

# Estudio comparativo del tratamiento de aguas sucias en un buque RO-PAX y en un CRUCERO. Propuesta de optimización

Trabajo de fin de grado



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

**Pol Gil Monleon**

Dirigido per:

**Santiago Ordás Jiménez**

Doble titulació Grau en tecnologies Marines/Grau Enginyeria en  
Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 10 de Julio de 2023

Departament de Ciència i Enginyeries Nàutiques



Versió	Data	Modificacions
1	[Data]	Creació del document
		Revisió...

Escrit per:	
Autor/a:	
Data:	

Revisat i aprovat per:	
Tutor/a:	
Data:	
Revisat i aprovat per:	
Co-Tutor/a:	
Data:	

## **Agradecimientos**

En este momento de culminación de mi carrera, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han formado parte de este proceso. Su apoyo y colaboración han sido fundamentales para alcanzar este logro tan importante en mi vida académica.

Sin embargo, más allá de los nombres, quisiera destacar la importancia de todo el grupo de amigos, familiares y profesionales que han estado ahí brindándome su entusiasmo, motivación y ánimo. A todos ellos les debo mi más profunda gratitud y el compromiso de seguir adelante en mi carrera profesional con la misma pasión y dedicación que ellos me han transmitido.

## Resumen

El tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques se ha convertido en un tema cada vez más importante en el mundo actual. A medida que la población mundial sigue creciendo, también aumenta la demanda de recursos como el agua limpia. La industria marítima, que incluye cruceros, cargueros y otras embarcaciones, genera una cantidad significativa de aguas residuales. Estas aguas residuales contienen contaminantes como aceite, productos químicos y materia biológica, que, si no se tratan adecuadamente, pueden ser perjudiciales para el medio ambiente.

Para mitigar el impacto ambiental de las aguas residuales, las embarcaciones deben contar con sistemas efectivos de tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento aseguran que las aguas residuales sean tratadas a un nivel que cumpla con los estándares necesarios y que sea segura para ser descargada en los océanos y mares. Sin embargo, la implementación de tales sistemas de tratamiento de aguas residuales requiere una cantidad significativa de inversión y esfuerzo.

Este trabajo tiene como objetivo centrarse en la importancia del sistema de tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques, los diversos tipos de sistemas disponibles y los desafíos que implica implementarlos. Además, se proporcionará información sobre el trabajo que se ha realizado para mejorar los sistemas de tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques, los desafíos que se han enfrentado y cómo se han superado.

Este trabajo, también considerará los marcos reguladores establecidos por varios países y organizaciones con respecto a la descarga de aguas residuales de los buques. El estudio ayudará a identificar áreas de mejora y posibles soluciones a los desafíos que se han encontrado hasta ahora. Al adoptar prácticas sostenibles en la industria marina, podemos ayudar a proteger los recursos hídricos del mundo para las generaciones futuras.

No se puede subestimar la importancia del sistema de tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques. Es un aspecto crítico para mantener la sostenibilidad de la industria marina, y este trabajo tiene como objetivo dar a conocer el progreso realizado y los desafíos que quedan por delante.

**Palabras clave:** Anexo IV MARPOL 73/78, tratamiento de aguas residuales, contaminación.

## **Abstract**

Wastewater treatment on board ships has become an increasingly important topic in today's world. As the world's population continues to grow, so does the demand for resources like clean water. The maritime industry, including cruise ships, cargo ships, and other vessels, generates a significant amount of wastewater. This wastewater contains contaminants such as oil, chemicals, and biological matter, which, if not treated properly, can be harmful to the environment.

To mitigate the environmental impact of wastewater, vessels must have effective wastewater treatment systems. Treatment systems ensure that wastewater is treated to a level that meets necessary standards and is safe to be discharged into oceans and seas. However, implementing such wastewater treatment systems requires significant investment and effort.

This paper aims to focus on the importance of onboard wastewater treatment systems, the various types of systems available, and the challenges involved in implementing them. Additionally, information will be provided on work that has been done to improve onboard wastewater treatment systems, the challenges that have been faced, and how they have been overcome.

This paper will also consider the regulatory frameworks established by various countries and organizations regarding the discharge of ship wastewater. The study will help to identify areas for improvement and possible solutions to the challenges that have been encountered so far. By adopting sustainable practices in the maritime industry, we can help to protect the world's water resources for future generations.

The importance of onboard wastewater treatment systems cannot be underestimated. It is a critical aspect of maintaining the sustainability of the maritime industry, and this paper aims to highlight the progress made and the challenges that lie ahead.

**Keywords:** MARPOL 73/78 Annex IV, wastewater treatment, pollution.

# Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS .....	IV
RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VI
TABLA DE CONTENIDOS .....	VII
LISTADO DE FIGURAS .....	X
LISTADO DE TABLAS .....	XII
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	XIII

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....** **1**

1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	1
1.2. CONTAMINACIÓN MARINA .....	1
1.3. CONTAMINACIÓN POR EL TRANSPORTE MARÍTIMO .....	1

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....** **4**

2.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICADA A LOS BARCOS.....	4
2.2. MARCO NORMATIVO.....	5
2.2.1. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SUCIAS .....	8
2.2.2. TANQUE DE RETENCIÓN .....	10
2.2.3. DESAGÜES DE COCINA .....	11
2.2.4. PROCEDIMIENTOS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES.....	11
2.2.5. REQUISITOS DE DOCUMENTACIÓN .....	11
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS QUE SE LES PUEDE DAR A BORDO A LAS AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTOS EXISTENTES. ....	11
2.3.1. SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO .....	12
2.3.2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO FISCOQUÍMICOS.....	12
2.3.3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE MEMBRANAS Y OSMOSIS INVERSA .....	13

## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS AGUAS RESIDUALES. DE SU GENERACIÓN AL VERTIDO FINAL.....** **14**

3.1. AGUAS NEGRAS .....	15
3.1.1. EVAC ONLINEMAX.....	15
3.1.2. CAJA NEGRA .....	16
3.1.3. TANQUE ALMACÉN DE AGUAS NEGRAS .....	17
3.1.4. TRATAMIENTO DE OLOR.....	17
3.2. GREASE WATER .....	17
3.2.1. SEPARADOR DE GRASA.....	18

3.3.	AGUAS GRISES.....	19
3.4.	LAUNDRY WATER .....	20

**CAPÍTULO 4. ANÁLISIS COMPARATIVO .....** **21**

4.1.	ANÁLISIS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN RO-PAX (BUQUE PEQUEÑO) .....	21
4.1.1.	AGUAS RESIDUALES EN BUQUE RO-PAX.....	21
4.1.2.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	22
4.1.3.	MANTENIMIENTO .....	25
4.1.4.	COSTE DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA .....	26
4.1.5.	EMISIONES DE CO2 .....	27
4.2.	ANÁLISIS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CRUCERO (BUQUE GRANDE) .....	28
4.2.1.	AGUAS RESIDUALES EN BUQUE CRUCERO .....	28
4.2.2.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	29
4.2.3.	MANTENIMIENTO .....	42
4.2.4.	COSTE DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA .....	43
4.2.5.	EMISIONES DE CO2 .....	44
4.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO .....	45

**CAPÍTULO 5. MARCO PRÁCTICO. PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LAS  
AGUAS SUCIAS EN BUQUES DE PASAJE.....** **46**

5.1.	SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE ALTA EFICIENCIA .....	46
5.1.1.	SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE LECHO PROFUNDO .....	46
5.1.2.	SISTEMAS DE FILTRACIÓN POR MEMBRANAS SEMIPERMEABLES .....	47
5.1.3.	SISTEMAS DE FILTRACIÓN MEDIANTE LA ELECTROSTACIDAD .....	48
5.2.	SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA .....	48
5.2.1.	BIOMASA Y BIOGÁS .....	49
5.2.2.	RECUPERACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA .....	53

**CONCLUSIONES .....** **56**

**BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....** **58**

**ANEXO 1. COSTE ECONÓMICO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO.....** **61**

**ANEXO 2. SEWAGE DISCHARGE LOG.....** **63**



**ANEXO 3. GREY WATER DISCHARGE LOG ..... 64**

**ANEXO 4. CAPACITY CALCULATION OF HOLDING TANKS ..... 65**

**ANEXO 5. ENTREVISTA A OFICIAL ENCARGADO DEL SISTEMA AWP..... 67**

## Listado de figuras

Figura 1. Impacto del petróleo y derivados en el entorno marino. Fuente PNUMA - ONU, 2003 ....	2
Figura 2. Mapa de zonas ECA actuales y posibles futuras zonas ECA. Fuente: Ingmartima 4 de junio de 2017.....	3
Figura 3. Ejemplo de una zona marina especialmente sensible designada por la OMI. Fuente: Secretaría del Mar de Wadden .....	6
Figura 4. Esquema de funcionamiento de un sistema de tratamiento biológico. Fuente: GEDAR..	12
Figura 5. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa. Fuente: Carbontecnica .....	13
Figura 6. Esquema general de aguas residuales.....	14
Figura 7. Partes del EVAC ONLINEMAX 240 DF .....	15
Figura 8. Caja negra. Fuente: propia .....	16
Figura 9. Tanque para tratar el olor. ....	17
Figura 10. Ejemplo de tanque de grasa.....	18
Figura 11. Drenaje manual de la grasa en una garrafa .....	19
Figura 12. Esquema de aguas de lavandería .....	20
Figura 13. Ubicación tanques acumuladores. Fuente: plano .....	22
Figura 14. Plano planta de tratamiento .....	24
Figura 15. Esquema funcionamiento del sistema de aguas residuales.....	29
Figura 16. Dibujo de disposición interior de los mixing tanks.....	29
Figura 17. Pre-filtration screening module .....	30
Figura 18. Sopladores de aire .....	31
Figura 19. Bacterias dentro del tanque biorreactor.....	32
Figura 20. Unidad antiespumante.....	32
Figura 21. Unidad dosificadora de polímero .....	33
Figura 22. Flocculation unit .....	34
Figura 23. Flotation module .....	35
Figura 24. Detalle del Flotation Module durante su vaciado para limpiar.....	35
Figura 25. Componentes Dispersion Module .....	37
Figura 26. Dispersion module.....	37

Figura 27. Polishing module .....	38
Figura 28. Interior del polishing filter durante su proceso de lavado .....	39
Figura 29. UV module.....	39
Figura 30. Unidad de lavado UV durante proceso de renovado del químico .....	40
Figura 31. Sensor TSS .....	41
Figura 32. Rutina para seguir para el buen funcionamiento de la planta AWP .....	42
Figura 33. Esquema del sistema de recuperación de energía por biomasa y biogás.....	50
Figura 34. Esquema digestor .....	51
Figura 35. Turbina Kaplan. Fuente: Wikimedia Commons.....	54
Figura 36. In-Pipe Energy HydroXS. Fuente: fabricante .....	55

## Listado de tablas

Tabla 1. Resumen comparativo entre requisitos MEPC.227(64) y VGP 2013 Circular Nº POL 017 ...	9
Tabla 2. Requisitos para la descarga de aguas sucias .....	10
Tabla 3. Parámetros utilizados para determinar la capacidad mínima de los tanques de retención de aguas residuales .....	10
Tabla 4. Requisitos de documentación .....	11
Tabla 5. Consumo energético planta de tratamiento de aguas residuales buque Ro-Ro.....	26
Tabla 6. Tabla de consumos específicos motor 6R22/26 en función del porcentaje de carga.....	26
Tabla 7. Consumo específico de HFO para el porcentaje de carga real.....	26
Tabla 8. Fuel mass to CO2 mass conversion factors ( $C_F$ ).....	28
Tabla 9. Consumo energético planta de tratamiento de aguas residuales en buque crucero .....	43
Tabla 10. Tabla de consumos específicos motor W8L46F en función del porcentaje de carga .....	44
Tabla 11. Consumo específico de HFO para el porcentaje de carga real.....	44
Tabla 12. Tabla comparativa consumos específicos .....	45

## Listado de abreviaturas

SOPEP	Shipboard Oil Pollution Emergency Plan
OMI	Organización Marítima Internacional
ECA	Emission Control Area
NECA	Nitrogen Emission Control Area
SOLAS	Convenio Internacional por la Seguridad de la Vida Humana en el Mar
MARPOL	Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques
MEPC	Comité de Protección del Medio Marino
ZMES	Zonas Marinas Especialmente Sensibles
USCG	United States Coast Guard
CFR	Code of Federal Regulations
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator
HFO	Heavy Fuel Oil
NSR	Sin evacuación de lodos
PSR	Eliminación periódica de lodos
DAF	Dissolved Air Flotation
TSS	Total Suspended Solids
SFOC	Specific Fuel Oil Consumption

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es estudiar y entender el tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques. Para ello, se estudiarán un par de casos reales y se analizará detalladamente el funcionamiento del sistema actual. A partir de esta investigación, se buscarán soluciones innovadoras y viables que permitan mejorar la eficiencia y eficacia del tratamiento de aguas residuales en las embarcaciones.

## 1.2. Contaminación marina

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 establece la siguiente definición: "La introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluidos la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento" (GESAMP-ONU, 1982). Cuando la biosfera se altera debido a la introducción de elementos inusuales, se produce lo conocido como contaminación.

El océano cubre aproximadamente el 71% de la superficie de la Tierra y tiene una profundidad promedio de 2,7 kilómetros, con un volumen de agua de alrededor de 1.400.000 km<sup>3</sup> distribuidos en esta extensión.

La industria es la principal responsable de la contaminación marina debido a la gran cantidad de sustancias tóxicas e hidrocarburos que se vierten en el mar. Estos vertidos contribuyen al aumento de la temperatura, conocido como contaminación térmica.

Además, las aguas residuales provenientes de alcantarillas y sistemas de drenaje pluvial, arrastran fertilizantes y productos químicos, lo cual constituye otro de los principales factores de contaminación en nuestros océanos.

## 1.3. Contaminación por el transporte marítimo

El transporte marítimo desempeña un papel fundamental en el comercio internacional, siendo responsable de más del 80% del transporte de mercancías a nivel global. En la Unión Europea, se estima que el 70% de los intercambios comerciales con países externos a la UE y el 41% del

transporte entre países miembros se realiza a través del transporte marítimo. Por lo tanto, su importancia económica es vital en la economía mundial.

En el ámbito del transporte marítimo, el petróleo es considerado como uno de los principales contaminantes debido a que se transportan anualmente tres millones de toneladas de este hidrocarburo. Sin embargo, cabe destacar que el transporte marítimo no es la principal fuente de contaminación del entorno marino. Aproximadamente el 50% de los vertidos de petróleo provienen de la industria, mientras que el 5% se atribuye a derrames causados por accidentes navales. Se estima que un 19% de la contaminación es resultado de actividades de mantenimiento, como el lavado de tanques o las cargas de lastre en tanques de carga. Es importante destacar que la mayoría de estos vertidos de mantenimiento son inferiores a 7 toneladas, representando el 92% del total de los vertidos. La siguiente imagen refleja el impacto mencionado. (Junta de Andalucía, 2002).

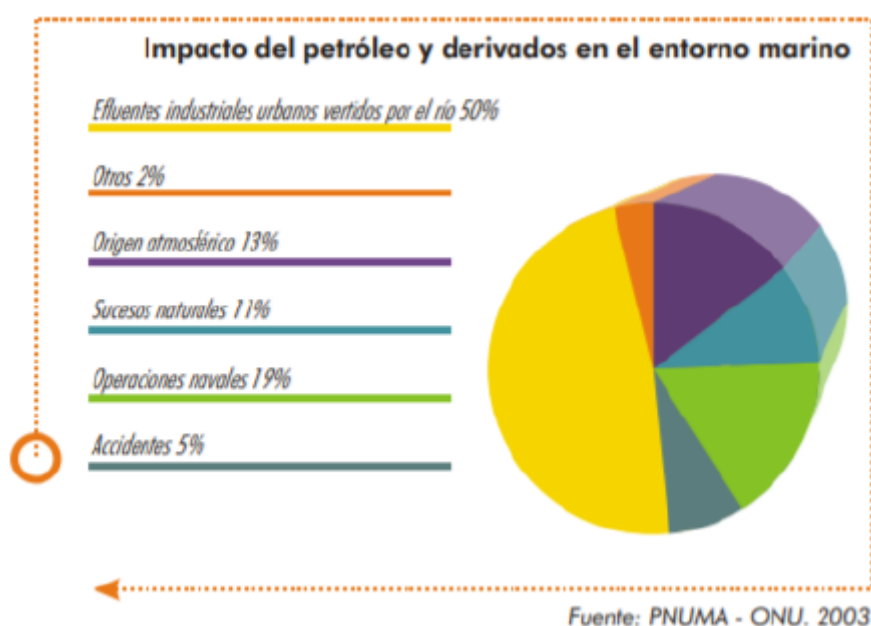


Figura 1. Impacto del petróleo y derivados en el entorno marino. Fuente PNUMA - ONU, 2003

Con el fin de mitigar la contaminación causada por derrames de petróleo y sus derivados, se ha implementado un plan de contingencia para buques conocidos como SOPEP (Shipboard Oil Pollution Emergency Plan). Este plan tiene como objetivo establecer procedimientos y medidas para hacer frente a situaciones de emergencia relacionadas con derrames de hidrocarburos en buques.

Los buques mercantes son conocidos por su contribución a la contaminación atmosférica debido a las emisiones de gases de escape, especialmente aquellos que utilizan fuelóleo como combustible. El fuelóleo contiene altos niveles de azufre, lo que resulta en emisiones significativas de dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.

Con el propósito de combatir esta contaminación, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido Áreas de Control de Emisiones (ECA, por sus siglas en inglés). En el año 2015, se implementó una medida para reducir la contaminación de los buques en las Áreas de Control de Emisiones de Azufre (SECA, por sus siglas en inglés) a un límite de 1000 partes por millón (ppm), y en las Áreas de Control de Emisiones de Nitrógeno (NECA, por sus siglas en inglés). Estas medidas buscan regular y disminuir las emisiones contaminantes en estas áreas específicas. La siguiente imagen muestra las zonas ECA para una mejor visualización de estas áreas controladas.



**Figura 2. Mapa de zonas ECA actuales y posibles futuras zonas ECA. Fuente: Ingmartima 4 de junio de 2017**

El manejo de la contaminación por desechos sólidos, también conocidos como contaminantes sólidos, está regulado por el Anexo V del Código MARPOL 73/78. Este anexo define las basuras como todos los desechos sólidos producidos por el buque. Los buques son generadores significativos de residuos, algunos de los cuales se consideran peligrosos y requieren un tratamiento especial, como las mezclas oleosas y los residuos líquidos nocivos. Sin embargo, también generan otros tipos de residuos que pueden ser vertidos al mar después de un tratamiento previo a bordo y a una distancia específica de la costa.

