este trabajo de fin de grado con éxito, realizando una serie de estudios e investigaciones con las que he llegado a estas conclusiones.

- He podido estudiar la legislación pertinente en el ámbito de gestión de agua de lastre y más específicamente en los sistemas de tratamiento de agua de lastre comprendiéndola y entendiendo su implicación.
- He comprendido por qué la OMI incita a que todos los buques con una cierta capacidad de agua de lastre deban implantar un sistema de tratamiento de agua de lastre.
- He podido estudiar y comprender los diferentes tipos de tratamientos o combinación de ellos para el tratamiento de agua de lastre y todos aquellos con aprobación final de la OMI.
- He realizado el estudio del sistema implementado en el buque Andalucía Express llegando a comprender todas las operativas que se pueden realizar con el sistema PureBallast 3.2 500 Compact Flex .
- Se ha deducido que el sistema PureBallast 3.2 es un sistema con un mantenimiento sencillo y que cumple con los parámetros de desinfección de agua de lastre impuestos por OMI estando en su lista de tratamientos con aprobación final.
- He entendido lo necesario para realizar un trabajo de ingeniería desglosando los procesos a realizar y las consideraciones necesarias a la hora de estudiar el sistema de agua de lastre existente en el buque Andalucía Express perteneciente a la compañía Bernhard Schulte Canarias

## VII. Bibliografía

1. **Wikipedia** . Barco. [En línea] <https://es.wikipedia.org/wiki/Barco>.
2. **Mayor, Harry Gonzalez**. Estabilidad del buque I. *Efectos del traslado de pesos sobre la estabilidad estática*. [En línea] 7 de julio de 2011. <https://estabilidadbuque.blogspot.com/2011/08/efectos-del-traslado-de-pesos-sobre-la.html>.
3. **OMI**. Gestión del agua de lastre. [En línea] <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx>.
4. **Greentechnosl**. Tratamiento de las aguas de lastre de barcos. [En línea] <https://greentechnosl.com/tratamiento-de-las-aguas-de-lastre-de-barcos/>.
5. **ecologistasenaccion**. ecologistasenaccion. *Aguas de lastre y especies invasoras*. [En línea] 25 de agosto de 2005. <https://www.ecologistasenaccion.org/2742/aguas-de-lastre-y-especies-invasoras/>.
6. **ONU**. Convención de las Naciones Unidas. [En línea] [https://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/convemar\\_es.pdf](https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf).
7. **OMI**. Organización marítima internacional . *Gestión del agua de lastre*. [En línea] <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx>.
8. **IMO**. International convention for the control and management of ships ballast water and sediments, 2004 . [En línea] <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/BWM.2-Circ.34-Rev.10.pdf>.
9. **BOE**. Instrumento de ratificación del Convenio Internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, 2004, hecho en Londres el 13 de febrero de 2004. *BOE num. 282 páginas 81757 a 81790 BOE-A-2016-10960*. [En línea] 22 de noviembre de 2016. [https://www.boe.es/eli/es/ai/2004/02/13/\(1\)](https://www.boe.es/eli/es/ai/2004/02/13/(1)).
10. **OMI, (organización marítima internacional)**. OMI. *Implantación del Convenio sobre la gestión del agua de lastre*. [En línea] 2004. <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx>.
11. **BOE**. Núm. 262 Sec. I. Pág. 83851. *RESOLUCIÓN MEPC.297(72)*. [En línea] 3 de octubre de 2020. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/10/03/pdfs/BOE-A-2020-11690.pdf>.
12. **OMI**. Organización marítima internacional. *List of ballast water management systems that make use of Active Substances*. [En línea] 14 de diciembre de 2021.

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/BWM.2-Circ.34-Rev.10.pdf>.

13. **IMO**. BWM.2/Circ.34/Rev.10. *List of ballast water management systems that make use of Active Substances*. [En línea] 14 de diciembre de 2021. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/BWM.2-Circ.34-Rev.10.pdf>.

14. *Technologies for ballast water treatment: A review*. **Efi Tsolaki y Evan Diamadopoulou**. enero de 2010, Journal of Chemical Technology & Biotechnology.

