



Universidad
de La Laguna

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCIÓN DE NÁUTICA, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL

TRABAJO FIN DE GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO DE LOS PROCESOS DE DESALACIÓN EN BUQUES

AUTOR: VÍCTOR ALEJANDRO MACHICAO NOCERINO

DIRECTOR: G. NICOLÁS MARICHAL PLASENCIA
CODIRECTOR: DEIVIS AVILA PRATS.

Septiembre, 2019

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

1 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

1 / 72



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats Date: 10/09/2019 09:02:51
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia Date: 10/09/2019 13:11:28
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	vi
ABREVIATURAS:	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
ANTECEDENTES	1
1. Situación del agua a nivel mundial.....	2
2. Concepto de desalación.	3
3. Estado de la desalación terrestre a nivel mundial.	4
4. Métodos de desalación de agua de la mar.....	5
4.1. Desalación por cambio de fase	7
4.1.1. Destilación por múltiple efecto (MED)	7
4.1.3. Desalinización por congelación.	9
4.1.4. Desalinización por compresión de vapor (CV).....	11
4.2. Desalación por membranas.....	12
4.2.1. Ósmosis Inversa	14
4.2.2. Electrodiálisis	16
5. El agua potable en los viajes marítimos.	17
5.1. Consumo medio de agua potable en un buque.	19
6. Estado de la desalación en los buques marítimos.	20
6.1. Buques convencionales	21
6.2. Cruceros.....	22
CASO PRÁCTICO.....	23
7. Información general de las desaladoras de agua del Ferry “Volcán de Taburiente”	24
7.1. Características de la unidad.	25
7.2. Principio de Operación del sistema.....	27
7.3. Fuente calorífica	29
7.4. Agua producida.....	30
8. Equipos que componen el sistema de destilación.	31

iii

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

3 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

3 / 72

8.1. Recipiente de Destilación.....	31
8.2. Placas Deflectoras y Separador de Vapor	32
8.3. Intercambiadores de Calor y Tapas.....	32
8.4. Bomba de Agua Salada	33
8.5. Eyector Aire/Salmuera.	35
8.6. Válvula del Control de Alimentación	36
8.7. Bomba de Extracción del Agua Destilada.....	37
8.8. Sistema de Distribución de Destilado.	37
8.9. Cuadro Eléctrico Maniobra y Control.....	38
9. Puesta en marcha del generador de agua dulce.....	40
10. Parada del Generador de Agua Dulce	41
11. Condiciones de Operación.....	42
12. Aspectos a tener en cuenta	43
13. Averías más comunes en los sistemas de destilación.	44
14. Inspección y Mantenimiento	46
14.1. Sistema de Agua Salada.....	46
14.2. Sistema de agua destilada.	47
14.3. Prueba hidráulica.	50
15. Mantenimiento y precauciones eléctricas.....	50
15.1. Cuadro eléctrico	50
16. Control y monitoreo de los procesos de desalación del buque Volcán de Taburiente. ..	51
17. Conclusiones.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:	61

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del agua de mar.

Tabla 2. Ranking mundial de los 10 países con mayor capacidad para desalar agua.

Tabla 3. Procesos de desalinización del agua.

Tabla 4. La cantidad de agua total que consume un buque al día según su número de tripulantes.

Tabla 5. Elementos de un generador de agua dulce.

Tabla 6. Especificación bomba A/S.

Tabla 7. Especificación bomba A/D.

Tabla 8. Puntos de control de un potenciómetro.

Tabla 9. Datos de operación del generador de agua.

Tabla 10. Posibles averías, causas y solución para la alta salinidad del agua producida.

Tabla 11. Comprobaciones rutinarias en el sistema de A/S.