Es importante destacar que los residuos generados en los buques son necesarios y deben ser desechados adecuadamente. En este proyecto, nos enfocaremos únicamente en la contaminación producida por las aguas residuales producidas a bordo de los buques.



## **Capítulo 2. Marco teórico**

### **2.1. Problemática ambiental de las aguas residuales aplicada a los barcos**

El mismo problema que se encuentra en tierra, lo tenemos también a bordo de los buques. El tratamiento de aguas residuales es un aspecto esencial de la gestión a bordo de los barcos para proteger la salud del medio marino, siendo regulado por las normativas internacionales. La gestión de embarcaciones marinas ha enfrentado durante mucho tiempo los desafíos de manejar diferentes tipos de desechos generados a bordo, que incluyen aguas residuales, aguas grises, aguas negras, aguas oleosas y aguas de sentina. La creciente sensibilidad y conciencia de las regulaciones de protección ambiental han llevado al desarrollo e implementación de sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques.

La industria ha sido testigo de un progreso notable en el campo de la tecnología de tratamiento de aguas residuales para abordar las crecientes preocupaciones ambientales. El estricto marco regulatorio, como MARPOL, se ha convertido en la fuerza impulsora detrás de estos avances tecnológicos. El sistema está diseñado para extraer materias contaminantes de varios desechos y producir agua tratada que pueda ser desechada de manera segura en el océano o reutilizada a bordo del barco.

La importancia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se vuelve aún más importante para los buques que operan en aguas restringidas, como reservas naturales marinas y zonas de exclusión de pesca, donde la descarga de residuos sin tratar puede dar lugar a sanciones y multas severas. Además, el tratamiento de los residuos a bordo reduce la huella ambiental del buque y mejora la responsabilidad social de los trabajadores del buque.

Hay varias razones por las que necesitamos tratar las aguas residuales de los buques antes de descargarlas en el mar, entre ellas:

1. Protección del ecosistema marino: los productos químicos y las sustancias presentes en las aguas residuales pueden dañar la vida marina y alterar el delicado equilibrio del ecosistema marino.
2. Protección de la salud pública: las aguas residuales no tratadas pueden contener bacterias y virus dañinos que pueden propagar enfermedades, lo que podría representar una amenaza para la salud pública.
3. Cumplimiento de normativas: las leyes internacionales y nacionales, como el Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques (MARPOL), obligan a

- las embarcaciones a tratar sus aguas residuales antes de verterlas al mar, para evitar la contaminación marina.
4. Gestión de la reputación: el tratamiento responsable de las aguas residuales puede mejorar la reputación de una empresa, demostrando que son conscientes del medio ambiente y están comprometidas con la protección del medio ambiente.
  5. Prácticas sostenibles: el tratamiento de aguas residuales es una práctica sostenible, ya que reduce el impacto negativo de la actividad humana en el medio ambiente y fomenta la preservación de los recursos naturales.

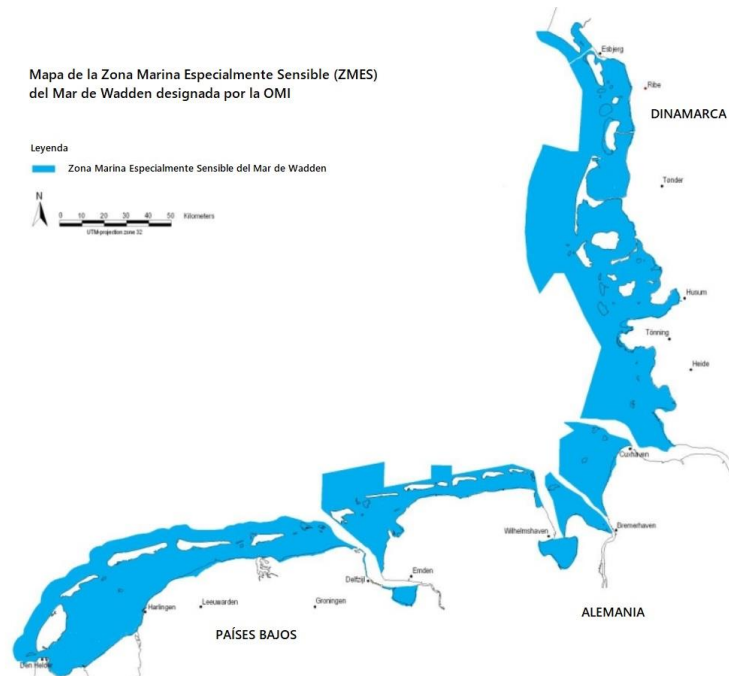
## 2.2. Marco normativo

La OMI (Organización Marítima Internacional), es un organismo encargado de proteger la navegación y el medio ambiente marino a través de la aplicación de normativas establecidas en convenios como el SOLAS (Convenio Internacional por la Seguridad de la Vida Humana en el Mar) y el MARPOL 73/78 (Convenio Internacional por la prevención de la contaminación por los buques). Estos convenios buscan garantizar la seguridad de la vida humana en el mar y prevenir la contaminación generada por los barcos.

El Anexo IV de MARPOL establece los requisitos para los sistemas de tratamiento de aguas a bordo de los buques, y también se refiere a la prevención de la contaminación por aguas residuales y establece limitaciones en la descarga de aguas residuales en áreas designadas como sensibles ecológicamente. Las ZMES (Zonas Marinas Especialmente Sensibles) aprobadas hasta la fecha son las siguientes:

- La Gran Barrera de Coral, Australia (1990)
- El archipiélago de Sabana–Camagüey, Cuba (1997)
- La isla de Malpelo, Colombia (2002);
- La zona marítima que rodea los Cayos de Florida, Estados Unidos de América (2002)
- El mar de Wadden entre Alemania, Dinamarca y los Países Bajos (2002)
- La Reserva Nacional de Paracas, Perú (2003)
- Las aguas occidentales de Europa (2004)
- La ampliación de la ZMES existente de la Gran Barrera de Coral para incluir la región del Estrecho de Torres (propuesta por Australia y Papua Nueva Guinea (2005)
- Islas Canarias, España (2005)
- El archipiélago de Galápagos, Ecuador (2005)
- La zona del mar Báltico en torno a Alemania, Dinamarca, Estonia, Letonia, Lituania, Polonia y Suecia (2005)
- El Monumento Marino Nacional de Papahānaumokuākea, Estados Unidos de América (2007)
- El Estrecho de Bonifacio entre Francia e Italia (2011)
- El Banco de Saba, en la zona del Caribe nororiental del Reino de los Países Bajos (2012)
- Ampliación de la Gran Barrera de Coral y el Estrecho de Torres para abarcar el suroeste del Mar de Coral (2015)

- "Jomard Entrance", Papua New Guinea (2016)



**Figura 3. Ejemplo de una zona marina especialmente sensible designada por la OMI. Fuente: Secretaría del Mar de Wadden**

En alta mar, se considera que las aguas sucias sin depurar pueden ser descompuestas mediante una acción bacteriana natural. Es por esto, que se prohíbe su descarga a una distancia inferior a la especificada de la tierra más próxima. Así mismo, se obliga a los gobiernos a proveer instalaciones adecuadas en las terminales y puertos para poder recoger aguas sucias y causando el mínimo tiempo posible de retraso a los buques.

La revisión del anexo, que entró en vigor el 1 de agosto de 2005, y se revisó el 27 de septiembre de 2008, se aplica a nuevos buques que se dedican a viajes internacionales, cuyo arqueo bruto sea igual o superior a las 400t, o que se encuentren certificados para llevar a más de 15 personas. Este anexo, también dispone que los buques deben ir equipados con una planta de tratamiento de aguas que haya sido aprobada, o con un sistema para desinfectar y desmenuzar las aguas, como puede ser un tanque de retención de aguas sucias.

El Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) se encarga de diversas cuestiones dentro del ámbito de competencia de la OMI, en particular las relacionadas con el Convenio Marítimo Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques. Una de sus tareas principales es la monitorización y prevención de la contaminación causada por los barcos, incluyendo la regulación de las sustancias cubiertas por los seis anexos del Convenio. Además, el Comité se ocupa de otros temas como la gestión del agua de lastre, los sistemas antiincrustantes, el reciclaje de barcos y la identificación de zonas especiales y sensibles.

### **MEPC.200(62)**

En julio de 2011, durante la sesión número sesenta y dos del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), se determinó que el Mar Báltico sería una zona especial sujeta al Anexo IV del MARPOL. Esto significa que, debido a las condiciones oceanográficas y ecológicas, así como al tráfico particular de esta zona, se requieren métodos especiales para prevenir la contaminación de aguas residuales. Como resultado, los barcos de pasaje tendrán prohibido descargar aguas residuales en esta zona a menos que cuenten con sistemas de tratamiento de aguas residuales que cumplan con los estándares operativos establecidos por la administración (Anexo IV - Regulación 11.3). Alternativamente, si no tienen un sistema de tratamiento, se les permite instalar un tanque para retener las aguas residuales con la capacidad suficiente para condiciones de operación normales y que haya sido aprobado por la administración. (Organización Marítima Internacional, 2011)

### **MEPC.227(64)**

En el año 2012 se estableció una nueva resolución que definió una guía de estándares para todas las plantas de tratamiento requeridas en barcos que se instalaron a partir del 1 de enero de 2016. Además, incluyó una sección especial (4.2) como resultado de las nuevas restricciones en el Mar Báltico, que ahora es una zona especial bajo el Anexo IV, y que exige requisitos adicionales para los barcos de pasaje que navegan en esta zona. Esta resolución corrigió la anterior resolución existente MEPC.159(55) (Organización Marítima Internacional, 2006), en cuanto a este tema. (Organización Marítima Internacional, 2012)

### **MEPC.275(69)**

El Comité ha determinado (Organización Marítima Internacional, 2016) la fecha en la que las disposiciones del ANEXO IV del MARPOL 73/78 (Regulación 11.3) para la descarga de aguas residuales en áreas especiales deben entrar en vigor en el mar Báltico. Se ha establecido que estos requisitos entraran en vigor el:

1. 1 de junio de 2019 para nuevos buques de pasajeros.
2. 1 de junio de 2021 para buques de pasajeros existentes que no se incluyan en el siguiente párrafo.
3. 1 de junio de 2023 para buques de pasajeros existentes que naveguen directamente desde o hacia un puerto ubicado fuera del área especial y hacia o desde un puerto ubicado al este de la longitud 28°10' E dentro del área especial, sin realizar ninguna otra escala en el área especial.

## **2.2.1. Sistemas de tratamiento de aguas sucias**

El buque estará equipado con un sistema de tratamiento de aguas residuales homologado de conformidad con los requisitos aplicables según la IMO MEPC.227(64).

Se requiere que: "Todas las aguas residuales deben ser tratadas por el sistema de tratamiento de aguas residuales aprobado antes de la descarga". A fin de que una planta pueda ser aprobada y certificada, deberá cumplir los siguientes requisitos:

- La media geométrica de coliformes no podrá ser superior a 100 coliformes fecales / 100ml de efluente.
- La media geométrica del número total de sólidos suspendidos no tiene que exceder 35 mg/L de efluente.
- La media geométrica de la demanda biológica de oxígeno por 5 días no tiene que exceder 125 mg/L de efluente.
- El nivel pH de las muestras que se vayan cogiendo del efluente tiene que ser entre 6 y 8,5.

Además, las plantas instaladas en buques de pasaje que naveguen por una zona especial bajo el Anexo IV, deberán cumplir unos requisitos adicionales relacionados con la descarga de nutrientes:

- El nitrógeno total que contenga el efluente no superará los 20 mg/L o alternativamente se tiene que conseguir una reducción comparativa entre el afluente y el efluente de un 70% como mínimo.
- El fósforo total que contendrá el efluente no superará 1 mg/L o alternativamente se tiene que conseguir una reducción comparativa entre el afluente y el efluente de un 80% como mínimo.

Se requiere que las aguas grises sean tratadas en la(s) planta(s) de tratamiento de aguas residuales de la embarcación, a menos que la embarcación trate las aguas grises con un sistema que cumpla con los requisitos de VGP 2013 Parte 5.1.1.1.2 de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., como se indica a continuación:

- La descarga deberá satisfacer el nivel mínimo de calidad del efluente especificado en USCG 40 CFR §133.102;
- La media geométrica de las muestras de la descarga durante cualquier período de 30 días no puede exceder los 20 coliformes fecales/100 mililitros (ml) y no más del 10 % de las muestras puede exceder los 40 coliformes fecales/100 ml; y
- Las concentraciones de cloro residual total no pueden exceder los 10,0 microgramos por litro ( $\mu\text{g/l}$ ).

Parámetro	Requisitos MEPC.227(64)	VGP 2013 Circular Nº POL 017
Media geométrica de coliformes termotolerantes	<100 coliformes/100 ml	<20 coliformes/100 ml
Media geométrica del número TSS	<35 mg/L	<30 mg/L
Media geométrica DBO <sub>5</sub>	<25 mg/L	<30 mg/L
Media geométrica DQO	<125 mg/L	<125 mg/L
Nivel pH	6-8,5	6-9
Nitrógeno total	<20 mg/L o reducción mínima del 70%	<10 mg/L o reducción mínima del 70%
Fósforo total	<1 mg/L o reducción mínima del 80%	<1 mg/L o reducción mínima del 80%
Residuos de desinfectantes	<0,5 mg/L	<0,01 mg/L

**Tabla 1. Resumen comparativo entre requisitos MEPC.227(64) y VGP 2013 Circular Nº POL 017**

Se requiere además que las tuberías de ventilación del sistema de alcantarillado sean independientes de otros sistemas de tuberías de ventilación.

Sujeto al Anexo IV de MARPOL 73/78 Regla 11, la descarga de aguas residuales en el mar está prohibida, excepto cuando:

Requisitos para la descarga de aguas sucias			
Estado de las aguas sucias	Distancia de la tierra más próxima	Velocidad del buque	Capacidad de descarga
Aguas residuales no trituradas ni desinfectadas de un tanque de retención o espacios que contengan animales vivos	<b>12 millas náuticas</b>	<b>&gt; 4 nudos</b>	Las aguas residuales que se originen en los tanques de retención o en los espacios que contengan animales vivos se descargarán a un ritmo moderado cuando el buque esté en ruta. La capacidad del tanque de retención debe ser aprobada por el estado del pabellón
Aguas residuales trituradas o desinfectadas de un tanque de retención o espacios que contienen animales vivos	<b>3 millas náuticas</b>	<b>&gt; 4 nudos</b>	Las aguas residuales que se originen en los tanques de retención o en los espacios que contengan animales vivos se descargarán a un ritmo moderado cuando el buque esté en ruta. La capacidad del tanque de retención debe ser aprobada por el estado del pabellón

Del tanque de retención y una planta de tratamiento de aguas residuales aprobada	Sin requisitos	Sin requisitos	El efluente no producirá sólidos flotantes visibles ni causará decoloración del agua que lo rodea. La capacidad del tanque de retención debe ser aprobada por el estado del pabellón.
----------------------------------------------------------------------------------	----------------	----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 2. Requisitos para la descarga de aguas sucias

## 2.2.2. Tanque de retención

Los requisitos del tanque de retención solo se aplican a los buques con notación de clase Limpio (diseño). Se aceptan tanques de retención combinados de aguas residuales y aguas grises tratadas y los tanques de retención de aguas residuales y aguas grises dedicados deben estar equipados con alarma de alto nivel.

### 2.2.2.1. Tanque de aguas residuales

El buque estará provisto de tanques de retención para aguas residuales con instalaciones para su descarga a tierra. Los tanques tendrán capacidad suficiente para el número de personas a bordo y para el tiempo previsto de permanencia en puerto.

La siguiente tabla proporciona los parámetros mínimos que se utilizarán para determinar la capacidad mínima de los tanques de retención de aguas residuales. El cálculo de la capacidad del tanque de retención se realizará y resumirá en el Anexo IV.

Tipo de sistema	Volumen mínimo de aguas residuales [litros/día/persona]	Duración mínima de la estancia en puerto [día]
Convencional (sin vacío)	70	4
Vacío	25	4

Tabla 3. Parámetros utilizados para determinar la capacidad mínima de los tanques de retención de aguas residuales

### 2.2.2.2. Tanque de aguas grises

El buque deberá estar provisto de tanques de retención para aguas grises. Los tanques tendrán capacidad suficiente para el número de personas a bordo y para el tiempo previsto de permanencia en puerto. Para estimar la capacidad necesaria del tanque se puede utilizar un volumen de aguas residuales de 110 litros/día/persona. La duración de la estancia en puerto no se supondrá inferior a 4 días. No se permite el uso de tanques de lastre como tanques de retención de aguas grises.

El cálculo de la capacidad del tanque de retención de aguas grises se realizará y resumirá en el Anexo IV.

### 2.2.3. Desagües de cocina

Los desagües de la cocina deben estar equipados con una trampa de grasa. En el caso de los buques en los que el número total de tripulantes y pasajeros sea normalmente superior a 30, el desagüe de la cocina deberá estar equipado con un colector de grasa, conectado al tanque de lodos u otro tanque colector adecuado. En los casos de distancias largas entre la trampa de grasas y el tanque de lodos, se debe proporcionar trazado de calor y pendiente adecuada.

### 2.2.4. Procedimientos de manejo de aguas residuales

Las tuberías de descarga por la borda para el exceso de biorresiduos (lodos de depuradora) deben separarse de las tuberías de descarga por la borda de las aguas residuales tratadas o se debe realizar una limpieza adecuada de la tubería de descarga después de cada uso de la bomba de lodos, por ejemplo contralavado.

Los biorresiduos (lodos de depuradora) que se producen durante la operación de tratamiento de aguas residuales pueden descargarse por la borda de acuerdo con los criterios MARPOL, es decir, a una distancia de más de 12 millas náuticas y a un ritmo moderado cuando el barco está en ruta y navegando a no menos de 4 nudos.

### 2.2.5. Requisitos de documentación

Se llevará a bordo, como anexos al Plan de Gestión, la siguiente documentación:

Anexo	Descripción
I	Sewage Discharge Log
II	Greywater Discharge Log
III	Calculation of Holding Tanks for Sewage and Greywater

Tabla 4. Requisitos de documentación

## 2.3. Descripción de los tratamientos que se les puede dar a bordo a las aguas residuales, tratamientos existentes.

La presencia de contaminantes orgánicos, inorgánicos, nutrientes y microorganismos en las aguas residuales de los buques, hacen que éstas no sean beneficiosas para el medio ambiente. Con el objeto de reducir los constituyentes que pueden causar este daño ambiental, se han diseñado



diferentes tecnologías que permiten el tratamiento de estas aguas. Entre estas tecnologías, se encuentran los sistemas de tratamiento biológico, fisicoquímico, membranas y osmosis inversa.