15. **Vega Marquez, Paulino**. Tratamiento de agua de lastre mediante luz ultravioleta en aguas con altas concentraciones de sólidos en suspensión. *TFM*. Gijón : s.n., Julio de 2021 .

16. *Ballast water problem: Current status and expected challenges*. **Bilgin Güney, Ceren** . Estambul : s.n., 22 de diciembre de 2022, Marine science and technology bulletin, págs. 11 (4),397-415.

17. **SVB**. Filtro de agua salada VENEZIA / Latón CR / angulado. [En línea] <https://www.svb-marine.es/es/maestrini-filtro-de-agua-salada-venezia-laton-cr-angulado.html>.

18. **Félicien Mazille (cewas) , Dorothee Spuhler (seecon) y Luis Roberti Pérez (seecon)**. Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. *Coagulation - Flocculation*. [En línea] <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-y-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n#:~:text=La%20coagulaci%C3%B3n%2Dfloculaci%C3%B3n%20es%20una,capacidad%20de%20eliminaci%>.

19. **Slideplaye**. Filtración de agua en lechos granulares. [En línea] <https://slideplayer.es/slide/6101210/>.

20. **TRAXCO**. Hidrociclón, separador de arena. [En línea] <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/hidrociclon>.

21. **Lenntech**. procesos desinfeccion quimica desinfectantes hipoclorito de sodio. *Desinfectantes Hipoclorito de sodio*. [En línea] <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-hipoclorito-de-sodio.htm#:~:text=Cuando%20el%20hipoclorito%20de%20sodio,acido%20hipocloroso%20que%20se%20forma..>

22. **ATSDR (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades).** Resúmenes de Salud Pública - Dióxido de cloro y clorito (Chlorine Dioxide and Chlorite). [En línea] [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs160.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs160.html).

23. **Domínguez, Encarnación Díaz.** Universidad de Cádiz. *Evaluación de Tratamientos de Desinfección Bacteriana de Aguas de Lastre Basados en el Ozono.* [En línea] 10 de septiembre de 2021. <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/26598/Memoria%20TFM%20-%20Encarnaci%20D%20adaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

24. **Hielscher Ultrasonic.** Desinfección ultrasónica del agua de lastre. [En línea] <https://www.hielscher.com/es/ultrasonic-ballast-water-disinfection.htm>.

25. **Documentos del buque Andalucía Express. . 2023.**

26. **Hidramar Group. BALLAST SCHEMATIC WITH BWTS INSTALLATION A1 1:1. HID-10-2021-18799-02.** octubre de 2021.

27. **Alfa Laval Corporate AB. PureBallast ballast water treatment system. System manual PureBallast 3.2 compact flex PB-07000.** Tumba, Suecia : s.n., marzo de 2021.

28. **IUVA (International ultraviolet association). WHAT IS UV?** [En línea] <https://iuva.org/What-is-UV>.

29. **Citcea. Recursos citcea. Lámpara de descarga. Conceptos .** [En línea] <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html>.

30. **pveducation. Formación de la unión-PN.** [En línea] <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/dispositivos-semiconductores/formaci%C3%B3n-de-la-uni%C3%B3n-pn>.

31. **Sholtes, Ph.D., Kari , y otros. IUVA. UV 101: Desinfección Ultravioleta, una perspectiva general.** [En línea] <https://iuva.org/resources/covid-19/UV-101-Desinfecci%C3%B3n-Ultravioleta-una-perspectiva-general.pdf>.

32. **qbprofe. Que es un Diodo LED.** [En línea] 5 de diciembre de 2020. <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/que-es-un-diodo-led/>.

33. **hyperphysics. Unión P-N con Polarización Directa.** [En línea] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Solids/diod.html>.



34. H. B. Wright y W. L. Cairns. Trojan Technologies Inc. *DESINFECCION DE AGUA POR MEDIO DE LUZ ULTRAVIOLETA.* [En línea]  
<https://www.contraplagas.com/images/archivos/conductos.pdf>.

## Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Guillermo García-Ramos García**, autor del trabajo final de Grado titulado “**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LASTRE POR LUZ ULTRAVIOLETA**”, y tutorizado por el/los profesor/es **Lidia Paola Padilla Cruz**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFG), 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 Construcciones Navales y 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.

Nota: Este documento será obligatorio presentarlo como última hoja del documento final del TFG.