Tabla 12. Comprobaciones rutinarias. En el sistema de A/D.

v

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

5 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

5 / 72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- **Figura 1:** Distribución del agua en el mundo
- **Figura 2:** Alambique.
- **Figura 3:** Funcionamiento de un sistema de destilación multiefecto (MED).
- **Figura 4:** Funcionamiento de un sistema de destilación súbita multiefecto (MSF).
- **Figura 5:** Procedimiento de desalación por congelación.
- **Figura 6:** Funcionamiento de un evaporador por compresión mecánica de vapor (CMV).
- **Figura 7:** Corriente de flujos de una membrana.
- **Figura 8:** Grosor de membranas según el método de desalación.
- **Figura 9:** Esquema de una célula electrodiálisis.
- **Figura 10:** Principio de funcionamiento de un proceso de ósmosis inversa.
- **Figura 11:** Partes y funcionamiento de un Evaporador.
- **Figura 12:** Producción de agua destilada según la temperatura de agua de calefacción.
- **Figura 13:** Cámara de Vaporización y Condensación.
- **Figura 14:** Elementos de un intercambiador de calor.
- **Figura 15:** Eyector Aire/Salmuera.
- **Figura 16:** Sistema de descarga de agua destilada.
- **Figura 17:** Partes de una bomba de agua salada.
- **Figura 18:** Partes de una bomba de agua destilada.
- **Figura 19:** Esquema de conexión eléctrica.
- **Figura 20:** Conector eléctrico DIN 43650.

vi

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

6 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

6 / 72

ABREVIATURAS:

- A → Amperios.
- A/D → Agua destilada.
- A/S → Agua salada.
- BBA → Bomba.
- C.E. → Cuadro eléctrico.
- CV → Caballo de vapor.
- Kg → Kilogramos.
- m.c.a → Metros de columna de agua.
- P.P.M → Partes por millón.
- V → Voltios.
- W → Vatios.

vii

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

7 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

7 / 72

RESUMEN.

En este Trabajo de Fin de Grado se abordará el origen de la desalación en el mundo marítimo y, por consiguiente, la evolución de los procesos de desalación de agua de mar. Para asegurar una comprensión global del tema en cuestión, se abordarán temas como, las propiedades del agua de mar y agua dulce y, el consumo total de agua potable en un buque.

Por otro lado, se hace énfasis en el estado actual de la desalación en general, aunque, haciendo especial hincapié en el mundo marítimo.

Por último, se abordarán los procesos de desalación más extendidos a nivel industrial, tomando como referencia el sistema de desalación por vaporización a vacío y tubo sumergido, por ser el sistema instalado en el barco “Volcán de Taburiente”, Ro/Pax donde se desarrolla parte de la investigación. Se darán a conocer los principios de funcionamiento que lo rigen, los sistemas de control que presentan y el uso del agua obtenida. También se abordarán temas como, averías, ejecución y tipos de mantenimiento. Se emitirán una serie de propuestas para la posible mejora del sistema.

viii

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

8 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

8 / 72

ABSTRACT

This Project will be talk about the origin of desalination in the maritime world and the evolution of seawater desalination processes. To ensure a global understanding of the subject in question, topics will be discussed like, properties of seawater and freshwater and the total human consumption of drinking water on a ship.

On the other hand, emphasis is it placed on the current state of desalination in general, though, with special emphasis on the maritime world.

Finally, it talks about desalination processes most popular in the industrial sector, taking as a reference the desalination system by submerged tube type fresh water generator, which is installed in the ship `` Volcan de Taburiente ", Ro / Pax where Part of the research is developed. It will be the operating principles the control systems and the use of the water obtained Also will talk topics like faults, implementation and types of maintenance. A series of proposals will be issued for the possible improvement of the system.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

INTRODUCCIÓN.

Hoy en día la preocupación por la escasez de agua potable en el mundo está siendo de gran importancia en los diferentes foros medioambientales y de gobernanza mundial, en consecuencia, hay una continua búsqueda de nuevas alternativas para su producción y constantemente se plantean nuevos e innovadores desarrollos o diseños que procuran su abastecimiento, recuperación y aprovechamiento (Soumaya, 2013).

Actualmente existen varios procesos para desalar el agua de mar con el fin de hacerla potable y satisfacer las necesidades de las personas.

