



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE  
NÁUTICA E MÁQUINAS

## TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

---

# “ESTUDIO DEL IMPACTO QUE CAUSA EN ECOSISTEMAS MARINOS EL EXCESO DE COMIDA (O AGUAS NEGRAS) DE UN BUQUE ROPAX”

---

MÁSTER EN “INGENIERÍA MARINA”

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS

JUNIO – 2023

AUTOR: SERGI COLOMÉ LÓPEZ  
DIRECTOR: IGNACIO ARIAS FERNÁNDEZ

## RESUMEN

Según la normativa de la Organización Marítima Internacional, se pueden clasificar las aguas sucias de los buques en distintas categorías según su origen y se proponen distintos métodos de tratamiento de éstas.

La efectividad de estos métodos se mide en el efluente de descarga posterior al tratamiento de las aguas sucias aplicando a todos los buques mercantes sin importar dotación y pasaje.

Aunque la mayoría de instalaciones para el tratamiento de estas aguas son plantas sépticas con pocos requisitos de mantenimiento resulta de especial importancia que el plan de mantenimiento esté bien implementado para evitar que la planta opere fuera de normativa o pueda afectar directamente a los tripulantes a bordo, en especial en aquellos buques con pasaje.

Una vez ya diseñado y construido el buque, la optimización del funcionamiento de las plantas sépticas a nivel de tuberías y prestaciones de los principales equipos puede resultar difícilmente justificable de implementar por su coste y complejidad, aunque existen alternativas poco intrusivas que pueden contribuir a un mejor desempeño de estas instalaciones.

## RESUMO

Segundo a normativa da Organización Marítima Internacional, as augas sucias dos buques pódense clasificar en diferentes categorías segundo a súa orixe e propóñense diferentes métodos de tratamento.

A eficacia destes métodos mídese no efluente vertido despois do tratamento de augas residuais, aplicándose a todos os buques mercantes independentemente da tripulación e dos pasaxeiros.

Aínda que a maioría das instalacións para o tratamento destas augas son plantas con poucos requisitos de mantemento, é especialmente importante que o plan de mantemento estea ben implantado para evitar que a planta funcione fóra da normativa ou afecte directamente aos tripulantes a bordo, naqueles barcos con pasaxeiros.

Unha vez proxectado e construído o buque, a optimización do funcionamento das plantas sépticas a nivel de canalizacións e rendemento dos principais equipamentos pode resultar difícil de xustificar a súa implantación polo seu custo e complexidade, aínda que existen alternativas menos intrusivas que pode contribuír a un mellor rendemento destas instalacións.

## ABSTRACT

According to IMO's legislation, dirty waters from ships can be classified depending on their origin and several treatment methods are proposed for them.

The effectiveness of these methods is measured with the discharge effluent after the treatment of these dirty waters applying to all merchant ships without considering as a factor crew and passengers.

Although most of the dirty waters treatment installations require few maintenance procedures it is of utmost importance that a proper maintenance schedule is applied in order to avoid situations where the plant operates outside legislation parameters and affects those who are onboard, with emphasis on passenger vessels.

Once a ship has been designed and constructed, optimizing the working regime of septic plants can be difficult to justify in regards of piping and its main devices due to its complexity and associated costs, although several alternatives that require less intrusive means can be implemented to boost the performance of such installations.

## INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE MODELO.....</b>	<b>8</b>
2.1. Buque modelo RO-PAX.....	8
2.2. Buque modelo RO-RO.....	9
<b>3. MARPOL 73/78 ANEXO IV. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR AGUAS SUCIAS DE LOS BUQUES.....</b>	<b>11</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA SÉPTICA.....</b>	<b>18</b>
4.1. Principio de funcionamiento .....	18
4.2. Planta séptica EVAC Marine 90 .....	22
4.2.1. Mantenimientos de la Planta Séptica Evac Marine 90.....	27
4.2.1.1. Limpieza de charnelas y cambio de eyectores.....	28
4.2.1.2. Filtro Caja-Colector.....	29
4.2.1.3. Sustitución de aguas de las cámaras de aireación:.....	30
4.2.1.4. Dosificación de MetalBright, Gamazyme y Defoamer .....	31
4.2.1.5. Limpieza de tanque de grasas:.....	33
4.2.1.6. Mantenimientos correctivos .....	34
4.2.2. Historial de averías graves de la planta.....	35
4.2.2.1. Obstrucción de grasas en la línea de descarga .....	35
4.2.2.2. Solidificación de lodo activo en la cámara de aireación .....	37
4.2.2.3. Llenado del tanque de aguas negras.....	38
4.3. Planta séptica STP-2 .....	39
4.3.1. Mantenimientos Planta Séptica STP-2 .....	42
4.3.1.2. Limpieza de filtro de descarga al mar .....	42
4.3.1.3. Comprobación del funcionamiento de las bombas de descarga.....	43
4.3.1.4. Control del tanque de cloro .....	43

4.3.1.5.	Control del PH de la descarga .....	44
4.3.1.6.	Mantenimientos correctivos .....	45
4.3.2.	Historial de averías graves de la planta.....	45
4.3.2.2.	Retornos y contraflujos de la línea de aguas negras .....	45
<b>5.</b>	<b>ENCUESTA A LA TRIPULACIÓN SOBRE EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA.</b>	<b>47</b>
5.1.	Resultados de la encuesta .....	48
5.2.	Estudio de los resultados.....	51
<b>6.</b>	<b>OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA PLANTA.....</b>	<b>55</b>
6.1.	Optimización del consumo de aguas grises de dilución:.....	55
6.2.	Optimización de la línea de grasas .....	58
6.3.	Optimización de las líneas de vacío:.....	61
6.4.	Optimización del efluente de descarga:.....	63
6.5.	Optimización calórica/nutricional a bordo.....	67
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>9.</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>78</b>
<b>10.</b>	<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>80</b>
<b>11.</b>	<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>82</b>
<b>12.</b>	<b>INDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>.....</b>	<b>89</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La parte principal del trabajo consiste en el estudio del impacto que causan las aguas negras generadas en los buques.

Todos los buques tienen una capacidad para generar de forma estable desechos de distintos tipos en función de las características de sus equipos (por ejemplo, a partir del consumo del buque por viaje y de los trasiegos que se realicen se puede conocer la cantidad de combustible que será descargado al tanque de lodos por disparo de las depuradoras, o la cantidad de azufre elemental que descargan las torres de lavado de gases de escape (“scrubbers”) por viaje).

Sin embargo, las descargas que se puedan efectuar de aguas negras pueden quedar condicionadas por variables como la cantidad de desechos orgánicos que se generan, ya sean de origen humano o derivados del exceso de la comida cocinada a bordo, que condicionan el régimen de trabajo de las instalaciones.

Por eso resulta de interés estudiar qué tipos de averías suelen tener las instalaciones destinadas a tratar éstas, que mantenimientos se les realiza y con qué frecuencia a partir de estas variaciones.

Este trabajo se estructura mediante la búsqueda de la normativa vigente respecto a la gestión y descarga de las aguas sucias que pueden efectuar los buques, el estudio de los tipos de plantas de tratamiento y los mantenimientos realizados en dos buques modelos seleccionados (dónde el autor del trabajo ha estado embarcado e implicado en labores de funcionamiento y mantenimiento) seguido de una encuesta a tripulantes y a un profesional del sector nutricional para implementar diversas propuestas de optimización en el funcionamiento de las plantas para reducir el impacto que generan éstas en el medio marino.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE MODELO

### 2.1. Buque modelo RO-PAX

Como buque tipo para esta parte se selecciona un buque RO-PAX. Los principales motivos que hacen este tipos de buques de especial interés para esta elección son el hecho de que estos buques están destinados al transporte de personas (una cantidad que puede variar mucho) por lo que se requiere tripulación añadida que atienda al pasaje, la introducción de diferentes turnos de comida, la previsión de qué comida va a cocinarse y la gestión de las sobras de ésta, además de las averías derivadas por mal uso de los retretes por parte del pasaje (en muchos casos debido a desconocimiento del funcionamiento, por taponamiento o por desechar objetos no orgánicos), por lo que la planta séptica va a llegar a trabajar de manera anómala o irregular.



Figura 2.1.1 : Buque modelo RO-PAX. Fuente: Propia.

Las características más relevantes del buque RO-PAX tipo escogido quedan resumidas a continuación en la siguiente tabla:

Características	Unidades
<b>Eslora total</b>	186,46 m
<b>Manga de trazado</b>	25,60 m
<b>Puntal</b>	15,00 m
<b>Arqueo bruto</b>	27105 GT

<b>Arqueo neto</b>	7000 NT
<b>Potencia propulsora</b> <b>Sistema de propulsión</b>	21600 kW (2 MAN B&W 48/60 B 9L) 2 hélices de paso variable
<b>Tipo de sala de máquinas</b>	Atendida
<b>Dotación mínima</b> <b>Dotación máxima</b> <b>Pasajeros</b> <b>Camarotes</b>	24 personas 56 personas 600 personas 153 camarotes
<b>Planta séptica</b> <b>Retretes</b>	1 EVAC Marine modelo 90 137 retretes

Tabla 2.1.1: Características del buque modelo RO-PAX. Fuente: Propia.

## 2.2. Buque modelo RO-RO

Para la parte comparativa del trabajo con otro buque tipo, se elige un buque RO-RO. Esta elección no es aleatoria, porque permite analizar también qué tipos de mantenimientos son efectuados en buques con plantas sépticas más pequeñas donde las únicas personas a bordo son la tripulación, que se traduce en dotaciones menores (en estos buques la figura y las funciones del fontanero que se puede encontrar en buques de pasaje recae en el departamento de máquinas) y, que en el caso puntual de llevar pasaje, la variación en la cifra de personas a bordo, desechos y producción de aguas sucias es mínimo por lo que en consecuencia estos buques en general tienen un menor impacto generado, de este modo se hace una distinción general entre buques destinados al transporte de personas y buques destinados al transporte de distintos tipos de carga.



Figura 2.2.1 :Buque modelo RO-RO. Fuente: Propia.

Las características más relevantes del buque RO-RO tipo escogido quedan resumidas a continuación en la siguiente tabla:

Características	Unidades
<b>Eslora total</b>	149,35 metros
<b>Manga de trazado</b>	21,00 metros
<b>Puntal</b>	7,00 metros
<b>Arqueo bruto</b>	16361 GT
<b>Arqueo neto</b>	4906 NT
<b>Potencia propulsora</b>	12960 kW (2 MAN B&W 40/54 9L)
<b>Sistema de propulsión</b>	2 hélices de paso variable
<b>Tipo de sala de máquinas</b>	Desatendida
<b>Dotación mínima</b>	13 personas
<b>Dotación máxima</b>	21 personas
<b>Pasajeros</b>	12 pasajeros
<b>Planta séptica</b>	1 Facet modelo STP-2
<b>Retretes</b>	27 retretes

Tabla 2.2.1: Características del buque modelo RO-RO. Fuente: Propia.

### 3. MARPOL 73/78 ANEXO IV. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR AGUAS SUCIAS DE LOS BUQUES

El convenio internacional para la prevención de la contaminación por los buques (MARPOL 73/78) surgió como consecuencia de varios accidentes sucesivos que causaron grandes derrames de hidrocarburos (Torrey Canyon (1967)).

Previamente, EUA, legisló su propia normativa para evitar estos accidentes creando el convenio OILPOL en el año 1954, sirviendo este convenio como precedente. El año 1973 se adopta el convenio MARPOL 73, que debido a su lenta y complicada implementación y el hecho que durante los cinco siguientes años se siguen produciendo graves accidentes se decide incorporar un seguido de correcciones dando lugar a la versión refundida en el año 1978 recibiendo el nombre de MARPOL 73/78 (OMI. MARPOL 73-78. (2020)).

El convenio está estructurado del siguiente modo:

- 20 artículos/2 protocolos (Parte del convenio 1973).
- 9 artículos (Parte del convenio 1978).
- 6 Anexos.

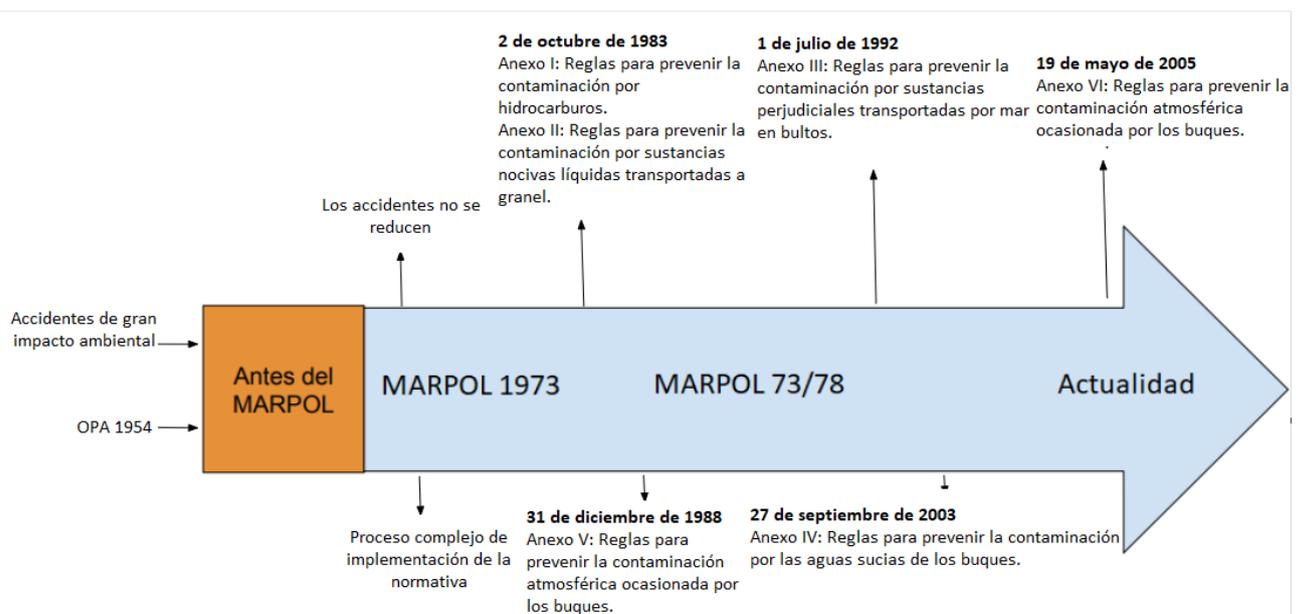


Figura 3.1: Cronología del MARPOL73/78. Fuente: OMI. MARPOL 73-78. (2020).

El anexo IV del MARPOL entró en vigor el 27 de septiembre de 2003, aunque se revisó posteriormente, entrando en vigor la nueva versión el 1 de agosto de 2005. El anexo IV contiene las reglas que tienen como objetivo la prevención de la contaminación por las aguas sucias de los buques.

Este anexo aplica a los siguientes buques:

- Buques nuevos de arqueo bruto igual o superior a 400 GT (buques cuya construcción se encuentre formalizada por contrato o empezada durante o después de la entrada o en vigor del anexo).
- Buques nuevos de menos de 400 GT que transporten más de 15 personas.
- Buques existentes con un arque igual o superior a 400 GT cinco años después de la entrada en vigor del anexo.
- Buques existentes de menos de 400 GT que transporten más de 15 personas cinco años después de la entrada en vigor del anexo.

Tabla 3.1 : Buques a los que aplica el anexo IV del MARPOL. Fuente: OMI. Annex IV of MARPOL 73/78. REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIPS. (2003).

Además, define como aguas sucias aquellas aguas que cumplan las siguientes características:

- Aguas que provengan de desagües y otros residuos procedentes de cualquier tipo de inodoros y urinarios.
- Aguas que provengan de desagües de lavabos, lavadores y conductos de salida de cualquier instalación de servicios médicos de a bordo (hospital, enfermería, quirófano, etc.).
- Desagües de espacios en los cuales se transporten animales vivos.
- Otras aguas residuales si se mezclan con alguna de las anteriores.
- Todo tanque empleado para la retención de estas aguas es considerado un tanque de retención.

(Estas aguas sucias se dividen en dos categorías: aguas negras que son las que contienen excrementos y orina y las aguas grises, aguas que provienen de fregaderos, duchas y lavadoras).

*Tabla 3.2 : Definición de aguas sucias. Fuente: OMI. Annex IV of MARPOL 73/78. REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIPS. (2003).*

Dentro de la definición de las aguas sucias se hace distinción sobre aquellas que han sido tratadas o no por un sistema de tratamiento aprobado.

La anterior distinción viene condicionada a que por lo que respecta al tratamiento y/o descarga de aguas sucias todo buque debe disponer de una de las siguientes 3 opciones:

- Una instalación de tratamiento de aguas sucias aprobada por la administración.
- Un sistema que permita desmenuzar y desinfectar las aguas sucias, además de la capacidad de retener éstas cuando el buque se encuentre a menos de 3 millas de la costa.
- Un tanque de retención con capacidad suficiente para contener todas las aguas sucias generadas por travesía hasta que puedan ser descargadas en puerto.

*Tabla 3.3: Opciones para el tratamiento de aguas sucias. Fuente: OMI. Annex IV of MARPOL 73/78. REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIPS. (2003).*

En función de la opción elegida por cada buque para tratar con las aguas sucias las condiciones que permiten la descarga al mar de éstas quedan detalladas a continuación:

- Si las aguas sucias se encuentran tratadas mediante desmenuzamiento y desinfección, se puede realizar una descarga que sea a una distancia superior a 3 millas de la costa.
- Si las aguas sucias no se encuentran tratadas, se puede realizar una descarga que sea a una distancia superior a 12 millas de la costa.