### 2.3.1. Sistemas de tratamiento biológico

Los sistemas de tratamiento biológico son muy versátiles y se utilizan ampliamente para el tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques. Estos sistemas se basan en la eliminación de contaminantes orgánicos y nutrientes, mediante el uso de microorganismos que se alimentan de estos compuestos, convirtiéndolos en productos menos perjudiciales para el medio ambiente. En estas plantas, se genera una atmosfera rica en oxígeno para crear un medio favorable para las bacterias. Para generar este medio, este proceso está basado en la aireación. Esto hace que las bacterias se multipliquen a grandes velocidades y desintegren los residuos presentes en el agua. Además, el sistema suele ir dotado de algún proceso adicional para desinfectar. Las plantas suelen estar divididas en tres compartimentos: el de aireación, el de sedimentación y el de tratamiento.

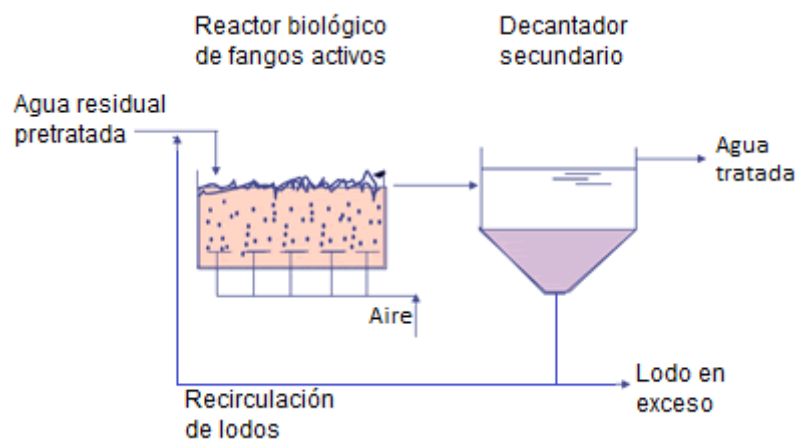


Figura 4. Esquema de funcionamiento de un sistema de tratamiento biológico. Fuente: GEDAR

Asimismo, los sistemas biológicos son altamente eficientes en la reducción de los constituyentes que son presentes en estas aguas, y son capaces de depurar las aguas residuales hasta alcanzar los requisitos más estrictos de calidad.

### 2.3.2. Sistemas de tratamiento fisicoquímicos

Los sistemas fisicoquímicos son otra tecnología que ha sido utilizada para el tratamiento de aguas residuales a bordo de los buques. Estos sistemas involucran diferentes procesos, como la sedimentación, la coagulación y la floculación, que permiten la eliminación de sólidos suspendidos, nutrientes y metales. Los sistemas fisicoquímicos son especialmente útiles cuando la carga de contaminantes es elevada.

Con este tratamiento, se puede reducir entre el 80% y el 90% de la materia total en suspensión, entre el 40 y el 70% de la DBO<sub>5</sub> y entre el 30% y el 40% de la DQO. El proceso fisicoquímico de

purificación puede ser utilizado como una sola etapa dentro del tratamiento de aguas residuales, o como un proceso de depuración complementario ubicado entre el pretratamiento y el tratamiento biológico.

### 2.3.3. Sistemas de tratamiento de membranas y osmosis inversa

Por otro lado, existen tecnologías de tratamiento basadas en membranas, como la ultrafiltración, la nanofiltración y la osmosis inversa, que se utilizan para la eliminación de compuestos específicos y para la producción de agua potable.

La técnica de ósmosis inversa se fundamenta en la idea de que, a través de una membrana semipermeable, el agua libre de impurezas se desplaza hacia el agua residual hasta que se igualan las concentraciones de agentes contaminantes en ambos líquidos. No obstante, si se somete el agua sucia a una presión externa, ésta se dirigirá hacia el agua pura en dirección opuesta. A este fenómeno se le conoce como ósmosis inversa. Al ser utilizada en barcos, este tipo de sistemas también se somete a un proceso de desinfección por medio de una fuente ultravioleta, tras el proceso de ósmosis inversa.

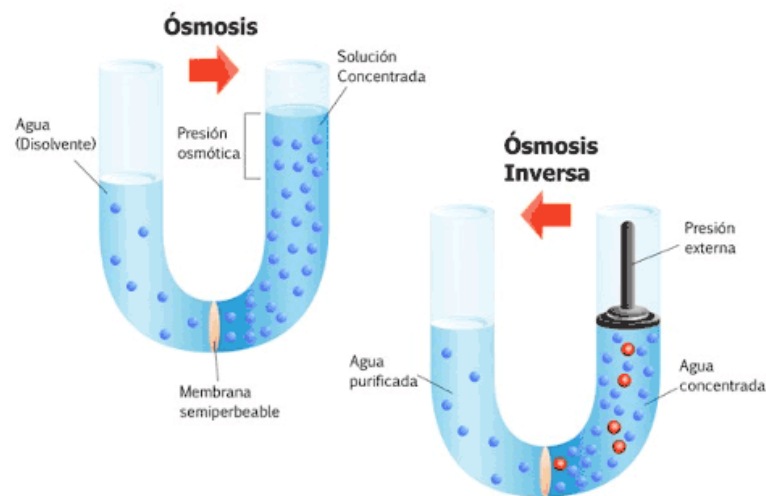


Figura 5. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa. Fuente: Carbontecnica

Estas tecnologías son muy útiles en la eliminación de bacterias, virus, compuestos orgánicos no deseados y sólidos disueltos. Sin embargo, estas tecnologías son más costosas y requieren un mantenimiento preciso y continuo.

## Capítulo 3. Análisis del ciclo de vida de las aguas residuales. De su generación al vertido final.

En buques de pasajeros, normalmente las aguas residuales se conducen de manera parecida hacia la planta de tratamiento, aunque con ciertas diferencias. Dependiendo del tipo de agua, el trayecto desde su origen hasta el lugar de destino varía ya que no todas tienen la misma densidad o cantidad de partículas debiendo, por lo tanto, ser tratadas de manera distinta.

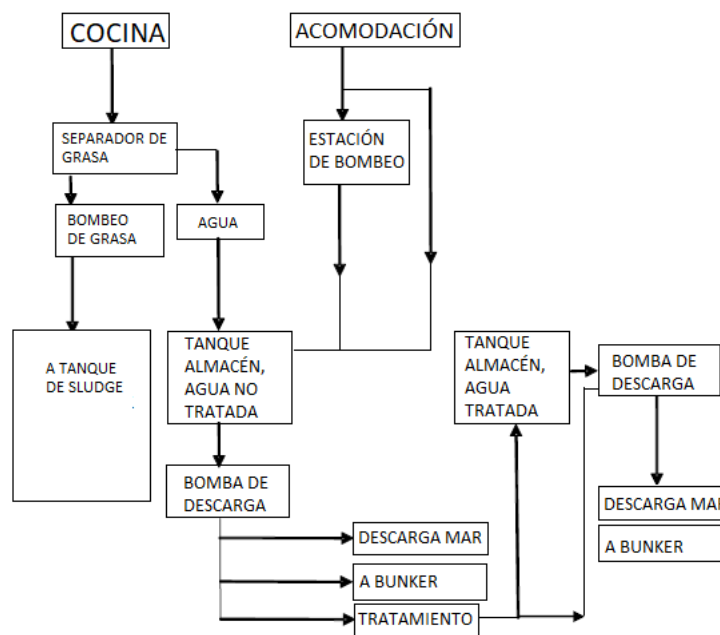


Figura 6. Esquema general de aguas residuales

## 3.1. Aguas negras

Con la finalidad de transportar las aguas residuales desde las tazas y otros accesorios sanitarios a la planta de tratamiento, hará falta un equipo sanitario por vacío.

Para generar el vacío, se hará recircular las aguas residuales a través de uno o más eyectores, los cuales suelen ir incorporados en el tanque colector central.

Las tazas se conectarán directamente con el tubo de vacío a través de una válvula de descarga situada en la parte trasera de la taza. Al tirar de la cisterna, se abre ligeramente esta válvula para vaciar la taza y extraer el aire exterior al sistema. Otra válvula sincronizada hace entrar una cantidad suficiente de agua para limpiar la taza y, al cerrarse la válvula de descarga, restablecer el agua. Un poco más de un litro de agua es utilizado.

La cantidad de equipos sanitarios por vacío viene determinada por la cantidad de aguas negras generadas a bordo.

### 3.1.1. EVAC ONLINEMAX

Un ejemplo de equipo sanitario por vacío sería el modelo de la casa EVAC, ONLINEMAX 240 DF.

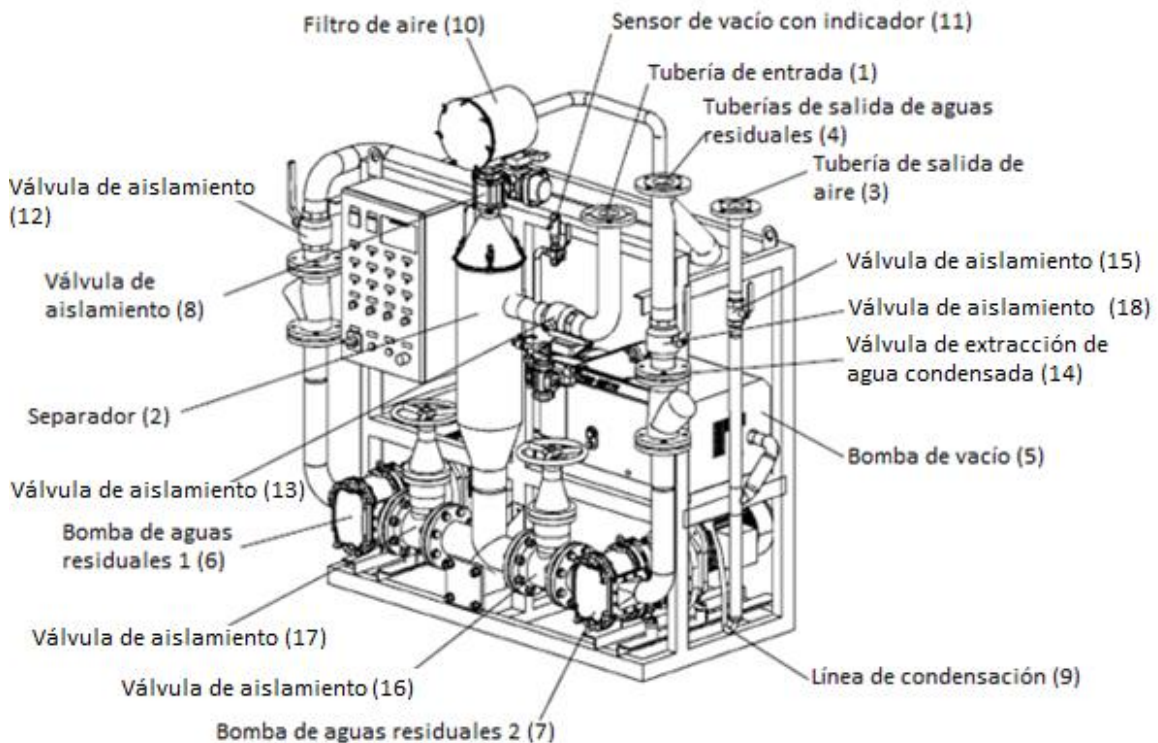


Figura 7. Partes del EVAC ONLINEMAX 240 DF. Fuente: manual EVAC OnlineMax.

La tubería de entrada (1) del Evac OnlineMax está conectada a la tubería/colector de vacío del barco. Los tubos de salida de aguas residuales (4) y de aire (3) se conectan a la unidad colectora o

directamente a la tubería de descarga y ventilación. Las aguas residuales y el aire se separarán en el separador (2).

La bomba de vacío (5) del Evac OnlineMax es solo para succión de aire y las bombas de aguas residuales (6, 7) bombean principalmente aguas residuales. El bombeo de aguas residuales se divide entre las dos bombas idénticas para el exceso. En el modo de funcionamiento normal, solo funciona una bomba de aguas residuales a la vez. Las bombas funcionan por turnos. Se cambia de bomba en cada arranque. Esto evita la obstrucción. Una construcción de dos bombas de aguas residuales permite el mantenimiento de la bomba mientras la unidad continúa funcionando. Para el mantenimiento están las válvulas de aislamiento (16, 17) para aislar cualquiera de las bombas de aguas residuales.

Hay una válvula de aislamiento operada neumáticamente (8) en la tubería de entrada de la bomba de vacío (5). El propósito de esta válvula de aislamiento es proteger la bomba de vacío del agua; y controlar el nivel de vacío del sistema de vacío. El filtro de aire (10) evita que los contaminantes fuertes entren en la bomba de vacío.

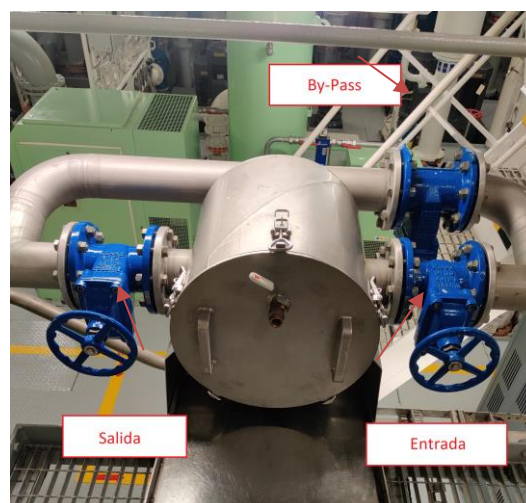
En conexión con la tubería de salida de aire también hay una tubería (9) para el agua de condensación. La expulsión de agua condensada de la tubería está controlada por la válvula de extracción de agua condensada (14).

El nivel de vacío es controlado por el sensor de vacío (11).

### **3.1.2. Caja negra**

Previo a la unidad de vacío, las aguas negras se hacen circular por un filtro en el que se retienen las partículas más grandes. Este filtro deberá ser limpiado con suma frecuencia, para evitar el colapso de la línea y la pérdida de vacío.

Un ejemplo de filtro sería el que se muestra a continuación.



**Figura 8. Caja negra. Fuente: propia**

En este caso, para limpiar el filtro, se abrirán las válvulas y se hará un by-pass a fin de que el sistema pueda seguir en funcionamiento.

### 3.1.3. Tanque almacén de aguas negras

Tras pasar por la unidad de vacío, en función del tipo de buque y la capacidad de la planta de tratamiento, algunos sistemas de aguas negras contienen tanques almacén en los que se retienen las aguas negras, para suministrarlas a la planta en la cantidad que sea conveniente.

Estos tanques, es muy importante que estén bien ventilados, por lo que se utilizarán una unidad de ventiladores. Estos sopladores deberán trabajar con controladores de frecuencia, a fin de que su capacidad pueda verse modificada en función del nivel de aguas negras en el tanque.

### 3.1.4. Tratamiento de olor

El aire oloroso se conduce con un soplador a través del cartucho activado que absorbe olores. El aire que sale del cartucho es casi completamente inodoro. El cartucho se satura gradualmente. El tiempo estimado de saturación es de aproximadamente un año. Pasado este período, se deberá cambiar el carbón. El nuevo carbón, podrá ser entregado a vertedero o quemado con caldera propia del buque.



Figura 9. Tanque para tratar el olor.

## 3.2. Grease water

Estas aguas procedentes de la cocina y con alto contenido en aceite, podrían colapsar el sistema si se añadiesen en su forma original. Es por esto, que previamente a formar parte del sistema de aguas grises, se hace pasar por un tanque de grasa.

En este tanque, se separan los fluidos por densidad, por lo que el aceite se queda en la superficie y se retira, mientras que el agua se queda en la parte inferior, y se extrae al circuito de aguas grises.

### 3.2.1. Separador de grasa

El separador de grasa se ocupa de todas las aguas grises de la cocina, tanto de los fregaderos como de los imbornales. Con forma redonda, está especialmente diseñado para aplicaciones marinas y funcionará incluso si el barco está en movimiento. El proceso de separación es una combinación de separación centrífuga y por gravedad.

No se necesita calentar. El separador de grasa también garantiza una operación fácil y segura para descargar la grasa sin abrir el separador, lo que significa que no huele.

El separador de grasa es controlado semiautomáticamente, lo que significa que el drenaje del agua separada se realiza automáticamente a través de la gravedad, y la descarga de la grasa del separador de grasa se realiza manualmente.

El separador de grasa está equipado con un sensor de nivel de tipo capacitivo que detecta el nivel de grasa. El sensor capacitivo dará una señal cuando esté en contacto total con la grasa, pero no dará ninguna señal cuando esté en contacto con el agua. Este sensor también dará señal cuando esté rodeado de aire.

Si hubiese mucho residuo de alimentos o agua con detergentes fuertes en el lodo, la separación será menos efectiva.

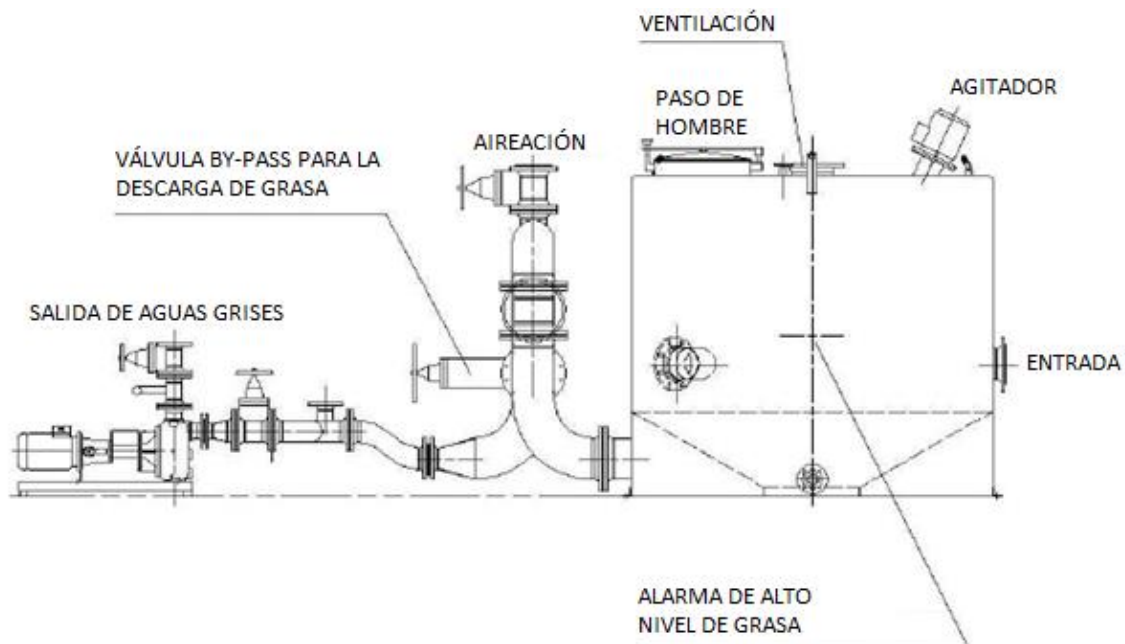


Figura 10. Ejemplo de tanque de grasa.