En el mundo marino hay dos procesos de desalación que son más utilizados que el resto, la osmosis inversa y la desalación por vaporización a vacío y tubo sumergido. (García, 2017)

La osmosis inversa es utilizada en buques de grandes dimensiones (cruceros) que se requieren grandes cantidades de agua potable para poder abastecer a toda la tripulación y los pasajeros a bordo.

La desalación por vaporización a vacío y tubo sumergido, el cual es el tema principal de este trabajo y se encuentra presente en el buque “Volcán de Taburiente”. Este sistema de desalación abunda en buques convencionales y el uso del agua del resultado del proceso suele ser para aguas técnicas (maquinaria).

El **objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es:** El análisis del sistema de desalación por vaporización a vacío y tubo sumergido, que se encuentra instalado el Ferry Ro/Pax. “Volcán de Taburiente”. En el mismo se llevará a cabo un estudio de los diferentes componentes que constituyen al sistema de desalación, así como su principio de funcionamiento, primera puesta en marcha del sistema de desalación, paso a paso, averías más comunes, mantenimiento e inspecciones, por último, se analizaran las diferentes medidas para controlar y monitorear el sistema de desalación.

x

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

10 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

10 / 72

ANTECEDENTES

1

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

11 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

11 / 72

1. Situación del agua a nivel mundial.

Desde el principio de los tiempos el agua dulce ha sido un elemento del cual se necesita para vivir, y con el paso de los años se ha convertido en un bien escaso, por lo que, se ha tenido que ampliar la perspectiva de futuro e inventar nuevos métodos capaces de obtenerla de los mares. En la Figura 1 se muestra la diferencia porcentual entre el agua dulce y salada (Agua en el mundo, 2011).

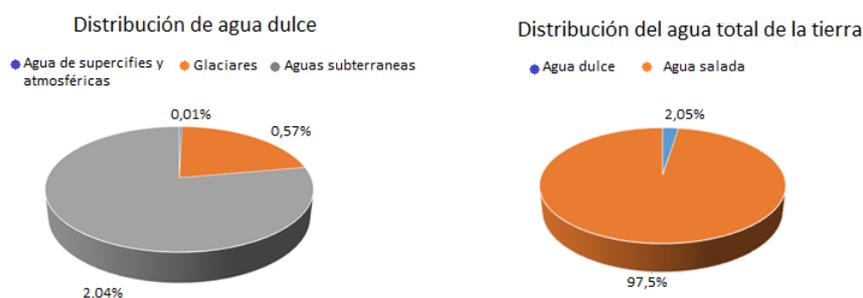


Figura. 1. Gráficos Sobre la Distribución del Agua. Elaboración propia. (Fuente: Agua en el mundo, 2011).

Tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas de agua. No obstante, el 97,5% del total de agua que existe en nuestro planeta deriva de los océanos y tiene una salinidad promedio de más de un 3,0% en peso, dentro de la cantidad de agua dulce, alrededor de 2,04% del total se encuentra en forma de hielo y nieve en zonas polares y cadenas montañosas, con lo cual no es aprovechable por el ser humano a consecuencia de su difícil acceso. Por lo tanto, solo una cantidad inferior al 0,6% es agua dulce de la cual no toda es apta para el consumo (Martínez, 2018).

Tal es la gravedad de la situación que el sexto punto de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) es precisamente lograr conseguir agua limpia y saneamiento en todo el mundo para el 2030 (ODS, 2019). En este contexto mundial, la desalación de agua de mar, por la cual se obtiene agua potable eliminando la sal del agua, podría ser una solución muy viable para el problema de la falta de agua (Martínez, 2018), aunque con un elevado consumo energético, lo cual no deja de ser un problema si procede de fuentes tradicionales de producción como termoeléctricas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

2. Concepto de desalación.

La desalación es el proceso por el cual el agua de mar, que contiene 35.000 ppm, aproximadamente (partes por millón) del total de sólidos disueltos (T.S.D), y las aguas salobres las cuales contienen entre 5.000 a 10.000 ppm de T.S.D., se convierte en agua dulce apta para el consumo del hombre, uso doméstico y utilización industrial (López, 2015).