*Tabla 3.4: Condiciones de descarga de aguas sucias. Fuente: OMI. Annex IV of MARPOL 73/78. REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIPS. (2003).*

A parte de la distancia mínima a cumplir, cuando estas aguas no tratadas hayan sido almacenadas en un tanque de retención se debe tener en cuenta que la descarga no se puede hacer de forma inmediata, sino que se debe realizar de forma regulada en función de la velocidad del buque, aunque esta velocidad nunca debe ser inferior a los 4 nudos.

Esta velocidad se puede calcular teniendo en cuenta que el ratio de descarga máximo permitido en función del volumen de barrido del buque no puede exceder de  $\frac{1}{200000}$  con la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de barrido} = V * D * B \quad (2.2.1)$$

$$RD_{max} = 0.00926 * V * D * B \quad (2.2.2)$$

Donde:

**$RD_{max}$**  Es el ratio máximo de descarga en  $m^3/h$ .

**$V$**  Es la velocidad media del buque en nudos.

**$D$**  Es el calado en metros.

**$B$**  Es la manga en metros.

Tabla 3.5: Cálculo del ratio de descarga. Fuente: IMO. RESOLUTION MEPC.157 (55). (2006).

El ratio de descarga es calculado para un periodo de 24 horas utilizando valores promedio, en caso de que la descarga sea inferior a ese periodo siempre puede excederse un 20% del valor calculado al medirse por horas.

Todo lo descrito anteriormente no aplica si se dispone de una instalación de tratamiento aprobada puesto que no existe restricción de distancia mínima para efectuar descarga siempre y cuando se verifique que ésta no cause la coloración del agua ni la aparición de sólidos.

(Las restricciones para la descarga solo aplican a aguas negras, las aguas grises pueden ser descargadas sin contemplar el anterior punto).

Aunque, de forma excepcional, un buque puede quedar exento de lo dispuesto anteriormente si:

- La descarga se efectúa al considerarse necesaria para garantizar la seguridad de la tripulación y del buque.
- La descarga se efectúa debido a una avería, siempre y cuando se hayan tomado todas las medidas posibles dentro de lo razonable para evitar o reducir ésta.

*Tabla 3.6:* Excepciones para la descarga de aguas sucias. Fuente: OMI. Annex IV of MARPOL 73/78. REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIPS. (2003).

Dentro del anexo también quedan recogidas las especificaciones sobre como los buques y las instalaciones portuarias receptoras deben realizar y gestionar la descarga de estas aguas y añade restricciones para las condiciones de descarga en zonas ECAS.

Como el objetivo del trabajo tiene enfoque en las descargas efectuadas al mar en las zonas de operación de los buques designados (Mar Mediterráneo y Océano Atlántico) a continuación se hace una descripción superficial de los anteriores puntos para dejar constancia de éstos.

Los buques deberán dimensionar su toma de descarga a tierra según los siguientes requisitos:

Elemento	Dimensionamiento
<b>Diámetro Exterior</b>	210 Ø mm
<b>Diámetro interior de las juntas</b>	170 Ø mm
<b>Composición de la junta</b>	4 orificios de 18 Ø mm dispuestos de forma equidistante.
<b>Grosor de la junta</b>	16 mm
<b>Tornillería</b>	4 tornillos de 16 Ø mm

*Tabla 3.7:* Especificaciones de la conexión de descarga a tierra. Fuente: OMI. Annex IV of MARPOL 73/78. REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIPS. (2003).

La IMO reconoce la existencia de mares y zonas oceánicas con características particulares y legisla para la prevención de la contaminación del medio ambiente en éstos, estas zonas, la designación de una zona especial tiene en cuenta los siguientes factores:

-A nivel ecológico, la zona debe ser un ecosistema en peligro, de especial interés científico debido a su rareza y diversidad, con poca intervención humana y frágil ante cambios en su cadena trófica.

-A nivel social y económico, la zona debe ser de importante valor histórico y cultural, fundamental para el desarrollo económico de las poblaciones circundantes y con valor educativo.

-A nivel de operatividad de los buques, se debe tener en cuenta la complejidad de la navegación y la presencia de instalaciones portuarias adecuadas para el tipo de tráfico, qué tipo de buques pueden navegar por la zona y qué especies invasoras pueden transportar éstos.

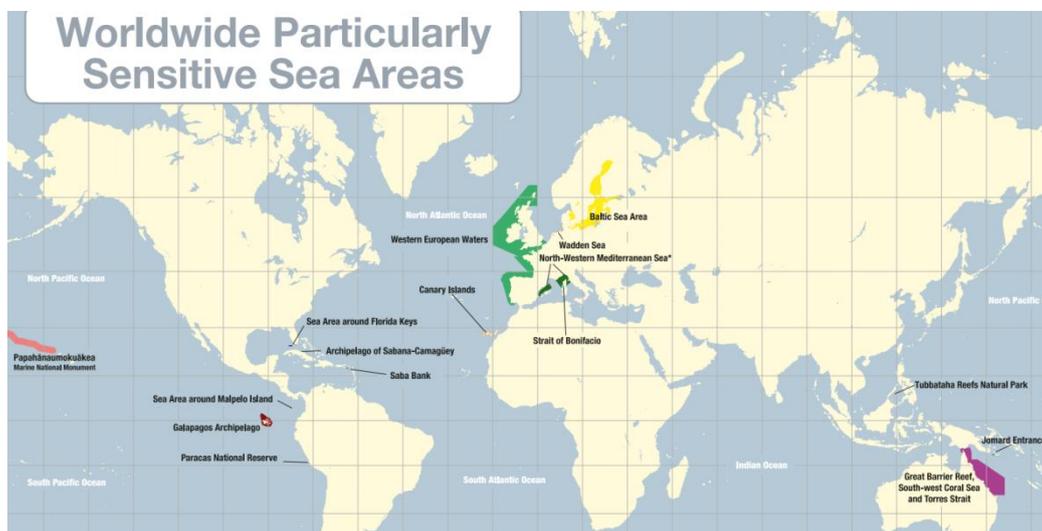


Figura 3.2: Mapa de zonas sensibles. Fuente: OMI. A24-Res.982. (2005).

El anexo IV del MARPOL considera como zona del mar Báltico como zona especial desde el 1 de julio de 2013 (actualmente, la única zona especial del anexo IV), en esta zona los efluentes de descarga que efectúen los buques deben tener implementado un

método que permita medir y eliminar el contenido de nitrógeno y fósforo de las aguas tratadas.

El efluente de descarga debe cumplir lo siguiente:

<p>-20 <math>mg/l</math> de nitrógeno o una reducción del 70 del contenido inicial.</p> <p>-1 <math>mg/l</math> de fósforo o una reducción del 80% del contenido inicial</p>
--

*Tabla 3.8:* Condiciones de descarga en el mar Báltico. Fuente: OMI. RESOLUTION MEPC.157 (55). 2006).

## 4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA SÉPTICA

### 4.1. Principio de funcionamiento

Las plantas sépticas pueden operar por vacío y por gravedad. En el caso de operar por gravedad todo el circuito debe dimensionarse para que las aguas sucias vayan cayendo hasta la planta mediante el menor recorrido con pérdidas de causa posible.

Aunque algún buque todavía usa este sistema, en la actualidad se encuentra más extendido el sistema por vacío (los buques modelos del trabajo operan por vacío por lo que se hace mención al funcionamiento por gravedad para dejar constancia de su existencia y desuso).

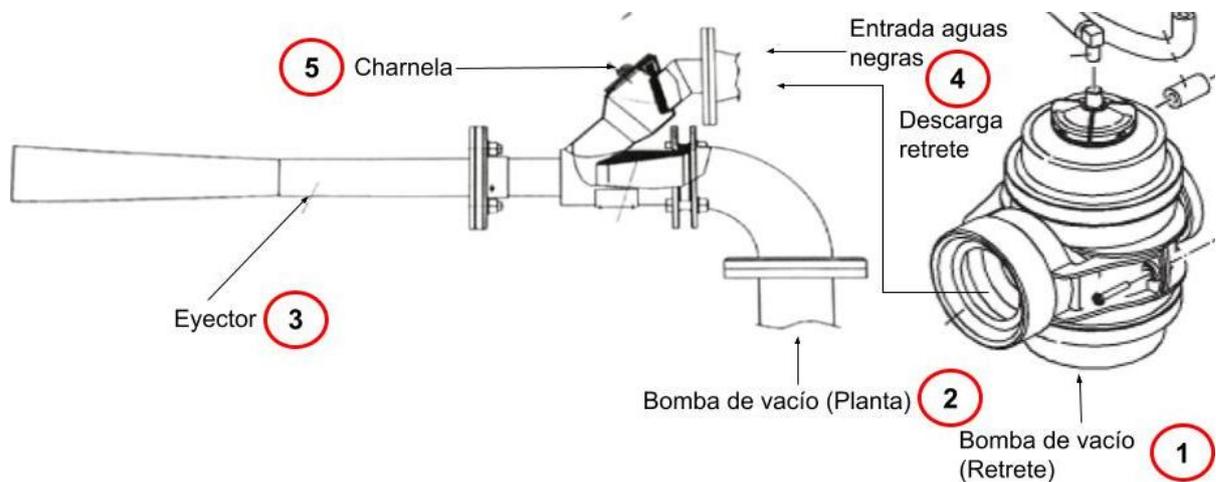


Figura 4.1.1: Respectivamente, sistema eector de la planta y bomba de vacío individual de retrete.  
Fuente: EVAC. Manual Planta EVAC MARINE 90. (2011).

(A partir de la imagen 4.1.1.)

El funcionamiento del sistema de vacío en buques se puede sintetizar mediante la siguiente secuencia: cada retrete dispone de una pequeña bomba de vacío que actúa como unidad individual (1), aunque pueden ser de diversos tipos, debido a su simplicidad tanto a nivel de mantenimiento como de forma económica se opta por una bomba de tipo membrana que al accionar la descarga se produce un estrangulamiento en las membranas, creando una depresión que succiona el contenido del retrete.

La planta séptica dispone bombas que generan vacío en la línea de entrada a la planta (2) generando que el eector mediante efecto Venturi (3) lleve las aguas sucias hacia la planta (4).

La charnela (5) que permite el acceso del contenido de las líneas de vacío del buque condiciona su funcionamiento a la bomba de vacío de la planta, con ésta en funcionamiento se encuentra en posición abierta debido a la succión y cuando se detiene la charnela actúa de válvula antiretorno.

El principio de funcionamiento de las plantas sépticas de los buques escogidos puede dividirse fundamentalmente en tres principales procesos: Aireación, decantación y desinfección, cada planta está formada por varias cámaras destinadas a albergar cada uno de éstos.

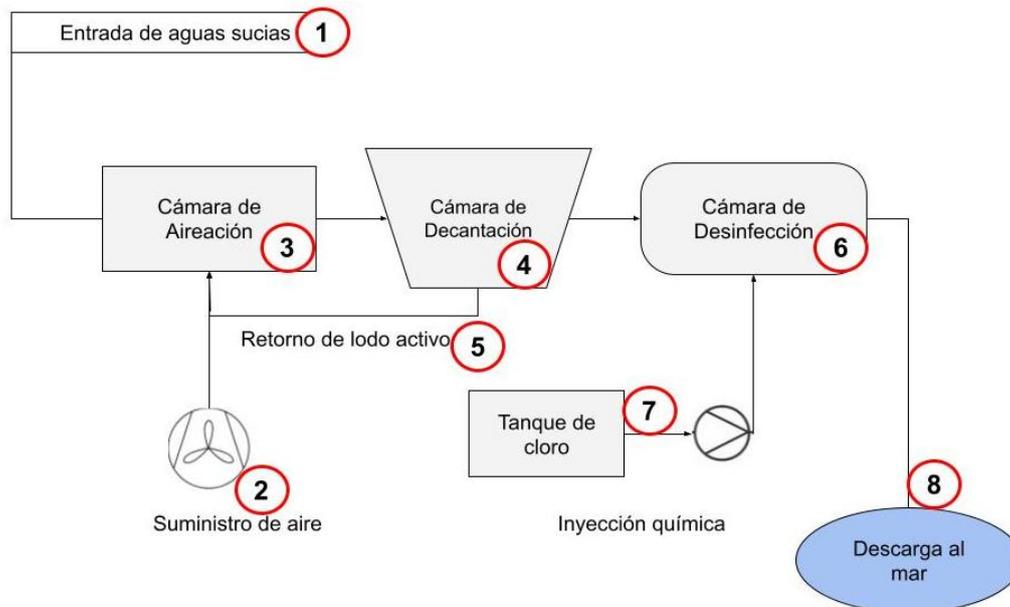


Figura 4.1.2: Esquema de funcionamiento teórico de una planta séptica. Fuente: Propia.

(A partir de la imagen 4.1.2)

Las aguas sucias pasan previamente por un filtro (1) antes de entrar en la planta a través de la cámara de aireación (3), en esta cámara hay colocados unos soplantes (2) que van introduciendo aire de forma constante con el objetivo de generar un burbujeo en las aguas que van entrando que permita ir rompiendo en partículas pequeñas los sólidos que puedan contener ésta y empezar un proceso de bio-reducción de éstos.

Esta reacción se produce en la misma en la cámara de aireación, donde se encuentran bacterias aeróbicas que usan como alimento los restos sólidos y que se adhieren a las

partículas suspendidas a medida que van circulando hasta la siguiente cámara del proceso.

Características	Composición: Heces (Porcentaje en peso seco)	Composición: Orina (Porcentaje en peso seco)
<b>Calcio (CaO)</b>	4.5	4.5-6.0
<b>Carbono</b>	44-55	11-17
<b>Nitrógeno</b>	5.0-7.0	15-19
<b>Materia Orgánica</b>	88-97	65-85
<b>Fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	3.0-5.4	2.5-5.0
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O)</b>	1.0-2.5	3.0-4.5

Tabla 4.1.1: Composición de las heces (durante la reducción se libera CO<sub>2</sub> y otros componentes). Fuente: Feachem David J Bradley Hemda Garelick, R. G., & Duncan Mara, D. Sanitation and Disease Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. (1983).

La siguiente cámara de tratamiento es la de decantación (4), en ella se purga por completo el aire que va entrando para mantenerla siempre llena de líquido a medida que se va decantando en el fondo de la cámara la concentración de bacterias y partículas en plena reacción, esta concentración adquiere una forma lodosa que se denomina lodo activo.

El lodo activo es retornado cíclicamente a la cámara de aireación como medida de control y alimentación de la población bacteriana (5).

Por último, el líquido libre de lodos llega a la cámara de desinfección (6), donde un pequeño circuito que contiene un tanque con cloro y una bomba dosificadora (7) va inyectando una solución clorada de forma continua (por ejemplo hipoclorito de sodio (NaClO)), esto permite que los coliformes fecales sean eliminados y se pueda descargar el líquido tratado al mar (8).

El factor más importante del proceso es que la población de bacterias siempre se encuentre dentro de los niveles correctos para que la planta funcione adecuadamente mediante el control del aire suministrado, el análisis del PH aguas (y las cantidades y tipos de detergentes u otros productos químicos que se usan) y la carga de trabajo

para evitar que los lodos que se generen sean excesivos o sin terminar de ser tratados y que las aguas descargadas presenten coloración.

Los conceptos más importantes a nivel de normativa, dimensionamiento y funcionamiento sobre las plantas sépticas se definen a continuación:

-BOD<sub>5</sub>: Es un indicador de la cantidad de miligramos de oxígeno por litro que demandan las bacterias aeróbicas para reproducirse en un periodo de 5 días a una temperatura de incubación de 20°C.

-UBOD: Cantidad de oxígeno necesario para la degradación completa de una muestra de materia orgánica.

-SS: Cantidad de partículas sólidas capaces de sedimentarse contenidas en agua en ppm.

-TSS: Cantidad de partículas sólidas en suspensión capaces de ser retenidas por un filtro en  $mg/L$ .

-Carga hidráulica: Caudal nominal de entrada de aguas sucias a la planta en  $m^3/día$ .

-Carga orgánica: Es la cantidad de BOD<sub>5</sub> asociada a determinada carga hidráulica en  $kg/día$ .

-Coliformes fecales: Conjunto de bacterias capaces de producir gases a partir de lactosa en un periodo de tiempo de 48 horas a una temperatura de 44.5°C.

#### 4.2. Planta séptica EVAC Marine 90

Este modelo de planta séptica permite tratar residuos que provienen de las instalaciones de higiene y servicio personal de tripulantes y tripulación y del excedente de comida generado en las cocinas del buque.

Las características técnicas más relevantes de los distintos equipos que integran la planta séptica quedan detalladas en la siguiente tabla:

Elemento	Características
<b>Sopladores</b>	2x V12YR Voltaje: 480 V Potencia nominal: 1.3 kW Frecuencia: 60 Hz Velocidad de giro: 3400 rpm
<b>Bomba dosificadora</b>	1x EMP II Capacidad de bombeo: 0-2.5 l/h Pulsaciones máximas: 122 p/min Máxima presión de bombeo: 10 bar
<b>Capacidad tanque de desinfección</b>	30 Litros
<b>Eyectores Bomba de vacío</b>	3x 100 Ø mm 3x EVAC SE044A Voltaje: 480 V Frecuencia: 60 Hz Impeler: 210 Ø mm
<b>Bomba de descarga</b>	2x ES120 Voltaje: 480 V Frecuencia: 60 Hz Impeler: 120 Ø mm
<b>Tanque de grasas Tanque de aguas negras</b>	Si (0.5x0.5x0.3m) Si (15.74 m <sup>3</sup> )
<b>Carga hidráulica</b>	120 m <sup>3</sup> /día

<b>Carga orgánica</b>	2.176 kg/ día
<b>Parámetros de la descarga al mar</b>	-BOD < 50 ppm -Sólidos en suspensión < 50 ppm -Coliformes fecales < 250 partes/100 mL

Tabla 4.2.1: Características técnicas de la planta EVAC Marine 90. Fuente: EVAC. Manual Planta EVAC MARINE 90. (2011).