Figura 11. Drenaje manual de la grasa en una garrafa

### 3.3. Aguas grises

Otros accesorios sanitarios, así como urinales y duchas, se descargan por gravedad a las unidades de interconexión, conocidas como válvulas urinales o las de aguas grises. Una unidad como ésta, comprende un pequeño receptáculo conectado con el sistema de las tuberías de vacío mediante una válvula de descarga.

Ésta se abrirá automáticamente al acumularse una cantidad preestablecida de líquido en el receptáculo.

En la línea colectora de entrada al tanque colector central, se encuentran instalados el vacuómetro y los presostatos. Los presostatos arrancan y paran las bombas para mantener el vacío necesario en el sistema de tuberías. Las válvulas de retención situado en los eyectores se cierran inmediatamente después de la parada de las bombas.

El tanque colector se halla bajo una presión atmosférica y, por tanto, puede configurar cualquier forma. Se mantiene el vacío sólo en el sistema de tuberías.

Las aguas grises se almacenarán en tanques almacén, y se entregarán a la planta de tratamiento según la demanda.



### 3.4. Laundry Water

En los buques con capacidad para más personas y travesías más largas, vienen dotados de lavanderías, en las que se genera una gran cantidad de agua con alto contenido en químicos y suciedad. Esta agua también se tratará en la planta de tratamiento, pero su camino hasta llegar a ésta será diferente.

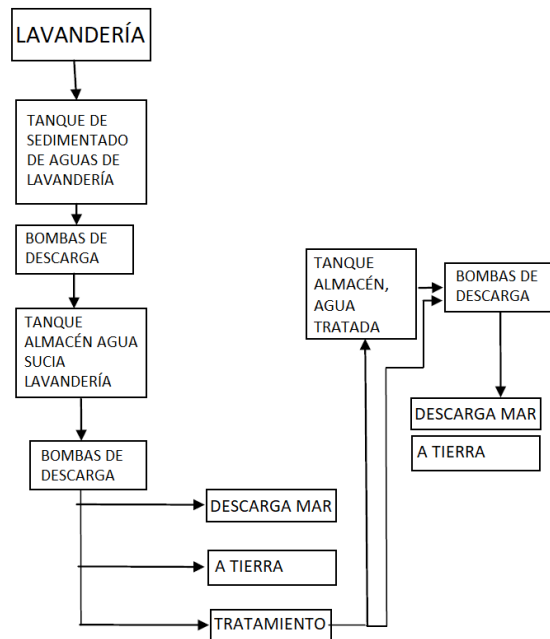


Figura 12. Esquema de aguas de lavandería

Para el sistema de lavandería de a bordo, se utilizará la misma agua producida a bordo. Una vez utilizada en la lavandería, se almacenará en los tanques almacén de agua de la lavandería, de donde se podrá descargar al mar (cumpliendo con la normativa), a tierra por medio del bunker, o podrá ser tratada en la planta de tratamiento, junto al resto de aguas residuales.

En el caso de ser tratada, se almacenará en los tanques almacén de agua tratada comunes, y de estos, se descargará al mar, aunque el sistema también suele permitir descargarse en tierra.

# Capítulo 4. Análisis comparativo

## 4.1. Análisis de tratamiento de aguas residuales en RO-PAX (buque pequeño)

En un buque tipo RO-PAX con capacidad para unas 800 personas, la procedencia de las aguas grises serán los uriniales, sumideros de duchas y fregamanos, y desagües. Las aguas de la cocina se denominarán como grease water. Las aguas negras, serán las procedentes de las tazas de los baños y del hospital.

Se considera una instalación equipada con una o dos cocinas a bordo, 40 camarotes de tripulación, 140 camarotes para pasaje y una habitación hospital. Cada camarote equipado con una taza de váter, un lavamanos y una ducha.

### 4.1.1. Aguas residuales en buque RO-PAX

#### 4.1.1.1. Aguas negras

Las aguas residuales se definen en lo sucesivo como los desechos del cuerpo humano y los desechos de los inodoros y otros receptáculos destinados a recibir o retener los desechos del cuerpo humano e incluye; desagües y otros desechos de cualquier tipo de inodoros, urinarios, bidés e imbornales de WC; sumideros de instalaciones médicas (dispensario, enfermería, etc.) a través de lavabos, tinas de lavado e imbornales ubicados en dichas instalaciones; residuos biológicos de los sistemas de tratamiento de aguas negras o aguas grises; u otras aguas residuales cuando se mezclan con los fluidos definidos anteriormente.

#### 4.1.1.2. Grease water

Las aguas grises de la cocina, tienden a contener restos de aceite y otras partículas grasas. A veces, también pueden contener restos de comida, o incluso de residuos no desechables. Estos, si se dirigen directamente a la planta de vacío, podrían generar el colapso de la planta debido a su diferencia de densidad. Es por esto, que previamente se hace pasar por un tanque de grasa. Éste, de distinto tamaño en proporción al barco, y compartimentado en su interior, hace pasar el agua por un filtro. Este filtro, deberá ser limpiado periódicamente, para evitar el colapso.

Para llevar a cabo esta limpieza, se deberá abrir el tanque, sacar todas las partículas sólidas que se puedan, y volver a cerrar. Todo lo extraído, se cerrará en bolsas y será considerado desechos orgánicos sólidos.

Tras haber pasado por este tanque de grasa, el agua se incorporará al circuito de las aguas grises.

### 4.1.1.3. Aguas grises

Las aguas grises se definen como, entre otras, aguas residuales de: duchas, fregaderos, bañeras, desagües de espacios húmedos o sumideros que no son para aguas negras, lavandería, cocinas, despensas, lavaplatos, lavado de campana de cocina, lavados de conductos de ventilación no aceitosos, drenaje de agua del separador de grasa.

Las aguas grises no incluyen las aguas residuales de las sentinas del espacio de máquinas, los sistemas de aguas negras, los procesos de tratamiento químico y los sistemas de lavado de diferentes sistemas.

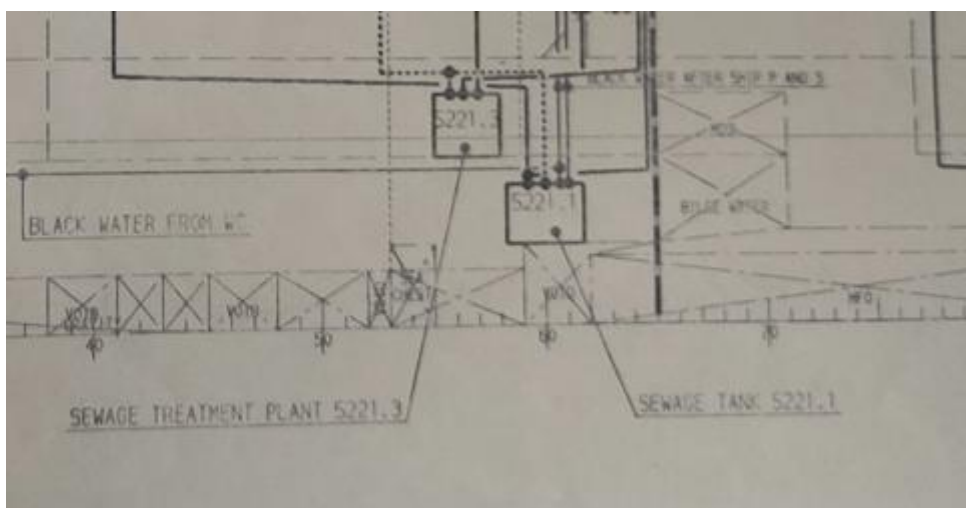
Las aguas grises que se mezclen con las aguas residuales o que se manejen en el mismo sistema se considerarán y manejarán como aguas residuales.

## 4.1.2. Planta de tratamiento de aguas residuales

En este tipo de buque, la mezcla entre los diferentes tipos de agua se generará directamente en la planta de tratamiento.

El sistema en este tipo de buque, será el denominado proceso de tratamiento biológico. Es un conjunto de tuberías, bafles y depósitos dirigidos para conseguir una reducción biológica de sólidos, una separación física y una desinfección última.

Las aguas grises se descargarán normalmente a través del tanque almacén al mar, pero cuando el buque se encuentre en un puerto, las aguas grises pueden acumularse en el tanque almacén. Las aguas negras de tazas y orinales, se llevarán a un tanque acumulador. De este tanque, se bombean automáticamente a la planta de tratamiento.



**Figura 13. Ubicación tanques acumuladores. Fuente: plano**

En la planta de tratamiento de aguas residuales, se juntará las aguas negras procedentes de la planta de vacío, con las aguas grises del barco, y las aguas grises del tanque separador de grasa. No se suministrará la misma cantidad de agua de cada tipo. A fin de favorecer al tratamiento, la cantidad de aguas negras siempre será inferior.

#### **4.1.2.1. Componentes de la planta de tratamiento**

1. Sistema de aireación. Comprende tuberías, válvulas e interconexiones necesarias para la distribución y control del flujo de aire que se suministra a los difusores y al sistema de recirculación de lodos. El aire se emplea para conseguir agitación en la cámara de aireación, activando la oxidación para la reducción biológica, así como para generar el flujo de recirculación del lodo activado. El aire es suministrado por un soplante, pero se recomienda tener previsto una conexión con el aire del buque para el caso de fallo en el soplante.
2. Sistema de desinfección. El sistema de desinfección está diseñado para conseguir la destrucción de las bacterias coliformes en el efluente procedente de la cámara de decantación. Consta de un tanque almacén de la solución clorada de Hipoclorito Sódico construido en polietileno, con una bomba dosificadora de cloro de caudal regulable para conseguir una cantidad de Hipoclorito en el efluente de salida que se puede detectar por medio del equipo de prueba. Todo el equipo está situado exteriormente para el fácil acceso en caso de inspección o reparación.
3. Sistema de descarga. Este puede realizarse por tres métodos según el emplazamiento de la unidad a bordo.
  - a. Descarga por gravedad
  - b. Descarga por medio de bombas centrífugas que aspiran directamente del tanque de almacenamiento
  - c. Instalación de una estación de bombeo con bombas sumergibles. La planta descargaría por gravedad a este tanque.
4. Los dos últimos sistemas van provistos de interruptores de nivel para el funcionamiento automático de la bomba.
5. Panel de control. Comprende los elementos requeridos para el suministro de la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los motores del compresor, clorinador y bombas con las defensas y seguridades requeridas. Puede instalarse directamente sobre la planta o en otro lugar según conveniencia.

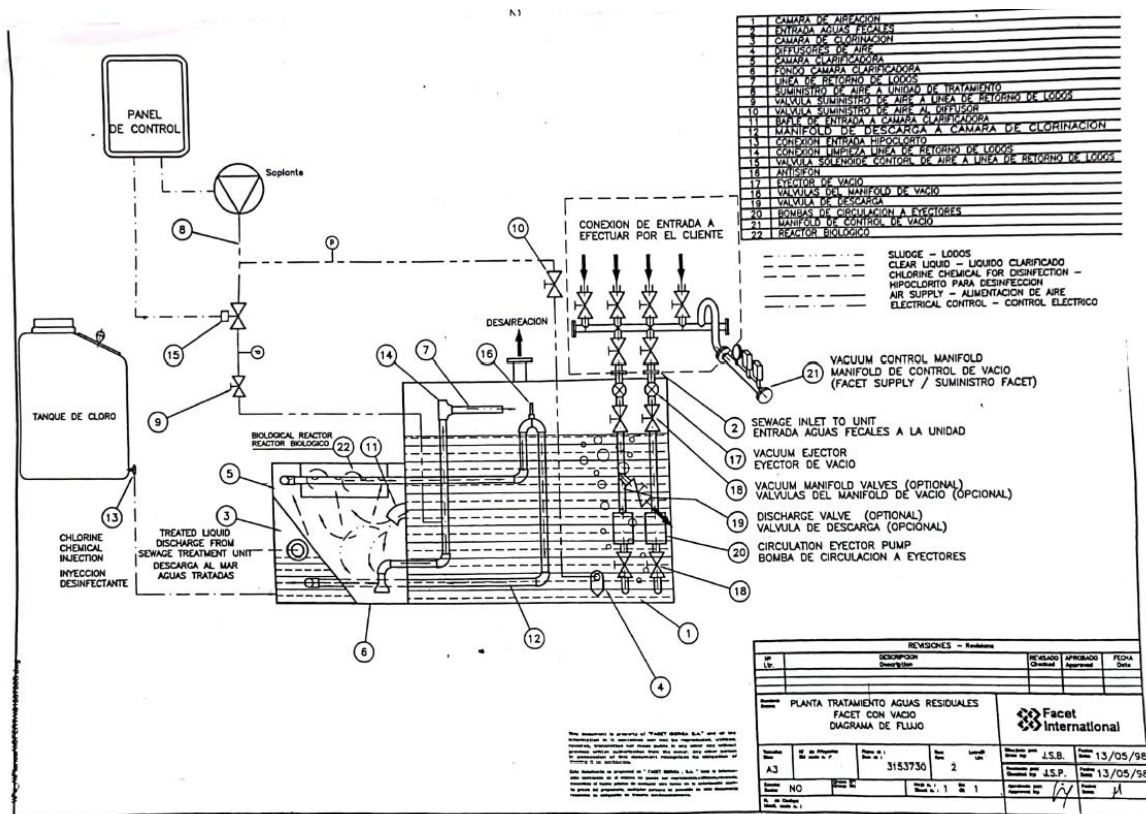


Figura 14. Plano planta de tratamiento

#### 4.1.2.2. Funcionamiento

Las aguas residuales entran dentro de la cámara de aireación a través de una rejilla para la retención de sólidos. Aquí se inicia el proceso de reducción biológica.

El efluente que contiene las bacterias aeróbicas y compuestos orgánicos que les sirven de alimento entran en un medio turbulento, rico en oxígeno. El aire a baja presión es introducido a través de difusores de acero inoxidable colocados cerca del fondo de la cámara de aireación. Pequeñas burbujas de aire se generan en estos difusores, produciendo rotura mecánica de los sólidos en pequeñas partículas, aumentando las superficies de contacto entre las bacterias y el oxígeno incorporado. De esta manera, se produce la bioreducción de sólidos con desprendimiento de dióxido de carbono y otros componentes.

Durante este proceso, las bacterias forman unas pequeñas colonias alrededor de las partículas de materia orgánica en suspensión, pasando a través de un baffle de transferencia a la cámara de decantación, situado entre las dos cámaras.

La cámara de decantación, está totalmente llena de líquido (habiendo sido evacuado todo el aire a través de la válvula de desaireación) durante el proceso de llenado, y opera bajo presión hidrostática. Esto es debido a la diferencia del nivel entre la cámara de aireación y la de

decantación. Así se consigue una decantación más efectiva de lodos ricos en concentración bacteriana denominándosele bajo el nombre de lodo activo. El líquido de la zona central del tanque de decantación, pasa a través de un manifold a la cámara de desinfección como última etapa.

El lodo activado se recircula a la cámara de aireación, periódicamente y según la señal que el temporizador envíe a la válvula solenoide. La velocidad de recirculación se puede regular por medio de las válvulas de aire según las variaciones de tripulación en el buque. La necesidad de la regulación se detectará con el análisis del BOD (por sus siglas en inglés, Biological Oxygen Demand) del efluente de salida.

El líquido limpio pasa a través del manifold hacia la cámara de desinfección. Este paso sirve además para controlar el nivel del líquido en la cámara de aireación. El manifold ha de ser lo suficientemente largo para evitar obstrucciones o reducciones del flujo.

Por fin el líquido entra en la cámara de desinfección, donde se añade la disolución de cloro. Esta cámara puede estar separada de la de almacenamiento por medio de un mamparo central colocado longitudinalmente. La inyección de cloro ha de ser una operación continua.

La última fase de la planta la constituye el tanque almacén desde donde se manda al mar bien por gravedad o por medio de bombas.

#### **4.1.2.3. Modo operacional**

1. Sin evacuación de lodos (NSR). Cuando las aguas residuales son biológicamente reducidas por el proceso de aireación extendida, se forma el lodo activado. Si el tiempo de retención total en el sistema es de 22 a 24 horas, este lodo activado es consumido por los microorganismos presentes en la cámara de Aireación.
2. Eliminación periódica de lodos (PSR). Con motivo de reducir las dimensiones de la unidad para adecuarla al espacio disponible en el buque, hay algunos modelos existentes en el mercado en los cuales el tiempo de retención se reduce proporcionalmente a la reducción del volumen.

#### **4.1.2.4. Apariencia del equipo funcionando adecuadamente**

En la cámara de aireación, se apreciará una subida de burbujas de aire. El color del fluido será marrón con poca o casi ninguna espuma.

En la cámara de clorificación, no se distinguirá ningún tipo de sólido.

### **4.1.3. Mantenimiento**

Este equipo es muy fácil de manejar y no requiere mucho mantenimiento. Lo más importante, será limpiar los sensores de nivel frecuentemente, para evitar falsas lecturas. De vez en cuando, también habrá que limpiar el tanque colector por dentro, para lo que se aislará haciendo bypass, para su posterior vaciado y limpieza.

El resto de mantenimiento realizado en este tipo de buque será de mantenimiento correctivo, dada la edad del buque y los pocos fallos que presenta el sistema, por su simplicidad.

#### 4.1.4. Coste de funcionamiento de la planta

Equipo	Cantidad	Consumo unidad [kW]
Planta vacío	2 x EVAC AHM 1122/5	4
Planta séptica	1 x FACET	8,5
Bomba eyectora	4 x Azcue CA-50/5	3
Bomba descarga aguas grises	4 x KSB KR5B-BLOCK 65-200	2
Bomba	2 x Allweiler NB 32-170	2,5

**Tabla 5. Consumo energético planta de tratamiento de aguas residuales buque Ro-Ro**

Con estos datos, se obtiene que la planta consume un total de **41,5 kW**.

La planta estará funcionando las 24h del día, por lo que, para hacer los cálculos, se considerará la situación de un motor auxiliar funcionando. El motor del que va dotado el barco es el Wärtsilä 6R22/26. Como el combustible utilizado la mayoría del tiempo era HFO 0.5%, utilizaremos este para hacer los cálculos, aunque el motor también podía funcionar con MGO.