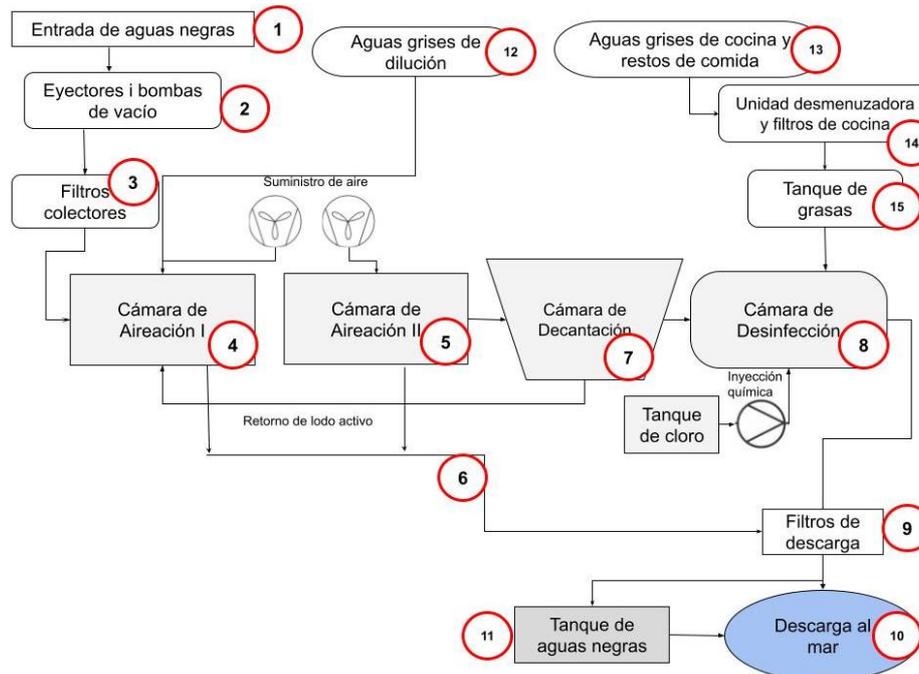


Figura 4.2.1: Funcionamiento de la planta EVAC 90. Fuente: Propia.

(A partir de la imagen 4.2.1. se numeran las distintas partes a lo largo del apartado).

El ciclo de tratamiento de las aguas sucias se produce en 3 etapas mencionadas en el anterior punto pero en 4 cámaras distintas, puesto que dispone de 2 de ellas dedicadas a la aireación (4) y (5), a efectos prácticos, se produce el mismo proceso aeróbico de bioreducción de sólidos aunque entre el primero y el segundo tanque hay colocada una pantalla deflectora que tiene como objetivo retener cualquier tipo de material inorgánico.

Posteriormente la recirculación del lodo activo se realiza de la cámara de decantación a la primera cámara de aireación, el lodo activo que se va acumulando es descargado de forma automática en pequeñas cantidades (6) al mar o enviado al tanque de aguas negras (10) y (11).

Para el tratamiento de las aguas negras esta planta requiere realizar un proceso de dilución: esta dilución se hace con aguas grises, que en el caso particular de la planta de estudio existe una entrada directa a la planta desde la línea de aguas grises para este fin (12).

En casos en los que no fuera posible se requiere disponer de un tanque que puede almacenar agua destilada o aguas grises que deben ser dosificadas y bombeadas.

Dentro de las particularidades de la planta hay un par de modificaciones añadidas en el sistema de filtros de la planta.

Los filtros dobles situados antes de que las aguas negras entren a la planta, que consisten en un sistema de varillas que van reteniendo restos, uno de ellos tiene colocado una rejilla previa para limitar la entrada de grandes restos sólidos, esta modificación fue añadida a posteriori por la falta de capacidad de filtración y altera el funcionamiento de los filtros, puesto que solo está en funcionamiento el filtro que dispone de la rejilla y el otro queda en stand-by (3).

Otro filtro con modificación es el que se encuentra antes de la descarga al mar, se instaló en la línea de descarga un codo con una conexión para manguera antiincendios para hacer contraflujos en caso de atascos.

Hay distribuidas 10 líneas de vacío a lo largo del buque que proporcionan vacío a los siguientes servicios:

- Línea 1: Camarotes de la cubierta 6 de B01 a B27 (27 retretes) y camarotes de la cubierta 7 B-750 a B-762 (12 retretes).
- Línea 2: Corredor de babor de la cubierta 6, camarotes 6-A01 a 6-A25 (25 retretes).

- Línea 3: Retrete de la sala de máquinas.
- Línea 4: 2 servicios públicos de la cubierta 5, (8 retretes (4 retretes cada uno)).
- Línea 5: Corredor central de la cubierta 6, camarotes 6-A27 a 6-A55 (28 retretes).
- Línea 6: Camarotes de la tripulación de la cubierta 7 estribor y babor (30 retretes)
- Línea 7: Corredor de estribor de la cubierta 6, camarotes 6-A56 a 6-A84 (28 retretes).
- Línea 8: Retrete de la cocina/gambuza y retretes del bar (4 retretes).
- Línea 9: Enfermería y quirófano.
- Línea 10: Caja de vacío de la línea 9.



*Figura 4.2.2: Líneas de vacío. Fuente: Propia.*

Respecto a la anterior distribución: la línea 3 al encontrarse ubicada en la sala de máquinas se encuentra debajo del nivel del mar, en muchas ocasiones el sistema de vacío deja de funcionar o no tiene suficiente fuerza de succión.

Las líneas 9 y 10 son un sistema de vacío independiente, se dispone de la caja de vacío porque las aguas que puedan descargarse desde la enfermería pueden contener enfermedades diversas por normativa y seguridad, en caso de que fallaran los eyectores que alimentan las otras líneas esta seguiría operativa.

La principal observación de estas líneas es su pequeño diámetro y el recorrido que tienen que realizar, lleno de curvas, subidas y bajadas que hacen que sea propenso a los atascos o a que el vacío no tenga suficiente fuerza para arrastrar todo el contenido hasta la planta.



Figura 4.2.3: Caja de vacío independiente. Fuente: Propia.

Para los restos de comida que se producen en la cocina y en los comedores se usa la línea de grasas.

Los restos de comida que puedan quedar en los fregaderos entran en la línea al salir del desagüe y la comida se desecha desde un punto de desecho situado en la cocina, el punto sirve para eliminar grandes cantidades de manera rápida y sencilla al no precisar de ningún tipo de manipulación previa (13).

Las dos líneas se juntan posteriormente y se hace circular su contenido por un sistema de hélices desmenuzadoras reduciendo así el tamaño de los restos, formando una mezcla pastosa de grasa líquida, la cual seguidamente se hace pasar a través por los filtros de cocina.

Se trata de un sistema de filtros dobles con una rejilla previa que retienen partículas solidas grandes que hayan podido quedar sin desmenuzar donde siempre hay uno en funcionamiento y otro en stand-by (14).

Cabe destacar que los filtros y la rejilla son una modificación posterior del circuito de grasas de la planta séptica que se instaló debido a que las hélices no desmenuzaban la comida en un tamaño suficientemente pequeño que comportaba atascos en la línea y descarga de trozos sólidos al mar.

La mezcla de grasa líquida llega al final de la línea cuando pasa por el tanque de grasas (15).

Este tanque tiene en su interior una pantalla deflectora que permite ir separando por decantación los restos que hayan podido llegar. Además, en la parte inferior de la pantalla, hay pequeños orificios que dejan pasar solo líquido al haber quedado flotando la grasa en la parte superior del tanque. El líquido ya limpio llega a la cámara de desinfección de la planta séptica donde se mezcla y se trata químicamente para ser descargado posteriormente al mar.

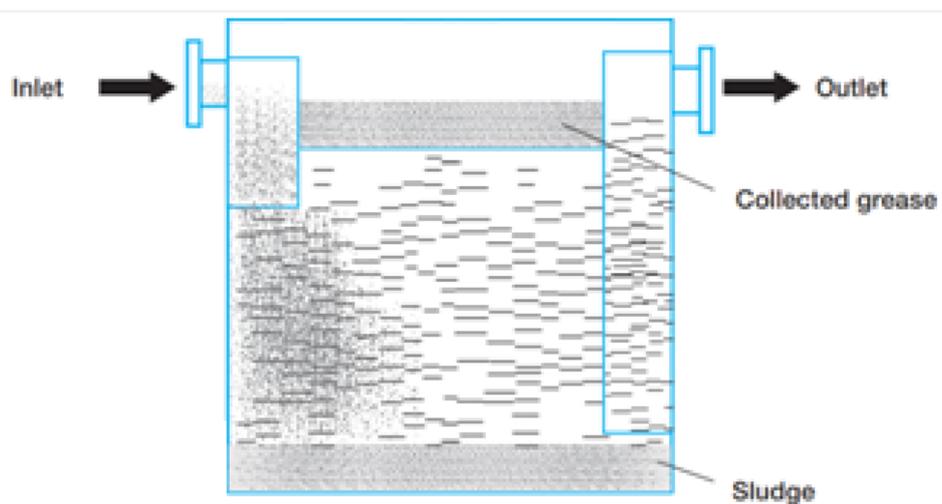


Figura 4.2.4: Esquema de funcionamiento de un tanque de grasas. Fuente: EVAC. Evac total waste, wastewater and water system management concept for offshore vessels. (2013).

#### 4.2.1. Mantenimientos de la Planta Séptica Evac Marine 90

El responsable del mantenimiento de la planta séptica a bordo del buque RO-PAX es el fontanero, cuyas funciones se pueden dividir en dos grupos: mantenimientos preventivos de la sala donde se encuentra la planta séptica y mantenimientos correctivos dentro y fuera de la planta (por fuera se entiende a todo el conjunto de retretes, fregaderos y otros servicios situados por todo el buque).

El plan de mantenimiento preventivo de la planta es el siguiente:

<b>PLANTA TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES EVAC MARINE 90</b>		
<b>Mantenimiento</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Último</b>
<b>Reacondicionar Bomba vacio nº1 Pr</b>	A requerimiento	9/5/2021
<b>Reacondicionar Bomba vacio nº2 Ctro</b>	A requerimiento	10-05-21
<b>Reacondicionar Bomba vacio nº3 Pp</b>	A requerimiento	9/5/2021
<b>Cambiar Filtro de las soplantes</b>	180 días	4/2/2023
<b>Filtro principal Caja-colector</b>	21 días	20/3/2023
<b>Charnela eyector Pr</b>	30 días	12/3/2023
<b>Charnela eyector Ctro</b>	30 días	12/3/2023
<b>Charnela eyector Pp</b>	30 días	12/3/2023
<b>Limpieza de las 4 cámaras Tk EVAC</b>	365 días	29/5/2022
<b>Sustitución del agua en cámaras I y II</b>	30 días	17/3/2023
<b>Dosificación Gamazine 700</b>	7 días	22/3/2023
<b>MetalBright fin líneas</b>	30 días	27/2/2023
<b>Dosificación Gamazine en baños</b>	7 días	16/3/2023
<b>Limpieza del Tanque de Grasas</b>	21 días	9/3/2023
<b>Descarga del Tanque de Aguas Negras</b>	3 días	22/3/2023

Tabla 4.2.1.1: Excel de mantenimiento de la planta séptica EVAC Marine 90 .Fuente: Propia.

#### **4.2.1.1. Limpieza de charnelas y cambio de eyectores**

Procedimiento: Como en su condición habitual de trabajo siempre se encuentran los tres eyectores en servicio, este mantenimiento se realiza cuando no hay pasaje a bordo dejando siempre dos eyectores en servicio mientras se manipula otro.

Cada eyector tiene una charnela protectora situada en una caja encima de éste (2).

En primer lugar se detiene la bomba de vacío y mediante una válvula se cierra la línea, la caja se abre y se realiza una inspección visual y una comprobación del cierre de la charnela, en caso de encontrarse la caja muy sucia se procede a limpiarla y a retirar la suciedad.

Para el cambio de eyectores el procedimiento se inicia de manera idéntica, dejando la línea cerrada se afloja el codo previo de la tubería desde donde se saca el eyector y se inserta el nuevo.



Figura 4.2.1.1.1: Respectivamente, Cajas de charnelas (1, 2,3) y eyectores limpios. Fuente: Propia.

-Consecuencias: La limpieza de las charnelas permite evitar que la suciedad que se va acumulando en la zona de la caja de acceso a la charnela obture la apertura y cierre de ésta. Caso similar para los eyectores, cuya obstrucción también puede ocasionar situación que implicaría disponer de una línea de vacío menos y que las dos restantes deban repartirse la misma demanda, que, en caso de máxima carga de pasaje y usos simultáneos pueden llegar a dejar sin vacío determinados retretes de cada línea.

#### 4.2.1.2. Filtro Caja-Colector

Procedimiento: Estos filtros al encontrarse siempre uno en servicio, cuando deben limpiarse se pone en servicio el segundo (que no tiene la rejilla filtrada instalada) alineando las válvulas de entrada a los filtros (3).

Una vez retirada la tapa, se retira manualmente los distintos restos que han podido ir quedando en las varillas.

Por lo general, todo aquello que queda pegado en las varillas suelen ser objetos de origen inorgánico que no deben llegar a la planta, como por ejemplo, toallitas higiénicas. Con el fin de añadir cierto poder de captación a las varillas, siempre que resulte posible, un par de ellas se dejan con toallitas o similares enredadas para que sirvan de elemento de retención.



Figura 4.2.1.2.1: Limpieza de los filtros colectores. Fuente: Propia.

-Consecuencias: La limpieza del filtro permite restablecer el poder de retención de éste. Si las varillas no son capaces de ir reteniendo los distintos elementos orgánicos que circulan a través suyo, al final terminan haciendo de tapón en las entradas de las cámaras de aireación, requiriendo hacer un cambio de aguas para vaciar el nivel y retirar los elementos acumulados.

#### **4.2.1.3. Sustitución de aguas de las cámaras de aireación:**

Procedimiento: Las válvulas de entrada de aguas grises y negras se cierran y se pone en marcha la bomba de descarga manualmente para que se empiecen a vaciar las cámaras de aireación (4) y (5) en el tanque de aguas negras, comprobando el nivel, se deja una pequeña parte del lodo activo en la cámara para que las la población de bacterias vuelvan a aumentar con el tiempo.

El siguiente paso es volver a llenar las cámaras con agua limpia y puede realizarse de varias maneras: empleando la dilución de aguas grises, empleando agua sanitaria del buque o una mezcla de ambos.

Este procedimiento repercute en el funcionamiento habitual de la planta: hasta que no se restablece la población habitual de bacterias la planta experimenta coloración leve en el agua descargada y malos olores, el tiempo estimado de regeneración de la población es de dos semanas.



*Figura 4.2.1.3.1:* Renovación de agua en las cámaras de aireación. Fuente: Propia.

-Consecuencias: El cambio mensual de aguas en las cámaras de aireación, una vez se han vaciado, permite ver el estado de éstas a nivel de desechos no orgánicos y el estado en el que se encuentran las rejillas deflectoras, pudiendo aprovechar este mantenimiento para limpiarlas si fuera necesario que además sirve de indicador sobre si los filtros previos también requieren limpieza.

#### **4.2.1.4. Dosificación de MetalBright, Gamazyme y Defoamer**

Procedimiento: Con el objetivo de evitar problemas de incrustaciones y atascos en las líneas de vacío debido a que su diseño que propicia estas formaciones, se emplean dos productos químicos en distintos puntos del recorrido, en concreto, al principio y al final.

Al principio de las líneas el fontanero suministra Gamazyme a cada camarote del buque, este producto químico empieza a reaccionar de manera efervescente al entrar en contacto con el agua de los retretes y empieza a mezclarse por el desagüe de éste, al pasar a través de las bombas de vacío actúa como elemento limpiante y arrastra posibles tapones fuera del sistema del retrete hacia la línea general.

Al final de las líneas se suministra MetalBrite, un agente limpiador muy corrosivo que permite desatascar y reducir prácticamente cualquier contenido en ellas, debido a que su alta corrosividad también afecta a los metales y al final todas las líneas se juntan se debe diluir con razón de 10% de MetalBrite por litro de agua y por línea.

El cambio de agua en los tanques de aireación y el suministro de MetalBrite se producen simultáneamente porque, como se ha definido en el anterior apartado, el cambio de aguas causa que la población de bacterias tiene que volver a estabilizarse al reducir su número. MetalBrite, debido a sus propiedades también causa la muerte de las bacterias por lo que se coordinan estos dos mantenimientos para que la planta deje de funcionar correctamente el tiempo mínimo necesario.

Con el objetivo de evitar que en las cámaras de aireación se produzcan espumas que puedan solidificarse a partir del contenido que de jabones provenientes de las aguas grises y del lodo activo que retorna a las cámaras se dosifica Defoamer, un producto que produce hidroformilación, se trata de un proceso químico que contribuye al proceso de bioreducción que debe experimentarse y simultáneamente evita las formaciones de espumas disolviendo sus uniones mediante la producción de alcoholes.

Para el suministro de Defoamer se vierte en un cubo tres litros del producto y mediante un tubo que conecta a los filtros colectores previos a la planta y una válvula que permite proporcionar vacío al tubo, haciendo que este succione todo el contenido del cubo (1).

(Este dosaje y el de cloro de desinfección no quedan recogidos en el plan de mantenimiento, aunque el primero tiene que realizarse con frecuencia diaria y el segundo a medida que el nivel del tanque desciende).



Figura 4.2.1.4.1: Circuito de suministro de Defoamer. Fuente: Propia.

-Consecuencias: En el apartado de procedimientos de las distintas dosificaciones quedan resumidas las principales consecuencias, aunque en función del estado de las líneas pueden intensificarse en caso de detectar un incremento de

incidencias, por ejemplo, el dosaje de Gamazyme se puede incrementar en caso de detectar problemas en determinadas líneas o puntos conflictivos al ser procedimiento poco intrusivo.

Sin embargo incrementar la cantidad de Defoamer solo es válido si se detectan problemas intermitentes exclusivamente en la planta aunque una vez solidificados los lodos por completo el Defoamer deja de ser una solución válida requiriendo disolver y limpiar los contenidos de la planta.



Figura 4.2.1.4.2: Respectivamente, pictogramas de Metalbrite y paquetes de Gamazyme. Fuente: Wilhelmsen. METAL BRITE/ GAMAZYME 700 FN. (2016/2021).

#### 4.2.1.5. Limpieza de tanque de grasas:

Procedimiento: Se abre la válvula del bypass de la línea de grasas y se cierran las válvulas de entrada y salida al tanque (15), seguidamente, se abre la tapa del tanque y se realiza una inspección visual del estado de la junta y del contenido del tanque para identificar si existe un aumento de la grasa decantada causado por la pérdida de efectividad de los filtros de cocina. Mediante una espátula se rasca y se retira la grasa acumulada a las paredes del tanque y se recoge y retira la capa de grasa flotante del tanque, una vez limpiado se vuelven a montar la tapa y a alinear las válvulas.



Figura 4.2.1.5.1: Tanque de grasas y grasa acumulada. Fuente: Propia

-Consecuencias: La acumulación de grasas en primer lugar puede terminar de solidificarse causando un tapón en la línea que obligue a tener que emplear el by-pass hasta la planta (y la pérdida de retención de grasas que esto conlleva) y en segundo lugar, si no se van retirando estas concentraciones y la capa superficial empieza a ganar demasiado espesor pueden llegar hasta la cámara de desinfección e influir perjudicialmente en el tratamiento químico y posterior descarga.

#### **4.2.1.6. Mantenimientos correctivos**

A nivel de mantenimiento correctivo, se aplica siempre cuando un camarote no tiene vacío. Estos camarotes tiene un compartimento desde donde se puede acceder a la zona de la descarga para solucionar problemas de vacío que pueden deberse a los siguientes motivos: Obstrucción (ya sea por grandes cantidades o por desechar materiales inadecuados), saturación o mal uso de las bombas de vacío y fuga de vacío. Estas bombas de vacío funcionan con un sistema de membranas de plástico que se comprimen para realizar la succión.

En primer lugar, independientemente de la avería, siempre se procede a comprobar si hay vacío mediante una válvula llamada "mini check" que permite romper el vacío durante un breve lapso de tiempo.

En caso de obstrucción con vacío se procede a desmontar las abrazaderas que sujetan la tubería de la descarga del retrete y poner un tapón en la succión de la tubería para evitar perder vacío, se limpia y desatasca la tubería y se vuelve a montar.

En caso de saturación de la bomba, en primer lugar se procura tratar la avería como una obstrucción, en caso de que sea insuficiente se procede a inspeccionar si las membranas han quedado bloqueadas y se vuelven a colocar en su posición normal manualmente.

En caso de fuga de vacío se realiza una inspección visual para localizar la fuga y se da apriete las abrazaderas que sujetan la tubería.



Figura 4.2.1.6.1: Unidades de vacío de los servicios de los camarotes. Fuente: Propia.

## 4.2.2. Historial de averías graves de la planta

### 4.2.2.1. Obstrucción de grasas en la línea de descarga

La planta empieza a dar señal de alarma por alto nivel y las bombas de descarga aunque se ponen en servicio son incapaces de vaciar la cámara de desinfección.

Se abren tapas de la cámara de desinfección (8), y del filtro previo a la descarga al mar (9), y se observa en los dos casos que hay grandes trozos de comida todavía sólida provenientes de la línea de grasas obstruyendo esta línea, en primer lugar mediante una varilla de metal se trata de desmenuzar manualmente todos los trozos que sean posibles y empleando también la varilla como nivel se observa que, aunque queda flotando en la superficie, hay un grueso de unos quince centímetros de grasa sin tratar y a partir de este nivel trozos sin tratar mezclados con la solución desinfectada de las aguas negras.

Para evitar que la grasa siga siendo descargada a la planta se cierran las válvulas de paso a la entrada y salida del tanque de grasas (15) y se hace una limpieza general del tanque. Dentro del tanque hay tanto resto sólido que la pantalla deflectora es incapaz de evitar su circulación por lo que después de la limpieza del tanque se limpian los filtros de cocina (14).



Figura 4.2.2.1.1: Capa de grasa sin desmenuzarse en el tanque de desinfección. Fuente: Propia.

Para poder vaciar el contenido de la cámara de desinfección se procede a cerrar la descarga de la planta al mar y abrir la descarga al tanque de aguas negras, en primer lugar mediante una manguera contraincendios se introduce agua a presión a través del filtro de descarga para aliviar la línea, que prueba ser efectivo. Con la línea de descarga libre se cierra la descarga al tanque de aguas negras y se introduce brevemente agua a presión al tanque de desinfección, a medida que el agua a presión empieza a desatascar la línea se repite el proceso de descargar al tanque de aguas negras hasta que no se puede apreciar ningún tapón.

Por último, se arrancan las bombas de descarga manualmente, éstas, al operar correctamente se dejan en manual descargando hasta que desaparece la alarma de alto nivel y se devuelve la planta a su funcionamiento habitual.

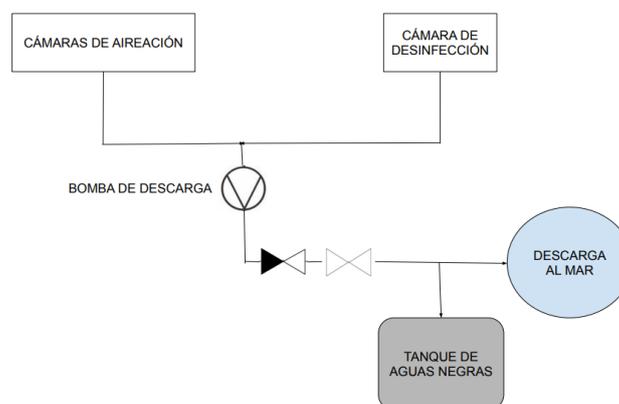


Figura 4.2.2.1.2: Esquema de la descarga al tanque de aguas negras o al mar. Fuente: Propia.

Esta avería fue recurrente, con una frecuencia semanal, hasta que se instaló el sistema de filtros de cocina. Con los filtros de cocina instalados esta avería se sigue produciendo aunque de forma anecdótica.

#### **4.2.2.2. Solidificación de lodo activo en la cámara de aireación**

La planta empieza a fallar y a dar alarmas de bajo nivel en la cámara de desinfección (8), aunque se aceptan las alarmas y se comprueba que la medición de nivel es correcta la alarma persiste y se deduce que el bajo nivel constante implica que a la cámara no está llegando el líquido suficiente para tratar.

Se abren las tapas de cada cámara y se observa que en las cámaras de aireación (4) y (5) (especialmente en la primera) hay un tipo de lodo solidificado precipitado hacia el fondo del tanque y una mezcla todavía por terminar de secarse en la parte superior, que es la que al estar en contacto con el fluido que entra en la cámara no termina de endurecerse.

La aparición de este lodo es causada debido a una falta o a un incorrecto dosaje de química antiespumante que ha causado la aparición de espumas que se han endurecido y que han neutralizado el crecimiento de las bacterias aeróbicas de la planta.

Esta situación comporta que el lodo solidificado haga de tapón en la conexión que hay entre las cámaras de aireación y que muy poco fluido consiga pasar a través suyo por lo que el proceso de bioreducción no se produce correctamente.

Debido a que la planta todavía funcionaba en estas condiciones, la avería se tuvo que reparar cuando la ruta del buque permitió hacer una parada de un día aprovechando que no embarcó pasaje.

La solución que se implementa consiste en detener el sistema de vacío de la planta e introducir una gran dosis de antiespumante seguido de Metalbrite con propiedades desincrustantes diluido con agua destilada redireccionado la descarga de la planta al

tanque de aguas negras, de este modo a medida que se va despegando el lodo endurecido y se enlaza el proceso con el de renovación de agua de la cámara.



Figura 4.2.2.2.1: Dilución del lodo solidificado. Fuente: Propia

#### 4.2.2.3. Llenado del tanque de aguas negras

Con la válvula de descarga al mar abierta y la de descarga al tanque de aguas negras cerradas, el tanque de aguas negras (11) empieza a dar alarmas de alto nivel, a pesar de efectuar descargas para vaciar el tanque, éste vuelve a llenarse hasta su máximo de nivel en un periodo de cinco/ seis días.

INICIO DESCARGA			FINAL DESCARGA			
Día	Hora	Posición	Día	Hora	Posición	Cantidad descargada
3/6/2020	10:30	31° 26,3'N 11° 3,4'W	3/6/2020	10:50	31° 24,8'N 10° 5,8 W	4
10/6/2020	10:15	32° 10,5'N 10° 26,3 W	10/6/2020	10:40	32° 02,1'N 10° 33,2 W	5
17/6/2020	10:10	32° 11,3'N 10° 25,6 W	17/6/2020	10:40	32° 02,9'N 10° 32,0 W	5,5
24/6/2020	10:15	32° 10,5'N 10° 26,3 W	24/6/2020	10:45	31° 24,8'N 10° 5,8 W	5,5

Tabla 4.2.2.3.1: Plantilla de descargas del tanque de aguas negras. Fuente: Propia.

Se procede a inspeccionar el estado de la válvula para verificar que no hubiera anomalías en el cierre. Tras comprobar que funciona correctamente y que el tanque se sigue llenando se levanta la tapa del tanque y se identifica el contenido del tanque, que resulta ser agua salada.

El tanque de aguas negras ha sufrido en alguna parte un corte que hace que se vaya produciendo lentamente un llenado con agua de mar. Este caso en particular, más que una avería se trata de una situación anómala que solo puede ser solucionada si se aplica un mantenimiento correctivo la próxima vez que el buque tenga que entrar en dique seco para efectuar reparaciones, aunque condiciona el plan de mantenimiento a bordo al tener que añadir a los trabajos diarios su descarga regular.



Figura 4.2.2.3.1.: Tanque de aguas negras. Fuente: Propia.

### 4.3. Planta séptica STP-2

Las características técnicas más relevantes de los distintos equipos que integran la planta séptica quedan detalladas en la siguiente tabla:

Elemento	Características
<b>Sopladores</b>	1x Potencia nominal: 735 kW Frecuencia: 50 Hz Velocidad de giro: 1550 rpm
<b>Dosificación</b>	Dosificación por gravedad
<b>Capacidad tanque de desinfección</b>	130 Litros
<b>Bomba de descarga</b>	2x N4-32/160B

<b>Tanque de grasas</b>	No
<b>Tanque de aguas negras</b>	No
<b>Carga hidráulica</b>	2.625 m <sup>3</sup> / día
<b>Carga orgánica</b>	2.176 kg/ día

Tabla 4.3.1: Características técnicas de la planta Facet STP-2. Fuente: FACET. MANUAL PLANTA SÉPTICA FACET STP-2. (2003).

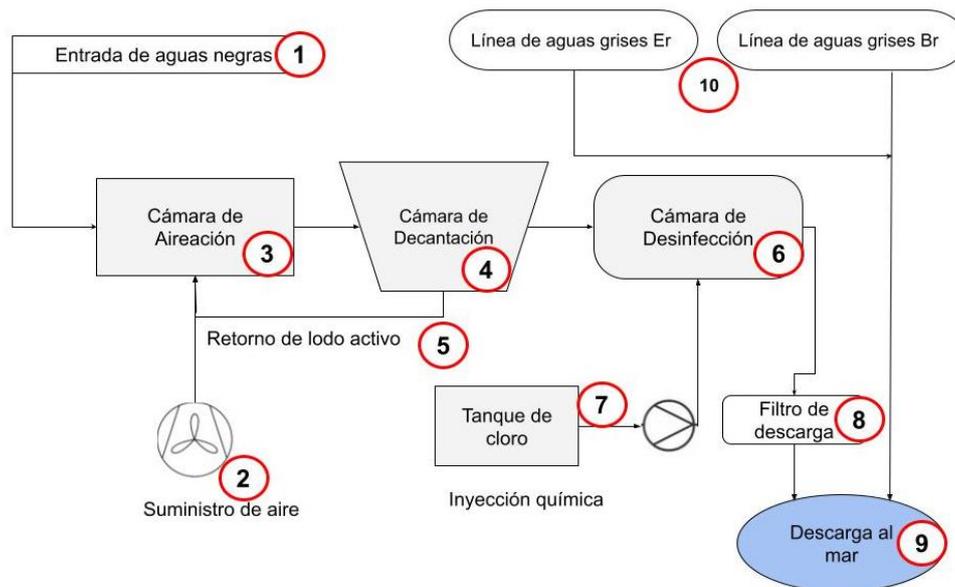


Figura 4.2.2.1: Funcionamiento de la planta STP-2. Fuente: Propia.

(A partir de la imagen 4.3.1. se numeran las distintas partes a lo largo del apartado).

Este modelo de planta séptica es más sencillo que el del anterior apartado. La planta está diseñada para tratar exclusivamente aguas negras. Las aguas grises y las negras son separadas por una pantalla deflectora antes de la entrada de la planta donde solo las negras entran para ser tratadas en las tres cámaras de tratamiento (1) y (10).

Además, tampoco dispone de línea de grasas, los únicos restos de comida que pueden llegar a la planta llegan a partir de los fregaderos de la cocina.

Los restos orgánicos de mayor tamaño se almacenan en contenedores y son descargados en tierra.

Hay distribuidas 2 líneas de vacío a lo largo del buque que proporcionan vacío a los siguientes servicios:

- Línea Estribor: 13 camarotes (13 servicios) y 1 servicio común.
- Línea Babor: 12 camarotes (12 servicios) y 1 servicio común.



Figura 4.2.2: Planta séptica STP-2. Fuente: Propia.

Para la descarga al mar la planta (9), dispone de una línea para aguas grises y dos para aguas negras y se controla su apertura de manera manual mediante válvulas de volante. La operatividad de estas líneas es la siguiente: la de aguas grises siempre se mantiene abierta (10), la de aguas negras solo se encuentra abierta durante la navegación (6) y (8), durante las maniobras de llegada y salida, esta se abre solo al terminar la salida de puerto y se cierra al atracar.



Figura 4.2.2: Válvulas de descarga de aguas negras. Fuente: Propia.

### **4.3.1. Mantenimientos Planta Séptica STP-2**

Procedimiento: Se afloja la tapa del sensor y se retira éste, que se trata de un conjunto de electrodos de distintas longitudes cubiertos individualmente por una funda protectora parcial.

Se realiza una inspección visual con el objetivo de comprobar el grado de suciedad de los electrodos y el estado de las fundas protectoras.

Después de la inspección se realiza una limpieza general a cada electrodo con un trapo u objeto parecido y retirando las fundas protectoras se aplica directamente una capa sobre los electrodos un aerosol con propiedades protectoras de contactos eléctricos y se procede a volver a montar el sensor.

-Consecuencias: No revisar el estado de los electrodos puede comportar que la suciedad que pueda llegar a acumularse provoque falsas indicaciones de nivel, y que sin el revestimiento protector del aerosol en caso de que las fundas que los envuelven se desprendieran, llegara a desgastarse su material.

#### **4.3.1.2. Limpieza de filtro de descarga al mar**

Procedimiento: Se cierra la entrada de aguas negras a la planta y la entrada y salida del filtro, se afloja la tapa y se levanta despacio para evitar que pueda rebosar y se retira el filtro para limpiarlo con un trapo.

-Consecuencias: Durante el desmontaje y limpieza del filtro se inspecciona visualmente el estado del efluente a la descarga para detectar casos de coloraciones o falta de desmenuzamiento, la retirada de los elementos más gruesos antes del filtro permite restablecer su capacidad filtrante.



Figura 4.3.1.2.1: Respectivamente sensor de nivel (1) y filtro previo a la descarga (2). Fuente: Propia.

-Con la planta en funcionamiento:

#### 4.3.1.3. Comprobación del funcionamiento de las bombas de descarga

Procedimiento: Relacionado con el anterior mantenimiento, cada vez que se limpia el filtro de descarga se procura vaciar la línea antes de abrir la tapa.

Para ello se pone el selector de las bombas en manual y se realiza una inspección visual que verifica que los manómetros funcionan correctamente y que las bombas no presentan ninguna condición anómala.

-Consecuencias: Permite comprobar que las bombas trabajan correctamente y detectar posibles fallos de funcionamiento.