Wärtsilä 6R22/26		Generating set auxiliary
Cylinder output	kW	200
Engine speed	Rpm	1200
SFOC at 100% load (HFO)	g/kWh	195.8
SFOC at 85% load (HFO)	g/kWh	192.2
SFOC at 75% load (HFO)	g/kWh	192.3
SFOC at 50% load (HFO)	g/kWh	198.5

**Tabla 6. Tabla de consumos específicos motor 6R22/26 en función del porcentaje de carga**

La carga del motor varía en función de la demanda de energía de los consumidores, pero suele ser un valor cerca del 70%, por lo que se utilizará este valor para realizar los cálculos. Interpolamos para sacar el consumo específico.

SFOC at 75% load (HFO)	192.3 g/kWh
<b>SFOC at 70% load (HFO)</b>	<b>193.54 g/kWh</b>
SFOC at 50% load (HFO)	198.5 g/kWh

**Tabla 7. Consumo específico de HFO para el porcentaje de carga real**

Conociendo el consumo específico y el precio del combustible<sup>1</sup>, realizamos un factor de conversión:

$$41,5 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{193,54 \text{ g}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ mt}}{1000000 \text{ g}} \cdot \frac{532,00 \$}{\text{mt}} = 102,55 \$$$

Obtenemos que el coste operacional de la planta es de 102,55 \$.

### 4.1.5. Emisiones de CO2

El EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) es una herramienta operacional para evaluar la eficiencia energética de las emisiones de CO2 del buque (Seong-Hoon Kim, Myung-Il Roh, Min-Jae Oh, Sung-Woo Park, In-Il Kim, 2020). La expresión matemática para calcularlo está definida de la siguiente manera:

$$Index = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{\sum_i m_{carga} \times D_i}$$

Donde:

*j*: Tipo de Fuel utilizado → HFO 380 cSt  $\frac{179g}{kW h}$

*i*: número de viaje

$FC_{ij}$ : masa de fuel consumido

$C_{Fj}$ : masa de fuel a masa de CO<sub>2</sub>

$m_{carga}$ : peso de la carga en toneladas

$D_i$ : distancia de viaje

Aun así, también hay una forma de calcular el índice EEOI sin información operacional. Esto se debe a que los propietarios y operadores de buques tienen datos operativos reales de sus propios barcos, como el consumo de combustible durante la operación, y esto facilita el cálculo del EEOI (Prill, K.; Behrendt, C.; Szczepanek, M.; Michalska-Požoga, I., 2020). Sin embargo, los astilleros no pueden calcular fácilmente el EEOI porque es difícil obtener la información operativa necesaria una vez entregado el buque. Por lo tanto, es necesario que los astilleros estimen el EEOI utilizando solo datos públicos sin el uso de ningún dato operativo real.

Para esto, se multiplica el consumo de combustible por el factor de emisión asociado al tipo de fuel, según la siguiente tabla:

<sup>1</sup> Por Ship&Bunker, a 23 de Junio de 2023.



Type of fuel	Reference	Carbon content	C <sub>F</sub> (t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel)
1. Diesel / Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0.875	3.206000
2. Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.86	3.151040
3. Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.85	3.114400
4. Liquified Petroleum Gas (LPG)	Propane Butane	0.819 0.827	3.000000 3.030000
5. Liquified Natural Gas (LNG)		0.75	2.750000

Tabla 8. Fuel mass to CO<sub>2</sub> mass conversion factors (C<sub>F</sub>)

$$41,5 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{193,54 \text{ g}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ T comb}}{1000000 \text{ g}} \cdot \frac{3,151040 \text{ T CO}_2}{\text{T comb}} = 0,607 \text{ toneladas de CO}_2$$

Las emisiones asociadas a esta planta serán de aproximadamente 0,607 toneladas de CO<sub>2</sub> cada día.

Esto al cabo de un año resultará en un total de 221,71 toneladas de CO<sub>2</sub>.

## 4.2. Análisis de tratamiento de aguas residuales en crucero (buque grande)

En un buque crucero de estas dimensiones, las aguas residuales varían notablemente a lo largo del día. En general, las mayores cantidades se producen por la mañana y después de las comidas. En algunos de estos buques, llegan a convivir cinco mil personas, por lo que vienen dotados de una planta de tratamiento acorde.

### 4.2.1. Aguas residuales en buque crucero

Las aguas en este tipo de buque son las mismas que explicadas anteriormente. Las únicas que se incorporan de nuevo, son las aguas procedentes de la lavandería. Dado que es un buque crucero en el que conviven muchas personas, habrá una cantidad de sábanas, manteles, trapos, uniformes... que deberán ser lavados de forma diaria. Esta agua contendrá una gran cantidad de productos químicos como detergente, suavizantes, suciedad... Como no se podrá descargar directamente al mar, se tratará dentro de esta planta de tratamiento.

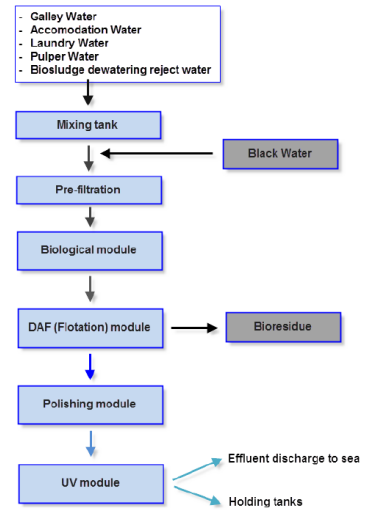
Además, también tenemos la pulper wáter. Esta agua, es el agua que se utiliza para enjuagar y limpiar los restos de comida en las despulpadoras o trituradoras de las cocinas.

## 4.2.2. Funcionamiento del sistema

Hasta encontrarse en los mixing tank, las aguas residuales recorrerán su camino por separado. Las Grease Waters, separando toda la grasa posible y pasando el agua a formar parte del sistema de aguas grises. Las aguas grises, pasando por las GW Station hasta almacenarse en los GW tanks. Y las aguas negras, pasando de las unidades de vacío a los BW Holding Tank.

Lo mismo pasará con las aguas procedentes de la lavandería, que se acumularán en sus tanques almacén.

El tratamiento de aguas residuales de este tipo de buques, empezará en los Mixing Tanks.



### 4.2.2.1. Mixing tank

En estos tanques, se mezclan las aguas negras con aguas grises y aguas procedentes de la lavandería. La proporción suele ser de un 30% de aguas negras, y 70% una mezcla de aguas grises y aguas de lavandería.

Figura 15. Esquema funcionamiento del sistema de aguas residuales

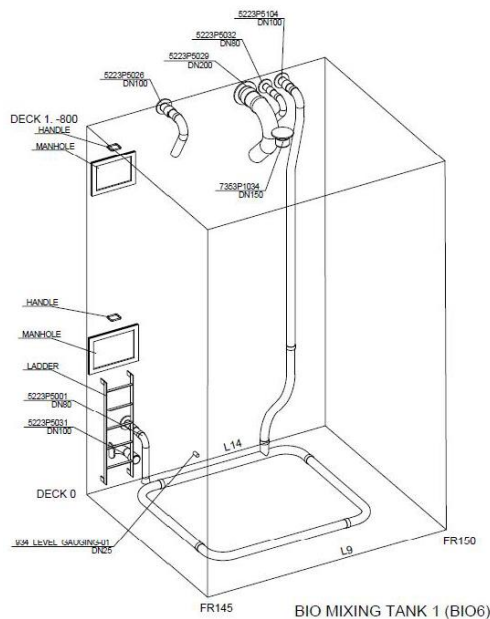


Figura 16. Dibujo de disposición interior de los mixing tanks. Fuente: plano del buque.

#### **4.2.2.2. Pre-filtration screening module**

Esta unidad, compuesta de unos rodillos helicoidales de gran tamaño, sirven como primer filtro de las aguas residuales antes de entrar al módulo biológico. Se hace circular el agua por el interior de esta unidad, y los tornillos que se encuentran en constante rotación, eliminan las partículas sólidas del sistema.

Esta unidad, también dispone de unos sopladores para la recirculación en el interior del tanque. El sistema está diseñado para funcionar con flujo normal a través de una unidad, durante el mantenimiento de la máquina.



**Figura 17. Pre-filtration screening module**

### 4.2.2.3. Biological module

Este módulo es un sistema biológico para eliminar la materia orgánica biodegradable. Aquí, material orgánico es utilizado por las bacterias para crecer y cobrar energía, resultando en una conversión de materia orgánica de agua a bio masa y CO<sub>2</sub>.

El módulo está formado por:

- Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)
- Módulo de bombas de recirculación
- Unidad de dosificación antiespumante

#### 4.2.2.3.1. Moving bed biofilm reactor

Esta unidad está compuesta de:

- Biorreactores
- Sopladores de aire
- Válvulas

El biorreactor (tanque) tiene sopladores de aire conectados a una rejilla de distribución de aire fijada al fondo del reactor. Hay portadores de plástico (perlas) para apoyar el crecimiento de bacterias "buenas" en cada reactor.

En los biorreactores, la materia orgánica disuelta se convierte en CO<sub>2</sub> gracias a bacterias aerobias "buenas". A su vez, el CO<sub>2</sub> se elimina de la corriente de agua mediante el aire de los gases desechados. La actividad microbiana se estimula mediante la inyección de aire.



Figura 18. Sopladores de aire



**Figura 19. Bacterias dentro del tanque biorreactor**

#### **4.2.2.3.2. Unidad antiespumante**

Esta unidad está constituida por cuatro bombas dosificadoras, que distribuirán el químico desde un pequeño tanque de PVC, hasta los tanques.



**Figura 20. Unidad antiespumante**

#### 4.2.2.4. Flotation module

Es un sistema de tratamiento químico para la eliminación de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y color. Aquí, los componentes disueltos reaccionan gracias a un coagulante y un polímero para formar partículas y residuos biológicos, que pueden eliminarse posteriormente de forma más sencilla.

El módulo de flotación consta de:

- Unidad de dosificación de coagulante
- Floculador
- Unidad de preparación y dosificación de polímeros
- Unidades de flotación
- Unidades de dispersión

El módulo de flotación es el principal paso de separación en la planta de tratamiento de aguas residuales. El paso de separaciones contiene un proceso químico con floculación con polímero como floculante. Esta mezcla química hace que se eliminen partículas más grandes de las aguas residuales.

A medida que el agua residual entra en el fondo de la unidad de flotación, se libera agua de dispersión (aire sobresaturado presurizado), creando microburbujas en el agua residual. Estas microburbujas forman un agregado con las partículas creadas en la precipitación química, llevándolas a la superficie de la unidad de flotación (para ser barridas de la unidad y bombeadas para la retención/tratamiento de biorresiduos) mientras el agua sale de la unidad de flotación a través de un conducto interno cónico y hacia fuera en el centro para su posterior tratamiento en el polishing module.

##### 4.2.2.4.1. Unidad dosificadora de polímero

El polímero se añade utilizando una estación de preparación continua, *Polymore*, donde el químico se mezcla con agua técnica y se añade al circuito antes de su entrada al DAF.



Figura 21. Unidad dosificadora de polímero

#### **4.2.2.4.2. Flocculation unit**

Se inyecta coagulante al inicio del floculador de serpentín. Esto provoca una reacción química entre los productos químicos, las partículas pequeñas y los nutrientes en el agua. El coagulante fortalece las partículas (creando copos) y ayuda a desarrollar una mayor acumulación (creando copos más grandes y más fuertes) además del polímero licuado. La alta turbulencia dentro del floculador asegura una distribución y mezcla completas de los productos químicos con las aguas residuales. Desde el floculador, el agua fluye hacia la unidad DAF, donde se eliminan las partículas.



**Figura 22. Flocculation unit**

#### **4.2.2.4.3. Flotation unit**

La unidad DAF, por sus siglas en inglés (Dissolved Air Flotation), separa las partículas de la fase acuosa mediante mecanismos de flotación con el apoyo de bombas de dispersión. Las partículas a eliminar se forman principalmente en el proceso de coagulación química anterior a partir de partículas más pequeñas y nutrientes. Se introduce agua con aire disuelto en la parte inferior de la unidad para elevar las partículas a la superficie. Las partículas forman residuos biológicos en la superficie del agua, que a su vez se eliminan y transportan al tanque de retención de residuos biológicos de aguas residuales del barco, mientras que el agua purificada continúa hacia el filtro de pulido.



Figura 23. Flotation module



Figura 24. Detalle del Flotation Module durante su vaciado para limpiar

#### 4.2.2.4.4. Dispersion unit

Se utiliza un sistema de clarificación por flotación de aire disuelto (DAF) para la separación de líquidos/sólidos a granel. El objetivo del DAF es eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos totales (TSS, por sus siglas en inglés Total Suspended Solids); Aceites y Grasas (FOGs, por sus siglas en inglés Fats, Oils and Greases) y Orgánicos Insolubles contenidos en las aguas residuales.

El método DAF consiste en disolver aire en agua bajo presión y luego liberar la presión para que el aire se libere del agua en forma de microburbujas muy finas. Las microburbujas se inyectan en la



corriente de aguas residuales para hacer flotar los sólidos suspendidos en la superficie de un recipiente DAF que proporciona una separación de líquidos/sólidos.

Uno de los componentes clave para lograr una flotación eficiente es la calidad del aire disuelto.

El agua enriquecida con aire presurizado producido en la unidad de dispersión mediante la combinación de agua residual purificada con aire bajo presión, se transfiere al fondo del tanque de flotación. La fuerza de flotación del aire se utiliza para hacer flotar a la fuerza un material sólido. Produce una formación de burbujas que se extiende y crece hasta la superficie del agua y finalmente forma una capa de lodo. Será barrido.

Una unidad de dispersión consta de una sola bomba de dispersión, un tanque de disolución, una boquilla de inyección de aire suministrada por aire presurizado a través de una válvula reductora, instrumentación de control del nivel de agua y una válvula de aislamiento remota operada neumáticamente montada en una plataforma.

En el Sistema de Aguas Residuales existe una unidad de dispersión por cada unidad de flotación (DAF).

Procedimiento de operación:

Las unidades de dispersión funcionan automáticamente manteniendo el nivel del agua entre sensores de nivel de agua ultrasónicos fijos y agregando continuamente aire comprimido a la presión deseada.

Después del proceso, el agua limpia que se extrae del tanque de compensación de agua tratada se bombea por medio de una bomba centrífuga multietapa a la boquilla de rociado en la parte superior del tanque de disolución, donde se mezcla con el aire comprimido de trabajo suministrado desde el sistema del barco a través del reductor de aire configurado para 4 bar.

El tanque de disolución se llena de agua hasta el sensor de nivel superior, cuando la bomba de dispersión está suspendida.

El agua limpia se entrega continuamente al punto de inyección de DAF a través de un medidor de flujo incorporado. Cuando se energiza el sensor de nivel inferior, se inicia la bomba de suministro y luego se repite el proceso.

El flujo de agua de dispersión debe ajustarse manualmente y establecerse entre el 8 y el 10 % del flujo del sistema.

El flujo de agua limpia se controla mediante una válvula de mariposa instalada en el punto de inyección donde el agua blanca se une con la corriente de agua tratada.



Figura 25. Componentes Dispersion Module



Figura 26. Dispersion module

#### 4.2.2.5. Polishing module

Filtraciones a través de tela filtrante fina para la eliminación de partículas residuales en el agua. El residuo de partículas dentro del tambor del filtro se recolecta automáticamente y se bombea de regreso al mixing tank.



Figura 27. Polishing module

#### 4.2.2.5.1. Polishing filter

El filtro de pulido elimina las partículas restantes del paso de flotación.

El filtro de pulido contiene un filtro de tambor de rotación con la siguiente función:

- El agua residual a filtrar ingresa al interior del tambor.
- El agua residual se filtra a través de los elementos filtrantes del tambor. La diferencia en el nivel del agua dentro/fuera del tambor proporciona la fuerza motriz del tamizado.
- Los sólidos quedan atrapados en los elementos del filtro y el tambor giratorio los eleva al área de retrolavado. La rotación del tambor es intermitente o continua según el tipo de control.
- El agua de las boquillas de enjuague se rocía desde el exterior de los elementos del filtro. El material desechado se elimina por lavado de los elementos del filtro en la bandeja de residuos biológicos.
- Los biorresiduos desechados fluyen junto con el agua fuera del filtro por gravedad.

El filtro de limpieza está situado directamente en la cámara de la bomba. El agua tratada se bombea para un proceso posterior con bombas de transferencia que toman succión de la cámara de la bomba del filtro de pulido.

El agua desechada generada durante el proceso de limpieza en el filtro se acumula en la bandeja de goteo y se transfiere por gravedad al tanque de mezcla GW.



Figura 28. Interior del polishing filter durante su proceso de lavado

#### 4.2.2.6. UV module

Este es un Sistema de desinfección para la eliminación de bacterias por medio de rayos UV. Este módulo consta de:

- Unidad de desinfección UV
- Unidad de lavado UV
- Sensor TSS



Figura 29. UV module

#### **4.2.2.6.1. Unidad de desinfección UV**

El último proceso de tratamiento es la desinfección por 2 unidades UV en serie. Los rayos UV matan más del 99,9% de todas las bacterias, siempre que el agua esté libre de color y partículas. Los rayos UV destruyen las estructuras celulares internas de los microorganismos y, por lo tanto, los eliminan.

La unidad de desinfección UV viene con total flexibilidad con la posibilidad de:

- Ejecutar la unidad UV 1 sola.
- Ejecutar la unidad UV 2 sola.
- Hacer funcionar ambas unidades juntas.
- Usar ninguna de las unidades. (derivación)

#### **4.2.2.6.2. Unidad de lavado UV**

La unidad de lavado UV incluye las siguientes unidades:

- Tanque con agente de limpieza
- Sensor de nivel
- Bomba

Para mantener el funcionamiento normal de la unidad UV, los reactores deben lavarse con un agente de limpieza de forma regular (dependiendo de las condiciones de funcionamiento).



**Figura 30. Unidad de lavado UV durante proceso de renovado del químico**

#### **4.2.2.6.3. Sensor TSS**

La unidad TSS incluye las siguientes unidades:

- Pantalla
- Sensor retráctil

- Válvula para aislar el sensor del proceso.

La unidad TTS es un instrumento en línea para medir los sólidos suspendidos totales (TTS) del flujo de efluentes, y se mide en mg/l. La concentración de TSS se registra continuamente y la señal de TSS se puede utilizar para dirigir el efluente a los tanques de retención o al agua. TSS se mide por dispersión de luz. El sensor puede autolimpiarse.

TTS es el principal parámetro de control en la planta junto con la medición y control del pH.