#### 4.3.1.4. Control del tanque de cloro

Procedimiento: Se procede a realizar una inspección visual del nivel del tanque (7). Como la inspección es semanal siempre existe una referencia aproximada del consumo que tiene el tanque al dosificar por gravedad y dejar la válvula de dosificación siempre abierta en la misma posición, por lo que se comprueba que haya descendido dentro de los márgenes esperados.

Si todo lo anterior se cumple se procede a rellenar el tanque empleando la siguiente relación:

5 litros de hipoclorito sódico y el resto se vuelve a llenar con agua.

-Consecuencias: Sin suministro de cloro a la cámara de desinfección las descargas efectuadas por la planta séptica pueden contener coliformes fecales.

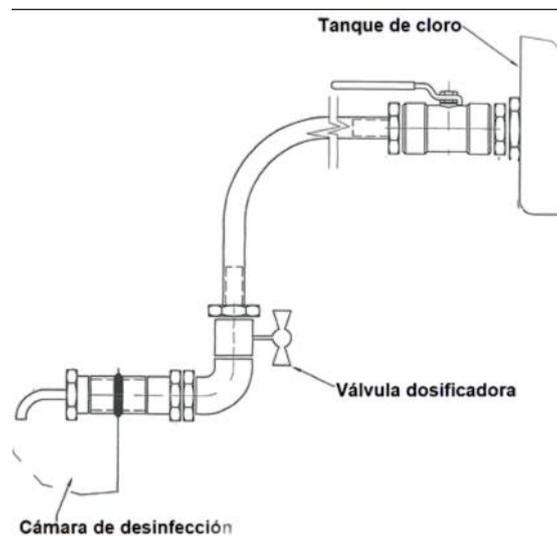


Figura 4.3.1.4.1: Sistema de dosificación química. Fuente: FACET. MANUAL PLANTA SÉPTICA FACET STP-2. (2003).

-Mensualmente:

#### 4.3.1.5. Control del PH de la descarga

Procedimiento: Se procede a tomar una muestra líquida al limpiar el filtro de la descarga (8), y se mide mediante un papel indicador de PH que tipo de solución se descarga. Aunque este modelo de planta acepta como valores validos PHs neutros o ligeramente de básicos de entre 7 y 8.5 la dosificación empleada a bordo permite conseguir siempre valores comprendidos entre 7.2 y 7.7.

-Consecuencias: Un PH distinto al valor sugerido de los efluentes de descarga puede suponer sanciones administrativas en aquellos puertos que midan el PH de sus aguas y detecten anomalías debido al impacto medioambiental que se puede ocasionar a los ecosistemas marinos.

#### **4.3.1.6. Mantenimientos correctivos**

A nivel correctivo se considera que al operar con las distintas válvulas al abrir y cerrar durante las operaciones de mantenimiento semanales y a la llegada o salida de puerto en el caso de las charnelas de descarga, cualquier avería o pérdida de funcionalidad de éstas sea detectada y restaurada a su condición normal, aunque por lo general la planta séptica requiere poco mantenimiento en este aspecto.

#### **4.3.2. Historial de averías graves de la planta**

##### **4.3.2.2. Retornos y contraflujos de la línea de aguas negras**

El retrete del camarote de un tripulante empieza a presentar un ligero burbujeo constante en su línea de agua durante una semana de temporales, al cabo de unos días empieza a rebosar y a expulsar agua de forma intermitente inundando el suelo del baño hasta que termina por hacer un retorno completo de excrementos.

Al existir un burbujeo y retorno de aire se comprueba el funcionamiento de la cámara de aireación (3) y este es correcto. Como la planta no realiza dilución y la planta séptica funciona bien se busca la avería en la línea de aguas grises (10) y aguas negras (11), y se encuentra la siguiente situación: la válvula de descarga de aguas negras no cierra al completo porque su charnela ha quedado dañada y otra charnela colocada a la mitad de la línea que sirve para impedir el retorno de la línea aguas negras de la línea de estribor queda bloqueada a la mitad de su apertura porque no puede ejercer suficiente fuerza para cerrar el paso, que además en su asiento han ido quedando incrustados restos que dificultan el cierre, por lo que se produce el mencionado retorno aunque no se consigue averiguar porque lo hace en un camarote en particular.



*Figura 4.3.2.2.1:* Respectivamente, Válvula de aguas grises cerrada correctamente y de aguas negras cerrada en mal estado. Fuente: Propia.

La solución se realiza en dos etapas. En primer lugar, mediante una manguera contraincendios se realiza un contraflujo general a toda la línea a partir de la zona de la charnela para desincrustar y limpiar toda la línea, (al no disponer de unidades de vacío individuales, este contraflujo afecta a toda la tripulación). Con la línea limpiada ya se puede cerrar y evitar correctamente el retorno de aguas negras.

Posteriormente se repara la charnela mecanizando abrazaderas nuevas para que restablecer su capacidad de cierre óptima.

(La charnela de la descarga de aguas negras se dejó pendiente de cambiar para la reparación anual del buque porque se efectuaría en dos semanas finalizando la puesta a punto de la línea de aguas grises, hasta esa fecha solo se produjo un leve burbujeo dos días).



*Figura 4.3.2.2.2:* Resultado del contraflujo. Fuente: Propia.

## 5. ENCUESTA A LA TRIPULACIÓN SOBRE EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

Con el objetivo de complementar los datos recabados a nivel de funcionamiento y mantenimiento habitual de la planta se realiza una encuesta para averiguar si el dimensionamiento de la planta, en especial las líneas de vacío, y la frecuencia y estado de los retretes en todo el buque que requieran de mantenimientos correctivos preguntando a distintos tripulantes situados de forma aleatoria a lo largo de la habilitación del buque.

De este modo, a parte del dimensionamiento, se pueden estudiar dos aspectos más: Puntos conflictivos del buque y conocimiento por parte de la tripulación del buen uso de las instalaciones (se asume que el pasaje desconoce el funcionamiento).

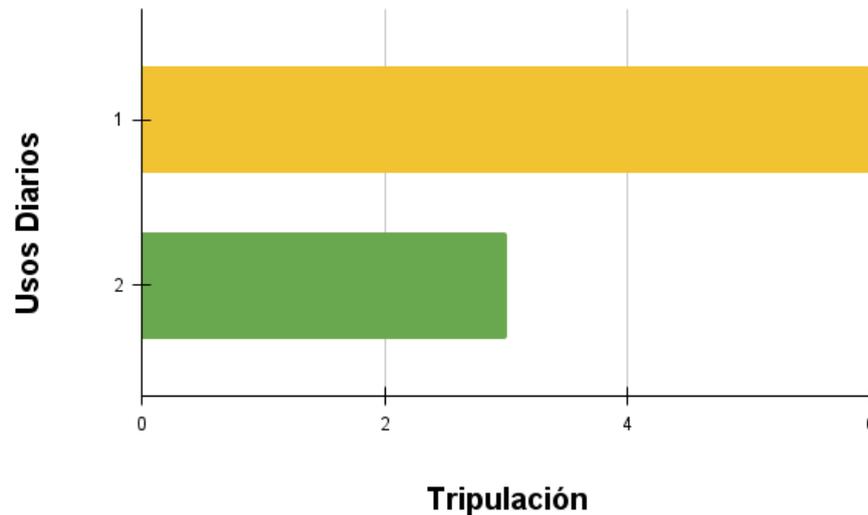
Para representar a toda la tripulación se encuesta a los siguientes nueve tripulantes:

- Miembros del personal de fonda: 4 miembros (A parte de estar esparcidos por el ala de habilitación en zonas de estribor y babor, también tienen distintas zonas de trabajo en los camarotes de pasaje y zonas de acceso público, por lo que sus distintas rutinas de trabajo permiten obtener una visión general del uso del pasaje).
- Fontanero (Principal responsable de todos los mantenimientos correctivos e incidencias. Su experiencia para la detección, reparación de fallos constituye una parte muy importante de esta encuesta, además, es conocedor del dimensionamiento y uso habitual de las instalaciones).
- Departamento de máquinas: 1 oficial y 1 engrasador (Se encuentran situados en la zona de babor de la habilitación).
- Departamento de puente: 1 oficial y un timonel (Se encuentran situados en la zona de estribor de la habilitación).

### 5.1. Resultados de la encuesta

A continuación se muestran los resultados de la encuesta en formato gráfico:

-Pregunta 1: ¿De media, cuantas veces usas el baño al día? (Excreción).



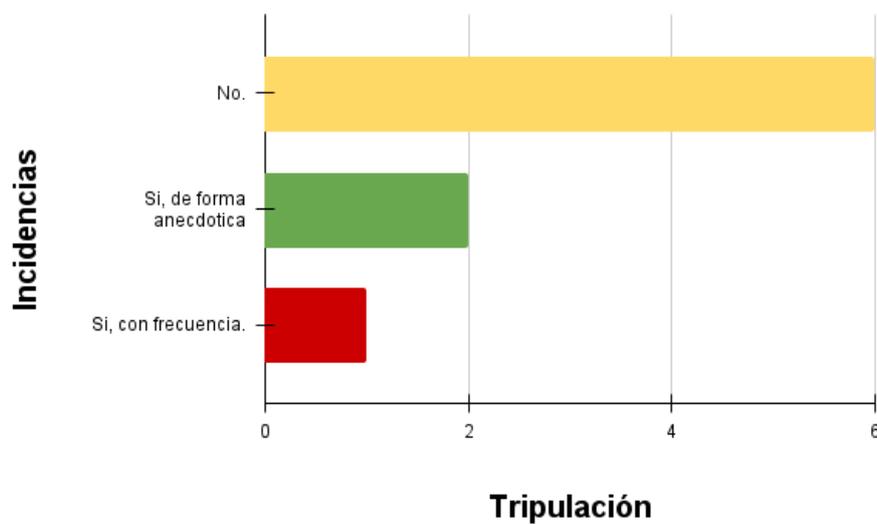
-Pregunta 2: ¿Crees que la dieta a bordo influye en el número de usos y cantidad generada? ¿De qué modo?

- Hay muchos platos de carne y pocos de verdura a bordo.
- No, depende de lo que le guste comer a cada uno.
- Para mi opinión la comida puede llegar a ser muy grasienta y puede generar problemas intestinales.
- Siempre se come mucho en la comida y en la cena por lo que se tiene que ir con más frecuencia al baño.
- Es complicado mantener una dieta equilibrada a bordo a no ser que te esfuerces, siempre acabas comiendo de más y defecando más en consecuencia.
- No, desembarcado suele ser del mismo modo.
- Sí, comer y cenar carne acompañada de patatas fritas durante toda la campaña termina afectando tu régimen intestinal.

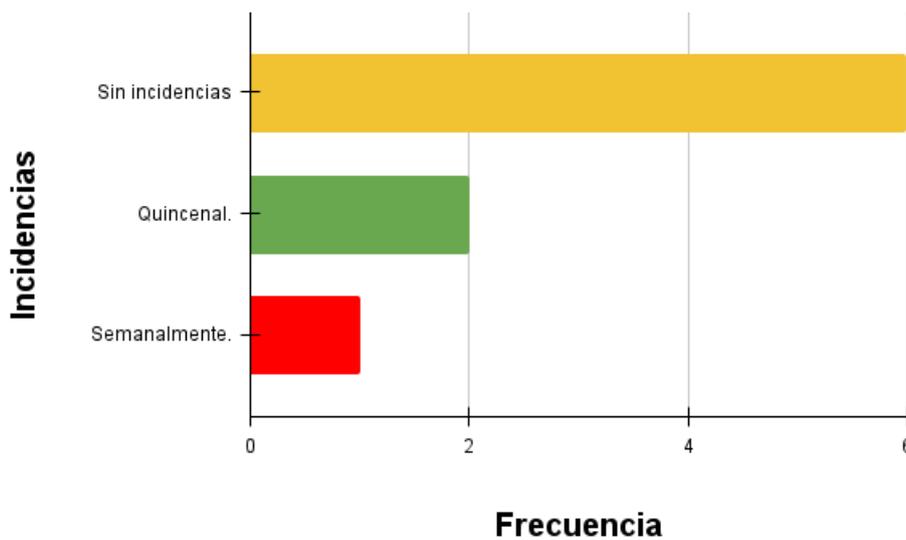
-La dieta de a bordo no es muy variada, muchos platos son grandes trozos de carne y patatas que llenan mucho y que causan tengas expulsar mucho.

-Sí que influye aunque depende del barco, creo que la dieta actual causa mayores cantidades a excretar.

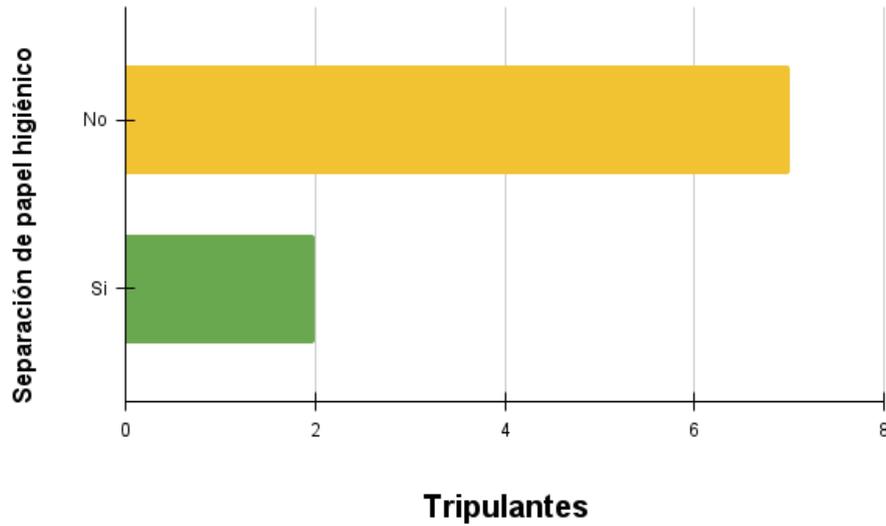
-Pregunta 3: ¿Has experimentado problemas de vacío en tu camarote por atasco? En caso afirmativo ¿Con qué frecuencia?



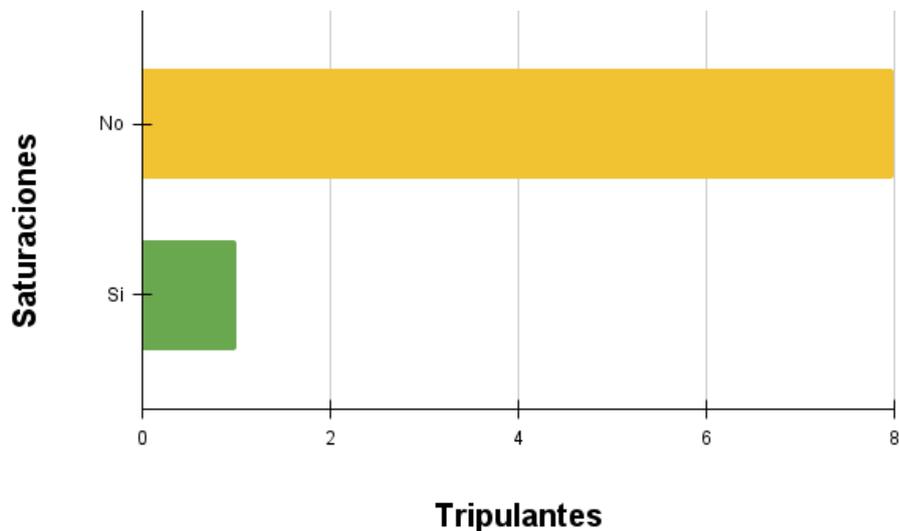
-Pregunta 4. Si tu respuesta anterior ha sido Si, ¿Con qué frecuencia?



-Pregunta 5. ¿Separas el papel higiénico a parte o también es desechado en el baño?



-Pregunta 6. ¿Has saturado alguna vez el vacío de tu camarote?



-Pregunta 7. (Para personal de fonda y fontanero): ¿Cuantos problemas relacionados con el vacío de retretes hay diariamente? ¿Cuál es la causa de éstos?

-Casi cada día 4 o 5 camarotes de babor dejan de funcionar por atascos.

-Depende del pasaje, los baños comunitarios siempre dejan de funcionar algunos al final de cada viaje.

-En mi zona de trabajo acostumbran a fallar los mismos 2 camarotes aunque hay días que no dan problemas.

-Siempre suelen haber un par de camarotes por cubierta que quedan saturados con toallitas higiénicas.

-(Fontanero): Casi siempre suelo desatascar a la llegada a puerto los mismos retretes de camarotes y algún añadido, los comunitarios suelen generar también problemas de tapones a diario. La gran mayoría de veces se debe a tapones de distintos materiales, aunque en camarotes particulares también se suele saturar el vacío con menos frecuencia.

-Pregunta 8. (Para el fontanero): ¿Qué otros tipos de materiales u objetos has desechado/suelen desecharse por el retrete?

-(Fontanero): Papel higiénico, toallitas, cubiertos, calcetines, ropa interior y hasta toallas.

## 5.2. Estudio de los resultados

-Dieta: Existe una opinión bastante extendida de que hay una falta de variedad en las comidas de abordo siendo los principales platos servidos a bordo carnes acompañadas de patatas fritas durante las comidas y las cenas y donde las pocas verduras que se sirven lo hacen en forma de ensaladas.

Otro punto compartido entre los encuestados es la gran cantidad de comida que hay respecto a los comensales (hay turnos en los que solo comen 5 personas y aun así se sirve comida para hasta 15 aproximadamente. De manera similar pero no tan dispar los turnos de comida frecuentados por más tripulantes suele haber una porcentaje aproximado al doble).

Según los encuestados esta dieta también no condiciona las veces que deben excretar diariamente pero sí que notan que excretan más desechos.

Una consecuencia importante sobre la cantidad sobrante es que la línea de grasas de la planta debe tratar éste (La comida se retira pasada la media noche y se envía al punto de desecho).



Figura 5.2.1: Exceso de comida sobrante a medianoche. Fuente: Propia.

-Dimensionamiento y averías habituales: Por lo que respecta al pasaje, de forma previsible, durante cada viaje se producen incidencias, aunque analizando la ubicación de éstas se observa que de los servicios públicos ubicados en la cubierta 5 siempre suele dejar de funcionar un mínimo de un retrete debido al uso constante durante la navegación mezclando el factor de uso incorrecto de las instalaciones.

En la cubierta 6 también hay un mínimo de retretes que pierden vacío por día, que suele oscilar entre dos y cinco. De éstos, algunos suelen ser más propensos que otros a dejar de funcionar, los que son recurrentes se encuentran o bien al final de las líneas de vacío o en una posición que da más recorrido a la tubería de descarga a la planta. Al estar al final o al tener que realizar un recorrido con inclinaciones laterales o superiores los eyectores no terminan de succionar con toda la fuerza que deberían y no pueden vencer a los tapones que se van formando.

Los que se averían de forma espontánea lo hacen por uso incorrecto, si este se encuentra cerca del final de la línea de toda la cubierta puede bloquear el vacío al resto de retretes.

En el caso de la tripulación se debe más al uso de cada tripulante que se detalla a continuación.

Como comparación para evaluar si el dimensionamiento es correcto: Si se observa el sistema del buque RO-RO, cada tubería colectora de los retretes de las zonas de estribor y babor presenta un diámetro muy superior a las distintas líneas del buque

RO-PAX, su recorrido además es más directo y no presenta problemas de pérdida de vacío a diferencia de las más reducidas 10 líneas de vacío.



Figura 5.2.2: Comparativa de líneas de vacío. Fuente: Propia.

-Uso: Con el tipo de dimensionamiento actual cualquier tipo de papel higiénico o material que se deseché al retrete que no sea de única capa o de grosor similar es propenso a causar tapones en las líneas de vacío, aunque no sea de forma inmediata grandes cantidades simultáneas de papel causa que durante días que siga funcionando correctamente se llega a un punto donde la obstrucción termina por detener el funcionamiento de la unidad.

Se asume que el pasaje desconoce el funcionamiento de las instalaciones de vacío porque no están familiarizados y dentro del mal uso habitual se recoge el tirar lanzar toallitas y más papel del que puede admitir la unidad de vacío del retrete (este tipo de desecho no presenta problema si llega a la planta porque es fácilmente desmenuzable, incluyendo las toallitas).

Dentro de este mal uso sin embargo también hay una variante de negligencia de usar correctamente las instalaciones desechando piezas de ropa de distintos tamaños: éstas son más difíciles de tratar por la planta porque no pueden terminar de desmenuzarse bien ni ser tratados y descargados por lo que tienen que ser retenidos por los distintos filtros que hay en el sistema hasta que se limpien durante las operaciones de mantenimiento.

La tripulación que experimenta problemas de vacío se asocia a problemas derivados a no desechar correctamente por el retrete el papel higiénico porque a nivel de mantenimientos correctivos no se observa un historial abundante ni camarotes propensos a fallar.

## 6. OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA PLANTA

En este apartado se procede a optimizar distintos parámetros de la planta séptica Marine 90 y posteriormente complementarlos con los resultados y modificaciones que se puedan realizar a partir de las conclusiones del estudio de la dieta a bordo.

La optimización se centra en primer lugar en la línea de aguas negras y en la línea de grasas, en segundo lugar se optimiza el funcionamiento de la planta a lo largo de todo el buque y por último se introducen opciones para reducir el efecto que causan las descargas al mar.

A efectos de dimensionamiento para los cálculos se asumirá que:

- La dotación total de tripulantes será de 60 para cálculos que afecten solo a los tripulantes, sobredimensionado de este modo la dotación máxima de 56.
- La tripulación máxima y el máximo de pasajeros del buque será de 690 sobredimensionando como en el anterior punto.

### 6.1. Optimización del consumo de aguas grises de dilución:

La configuración actual de la planta séptica permite emplear aguas grises como sistema de dilución para las aguas negras.

A continuación, para comprobar el dimensionamiento de la planta respecto a la dilución, se calcula el consumo máximo de agua de dilución requerida por la planta diariamente.

Se emplea la siguiente expresión para el cálculo:

$$Dw = 4 * 15 * Pax \quad (6.1.1)$$

Donde:

- Dw es la cantidad de agua de dilución requerida en  $L/día$ .
- 4 representa un coeficiente de sobredimensionamiento por seguridad.
- 15 representa la demanda de agua de dilución en  $L/día$  por persona a bordo.
- Pax el número de pasajeros y tripulantes a bordo.

Cálculo del consumo máximo de agua de dilución diario:

$$Dw = 4 * 15 * Pax = 4 * 15 * 690 = 41400 \frac{L}{día}$$

Tabla 6.1.1: Cálculo de agua de dilución mínima requerida. Fuente:

Una vez obtenido el consumo que requiere la planta en su máxima condición de trabajo se procede a calcular el consumo diario de agua sanitaria. Se calcula a partir de este gasto porque al finalizar este circuito al llegar a fregaderos, duchas y otros la recogida de estas aguas ya da inicio a la línea de aguas grises sin existir pérdidas significativas y al no haber ningún caudalímetro en la planta que permita obtener esta información.



Figura 6.1.1: Entrada de las aguas grises de dilución en la planta. Fuente: Propia.

A bordo del buque RO-PAX se disponen de dos tanques para almacenar agua de uso sanitario con un volumen de  $184.62 m^3$  cada uno.

El gasto se calcula a partir de la siguiente información: los tanques siempre son llenados hasta que se produce rebose por lo que al finalizar el proceso de “aguada” se van a encontrar al máximo de su capacidad.

El proceso de aguada se realiza cada cuatro días, momento en el que a partir de sondas manuales los dos tanques se han ido vaciando a partes iguales y ambos han quedado a la mitad de su capacidad.

(El sondaje de los tanques se realiza con una sonda manual y este hecho implica que la sonda y el volumen obtenidos siempre van a contener un error debido a las condiciones en las que se encuentre el buque (escoras, asientos y procedimientos de carga y descarga). Se escoge el valor justo de la mitad de la capacidad porque a pesar

del error mencionado anteriormente la sonda no varía mucho entre las distintas operaciones de aguada.

<b>FW02 : Fresh Water Storage SB</b>						
Sounding Sensor #1 (m)	Volume Trim 0.00 (m <sup>3</sup> )	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m <sup>4</sup> )	IL (m <sup>4</sup> )
5.90	182.95	80.87	9.17	6.33	33.96	255.47
5.95	184.62	80.87	9.17	6.36	33.96	255.47
	<b>184.62</b>	<b>80.87</b>	<b>9.17</b>	<b>6.36</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

Figura 6.1.2: Tabla de sondas del tanque FW02 de agua sanitaria. Fuente: Propia.

-Capacidad total de agua sanitaria a bordo:  $369,24 \text{ m}^3$ .

-Gasto de agua sanitaria cada cuatro días:  $184,62 \text{ m}^3$ .

-Gasto diario de aguas grises/ Cantidad de aguas grises de dilución generada:

$$Dw' = 184,62 \text{ m}^3 / 4 \text{ días} = 46,155 \text{ m}^3 / \text{día} \quad (6.1.2)$$

Donde:

- $Dw'$ : Aguas grises de dilución generadas a bordo.

Tabla 6.1.2: Cálculo del consumo de agua de dilución diario. Fuente: Propia.

Si comparamos el consumo real y teórico:

Comparativa de consumo de aguas grises:

- $Dw$ :  $41,400 \text{ m}^3 / \text{día}$

- $Dw'$ :  $46,155 \text{ m}^3 / \text{día}$

$$\Delta DW = Dw' - Dw = 46,155 - 41,400 = 4,755 \text{ m}^3 / \text{día} \quad (6.1.3)$$

Tabla 6.1.3: Comparativa de aguas grises teóricas y reales. Fuente: Propia.

Analizando los resultados obtenidos se puede observar que se genera más agua de dilución del mínimo requerido, pudiendo descargar directamente al mar el excedente generado, por lo que este apartado no requiere optimización.

## 6.2. Optimización de la línea de grasas

Se puede justificar que las aguas grises que llegan a la planta en su totalidad lo hacen mediante dos circuitos distintos: directamente a partir de los desagües de las distintas duchas y fregaderos de la habitación y aquella que proviene a consecuencia del consumo que tienen las instalaciones de cocina para preparar turnos de comidas y limpiar al finalizar éstos.

En el anterior apartado el cálculo de  $Dw$  es correcto porque al final de los dos circuitos esa es la cantidad de aguas grises que se introduce en la planta, pero para la línea de aguas grises se debe introducir el siguiente factor de corrección:

-Se establece que para la preparación de comida para la tripulación y el pasaje (todo plato que requiera hervir) se requiere  $1L/P_{ax}$ .

La estimación del consumo total de preparación de comida es la siguiente:

$$C_p = (PAX * Md) + (60 * DN) \quad (6.2.1)$$

Donde:

-Md es el turno de comida del mediodía (teniendo en cuenta toda persona a bordo del buque).

-DN es el turno de comida de noche (solo cena la tripulación) y el turno de desayuno (que se considera como turno parcial al tener un consumo irregular y menor).

$$C_p = (690 * 1) + (60 * 1.5) = 780 \text{ L/día}$$

-Se establece que para la limpieza de todo los platos, cubertería y equipo de cocina mediante los lavavajillas del buque, éstos tienen un consumo de  $10L/ciclo$ .

La estimación del consumo total de limpieza de comida es la siguiente:

$$Cl = (PAX * \frac{Pmd}{20} * 10) + (60 * \frac{Pdn}{20} * 10) \quad (6.2.2)$$

Donde:

- Pmd son los platos usados por persona en el turno de comida del mediodía.
- 20 es la capacidad platos, cubiertos y vasos por pasajero máxima que caben en el lavavajillas.
- Pdn son los platos usados en el turno comida de noche (solo cena la tripulación) y el turno de desayuno (que se considera como turno parcial tener demandas irregulares y menores).

$$Cl = \left(690 * \frac{3}{20} * 10\right) + \left(60 * \frac{3}{20} * 10\right) = 1125 \text{ L/día}$$

La cantidad total de agua que va a través de la línea de grasas sería es la siguiente:

$$CT = Cp + Cl = 780 + 1125 = 1905 \text{ L/día} \quad (6.2.3)$$

La cantidad calculada nos permite correlacionar este valor respecto al total de aguas grises que entran a la planta, los 1905 L/día corresponden a un poco más del 4% así que al factor de corrección se sobredimensiona y se le otorga un valor del 5% para los siguientes cálculos.

Tabla 6.2.1: Cálculo del factor de corrección y la cantidad de aguas grises de la línea de grasas. Fuente: Propia.

(Se deja constancia de que la determinación del anterior factor de corrección se basa en aproximaciones realizadas a partir de la experiencia empírica que el autor ha podido recoger en el buque, por lo que los promedios que se realizan considerando a la dotación total como comensales y usuarios de los servicios de la cocina presentan desviaciones).

Para el dimensionamiento del tanque de grasas:

Se emplea la siguiente expresión para el cálculo:

(Se trata de la misma expresión empleada para la optimización de la línea de dilución, aunque los parámetros se denominan de manera distinta).

$$Qd = 4 * 15 * Ww * Pax$$

Donde:

- Qd es la cantidad de agua de dilución en la línea de grasas requerida en  $L/día$ .
- Ww: es un factor de corrección del 5% de CT, que representa la cantidad total diaria de agua en la línea de grasas a efectos de sobredimensionamiento.

Cálculo del consumo máximo de agua de dilución de la línea de grasas diario:

$$Qd = 4 * 15 * 0.05 * Pax = 4 * 15 * 0.05 * 690 = 2070 L/día$$

Tabla 6.2.2: Cálculo de el agua de dilución de la línea de grasas. Fuente: Propia.

El caudal que debe ser capaz de introducir en la planta séptica la línea de grasas se calcula con la siguiente expresión:

$$Ns = Qs * Ft * Fd * Fr \quad (6.2.4)$$

Donde:

- Ns: es la capacidad de separación de grasas el tanque de grasas en  $L/s$ .
- Qs es el flujo de agua y grasas que fluye en pico de actividad y equivale  $1/3 * Qd$ .
- Ft es el factor corrector de la temperatura del flujo siendo 1 si  $Temp < 60 \text{ } ^\circ C$  y 1.3 si  $Temp \geq 60 \text{ } ^\circ C$ .
- Fd es el factor corrector de la densidad del flujo siendo 1 si el flujo consiste en solamente agua o 1.5 en el caso de grasas si  $\rho \geq 0.94 \text{ } g/cm^3$ .
- Fr es el factor corrector del grado de limpieza del flujo siendo 1 si no se usa nunca detergente y 1.3 tanto si se usa regularmente como con poca frecuencia.

$$Qs = 1/3 * 2070 = 690 L/h = 0,19 L/s \quad (6.2.5)$$

$$Ns = 0.19 * 1 * 1.5 * 1.3 = 0,37 L/s$$

Tabla 6.2.3: Cálculo del caudal de la línea de grasas. Fuente: Propia.

El anterior cálculo ya sirve como modificación y optimización porque añade dos factores de corrección mayores a la carga habitual de trabajo a la que se encuentra sometida la línea, aunque la verificación de la optimización de esta línea es compleja de medir sin caudalímetros, por lo que la solución propuesta consiste en intensificar los mantenimientos de limpieza del tanque de grasas a una frecuencia semanal para ir retirando una capa de grasas lo más fina posible para garantizar que a través de la pantalla deflectora del tanque circule la máxima cantidad de aguas grises posible y se asemeje al máximo al cálculo obtenido en este apartado.

### 6.3. Optimización de las líneas de vacío:

En este apartado calculamos la capacidad de todas las líneas de vacío, que junto a los resultados de la encuesta realizada a la tripulación se tiene como objetivo localizar y optimizar las líneas más propensas a averiarse.

Cálculo de la capacidad total de vacío de todas las líneas:

$$Vt = Pax * \frac{A}{1000} * B * C \quad (6.3.1)$$

Donde:

- Vt es la capacidad mínima total que debe proporcionar el vacío de la planta para todas las líneas en  $m^3/h$ .
- Pax el número de pasajeros y tripulantes a bordo.
- A es el consumo de aire por descarga de retrete (Se toma un valor promedio de 60  $l/descarga$ ).
- B es la frecuencia de descargas en pico de actividad (Se toma un valor promedio de 1  $persona/hora$ ).
- C es un coeficiente de seguridad en caso de fugas que tiene el valor de 1.1.

$$Vt = 690 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 45,5 \text{ } m^3/h$$

A continuación se calcula la capacidad mínima por línea:

(Para retretes de uso común en zonas de trabajo se toma el valor del máximo de

personas que trabajan en esa sección).

-Línea 1:

$$V1 = 156 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 10,30 \text{ m}^3/h$$

- Línea 2:

$$V2 = 100 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 6,6 \text{ m}^3/h$$

-Línea 3:

$$V3 = 6 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 0,40 \text{ m}^3/h$$

- Línea 4:

$$V4 = 8 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 0,53 \text{ m}^3/h$$

- Línea 5:

$$V5 = 112 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 7,40 \text{ m}^3/h$$

- Línea 6:

$$V6 = 56 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 3,70 \text{ m}^3/h$$

- Línea 7:

$$V7 = 112 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 7,40 \text{ m}^3/h$$

- Línea 8:

$$V8 = 8 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 0,53 \text{ m}^3/h$$

-Línea 9:

$$V9 = 1 * \frac{60}{1000} * 1 * 1.1 = 0,07 \text{ m}^3/h$$

Tabla 6.3.1: Cálculo de la capacidad mínima de vacío total de la planta y de cada línea. Fuente: Propia.

Las líneas de vacío donde se concentran las averías son aquellas que se concentran retretes comunitarios, en concreto la 4 y la 8.

Para redimensionarlas se corrige el factor B de uso máximo horario, por el motivo que en un retrete particular ese factor se ajusta acordemente pero en un comunitario puede llegar a dar una estimación menor a la real por lo que se duplica B a 2.

Además con el objetivo de mejorar el funcionamiento de éstas se propone instalar cajas de vacío individuales en las dos líneas para aprovechar así el dimensionamiento inicial para dotar a las líneas restantes de una capacidad de succión superior, hecho que permitiría poder dar servicio a los retretes más alejados donde no siempre la capacidad de vacío actual puede dar suministro.

Como en el cálculo de la anterior tabla  $V4 = V8$  en la optimización se consideran los valores  $V'$  para las dos líneas mencionadas.

$$V' = 8 * \frac{60}{1000} * 2 * 1.1 = 1,056 \text{ m}^3/h$$

Esto además, añade un sobredimensionamiento de capacidad total para las líneas restantes de los  $1,060 \text{ m}^3/h$  que quedan disponibles al implementar las cajas de vacío.

Tabla 6.3.2: Cálculo de la capacidad de las nuevas cajas de vacío y vacío liberado a la línea general.  
Fuente: Propia.