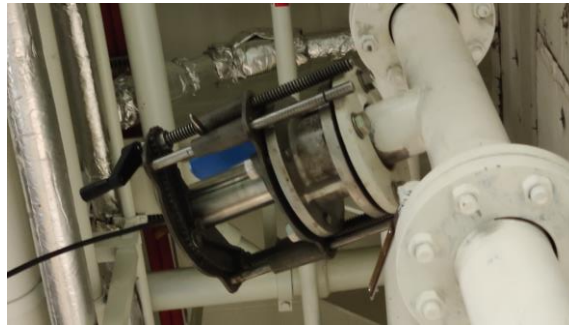


Figura 31. Sensor TSS

#### **4.2.2.7. Food waste reject water and bio residue dewatering units**

El agua rechazada de desechos alimenticios después de la deshidratación también forma parte del sistema de AWP. Este se procesa en el decantador del sistema AWP para eliminar las partículas del agua de la trituradora de desechos orgánicos para reducir la carga orgánica en el sistema AWP. Las partes pesadas del proceso de decantación se envían por gravedad al tanque de residuos de alimentos deshidratados.

Los lodos de residuos biológicos se deshidratan en unidades decantadoras dedicadas a AWP y se almacenan para su posterior proceso en un tanque de retención deshidratado.

#### **4.2.2.8. Otros módulos del sistema**

##### **4.2.2.8.1. Estaciones de bombeo**

Todo el Sistema está dotado de bombas que bombean el fluido de una unidad a otra. Todas las estaciones de bombeo tienen dos bombas; servicio y standby. El cambio entre estas bombas se realiza automáticamente y es controlado por el PLC del sistema a través de la pantalla.

##### **4.2.2.8.2. Sensores y transmisores**

- Sensor de pH (frente al floculador)
- Sensor de temperatura (frente al floculador)
- Medidores de flujo (frente a bio, unidades de flotación, en línea de bio recirculación y decantadores)
- Medidor TSS (frente a salida de agua tratada (UV))

- Indicador/transmisor de nivel (típicamente en tanques y estaciones de bombeo)

#### 4.2.2.9. Ventilation system

Hay dos sistemas de ventilación diferentes a bordo; uno para el módulo biológico y otro para el resto del sistema. Los sistemas de ventilación consisten en líneas separadas hasta la chimenea. Cada línea de ventilación consta de dos booster fan.

#### 4.2.3. Mantenimiento

En este tipo de buque, hay un ingeniero designado especialmente para la operación y mantenimiento de esta planta. Mientras que los ingenieros suelen estar de guardia, el ingeniero designado para este sistema suele estar en guardia de día, ya que se considera que es uno de los equipos de a bordo que más mantenimiento requiere.

Las principales tareas que hay que realizar son:

- Lavar los DAF y Dispersion Unit
- Limpieza del tanque colector de grasa
- Limpieza de los filtros de grasa
- Cambiar los filtros de aire de los sopladores del tanque biorreactor
- Limpiar los filtros de las mixing pump
- Limpiar los restos sólidos acumulados en la parte superior de la estación de aguas grises
- Limpiar el sensor TSS

Estos procedimientos de mantenimiento requieren una ejecución regular para garantizar el buen funcionamiento del equipo. Se han propuesto diferentes rutinas prácticas que se recomiendan realizar diariamente y se encuentran ubicadas estratégicamente en múltiples áreas del sistema para su fácil acceso, como la que se muestra en la siguiente imagen:



Figura 32. Rutina para seguir para el buen funcionamiento de la planta AWP

No obstante, es relevante que toda persona encuentre estrategias y prácticas que se adapten de manera efectiva a sus necesidades y características individuales para obtener un óptimo rendimiento, tal y como nos explica Pannagiotis, tercer oficial de máquinas encargado de este sistema en un buque crucero (leer entrevista en el Anexo 5).

#### 4.2.4. Coste de funcionamiento de la planta

Equipo	Cantidad	Consumo [kW]
Air blower, mixing tank circulation	2 x SB0310D2-8	4
Pump station, mix to prescreen	2 x Ritz ES50-160	8,6
Pre-treatment, wash and pressing unit	2 x Rotamat Ro9	5,5
Pump station, prescreen to bio	2 x Ritz ES50-200	7,5
Antifoam dosing unit, bioreactor	4 x Grunfos DDA 12-10	0,024
Air blower, Bioreactor	3 x TYR WT0280APXVZZXX	4
Pump station, Bio to DAF	2 x Ritz ES50-160	7,5
Chemical dosing unit, polymer	2 x Polymore Mini 30-3.0	0,1
Flotation Unit	2 x FA40	1,5
Dispersion Unit, DN400	2 x Calpeda MXV 32-405/60	0,55
Pump station, DAF to bioresidual	2 x Mono C1XKC11RMA	8,6
Polishing filter module	1 x Hydrotech Drumfilter HDF 803	0,25
Pump station, bioresidual circulation	2 x Ritz ES50-200	7,5
Pump station, Bioresidual to decanter	2 x Mono C1XKC11RMA	8,6
Boosterfan, Biological process line	2 x Itek CV350/450	4,5
Boosterfan, AWP equipment line	2 x Itek CV150/350	4,5
Pump station, drain to Mix	2 x SPX Johnson CB50-160	5,5
Pump station, polishing to UV	2 x SPX Johnson CB65-250	5,5
UV module	2 x ATG UVLM-373	24,09
UV cleaning module	1 x UV-Cip-300	30

Tabla 9. Consumo energético planta de tratamiento de aguas residuales en buque crucero

Con estos datos, se obtiene que la planta consume un total de **250,426 kW**.

La planta estará funcionando las 24h del día, por lo que para hacer los cálculos, se considerará la situación de un motor pequeño funcionando. El motor del que va dotado el barco es el Wärtsilä 8L46F. Como el combustible utilizado siempre era HFO 3.5%, utilizaremos este para hacer los cálculos, aunque el motor también podía funcionar con MGO.

Wärtsilä 8L46F		ME CPP Variable Speed	ME CPP Constant Speed	DE DE Constant Speed
Cylinder output	kW	1200	1200	1200
Engine speed	Rpm	600	600	600
SFOC at 100% load (HFO)	g/kWh	183.4	182.5	182.5



SFOC at 85% load (HFO)	g/kWh	174.9	174.9	176.8
SFOC at 75% load (HFO)	g/kWh	179.2	185.0	186.9
SFOC at 50% load (HFO)	g/kWh	182.2	191.2	197.0

**Tabla 10. Tabla de consumos específicos motor W8L46F en función del porcentaje de carga**

La carga del motor varía en función de la demanda de energía de los consumidores, pero suele ser un valor de entre el 60 y el 70%, por lo que se utilizará un valor medio de 65% para realizar los cálculos. Interpolamos para sacar el consumo específico.

SFOC at 75% load (HFO)	186.9 g/kWh
<b>SFOC at 65% load (HFO)</b>	<b>190.94 g/kWh</b>
SFOC at 50% load (HFO)	197.0 g/kWh

**Tabla 11. Consumo específico de HFO para el porcentaje de carga real**

Conociendo el consumo específico y el precio del combustible<sup>2</sup>, realizamos un factor de conversión:

$$250,426 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{190,94 \text{ g}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ mt}}{1000000 \text{ g}} \cdot \frac{453,50 \text{ \$}}{\text{mt}} = 520,43 \text{ \$}$$

Obtenemos que el coste operacional de la planta es de 520,43 \$.

## 4.2.5. Emisiones de CO2

Tal y como se explicaba en el apartado 4.1.5, para calcular las emisiones que tendrá nuestra planta, solo habrá que multiplicar el consumo de combustible por el factor de emisión:

$$250,426 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{190,94 \text{ g}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ T comb}}{1000000 \text{ g}} \cdot \frac{3,114400 \text{ T CO}_2}{\text{T comb}} = 3,57 \text{ toneladas de CO}_2$$

Las emisiones asociadas a esta planta serán de aproximadamente 3,57 toneladas de CO2.

Esto al cabo de un año resultará en un total de 1304,53 toneladas de CO2.

<sup>2</sup> Por Ship&Bunker, a 23 de Junio de 2023.

### 4.3. Análisis comparativo

A modo de resumen, se han recogido en la siguiente tabla los valores mostrados y obtenidos tras la comparativa de ambos tipos de buque.

	RO-PAX	CRUCERO
CAPACIDAD DE PASAJE	556	5000
TANQUE ALMACÉN DE AGUAS GRISES	1 x 71,3 m <sup>3</sup>	2 x 137,1 m <sup>3</sup>
TANQUE ALMACÉN AGUAS NEGRAS	5 m <sup>3</sup>	1 x 61,80 m <sup>3</sup> 1 x 70,2 m <sup>3</sup>
TANQUE ALMACÉN AGUA DE LAVANDERÍA	-	1 x 139,0 m <sup>3</sup> 1 x 134,1 m <sup>3</sup>
VOLUMEN TANQUE DE GRASA	0,4 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>
PLANTAS DE VACÍO	2	6
VOLUMEN OPERACIONAL PLANTA DE VACÍO	3500 l	240 m <sup>3</sup> /h
VOLUMEN OPERACIONAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	0,95 m <sup>3</sup> /24h	30 m <sup>3</sup> /h
CONSUMO ENERGÉTICO	41,5 kW	250,426 kW
COSTE OPERACIONAL	102,55 \$	520,43 \$
COSTE DE LA PLANTA	120 mil \$	1,2 Millones \$
Emissiones de CO <sub>2</sub>	221,71 toneladas/año	1304,53 toneladas/año

**Tabla 12. Tabla comparativa consumos específicos**

# **Capítulo 5. Marco práctico. Propuesta de optimización en el tratamiento de las aguas sucias en buques de pasaje.**

Existen desafíos en el funcionamiento, como la eliminación de contaminantes emergentes y la reducción del consumo de energía. Es por esto, que se están estudiando y desarrollando constantemente nuevas tecnologías y estrategias para mejorar este sistema, como la incorporación de procesos de membrana y biotecnología avanzada. La implementación de estas mejoras puede aumentar la eficiencia del tratamiento y la calidad del agua tratada, así como reducir los costos y la huella ambiental.

Algunas de las posibles formas de mejorar la planta serían las siguientes:

## **5.1. Sistemas de filtración de alta eficiencia**

Los sistemas de filtración por barreras físicas son técnicas utilizadas para eliminar partículas, sedimentos y otros contaminantes suspendidos en el agua utilizando una barrera mecánica. Estas barreras pueden ser filtros de arena, membranas, grava, carbón activado, electrostaticidad, entre otros. La idea es que la suciedad se quede atrapada en esta barrera física y se filtre el agua limpia a través de ella.

### **5.1.1. Sistemas de filtración de lecho profundo**

Un ejemplo es el sistema de filtración de lecho profundo. Este tipo de filtro es comúnmente utilizado en plantas de tratamiento de agua municipales y en el tratamiento de agua para uso industrial. Funciona haciendo pasar el agua a través de una capa de material filtrante, como arena gruesa, grava, carbón activado o antracita.

El proceso de filtración comienza con el pre-tratamiento del agua para reducir la cantidad de materia suspendida en el agua y disminuir la turbiedad. Luego, el agua se distribuye uniformemente

a través de la capa de material filtrante en un tanque de filtro. A medida que el agua pasa a través de la cama de filtro, se eliminan las impurezas suspendidas en el agua.

Estos sistemas generalmente requieren un mantenimiento periódico para garantizar su eficacia y prolongar la vida útil del sistema. Algunas de las actividades de mantenimiento comunes incluyen:

- Limpieza del lecho filtrante. El lecho filtrante debe limpiarse regularmente para eliminar los sedimentos y otros materiales capturados por el sistema. Para hacerlo, se debe drenar el agua de la unidad y retirar el material filtrante para enjuagarlo con agua limpia, y frotar las superficies con una escobilla suave.
- Recarga del medio filtrante. Con el tiempo, el lecho filtrante se desgasta y pierde su capacidad de filtrar el agua. Por lo tanto, el medio filtrante debe cambiarse periódicamente para mantener la efectividad del sistema.
- Reemplazo de piezas desgastadas. El sistema de filtración de lecho profundo puede desgastarse con el tiempo, lo que puede afectar su eficacia. Las piezas como las válvulas, los filtros y las juntas pueden necesitar un reemplazo periódico para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
- Ajuste de la velocidad del flujo. Para asegurarse de que el sistema de filtración de lecho profundo funcione correctamente, la velocidad del flujo debe ser lo suficientemente lenta para permitir que el medio filtrante capture los sedimentos. Si el flujo es demasiado rápido, las partículas pueden pasar a través del lecho filtrante sin ser capturadas, lo que reduce la eficacia del sistema. En este caso, se debe ajustar la velocidad del flujo.

### 5.1.2. Sistemas de filtración por membranas semipermeables

Un ejemplo de sistema de filtración de alta eficiencia es el filtro de membrana con osmosis inversa, el cual es utilizado en la potabilización de agua para eliminar sólidos suspendidos, virus, bacterias y otros contaminantes presentes en el agua. Este sistema funciona mediante el uso de una membrana semipermeable que retiene las partículas y contaminantes presentes en el agua.

Estos sistemas requieren de un mantenimiento regular para asegurar su eficiencia y prolongar su vida útil. Algunas de las actividades de mantenimiento incluyen:

- Limpieza de las membranas. Las membranas se ensucian con el tiempo y necesitan limpieza. Esto puede ser hecho con productos químicos o con la aplicación de aire y agua a alta presión.
- Sustitución de membranas dañadas: las membranas pueden dañarse por la exposición a productos químicos o por la presión excesiva. Reemplazar las membranas dañadas es esencial para mantener la eficiencia del sistema.
- Monitoreo de la calidad del agua: la calidad del agua puede variar, lo que puede afectar la eficiencia del sistema. Monitorear la calidad del agua asegura que el sistema esté funcionando correctamente.
- Revisión regular de los sistemas de bombeo y tuberías. La presión del agua y el flujo a través del sistema son fundamentales para la eficiencia del sistema. Revisar regularmente los sistemas de bombeo y las tuberías ayuda a garantizar que estos aspectos estén funcionando correctamente.

### **5.1.3. Sistemas de filtración mediante la electrostacidad**

Los sistemas de filtración mediante electrostacidad son un tipo de tecnología de filtración que utiliza una membrana cargada electrostáticamente para separar partículas de diferentes tamaños y cargas eléctricas. Estas membranas son capaces de eliminar partículas pequeñas y grandes, así como virus y bacterias, mediante una combinación de procesos de filtración física y eléctrica.

El proceso se basa en la atracción de partículas cargadas hacia la membrana cargada opuestamente, lo que resulta en una separación efectiva de los contaminantes.

Puntos a favor:

- Alta eficiencia de filtración: los sistemas de filtración por electrostática pueden capturar partículas más pequeñas que los filtros mecánicos convencionales.
- Bajo costo de operación: los sistemas de filtración por electrostática no requieren de la sustitución frecuente del filtro, lo que reduce el costo de operación.
- Bajo consumo de energía: los sistemas de filtración por electrostática consumen menos energía que los sistemas de filtración mecánica convencionales.

Puntos en contra:

- Requiere una alta tensión eléctrica: los sistemas de filtración por electrostática requieren una alta tensión eléctrica para atraer y capturar las partículas, lo que puede ser peligroso si no se controla adecuadamente.
- Problemas de conductividad: los sistemas de filtración por electrostática pueden tener problemas de conductividad si las partículas capturadas son demasiado conductoras.
- Potencial de descarga eléctrica: los sistemas de filtración por electrostática pueden generar descargas eléctricas si se acumulan cargas estáticas.
- Mayor complejidad: los sistemas de filtración por electrostática son más complejos que los sistemas de filtración mecánica convencionales, lo que puede aumentar los costos de mantenimiento.

Los sistemas de filtración que utilizan la electrostática requerirían mantenimiento regular del filtro para evitar la acumulación de partículas y la obstrucción del filtro. También deberá asegurarse de limpiar regularmente el ionizador y los alambres de carga para garantizar una carga efectiva de las partículas. Además, los sistemas eléctricos y electrónicos implicados en el funcionamiento del sistema también deben mantenerse adecuadamente para asegurar su buen estado.

## **5.2. Sistemas de recuperación de energía para mejorar la eficiencia energética de la planta**

Los sistemas de recuperación de energía en una planta de tratamiento de aguas residuales serán aquellos que proporcionen el aprovechamiento de la energía presente en el proceso de tratamiento de las aguas para su reutilización o conversión a energía utilizable.

Los principales sistemas de recuperación de energía la implementación de los cuales podríamos estudiar en una planta de tratamiento a bordo de los buques serían las siguientes:

- Biomasa y biogás
- Recuperación de energía hidráulica

### 5.2.1. Biomasa y biogás

Este sistema implica la generación de energía a partir de la fermentación de los lodos orgánicos producidos durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Este proceso genera biogás, que contiene metano, y se podría utilizar para producir energía eléctrica. Se estudiaría la viabilidad de instalar una planta de metanización en un buque crucero, aprovechando como biomasa las aguas negras provenientes de los baños como también los residuos orgánicos generados en los restaurantes.

Habría que estudiar el espacio que necesitaría esta planta para funcionar, y ver si sería rentable reducir espacios de ocio en el buque a fin de generar un rendimiento económico. Se haría una estimación en primer lugar de la cantidad de desechos producidos, tanto la cantidad de comida desperdiciada como la cantidad de sobras de comida de los restaurantes. Se haría también una estimación de la cantidad de aguas negras producidas por persona y día. Se determinaría el máximo potencial de producción de biogás que podría obtener una planta de estas características. Se utilizaría esta información para averiguar la cantidad de combustible que se reduciría teniendo en cuenta que el barco obtendría parte de su energía de la planta de metanización a partir de residuos.

De esta manera, al emplear una energía limpia en vez de combustibles altamente contaminantes como el fuel-oil, se lograría reducir significativamente la emisión de contaminantes por parte del buque, lo que daría una imagen positiva de la empresa al ser vista como respetuosa con el medio ambiente. Además, se ahorraría en el coste de descarga de residuos, ya que gran parte de estos se eliminaría en la planta de metanización. La porción restante de los residuos no fermentados podría ser aprovechada como fertilizante de alta calidad, obteniendo así un ingreso económico adicional. El beneficio de generar energía a partir de las aguas negras también implica que la planta de tratamiento a bordo del barco podría ser más pequeña, ya que solo tendría que enfocarse en purificar las aguas grises.