#### 6.4. Optimización del efluente de descarga:

Una de las principales condiciones del efluente de descarga de la planta es que el  $BOD_5$  debe ser inferior a 50 ppm (*CFR 33 –Part 159-Navigation and Navigable Waters Chapter I-Coast Guard, Department of Homeland Security Subchapter O-Pollution. (2023).*)

La constante de deoxigenación es un parámetro para el cálculo del BOD que indica el tiempo que tarda una muestra de materia orgánica en dejar contener oxígeno durante la descomposición de ésta, la constante puede adquirir distintos valores según la calidad y los contenidos del agua.

Tipo de agua	Valores de k a 20 °C (día <sup>-1</sup> )
Agua sucia sin tratar	0.35-0.7
Agua sucia tratada	0.10-0.35
Agua contaminada fluvial	0.10-0.25
Agua limpia	<0.05

Tabla 6.4.1: Valores de k según tipo de agua. Chin, D. A. WATER-QUALITY ENGINEERING in Natural Systems. (2006).

La planta ha sido ya diseñada para que durante la desinfección se consiga generar una cantidad de BOD<sub>5</sub> y no se dispone a bordo de medios para realizar una medición correcta de éste, a efectos de la optimización del efluente se parte de la siguiente situación:

- Al terminar el proceso de renovación de agua en las cámaras de aireación el funcionamiento de la planta es anómalo hasta que se restablece el crecimiento correcto.
- Durante este período de tiempo se considera que el BOD<sub>5</sub> adquiere valores de 50 ppm o incluso superiores (consideramos 50 ppm al encajar dentro de la tolerancia máxima de la normativa)
- Al ser agua sin tratar asignamos un valor de k de 0.6 día<sup>-1</sup>.
- A partir de este valor podemos obtener el UBOD que se produce en el proceso de bio-reducción de la planta bajo esta condición.

Cálculo del UBOD:

$$L = \frac{BOD_t}{1 - 10^{-kt}} \quad (6.4.1)$$

Dónde:

- L Es el UBOD en  $mg/l$
- k es la constante de desoxigenación en  $día^{-1}$
- $BOD_t$ : es la demanda total de oxígeno en ppm.
- t: es el tiempo del ensayo en días.

$$L = \frac{50}{1 - 10^{-(0.6*5)}} = 50,05 \text{ ppm}$$

Tabla 6.4.2 : Cálculo de la constante de desoxigenación durante la renovación de aguas de la planta.  
Fuente: Propia.

La propuesta de optimización del afluente se basa en añadir un procedimiento de mantenimiento a realizarse a posteriori de realizar la renovación de agua de cámaras y a la dosificación de Metal Brite al final de las líneas.

Este procedimiento consiste en añadir abonos con contenido rico en nitratos a las cámaras de aireación al introducirse agua limpia de manera controlada y a lo largo de la primera semana (abriendo las tapas de aireación con la planta parada) después de la renovación para estimular la regeneración de la población bacteriana y reducir el nivel de  $BOD_5$  más eficazmente que el obtenido al esperar el crecimiento natural de la población.

Se añaden nitratos porque una de las reacciones químicas que se producen durante la bio-reducción es la nitrificación, donde el amoníaco presente en las aguas sucias que entran en la planta reacciona con oxígeno y se obtienen nitratos como productos de la reacción.

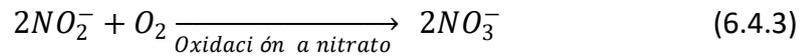
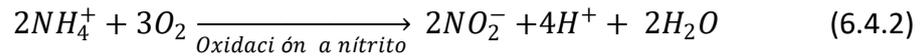


Tabla 6.4.3 :Proceso de nitrificación. Fuente: Sollai, M., Schouten, S., Keil, R. G., & Sinninghe Damsté, J. S. *Intact polar lipids of Thaumarchaeota and anammox bacteria as indicators of N-cycling in the Eastern Tropical North Pacific oxygen deficient zone*. *Biogeosciences*, 12, 4725–4737. (2015).

Las reacciones dispuestas en la tabla (8.4.3) indican que el añadir nitratos en la cámara va aumentando el número de oxígeno requerido para la nitrificación a medida que la población bacteriana va aumentando por lo que la constante de desoxigenación va descendiendo al ir asentándose el contenido de oxígeno a un ritmo más rápido. (Chin, D. A. *WATER-QUALITY ENGINEERING in Natural Systems*. (2006).)

A continuación, a efectos de ilustrar el efecto de los nitratos, se proponen dos situaciones hipotéticas. A los 5 días de renovar el contenido de agua de las cámaras de aireación, se calcula un BOD<sub>5</sub> a partir de una constante de desoxigenación con un valor cercano al de agua sin tratar (como indicativo de que el crecimiento bacteriológico es natural) y otro con una constante de menor valor (como indicativo de que los nitratos han contribuido a la restauración de la población hasta los niveles habituales).

$$BOD_t' = L(1 - 10^{-kt}) \quad (6.4.4)$$

BOD<sub>5</sub> sin adición de nitratos:

$$k' = 0.30$$

$$BOD_5' = 50,05(1 - 10^{-(0.3 \cdot 5)}) = 48,47 \text{ ppm}$$

BOD<sub>5</sub> con adición de nitratos:

$$k' = 0.15$$

$$BOD_5' = 50,05(1 - 10^{-(0.15 \cdot 5)}) = 41,15 \text{ ppm}$$

Tabla 6.4.4: Efectos teóricos en el afluente de descarga mediante el uso de nitritos. Fuente: Propia.

Los cálculos obtenidos indican que el uso de nitratos permite rebajar la constante de desoxigenación y en consecuencia reducir el BOD<sub>5</sub> a medida que aumenta el nivel de tratamiento al que se someten las aguas sucias.

A nivel de reducción del impacto, un menor BOD implica que el oxígeno que contiene el efluente tarda más en consumirse por lo que las formas de vida marinas pueden beneficiarse de éste. La principal diferencia entre implementar o no el uso de fertilizantes es el hecho de que aunque se sigue obteniendo un efluente aceptable por normativa, un BOD<sub>5</sub> mayor implica que las formas de vida acuática disponen de menos oxígeno repercutiendo en su desarrollo y produciendo incluso su muerte.

Una propuesta alternativa sería aumentar la cantidad de aire introducido en la planta por dos principales razones: En primer lugar si se introduce mayor cantidad de aire con mayor fuerza se mejora el proceso de desmenuzamiento por lo que las bacterias pueden tratar más eficientemente la materia orgánica que entra a la planta al reducir el número de sólidos suspendidos, en segundo lugar, incrementar el aire también sirve de proceso catalizador del crecimiento de las bacterias.

Esta propuesta queda descartada por ser más compleja de implementar a nivel de operatividad y a coste económico porque requiere instalar nuevos equipos sopladores (los soplantes V12YR ya están funcionando al máximo de su capacidad) aunque también es considerada como válida para la optimización buscada en este apartado.

### **6.5. Optimización calórica/nutricional a bordo**

Para este apartado se ha realizado un registro visual de los menús y de los restos de comida generados a bordo a lo largo de un mes. A continuación se muestra un ejemplo de la forma en la que se ha estudiado y propuesto la optimización nutricional a bordo. La siguiente imagen muestra la cantidad sobrante de comida a la media noche de un día aleatorio.



Ilustración 6.5.1: Determinación de la cantidad sobrante de comida. Fuente: Propia.

- Debido a la dificultad de estimar la cantidad de aceite que se añade a los platos de comida (ya sea durante la cocción o en crudo sobre ensaladas, etc.) no podemos hacer un cálculo preciso. Aún así, debe tenerse en cuenta y podríamos establecer una ingesta estándar de una cucharada sopera (15 ml) de aceite en las preparaciones culinarias (primer y segundo plato), lo que equivale a unas 135 kcal/tripulante.

- A los platos fritos, guisos, estofados o con alto contenido en grasa, añadimos un 5% de aceite en relación al peso de los alimentos referidos.

Por ejemplo: 100g de patatas fritas contienen un 5% de aceite extra por el proceso culinario, unos 5g.

#### Exceso estimado

6 guarniciones de verdura (1,5kg): lechuga, tomate, zanahoria, cebolla → 382,5 kcal

5 raciones de tortilla de patatas (1,6kg):

-900g de patata → 639 kcal

-300g cebolla → 76,5 kcal

-400g huevo (8u) → 600 kcal

-+5% de aceite (patata): 45g → 405g

1kg de ternera → 1550 kcal

700g de arroz blanco → 812 kcal

2L de sopa → Consideramos valor calórico poco significativo

1 bandeja de patatas fritas

-1 kg de patata → 710 kcal

-+5% aceite: 50 g → 450 kcal

-1 bandeja arroz (800 g) → 928 kcal

Exceso Calórico: 6553 Kcal

Exceso en peso: 6.6 kg

Considerando un varón de altura media (175 cm) con normopeso (70 kg) y de edad mediana (35 años), según las fórmulas de requerimiento energético basal de Mifflin:

$$\text{Metabolismo basal (Mifflin)} = 10 * \text{Peso} * 6,25 * (\text{Altura} - 5) * \text{Edad} \quad (6.5.1)$$

$$\text{Metabolismo basal (Mifflin)} = 10 * 70 * 6,25 * (175 - 5) * 35$$

$$\text{Metabolismo basal (Mifflin)} = 1618,75 \text{ kcal/día/tripulante}$$

Tabla 6.5.1: Determinación de la cantidad sobrante de comida. Fuente: Propia.

Tras finalizar el estudio, se extraen las siguientes conclusiones:

- Un tripulante realiza una ingesta aproximada diaria de 1,45 kg de comida y genera un exceso de 1,56 kg (donde se tiene en cuenta los dos turnos de comida principales a bordo).
- Un tripulante entonces, realiza una ingesta aproximada diaria de 0,58 kg de comida y genera un exceso de 0,76 kg (En un solo turno de comida).
- Un pasajero realiza una ingesta aproximada a bordo de 0,58 kg y genera un exceso de 1,22 kg (En un solo turno de comida).
- Por turno de comida, un pasajero genera un exceso de comida de 0,46 kg más que un tripulante.
- Se desperdician unas 4934 Kcal de alimento, lo que significa que los alimentos sobrantes podrían sustentar a más de 6 tripulantes/turno de comida extra por cada 10 menús estándares a bordo.

Para optimizar la dieta a bordo y reducir el exceso simultáneamente se proponen los siguientes puntos:

Aunque no es aplicable a todas comidas debido a su deterioro o manipulación por parte del personal de cocina, se pueden aprovechar ciertos excedentes que no han

llegado a servirse y adaptarlos para el menú de otro día, especialmente verduras y legumbres que pueden ser triturados o usados como guarnición de otros platos.

Una forma adicional de reducir al máximo estos excesos consiste en implementar un método en el que los tripulantes puedan escoger con tiempo que platos van a comer. El menú incluye un primero y varios segundos, si cada tripulante especifica los dos platos que va comer ese turno, permite estimar mejor la cantidad a cocinar en vez de cocinar menús de tres platos que un tripulante regular no va a comerse al completo.

Además, aunque influye en el tiempo y la complejidad de la preparación de la comida, modificar los niveles de cocción y de los guisados de los distintos platos (en especial, carnes, pescados y patatas fritas) se puede reducir la cantidad de desequilibrios digestivos que puede comportar el abuso de aceites durante la preparación.

Este factor a parte de mejorar la calidad de la dieta a bordo también contribuye a reducir el impacto medioambiental al reducir la generación de aguas negras a bordo porque al reducir la cantidad de aceite de los menús también se reduce la frecuencia con la que se excreta.

## 7. CONCLUSIONES

Las normativas de las sociedades de clasificación de los buques modelo seleccionados recogen e implementan todos los requisitos aplicables dispuestos en el Anexo IV del MARPOL en estos buques, controlando el impacto medioambiental dentro de valores estipulados. Además, normativas más restrictivas de las plantas sépticas en función de la zona de la explotación del buque (CFR), implican una reducción adicional del impacto ocasionado. Las descargas de los buques modelo seleccionados para el estudio de este trabajo se encuentran dentro de los márgenes establecidos.

Asumiendo éstos márgenes, todavía sigue existiendo capacidad de mejora en lo que respecta a la reducción del impacto causado desde el punto de vista del mantenimiento de las plantas sépticas y desde la interacción de los usuarios con estas instalaciones.

Desde el punto de vista del mantenimiento, existen procedimientos sugeridos por los fabricantes que o bien no son aplicados según la frecuencia o importancia sugerida o no son directamente implementados. Aunque la no implementación de éstos no repercute en el funcionamiento habitual de la planta de forma externa, a nivel interno el proceso de bio-reducción y desinfección de las aguas sucias puede verse descompensado, condicionando el contenido de los efluentes de descarga.

Desde el punto de vista de la interacción, existe una componente de desconocimiento sobre el funcionamiento del proceso de tratamiento y una componente de uso incorrecto de las instalaciones. En este caso, la reducción del impacto debe provenir a partir de la concienciación a nivel individual de los usuarios mediante la familiarización con el paso del tiempo en el caso de tripulantes y con instrucciones sobre su correcto uso para tripulantes y pasajeros.

Todas las propuestas de optimización obtenidas han buscado como objetivo la reducción del BOD en los efluentes de descarga. De este modo, se garantiza que los

organismos que integran los ecosistemas marinos no vean perturbadas sus propias demandas biológicas de oxígeno a lo largo de sus ciclos de vida.

Aunque las propuestas de optimización aportadas en el trabajo son teóricas (no tienen en cuenta el posible coste económico asociado) y aplicadas a un modelo concreto de planta séptica, el principio de desarrollo de éstas puede ser adaptado a otros modelos y complementado a partir de las particularidades de diseño de cada planta.

## 8. REFERENCIAS

[1] OMI. (Septiembre 2020) – **“MARPOL 73/78: INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS”**.

Fecha de consulta: 3 de abril del 2023. Disponible en:

< <https://vp.imo.org> >

[2] OMI. (Octubre 2006) – **“Resolution MEPC.157(55). RECOMMENDATION ON STANDARDS FOR THE RATE OF DISCHARGE OF UNTREATED SEWAGE FROM SHIPS”**.

Fecha de consulta: 3 de abril del 2023. Disponible en:

<[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.157\(55\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.157(55).pdf)>

[3] OMI. (Octubre 2012) – **“Resolution MEPC.227(64). 2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TEST FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS”**.

Fecha de consulta: 5 de abril del 2023. Disponible en:

<[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.227\(64\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.227(64).pdf)>

[4] OMI. (Diciembre 2005) – **“Resolution A.982(24). REVISED GUIDELINES FOR THE IDENTIFICATION AND DESIGNATION OF PARTICULARLY SENSITIVE SEA AREAS”**.

Fecha de consulta: 5 de abril del 2023 Disponible en:

<<https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/pssas.aspx>>

[5] Naciones Unidas. (Diciembre 1982) – **“CONVENCIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DERECHO DEL MAR”**.

Fecha de consulta: 6 de abril del 2023. Disponible en:

<[https://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/unclos\\_e.pdf](https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf)>

[6] OMI. (Julio 2018) – **“MEPC.1/Circ.778/Rev.3 LIST OF SPECIAL AREAS, EMISSION CONTROL AREAS AND PARTICULARLY SENSITIVE SEA AREAS”**.

Fecha de consulta: 7 de abril del 2023. Disponible en:

<[https://www.gard.no/Content/26411326/IMO%20MEPC1-Circ778-Rev3\\_Special%20Areas,%20ECAs%20and%20PSSAs%20under%20MARPOL.pdf](https://www.gard.no/Content/26411326/IMO%20MEPC1-Circ778-Rev3_Special%20Areas,%20ECAs%20and%20PSSAs%20under%20MARPOL.pdf)>

[7] OMI. – **“SPECIAL AREAS UNDER MARPOL”**.

Fecha de consulta: 7 de abril del 2023. Disponible en:

<<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Special-Areas-Marpol.aspx>>

[8] Dillon, P. (2015). – ***“Groundwater pollution by sanitation on tropical islands MARVI-ACIAR View project Impact of Patoral Land Use on Grounwater Quality View project”***.

Fecha de consulta: 9 de abril del 2023. Disponible en:

<<https://www.researchgate.net/publication/237340217>>

[9] Feachem David J Bradley Hemda Garelick, R. G., & Duncan Mara, D. (1983). –***“Sanitation and Disease Health Aspects of Excreta and Wastewater Management”***. ISBN: 0 47190094X

[10] EVAC. (2011). – ***“Manual Planta EVAR MARINE 90”***.

[11] EVAC. (2013). – ***“Evac total waste, wastewater and water system management concept for offshore vessels”***.

Fecha de consulta: 2 de junio de 2023. Disponible en:

<<https://evac.com/>>

[12] FACET. (2003). –***“Manual planta FACET STP-2”***.

[13] Code of Federal Regulations (Mayo 2023). – ***“40 CFR 133.102 Protection of envionment”***.

Fecha de consulta: 2 de junio de 2023. Disponible en:

<<https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-D/part-133/section-133.102>>

[14] Code of Federal Regulations (Mayo 2023). – ***“Title 33-Navigation and Navigable Waters Chapter I-Coast Guard, Department of Homeland Security Subchapter O-Pollution”***.