En cuanto a la planta de metanización utilizada en el barco, contendría los siguientes elementos:

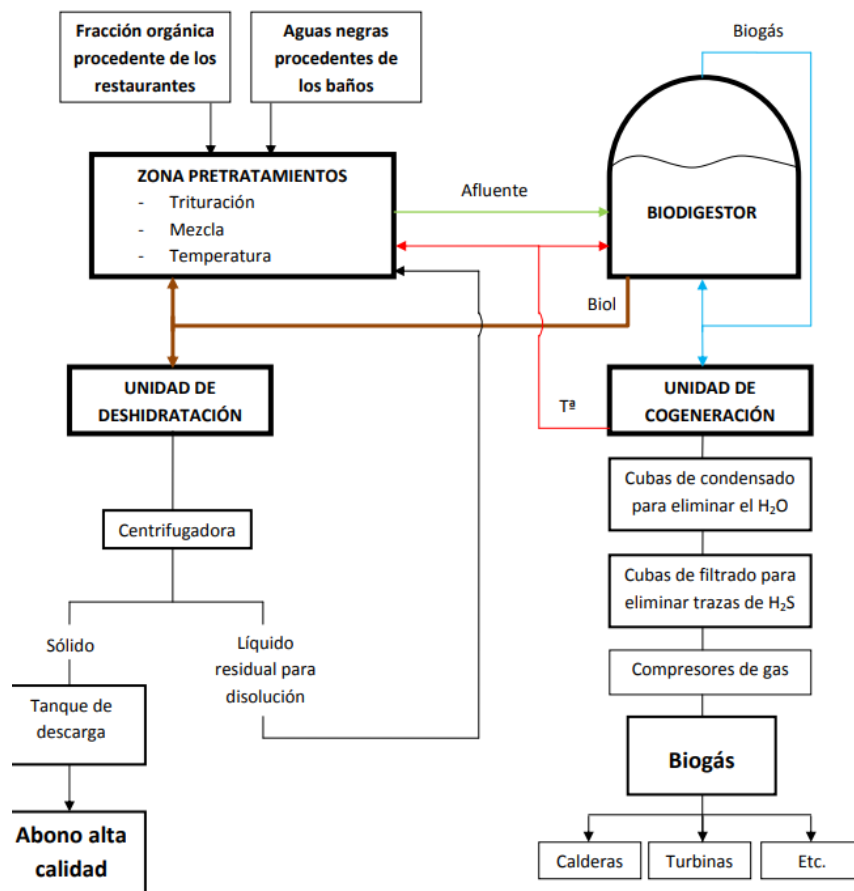


Figura 33. Esquema del sistema de recuperación de energía por biomasa y biogás

La planta de biogás consta de una sección de pretratamiento que mezcla y homogeniza la biomasa, una unidad de alimentación, una unidad de agitación, un biodigestor donde se produce la fermentación anaerobia, un sistema que recupera el biogás, un sistema de supervisión del proceso y una forma de descargar los residuos y fluidos de salida.

La planta requiere que los inodoros del barco usen un sistema de vacío para retirar los desechos sólidos, minimizando así el agua en el sistema, y que haya un botón separado para las aguas negras. Se supone que los pasajeros depositan cualquier otro tipo de residuo sólido en una papelera. Las aguas grises, tendrán su propio sistema que terminará en la planta de tratamiento de aguas del buque.

### 5.2.1.1. Zona pretratamiento

Antes de agregar la biomasa al digestor, se deben realizar algunos procesos previos para asegurar que la biomasa esté en condiciones óptimas para generar la mayor cantidad de biogás posible. En primer lugar, hay que triturar la biomasa, luego mezclarla con agua y finalmente calentarla a la temperatura adecuada para el digestor. Se facilitará el triturado de los residuos provenientes de cocina instalando trituradores de comida en todas las cocinas. De este modo, la comida que llegue

al tanque de alimentación, ya estará desmenuzada y contendrá parte del agua necesaria para la mezcla. También algunos fabricantes optan por los trituradores de comida situados bajo el fregadero. No se requiere un triturador para las aguas negras ya que se desmenuzan automáticamente en el tanque de alimentación gracias al mezclador. Antes de añadir la biomasa al digestor, se mezcla y se empareja con agua o una parte del biol que se extrae del propio digestor.

Es necesario equipar el tanque de alimentación con un mecanismo de calentamiento para garantizar que la mezcla de agua y biomasa ingrese al digestor a la misma temperatura que la biomasa que ya se encuentra en su interior.

### 5.2.1.2. Digestor

El digestor es la parte fundamental de la instalación donde ocurre la fermentación de la biomasa y se crea el biogás. Los digestores se dividen en tipos según el modo de operación, llenado y vaciado. El siguiente dibujo muestra una clasificación general de los digestores basada en su forma de trabajo.

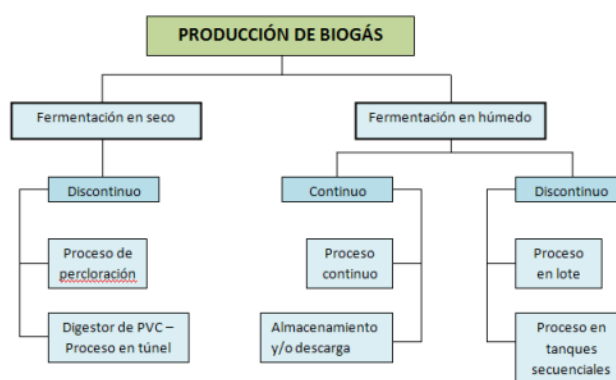


Figura 34. Esquema digestor

En la fermentación seca la mezcla contendrá un 20% o más de materia sólida, mientras que en la húmeda contendrá un 15% o menos. El modelo recomendado para este tipo de barcos es el conocido como CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor - digestor de agitación continua). Estos digestores poseen la capacidad de regular la digestión con una gran precisión, lo que les permite detectar y solucionar cualquier problema que pueda presentarse durante el proceso. Una vez puesto en marcha, sólo es necesario realizar una nueva puesta a punto cuando se requiera vaciar el digestor por motivos de mantenimiento, mientras que cargar y descargar la biomasa y el fertilizante no requiere ninguna medida especial.

Estos sistemas de digestión presentan gastos significativos en cuanto a su construcción y funcionamiento porque son bastante complejos y requieren un mantenimiento constante. Sin embargo, logran alcanzar una alta eficiencia en la producción de metano. Por esta razón, se emplean bastante en lugares con poco espacio disponible, como en el caso de los barcos.

Los digestores estarán térmicamente aislados, y requerirán de un sistema de calefacción en su interior, con el objeto de mantener una temperatura casi constante. También llevarán incorporados



agitadores, para mejorar la distribución de temperatura, nutrientes, burbujas de biogás y de combinar el sustrato fresco con las bacterias que ya están presentes en el digestor.

Hay otro método de agitador, en el que se introduce una parte del biogás producido en el digestor. Este gas hará que la biomasa dentro del digestor se mueva y libere el metano. Posteriormente, el biogás inyectado saldrá de nuevo por la parte superior de la cubierta.

### **5.2.1.3. Zona de deshidratación**

Del afluente introducido, como máximo el 7% termina siendo biogás (Panesso, A. F., 2011). Esto se traduce, a un 93% del afluente introducido que no generará metano, y que habrá que extraerlo para dar paso a un nuevo afluente que contenga biomasa fresca, capaz de generar biogás. A este residuo se le conoce como biol o bioabono. Este biol, deberá ser almacenado en tanques para su posterior descarga en puerto. El volumen de este tanque será demasiado elevado, por lo que se deberá instalar un decanter, que centrifugará el residuo para poder deshidratar el biol, y que este ocupe menos volumen.

Cuando se somete el biol a centrifugado, se reduce la cantidad de líquido presente en él sin alterar su composición nutricional ni eliminar los gérmenes y parásitos previamente presentes. Debido a que el biol resultante no tiene elementos perjudiciales, es un fertilizante de alta calidad y se puede comercializar como un abono excelente para la agricultura.

### **5.2.1.4. Zona de cogeneración**

Después de que la materia orgánica se haya descompuesto y digerido completamente, lo que se obtiene es un líquido llamado biol y metano, que es muy eficiente como fuente de energía. Sin embargo, al salir del proceso de digestión, el gas aún no puede ser utilizado debido a que contiene partículas de agua y gases contaminantes. Por lo tanto, es necesario tratarlo antes de usarlo. Los fabricantes de motores y calderas tienen ciertos estándares mínimos de calidad para el biogás que deben ser respetados para asegurar la vida útil del equipo y asegurar que el mantenimiento se realice en los intervalos adecuados.

Para eliminar el exceso de agua, se utiliza un método en el que la tubería por la que se transporta el biogás se hace pasar a través de un depósito o cuba especial llamada pozo de condensados. Este depósito tiene una temperatura más baja que la del gas, lo que provoca que el vapor de agua se condense y se acumule en el fondo de la cuba mientras el gas continúa su recorrido.

Es necesario eliminar el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) del biogás para evitar dañar los equipos y cumplir con las regulaciones ambientales. El biogás suele tener concentraciones de ácido sulfhídrico entre 1000 y 6000 ppm. Hay varios métodos para eliminar el H<sub>2</sub>S, pero se recomienda el tratamiento biológico ya que es el de menor coste de mantenimiento. En este método, se utilizan bacterias aeróbicas para oxidar el H<sub>2</sub>S y convertirlo en azufre elemental y ácido sulfúrico. Estas bacterias se introducen en un reactor fabricado con poliéster reforzado con fibra de vidrio, y un relleno de polipropileno para aumentar la superficie de contacto con el biogás. La fuente de nutrientes para

las bacterias puede ser el fertilizante líquido artificial (FLA). Los subproductos son agua, azufre y ácido sulfúrico, que se diluyen en la etapa final de clarificación en la planta de depuración de aguas del buque.

Después de limpiar el biogás de partículas no deseadas como agua y sulfhídrico, el biogás sale sin presión. Luego, se utiliza un compresor para aumentar la presión del biogás a un nivel seguro para su combustión. Es importante tener en cuenta que la presión no debe ser superior a 5 mbar para evitar riesgos de explosión. Una vez comprimido, el biogás es analizado y monitoreado constantemente para garantizar un alto grado de eficiencia y fiabilidad de funcionamiento.

### 5.2.1.5. Viabilidad económica

Así, tras calcular la cantidad de residuos generados en un buque al año, más el precio que cuesta la descarga de residuos MARPOL en puerto, habría que restarle las ganancias por vender el Biol. Este abono de alta calidad, al no ser residuo, es tratado como una carga, evitando así los costes por retirada de residuos.

Además, con la producción de biogás, se tendría un considerable ahorro en HFO, puesto que podría utilizarse como combustible.

Otro factor importante, sería el espacio que ocuparía esta planta. Será de vital importancia estudiar si el espacio disponible será suficiente para montar la planta, o si habrá que reacondicionar algún espacio de la sala de máquinas.

Después de haber calculado y considerado todo lo anterior, la conclusión es que, aunque faltaría espacio para el montaje de la planta, sería viable mediante la reducción de alguna de las zonas recreativas. Además, los beneficios económicos podrían llegar a ser de más de 438000€ anuales (Bosch Martí, 2011).

### 5.2.2. Recuperación de energía hidráulica

Este sistema se basa en la instalación de turbinas hidráulicas en las tuberías de la planta de tratamiento de aguas residuales (Giardinella, Chung, López y Ávila, 2017). La energía hidráulica generada por el movimiento del agua puede ser aprovechada para producir energía eléctrica de manera eficiente.

Se realizarían un balance energético previo a la planta de tratamiento (Fox, R., Pritchard, P. y McDonald, A., 2011). Se realizará otro balance energético en el trayecto de descarga al mar, asumiendo de que el agua que retorna al mar es contenida en un tanque, previo a la realización de las descargas. La ubicación y dimensiones de este tanque, junto con las de la tubería de descarga imponen las características del sistema de retorno. A partir de estas propiedades y el sitio más adecuado para la recuperación de energía, se seleccionaría la turbina ideal; para luego utilizar las ecuaciones de forma idealizada de esta turbina en el cálculo de la energía mecánica recuperable. Una vez conocida las características y la potencia entregada por la turbina, se obtendría la eficiencia del generador eléctrico acoplado a ésta, pudiéndose así determinar la máxima energía eléctrica

recuperable. Se compararía y discutiría la magnitud de la energía recuperada, así como la turbina disponible en el mercado que cumpliera con las características de la turbina ideal. Se propondrían soluciones de acuerdo con los resultados obtenidos y la información recopilada, en donde siempre el objetivo sería la recuperación de energía en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Las bombas que se emplean para la descarga del agua tratada al mar, funcionan con variadores de velocidad en lugar de estar conectadas directamente a la red eléctrica como las bombas de succión. Estos variadores modifican la frecuencia de la corriente eléctrica, lo que a su vez altera la velocidad de giro del impulsor de la bomba. Gracias a esta técnica se reduce significativamente el consumo de energía eléctrica del motor.

Será determinante para el cálculo, conocer el volumen de agua que circula en el circuito (Canyon Hydro, 2022), así como el diámetro de las tuberías y la longitud de estas (Canyon Hydro, 2022). Mediante la ecuación de Bernoulli, se determinarían las pérdidas de energía en el sistema de tuberías.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g(y_1 + \Delta y_1) = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g(y_2 + \Delta y_2)$$

Para calcular el balance energético, transportando el agua desde los tanques almacén hasta su descarga al mar, se partirá del principio de cantidad de movimiento. Esto se debe a que la transferencia de energía del fluido a la máquina depende de ella y, por lo tanto, se utiliza para calcular la ecuación que rige el fenómeno. A partir de las características del sistema, se seleccionarían el tipo de turbina más adecuado para el sitio en cuestión. Luego, utilizando ecuaciones ideales de la turbina bajo este principio, se calcularían las potencias y la eficiencia. Con esto, podemos determinar la cantidad teórica de energía hidroeléctrica que se puede recuperar.

El tipo de turbina más adecuado para la producción de energía hidroeléctrica con un flujo de descarga y una caída de altura en el rango de los valores de un buque, junto con un coste significativo de instalación, son las turbinas Kaplan (Sinagra, M., Picone, C., Picone, P., Aricò, C., Tucciarelli, T., and Ramos, H.M, 2022).



**Figura 35. Turbina Kaplan. Fuente: Wikimedia Commons.**

En la planta del buque crucero, los fluidos a descargar se almacenan en tanques esperando a cumplir los requisitos legales para su descarga. Se realizan por separado la descarga de los residuos biológicos y la descarga de aguas tratadas. Aun así, debido a la diferencia de densidad de los fluidos, la opción más eficiente para introducir una turbina Kaplan de recuperación de energía sería en la descarga de aguas tratadas, donde el flujo de esta descarga varía entre 0,09 y 0,12m<sup>3</sup>/s.

Con los datos que se conocen, una posible turbina sería el modelo más pequeño de la casa Chengdu Forster, que podría llegar a producir una potencia de salida de 5 kW, mejorando así la eficiencia de la planta en un 2%.

Puesto que las turbinas convencionales y conocidas hasta la fecha no serían de gran utilidad debido a su gran tamaño, han aparecido en el mercado estos últimos años algunas alternativas conocidas como mini o micro turbinas, como el modelo HydroXS desarrollado por In-Pipe Energy, quienes en 2020 la pusieron en funcionamiento en sus instalaciones, y que con un funcionamiento de unas 20 horas diarias, les ha estado generando de 16 a 18 kW. Estos valores, aplicados a la planta del buque crucero estudiado, supondría un ahorro energético de entre el 6,39 y el 7,19%.

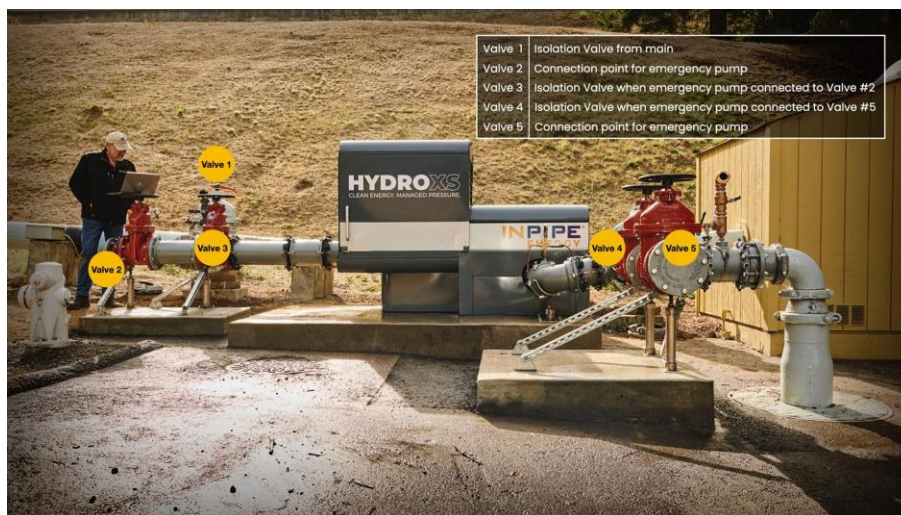


Figura 36. In-Pipe Energy HydroXS. Fuente: fabricante

Debido a que la inversión en el sistema de recuperación puede ser considerablemente alta y la máxima energía recuperable es relativamente baja, habría que estudiar si implementar un sistema de recuperación de energía en el retorno del agua saldría rentable.

## Conclusiones

El tratamiento de aguas residuales es un tema crucial en la protección del medio ambiente y la salud pública. Hablamos de aguas residuales cuando hablamos de aguas grises, aguas procedentes de la cocina, y aguas negras, y deberán ser tratadas antes de su descarga al mar porque su contenido en químicos y sustancias podrían dañar la vida marina y alterar el ecosistema. Además, las aguas no tratadas contienen bacterias y virus que podrían propagar enfermedades, representando así una amenaza para la salud pública.

Para controlar estas descargas se creó el Anexo IV del MARPOL, en el que se especifica que a 12 millas náuticas de la tierra más próxima y navegando a más de 4 nudos se pueden descargar al mar aguas residuales no trituradas ni desinfectadas de un tanque de retención, mientras que si las aguas residuales han sido trituradas o desinfectadas, la distancia se verá reducida a 3 millas náuticas.

Es importante destacar el futuro prometedor del control de la contaminación del transporte marítimo. Los sistemas de tratamiento ya existentes se irán mejorando y poco a poco aparecerán otros nuevos más eficaces y menos contaminantes. Ya no solo a nivel de gestión de las aguas y consumo de la planta, sino que también a nivel de químicos utilizados y materiales de un solo uso no desechables.

A lo largo de este trabajo se ha realizado una comparación del tratamiento de aguas residuales en un buque RO-PAX y en un crucero, además de proponer una serie de medidas de optimización para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de ambos sistemas.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis detallado de las características de los buques RO-PAX y los cruceros, incluyendo su tamaño, capacidad y número de pasajeros y tripulantes. Estos factores influyen directamente en la cantidad y tipos de aguas residuales que se generan a bordo, lo que a su vez determina los requisitos de tratamiento necesarios.

A continuación, se examinaron los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en cada tipo de buque. En el caso de los buques tipo explicados, el tratamiento se basa principalmente en métodos biológicos, como los reactores de lodos activados, que son más eficientes en la eliminación de contaminantes orgánicos.

La comparación de ambos sistemas reveló que si bien los sistemas biológicos se consideran más efectivos en términos de remoción de contaminantes con respecto a otros métodos utilizados en

el mercado en este tipo de buques (como los sistemas físico-químicos), el tamaño y energía para su funcionamiento puede variar en función del tipo de buque, pasaje, y cantidad de agua a tratar.

Con base en estas observaciones, se propuso una serie de medidas de optimización que podrían aplicarse principalmente a los cruceros, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y reducir su impacto ambiental.

Una de las propuestas consiste en mejorar la separación y el pretratamiento de las aguas residuales a bordo, para minimizar la cantidad de contaminantes que llegan al sistema de tratamiento principal. Esto podría lograrse mediante la instalación de tecnologías avanzadas de separación, como filtros de membrana y separadores de grasa, que son capaces de retener los sólidos y los aceites presentes en las aguas residuales.

Otra medida propuesta es la posible generación de energía a través de la fermentación de los lodos orgánicos. Esta medida, plantea un futuro prometedor en los buques cruceros, lo que podría conducir a futuras construcciones más sostenibles.

Se ha propuesto también la recuperación de energía hidráulica, dejando esta puerta abierta a futuros trabajos académicos que estudien en profundidad la viabilidad de ésta. Debería realizarse un estudio para determinar si valdría la pena instalar turbinas hidráulicas para recuperar la energía hidráulica de las tuberías de la planta de tratamiento, y en caso de que valiese la pena, estudiar casos de buques concretos ya existentes, así como de futuras construcciones e incluso yates privados. Quiriendo ir más lejos en este ámbito, se podría estudiar la instalación de una turbina en cualquier buque que tenga una circulación de fluidos, ya sea a la hora de descargar, a la hora de mover entre los diferentes compartimentos del buque, o incluso a la hora de cargar. Por lo que se ha podido observar, es posible utilizar este tipo de energía, pero por cómo están contruidos los buques crucero actualmente, con los diámetros existentes en las tuberías de a bordo y los saltos de altura de los que se dispone, la recuperación de energía sería mínima, y la inversión económica seguiría siendo elevada, por lo que quedaría a criterio del armador si realizar esta inversión o no.

## Bibliografía y referencias

- Andalucía., M. A. (2002). *La contaminación marina producida por buques* [en línea]. Disponible en [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Publicaciones\\_Divulgacion\\_Y\\_Noticias/Publicaciones\\_Periodicas/IMA/2002/ima\\_2002\\_pdfs/MONOGR\\_AFIA2.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Publicaciones_Periodicas/IMA/2002/ima_2002_pdfs/MONOGR_AFIA2.pdf)
- Bosch Martí, A. *Estudio de viabilidad de la instalación de una planta de metanización en un buque crucero* [en línea]. Proyecto de fin de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de Ciències i Enginyeries Nàutiques, 2011 [Consulta: 29 de abril de 2023]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13613/PFC\\_BOSCH\\_MARTI\\_ADRI%C3%80.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13613/PFC_BOSCH_MARTI_ADRI%C3%80.pdf)
- Canyon Hydro. (2022). *Planificación de su propio sistema Hydro* [en línea]. [Consulta: 18 de Mayo de 2023]. Disponible en: [https://www.canyonhydro.com/guide\\_sp/HydroGuide12\\_sp.html](https://www.canyonhydro.com/guide_sp/HydroGuide12_sp.html)
- Canyon Hydro. (2022). *Recuperación de energía a partir de sistemas de agua públicos* [en línea]. [Consulta: 15 de Mayo de 2023]. Disponible en: [https://www.canyonhydro.com/projects\\_sp/conduit\\_sp.html](https://www.canyonhydro.com/projects_sp/conduit_sp.html)
- Chengdu Forster Technology Co., Ltd. *Small Kaplan Turbine Product Catalogue* [en línea]. [Consulta: 10 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.fstgenerator.com/small-kaplan-turbine-1kw-2kw-5kw-for-micro-hydropower-product/>
- Consejería de Medio Ambiente de Andalucía (2002). *La contaminación marina producida por buques*. Informe 2002, p. 32-53.
- Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982. Grupo Mixto de Expertos sobre Aspectos Científicos de la Contaminación Marina – Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, (GESAMP-,ONU).
- EVAC Marine Systems. Equipo Sanitario por vacío EVAC. Kvaerner Masa Yards Turku New Shipyard. 16 de marzo de 1993.
- Federal Register. Vol. 44, No. 147. 40 CFR Part 401: Identification of Conventional Pollutants. Lunes, 30 de Julio de 1979.
- Fox, R., Pritchard, P. y Mcdonald, A. (2011). *Introduction to fluid mechanics* (8 ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.

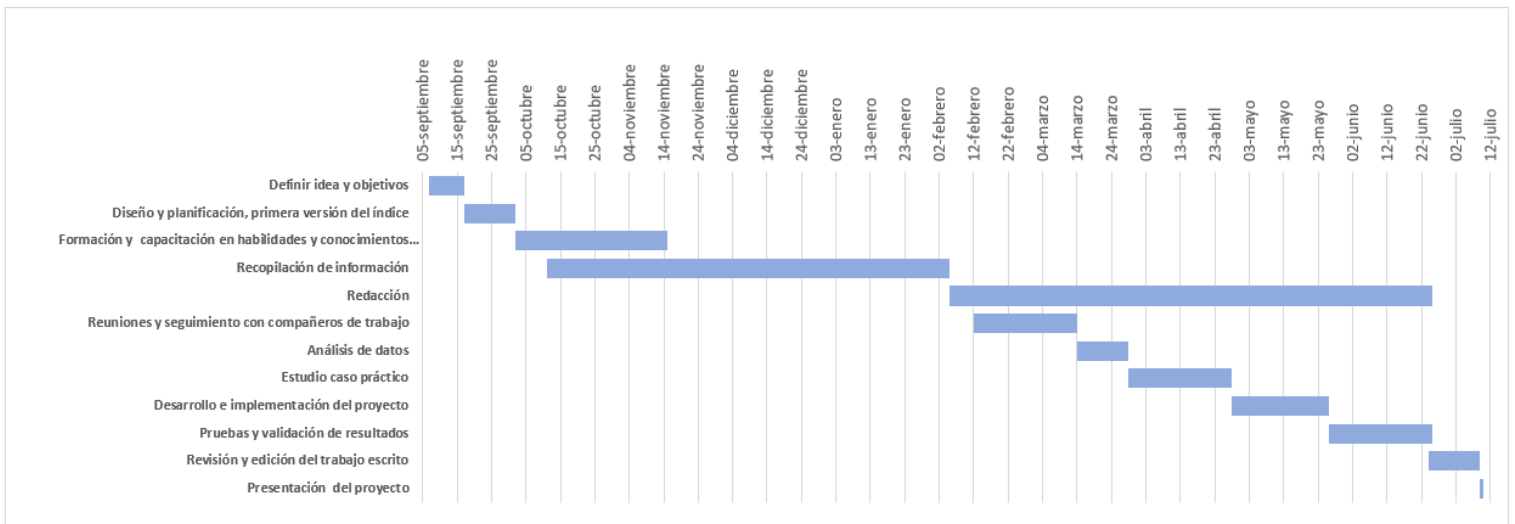
- Giardinella, S., Chung, K., Ávila, M., López, D. *Improve energy efficiency using hydraulic power recovery turbines. Chemical Engineering* [en línea]. Junio de 2017, p. 59-63. [Consulta: 27 de abril de 2023]. Disponible en: [www.chemengonline.com](http://www.chemengonline.com)
- Gómez Ávila, F. J. *Estudio energético para aprovechar la energía del sistema de agua de mar de desecho del CICESE* [en línea]. Tesis doctoral, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Departamento de electrónica y telecomunicaciones, 2018 [Consulta 13 de mayo de 2023]. Disponible en: [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2501/1/tesis\\_G%C3%B3mez\\_Avila\\_Fernando\\_Jos%C3%A9\\_26\\_sep\\_2018%20-%20FINAL.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2501/1/tesis_G%C3%B3mez_Avila_Fernando_Jos%C3%A9_26_sep_2018%20-%20FINAL.pdf)
- Organización Marítima Internacional. (16 de Octubre de 2006). Resolución MEPC.159(55). *Revised guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plans*. Londres, Reino Unido.
- Organización Marítima Internacional. (17 de Agosto de 2009). *Guideline for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)*. MEPC.1/Circ.684.
- Organización Marítima Internacional. (15 de Julio de 2011). Resolution MEPC.200(62). *Amendments to the annex of the protocol of 1978 relating to the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973*. Londres, Reino Unido.
- Organización Marítima Internacional. (5 de Octubre de 2012). Resolution MEPC.227(64). *2012 Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plans*. Londres, Reino Unido.
- Organización Marítima Internacional. (22 de Abril de 2016). Resolución MEPC.275(69). *Establishment of the date on which regulation 11.3 of MARPOL Annex IV in respect of the Baltic Sea special area shall take effect*. Londres, Reino Unido.
- Panesso, A. F., Cadena, J. A., Mora Flórez, J. J., & Ordoñez, M. D. (2011). *Análisis del biogás captado en un relleno sanitario como combustible primario para la generación de energía eléctrica*. Scientia Et Technica, XVII(47), p. 23-28.
- Prill, K.; Behrendt, C.; Szczepanek, M.; Michalska-Požoga, I. (1 de Marzo de 2020). *A new method of Determining Energy Efficiency Operational Indicator for Specialized Ships*. Energies 13(5), 1082. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/en13051082>
- Rotterdam Bunker Prices. IFO380. Ship&Bunker [en línea]. [Consulta: 23 de Junio de 2023]. Disponible en: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#IFO380>.
- Rotterdam Bunker Prices. VLSFO. Ship&Bunker [en línea]. [Consulta: 23 de Junio de 2023]. Disponible en: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#VLSFO>
- Sameer Saxena, Dr. Mahendra Pratap Choudhary. *Performance Evaluation of Dairy Wastewater Treatment Plant*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Noviembre de 2016, no. 4. ISSN 2395-0056.
- Scanship Sustainable Solutions. Operation Manual Waste Water System. Doc no.: WO-1138.



- Seong-Hoon Kim, Myung-Il Roh, Min-Jae Oh, Sung-Woo Park, In-Il Kim. (2020). *Estimation of ship operational efficiency from AIS data using big data technology*. 12, 440-454. doi:2092-6782
- Sinagra, M., Picone, C., Picone, P., Aricò, C., Tucciarelli, T., and Ramos, H.M. *Low-Head Hydropower for Energy Recovery in Wastewater Systems* [en línea]. Mayo de 2022, *Water* 14 (10) (May 21): 1649. [Consulta: 23 de mayo de 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/w14101649>.
- Trabinox. *Proceso Físico-Químico de tratamiento de aguas residuales* [en línea]. [Consulta en Abril de 2023]. Disponible en: <https://www.trabinox.net/es/fisico.php>
- U.S. EPA Interim Revised NPDES Inspection Manual. Vessel General Permit (VGP) Chapter 16: Effluent Limits and Related Requirements For Specific Discharge Categories. January 2017.
- Wärtsilä Finland Oy. Wärtsilä 46F Product Guide. Enero de 2020, 3-Technical Data, p. 3-8.
- Xueqiang Lu, Bin Zhou, Rolf D. Vogt, Hans M. Seip, Zhiwei Xin & Östen Ekengren. *Rethinking China's water policy: the worst water quality despite the most stringent standards*. *Water International*. Septiembre de 2016. ISSN 0250-8060.

# Anexo 1. Coste económico del trabajo de fin de grado

Fase	Nombre actividad	Fecha inicio	Duración en días	Fecha fin
Fase 1, investigación	Definir idea y objetivos	07-sep	10	17-sep
	Diseño y planificación, primera versión del índice	17-sep	15	02-oct
	Formación y capacitación en habilidades y conocimientos relevantes	02-oct	44	15-nov
	Recopilación de información	11-oct	117	05-feb
Fase 2, redacción	Redacción	05-feb	140	25-jun
	Reuniones y seguimiento con compañeros de trabajo	12-feb	30	14-mar
	Análisis de datos	14-mar	15	29-mar
	Estudio caso práctico	29-mar	30	28-abr
	Desarrollo e implementación del proyecto	28-abr	28	26-may
	Pruebas y validación de resultados	26-may	30	25-jun
Fase 3, revisión	Revisión y edición del trabajo escrito	24-jun	15	09-jul
	Presentación del proyecto	09-jul	1	10-jul



A partir de las horas invertidas en este proyecto, y estableciendo el precio de consultoría por hora para un ingeniero junior, se ha determinado el coste real del proyecto.

COSTE DEL PROYECTO	
Tiempo invertido (horas)	1100
Precio	35 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>38.500 €</b>

# Anexo 2. Sewage Discharge Log

## Sewage Discharge Log

Ship's Name:

Distinctive No. or letters:

IMO No.:

Date [dd/mm/yyyy]	Discharge Start		Discharge Completed		Treated / untreated	Quantity Discharged [m <sup>3</sup> ]	Distance from Land [nm]	Reception Facility Location and Name	Signature
	Position	Time	Position	Time					

# Anexo 3. Grey Water Discharge Log

## Grey Water Discharge Log

Ship's Name:

Distinctive No. or letters:

IMO No.:

Date [dd/mm/yyyy]	Discharge Start		Discharge Completed		Quantity Discharged [m <sup>3</sup> ]	Distance from Land [nm]	Reception Facility Location and Name	Signature
	Position	Time	Position	Time				

# Anexo 4. Capacity Calculation of Holding Tanks

## Capacity Calculation of Holding Tanks for Sewage and Greywater

Ship's Name:

Distinctive No. or letters:

IMO No.:

Holding Tanks for Conventional (Non-vacuum) Sewage System				
Waste Water Volume [litres/day/person]	Number of Persons Onboard [person]	Minimum Duration of Port Stay [day]	Required Total Volume of Holding Tanks [m <sup>3</sup> ]	Chief Engineer Signature

Holding Tanks for Vacuum Sewage System				
Waste Water Volume [litres/day/person]	Number of Persons Onboard [person]	Minimum Duration of Port Stay [day]	Required Total Volume of Holding Tanks [m <sup>3</sup> ]	Chief Engineer Signature

Holding Tanks for Greywater				
Waste Water Volume [litres/day/person]	Number of Persons Onboard [person]	Minimum Duration of Port Stay [day]	Required Total Volume of Holding Tanks [m <sup>3</sup> ]	Chief Engineer Signature

## Anexo 5. Entrevista a Oficial encargado del sistema AWP

P: Panagiotis Giannakopoulos es un experimentado tercer oficial de máquinas que ha dedicado gran parte de su carrera de navegación al tratamiento de aguas residuales en buques cruceros. Su experiencia y conocimientos en esta área son muy valiosos para comprender cómo se gestiona este tipo de residuos en estos buques y cómo se asegura la protección del medio ambiente marino. En la siguiente entrevista, conversaremos con él sobre este importante tema y su experiencia personal en el manejo de aguas residuales en buques cruceros.

P: ¿Cuál es tu responsabilidad como Oficial de máquinas encargado del sistema de tratamiento de aguas residuales en un buque crucero?

R: Como Oficial de máquinas encargado del sistema de tratamiento de aguas residuales, mi responsabilidad es garantizar que el sistema esté funcionando de manera óptima para cumplir con las regulaciones ambientales internacionales, tratando y purificando las aguas residuales generadas en el buque antes de ser descargadas al mar.

P: ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentas en tu trabajo?

R: Uno de los principales desafíos es la necesidad de estar siempre actualizado sobre las últimas regulaciones y tecnologías en torno al tratamiento de aguas residuales. Además, es crucial asegurarse de que el sistema esté funcionando correctamente durante todo el tiempo, lo que puede resultar complicado en caso de averías y en situaciones climáticas adversas.

P: ¿Cómo se asegura de que el sistema de tratamiento de aguas residuales esté funcionando de manera adecuada?

R: El equipo de tratamiento se monitorea constantemente con la ayuda de diferentes instrumentos de medición y analíticos. También llevamos a cabo pruebas de la calidad del agua tratada a bordo y trabajamos mano a mano con el Oficial Medioambiental del buque para garantizar el cumplimiento de las regulaciones.

P: Antes de que tu llegaras, había otro oficial operando este sistema, y pese a que los mantenimientos eran los mismos, la frecuencia era muy diferente, ¿cuál es la correcta?

R: Al final, uno tiene que conocer el sistema y saber cuándo efectuar cada limpieza. Yo recuerdo una vez que estuvimos más de un mes sin limpiar los DAF, porque la ruta no nos lo permitía, y no pasó nada. Es como los carteles estos que hay por ahí con recomendación de limpieza. Si tú eres nuevo, quizá lo sigues, pero con la experiencia, tú tienes que hacerte tu propio plan, uno que a ti

te funcione, y seguirlo. No hace falta limpiar el DAF cada día. Yo, por ejemplo, una semana limpio uno, y a la siguiente el otro. Esto me permite ir estudiando otras partes de la máquina, ya que pese a haber estado gran parte de mi carrera en este sistema, si mañana me quieren cambiar a otro sistema, podrían hacerlo, porque también los entiendo. Al final, yo siempre lo digo, lo importante en este sistema es el polymer. No importa lo limpio que esté, o la calidad o la proporción de la mezcla que llega a los DAF, que si la estación de polymer no funciona, o funciona mal, el sistema no funcionará. Es por esto, que yo cada vez que empiezo un contrato, las dos primeras semanas me las paso limpiando y poniendo bien esta unidad. Así, me aseguro de que me deje tranquilo el resto del contrato.

P: ¿Cuáles son las medidas de seguridad que se toman para asegurar la seguridad del personal y del medio ambiente?

R: Hay una serie de medidas de seguridad establecidas para garantizar la seguridad del personal y del medio ambiente. Por ejemplo, el personal está capacitado regularmente para el manejo seguro y adecuado del equipo de tratamiento. Además, se aplica un enfoque preventivo para detectar cualquier problema potencial en el sistema rápidamente y abordarlo antes de que se convierta en un problema, para minimizar el riesgo de posibles impactos ambientales negativos.

P: ¿Cómo ves el futuro en el campo del tratamiento de aguas residuales en la industria de cruceros?

R: El futuro parece prometedor, ya que cada vez se espera más de la industria de cruceros en términos de prácticas sostenibles y responsabilidad ambiental. Se están invirtiendo grandes cantidades de recursos y se están llevando a cabo investigaciones y desarrollos para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y reducir aún más los impactos ambientales negativos. Como oficiales de máquinas, nos aseguramos de mantenernos actualizados y seguir mejorando nuestros conocimientos para garantizar que podamos cumplir con los requisitos ambientales y garantizar la protección del medio ambiente y de nuestra tripulación y pasajeros también.