Fecha de consulta: 2 de junio de 2023. Disponible en:

<<https://www.ecfr.gov/current/title-33/chapter-I/subchapter-O/part-159>>

[15] Chin, D. A. (2006).-***“ WATER-QUALITY ENGINEERING in Natural Systems”***. ISBN 10: 0-471-71830-0

[16] Sollai, M., Schouten, S., Keil, R. G., Sollai, M., Hopmans, E. C., Schouten, S., Keil, R. G., & Sinninghe Damsté, J. S. (2015).- ***“ Intact polar lipids of Thaumarchaeota and anammox bacteria as indicators of N-cycling in the Eastern Tropical North Pacific oxygen deficient zone Intact polar lipids of Thaumarchaeota and anammox bacteria as indicators of N cycling in the eastern tropical North Pacific oxygen-deficient zone. Biogeosciences, 12, 4725–4737”***.

Fecha de consulta: 18 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.5194/bgd-12-4833-2015>>

[17] Yan, J., Op den Camp, H. J. M., Jetten, M. S. M., Hu, Y. Y., & Haaijer, S. C. M. (2010). – ***“Induced cooperation between marine nitrifiers and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria by incremental exposure to oxygen. Systematic and Applied Microbiology, 33(7), 407–415”***.

Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.syapm.2010.08.003>>

[18] Chen, Y. Z., Zhang, L. J., Ding, L. Y., Zhang, Y. Y., Wang, X. S., Qiao, X. J., Pan, B. Z., Wang, Z. W., Xu, N., & Tao, H. C. (2022). – ***“Sustainable treatment of nitrate-containing wastewater by an autotrophic hydrogen-oxidizing bacterium. Environmental Science and Ecotechnology, 9”***.

Fecha de consulta: 21 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.esec.2022.100146>>

[19] Jalkanen, J. P., Johansson, L., Wilewska-Bien, M., Granhag, L., Ytreberg, E., Eriksson, K. M., Yngsell, D., Hassellöv, I. M., Magnusson, K., Raudsepp, U., Maljutenko, I., Winnes, H., & Moldanova, J. (2021). – ***“Modelling of discharges from baltic sea shipping. Ocean Science, 17(3), 699–728”***.

Fecha de consulta: 7 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.5194/os-17-699-2021>>

[20] Koboević, Ž., & Ing Željko Kurtela, dipl.- ***“COMPARISON OF MARINE SEWAGE TREATMENT SYSTEMS”***.

Fecha de consulta: 7 de mayo de 2023. Disponible en:

<[www.maine.gov/dep/blwq/topic/vessels/effluentchart.pdf](http://www.maine.gov/dep/blwq/topic/vessels/effluentchart.pdf)>

[21] Ytreberg, E., Eriksson, M., Maljutenko, I., Jalkanen, J. P., Johansson, L., Hassellöv, I. M., & Granhag, L. (2020). – ***“Environmental impacts of grey water discharge from ships in the Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin, 152”***.

Fecha de consulta: 18 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110891>>

[22] Chen, Q., Wu, W., Guo, Y., Li, J., & Wei, F. (2022). – ***“Environmental impact, treatment technology and monitoring system of ship domestic sewage: A review. In Science of the Total Environment (Vol. 811). Elsevier B.V.”***.

Fecha de consulta: 19 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151410>>

[23] Office of Wastewater Management, Permits Division. (2011). –**“Graywater Discharges from Vessels”**.

Fecha de consulta: 19 de mayo de 2023. Disponible en:

<[https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp\\_graywater.pdf](https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp_graywater.pdf)>

[24] Office of Wastewater Management, Permits Division. (2013). –**“Final 2013 VGP VESSEL GENERAL PERMIT FOR DISCHARGES INCIDENTAL TO THE NORMAL OPERATION OF VESSELS (VGP)”**.

Fecha de consulta: 19 de mayo de 2023. Disponible en:

<[https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp\\_permit2013.pdf](https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp_permit2013.pdf)>

[25] Yustiani, Y. M. (2021). –**“Deoxygenation rate coefficient in modeling the quality of urban rivers in Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 802(1)”**.

Fecha de consulta: 19 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1088/1755-1315/802/1/012022>>

[26] RINA. (2017). – **“Rules for the Classification of Naval Ships. Part E. Additional Class Notations”**.

Fecha de consulta: 14 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://www.rina.org/en/rules-for-naval-ships>>

[27] Bureau Veritas. (2022). –**“ NR483. Rules for the classification of Naval Ships. Part E. Additional Class Notations.**

Fecha de consulta: 15 de mayo de 2023. Disponible en:

<[https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/483-NR\\_PartE\\_2022-10.pdf](https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/483-NR_PartE_2022-10.pdf)>

[28] Lloyd’s Register. (2022) –**“Rules and Regulations for the Classification of Ships”**.

Fecha de consulta: 15 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://www.lr.org/en/rules-and-regulations-for-the-classification-of-ships/>>

[29] Federal Works Agency. (2002.). –**“FEDERAL WATER POLLUTION CONTROL ACT”**.

Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-08/documents/federal-water-pollution-control-act-508full.pdf>>

[30] Nitonye, S., Iduk, U., & Samson, N. (2015). –**“Effects and Solutions of Marine Pollution from Ships in Nigerian Waterway”**.

Fecha de consulta: 28 de mayo de 2023. Disponible en:

< <http://www.ijser.org>>

[31] Bentley, A., & Ballard, I. (2003). –“**BLACK & GREY WATER TREATMENT SOLUTIONS USING MEMBRANE BIOREACTORS**”.

Fecha de consulta: 28 de mayo de 2023. Disponible en:

[www.dieselduck.net](http://www.dieselduck.net)

[32] Butt, N. (2007). –“**The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton**”.

Fecha de consulta: 28 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.03.002>>

[33] Dragović, B., Tzannatos, E., Tselentis, V., Meštrović, R., & Škurić, M. (2018). –“**Ship emissions and their externalities in cruise ports**”.

Fecha de consulta: 29 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.11.007>>

[34] Wilewska-Bien, M., Granhag, L., & Andersson, K. (2016). –“**The nutrient load from food waste generated onboard ships in the Baltic Sea**”.

Fecha de consulta: 29 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.002>>

[35] Parks, M., Ahmasuk, A., Compagnoni, B., Norris, A., & Rufe, R. (2019). –“**Quantifying and mitigating three major vessel waste streams in the northern Bering Sea**”.

Fecha de consulta: 29 de mayo de 2023. Disponible en:

<<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103530>>

[36] Wilhelmsen. (2016). –“**METAL BRITE**”.

[37] Wilhelmsen. (2021). –“**GAMAZYME 700 FN**”.

## 9. GLOSARIO

### ABREVIATURAS

**OMI:** Organización Marítima Internacional.

**GT:** Arqueo bruto.

**NT:** Arqueo neto.

**MARPOL:** Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación de los Buques.

**OilPoil:** Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación del Mar por Hidrocarburos.

**MEPC:** Convenio de Protección del Medio Marino.

**CFR:** Acta Federal del Control de la Contaminación del Agua.

**NaClO:** Hipoclorito de sodio.

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono.

**CaO:** Óxido de calcio.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:** Óxido de fósforo (III).

**K<sub>2</sub>O:** Óxido de potasio.

### UNIDADES Y FACTORES

**Kw:** Quilovatio.

**RD:** Ratio de descarga.

**m:** Metro.

**m<sup>3</sup>:** Metro cúbico.

**h:** Hora.

**L:** Litro.

**BOD:** Demanda Biológica de Oxígeno.

**UBOD:** Demanda Total Biológica de Oxígeno.

**SS:** Sólidos Suspendidos.

**TSS:** Total de Sólidos Suspendidos.

**mg:** Miligramo.

**Kg:** Quilogramo.

**°C:** Grado Celsius.

**V:** Voltio.

**Hz:** Hercio.

**Rpm:** Revoluciones por minuto.

**mm:** Milímetro.

**mL:** Mililitro.

**Pax:** Pasajeros y tripulantes.

**Dw:** Agua de dilución.

**Cp:** Consumo de agua para la preparación de comida.

**Cl:** Consumo de agua para la limpieza de comida.

**Md:** Turno de comida del mediodía.

**DN:** Turno de comida de desayuno y noche.

**Ww:** Factor de corrección del agua de la línea de grasas.

**Qd:** Agua de dilución (línea de grasas).

**Ns:** Capacidad de separación de grasas.

**Ft:** Factor corrector de temperatura del flujo.

**Fr:** Factor corrector de grado de limpieza del flujo.

**Vt:** Capacidad mínima de vacío.

**L:** Carga orgánica.

**k:** Constante de desoxigenación.

**t:** Tiempo de ensayo.

**Kcal:** Kilocaloría.

**10. INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1.1: Características del buque modelo RO-PAX.....	9
Tabla 2.2.1: Características del buque modelo RO-RO. ....	10
Tabla 3.1: Buques a los que aplica el anexo IV del MARPOL.....	12
Tabla 3.2: Definición de aguas sucias .....	13
Tabla 3.3: Opciones para el tratamiento de aguas sucias.....	13
Tabla 3.4: Condiciones de descarga de aguas sucias. ....	13
Tabla 3.5: Cálculo del ratio de descarga. ....	14
Tabla 3.6: Excepciones para la descarga de aguas sucias. ....	15
Tabla 3.7: Especificaciones de la conexión de descarga a tierra. ....	15
Tabla 3.8: Condiciones de descarga en el mar Báltico. ....	17
Tabla 4.1.1: Composición de las heces. ....	20
Tabla 4.2.1: Características técnicas de la planta EVAC Marine 90. ....	23
Tabla 4.2.1.1: Excel de mantenimiento de la planta séptica EVAC Marine 90. ....	28
Tabla 4.2.2.3.1 : Plantilla de descargas del tanque de aguas negras. ....	38
Tabla 4.3.1: Características técnicas de la planta Facet STP-2. ....	40
Tabla 6.1.1: Cálculo de agua de dilución mínima requerida. ....	56
Tabla 6.1.2: Cálculo del consumo de agua de dilución diario. . ....	57
Tabla 6.1.3: Comparativa de aguas grises teóricas y reales.....	57
Tabla 6.2.1: Cálculo del factor de corrección y la cantidad de aguas grises de la línea de grasas. ....	59
Tabla 6.2.2: Cálculo de el agua de dilución de la línea de grasas. ....	60
Tabla 6.2.3: Cálculo del caudal de la línea de grasas. ....	60
Tabla 6.3.1: Cálculo de la capacidad mínima de vacío total de la planta y de cada línea. ....	62
Tabla 6.3.2: Cálculo de la capacidad de las nuevas cajas de vacío y vacío liberado a la línea general. . ....	63
Tabla 6.4.1: Valores de k según tipo de agua. ....	64
Tabla 6.4.2 : Cálculo de la constante de desoxigenación durante la renovación de aguas de la planta. ....	65
Tabla 6.4.3 :Proceso de nitrificación. ....	66
Tabla 6.4.4: Efectos teóricos en el afluente de descarga mediante el uso de nitritos. .	66

Tabla 6.5.1: Determinación de la cantidad sobrante de comida .....68

**11. INDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1.1 : Buque modelo RO-PAX. ....	8
Figura 2.2.1 : Buque modelo RO-RO. ....	10
Figura 3.1 : Cronología del MARPOL73/78. ....	11
Figura 3.2 : Mapa de zonas sensitivas. ....	16
Figura 4.1.1: Respectivamente, sistema eyector de la planta y bomba de vacío individual de retrete. ....	18
Figura 4.1.2: Esquema de funcionamiento teórico de una planta séptica. ....	19
Figura 4.2.1: Funcionamiento de la planta EVAC 90. . ....	23
Figura 4.2.2 : Líneas de vacío. ....	25
Figura 4.2.3 Caja de vacío independiente. ....	26
Figura 4.2.4: Esquema de funcionamiento de un tanque de grasas. ....	27
Figura 4.2.1.1.1: Respectivamente, Cajas de charnelas (1, 2,3) y eyectores limpios. ....	29
Figura 4.2.1.2.1: Limpieza de los filtros colectores. ....	30
Figura 4.2.1.3.1: Renovación de agua en las cámaras de aireación. ....	31
Figura 4.2.1.4.1 : Circuito de suministro de Defoamer. . ....	32
Figura 4.2.1.4.2: Respectivamente, pictogramas de Metalbrite y paquetes de Gamazyme. ....	33
Figura 4.2.1.5.1 : Tanque de grasas y grasa acumulada. ....	33
Figura 4.2.1.6.1 : Unidades de vacío de los servicios de los camarotes. ....	35
Figura 4.2.2.1.1 : Capa de grasa sin desmenuzar en el tanque de desinfección. ....	36
Figura 4.2.2.1.2 : Esquema de la descarga al tanque de aguas negras o al mar. ....	36
Figura 4.2.2.2.1: Dilución del lodo solidificado. ....	38
Figura 4.2.2.3.1: Tanque de aguas negras. ....	39
Figura 4.3.1: Funcionamiento de la planta STP-2. ....	40
Figura 4.3.2: Planta séptica STP-2. ....	41
Figura 4.3.3: Válvulas de descarga de aguas negras. ....	41
Figura 4.3.1.2.1: Respectivamente sensor de nivel (1) y filtro previo a la descarga (2). ....	43
Figura 4.3.1.4.1: Sistema de dosificación química. (2003). ....	44
Figura 4.3.2.1.1: Respectivamente, Válvula de aguas grises cerrada correctamente y de aguas negras cerrada en mal estado. ....	46
Figura 4.3.2.1.2: Resultado del contraflujo. . ....	46

Figura 5.2.1: Exceso de comida sobrante a medianoche.....	52
Figura 5.2.2: Comparativa de líneas de vacío.....	53
Figura 6.1.1: Entrada de las aguas grises de dilución en la planta.....	56
Figura 6.1.2: Tabla de sondas del tanque FW02 de agua sanitaria.....	57
Figura 6.5.1: Determinación de la cantidad sobrante de comida.....	68

**12. INDICE DE ECUACIONES**

2.2.1.Volumen de barrido.....	14
2.2.2 Ratio de descarga .....	14
6.1.1. Agua de dilución requerida .....	55
6.1.2 Producción de agua de dilución .....	57
6.1.3.Diferencia real teórica de agua de dilución.....	57
6.2.1.Consumo de agua para preparación de comida .....	58
6.2.2.Consumo de agua para limpieza de cocina .....	59
6.2.3.Agua de dilución de la línea de grasas .....	59
6.2.4.Caudal de la línea de grasas .....	60
6.2.5.Flujo máximo de agua y grasas.....	60
6.3.1.Capacidad mínima total de vacío .....	61
6.4.1. UBOD .....	65
6.4.2.Oxidación a nitríto .....	66
6.4.3. Oxidación a nitrato .....	66
6.4.4.BOD <sub>5</sub> .....	66
6.5.1. Metabolismo Basal de Mifflin.....	68

Escuela Técnica Superior de Náutica e Máquinas



**MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA**

## **ANEXO I**

# **PLANTILLA DE LA ENCUESTA PARA LA TRIPULACIÓN SOBRE EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SÉPTICA**

# Encuesta sobre el dimensionamiento de la planta séptica de a bordo

1. ¿De media, cuantas veces usas el baño al día ? (Excreción)

*Marca solo un óvalo.*

1

2

3 o más.

2. ¿Crees que la dieta a bordo influye en el número de usos y cantidad generada?  
¿De qué modo?

---

---

---

---

---

3. ¿Has experimentado problemas de vacío en tu camarote por atasco? En caso afirmativo, ¿Con qué frecuencia?

*Selecciona todos los que correspondan.*

No.

Si, de forma anecdótica

Si, con frecuencia.

4. Si tu respuesta anterior ha sido Si, con frecuencia:

*Marca solo un óvalo.*

- Cada 1 o 2 días.  
 Semanalmente.  
 Quincenal.

5. ¿Separas el papel higiénico a parte o también es desechado en el baño?

*Marca solo un óvalo.*

- Si  
 No

6. Has saturado alguna vez el vacío de tu camarote?

*Marca solo un óvalo.*

- Si  
 No

7. (Para personal de fonda y fontanero): Cuantos problemas relacionados con el vacío de retretes hay diariamente? ¿Cuál es la causa de éstos?

---

---

---

8. (Fontanero):¿Qué otros tipos de materiales u objetos has desechado/suelen desecharse por el retrete?

---

---

---

---

---

---

Escuela Técnica Superior de Náutica e Máquinas



**MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA**

## **ANEXO II**

# **ESTUDIO DE LA DIETA A BORDO**

En primer lugar quiero agradecer a mi amigo y nutricionista Daniel Rubira Rodríguez por su invaluable colaboración desinteresada desde un instante inicial para ayudarme a analizar y optimizar la dieta a bordo.

A continuación se adjuntan los menús de la dieta que hay a bordo, aunque el registro se efectuó durante 30 días, de modo representativo se adjuntan 3 días seleccionados aleatoriamente para situar al lector:

-28 de noviembre de 2022:

**Desayuno**

Cereales, fruta, galletas o bollería a elegir

**Almuerzo**

Macarrones a la carbonara

Guiso de calamar con patata

Lomo a la plancha

Postre

**Cena**

Sopa

Lubina a la plancha

Carne con tomate

Postre

-9 de diciembre de 2022:

**Desayuno**

Cereales, fruta, galletas o bollería a elegir

**Almuerzo**

Potaje de alubias blancas

Pez espada a la plancha

Lomo adobado

Postre

**Cena**

Sopa

Tortilla de atún

Ternera Asada

Postre

-28 de diciembre de 2022:

**Desayuno**

Cereales, fruta, galletas o bollería a elegir

**Almuerzo**

Potaje de alubias pintas

Zorza de pollo

Fritura de pescado

Postre

**Cena**

Sopa/ensalada

Pasta a la carbonara

Filete de ternera

Postre