El valor estándar del agua dulce puede variar según el país, no obstante, la Organización Mundial de la Salud (OMS) la define como una solución acuosa que contiene menos de 500 ppm del T.S.D. (López, 2015).

El grado de salinidad puede variar según los océanos, pero las proporciones relativas de los principales constituyentes son las mismas (López, 2015).

En la tabla 1 se puede observar los principales constituyentes del agua de mar, así como el total de sales del contenido. Estos valores están calculados a partir de 1 litro de agua (López, 2015).

Tabla 1. Composición química del agua de mar para 1 litro de agua. (Fuente: López, 2015).

Sal	Gramos (g)	Total de sales (%)
Cloruro de sodio	27,213	77,758
Cloruro de magnesio	3,807	10,878
Sulfato de magnesio	1,658	4,737
Sulfato de calcio	1,26	3,6
Sulfato de potasio	0,863	2,465
Carbonato de calcio y trazas de otras sales	0,126	0,345
Bromuro de litio	0,076	0,217
TOTAL	35,003	100,00

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

3. Estado de la desalación terrestre a nivel mundial.

Si bien es cierto que transformar agua salada en agua dulce ha sido un gran reto para el ser humano desde hace mucho tiempo, históricamente, hay constancia de la definición de los principios para separar el agua de las sales desde la Grecia clásica. Sabios como Tales de Mileto y Demócrito (siglo VII a.C.) afirmaron que el agua dulce podía obtenerse por filtración de agua de mar a través de la tierra. Posteriormente Aristóteles analizó en su obra Meteorología que “el agua salada, cuando se convierte en vapor, se vuelve dulce y el vapor no vuelve a formar agua salada cuando se condensa” siendo él quien creó unos de los primeros evaporadores (Martínez, 2018).

Durante el primer siglo d.C. los romanos utilizaban filtros de arcilla y lana para contener la sal. El primer trabajo científico registrado sobre la desalación fue publicado por los químicos árabes en el siglo VIII en los cuales se podían encontrar métodos como la destilación, filtrado de agua a través de la arena, el uso de cuencos de cera blanca para absorber la sal, o incluso la evaporación y absorción del vapor en esponjas (Martínez, 2018).

Actualmente más de 150 países en el mundo emplean los sistemas de desalación de agua de mar para cubrir sus necesidades. Como se puede observar en la Tabla 2, entre los países que más llevan a cabo estas tecnologías destacan Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos, España, Kuwait, Argelia, China, Qatar, Japón y Australia (Álvarez y Benavides, 2013).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Tabla 2. Ranking mundial de los 10 países con mayor capacidad para desalar agua. Elaboración propia. (Fuente: Desalinización Yearbook, 2008).

Países	Capacidad (m ³ /día)	Porcentaje de la producción mundial (%)
1. Arabia Saudita	10.598.000	17
2. Emiratos Árabes Unidos	8.743.000	14
3. Estados Unidos de América	8.344.000	14
4. España	5.428.000	9
5. China	2.553.000	4
6. Kuwait	2.390.000	4
7. Katar	2.049.000	3
8. Argelia	1.826.000	3
9. Australia	1.508.000	2
10. Japón	1.153.000	2

De entre todos los países que utilizan la desalación como una fuente de recursos hídricos, oriente medio dirige los primeros puestos en cuanto a la capacidad de producción, le sigue muy cerca Estados Unidos y España (Álvarez y Benavides, 2013).

El uso de las tecnologías de desalación ha aumentado considerablemente en los últimos años. Enfrentándose al propósito de combatir la sequía mundial y para la búsqueda de nuevas fuentes de agua dulce. Es importante tener en cuenta que según datos aportados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que el 11% de la población del mundo no tiene acceso al agua potable y que aproximadamente un 20% de la población mundial vive en países donde el agua escasea (Álvarez y Benavides, 2013).

4. Métodos de desalación de agua de la mar.

En este apartado se explican los diferentes métodos que existen para la desalinización de agua de mar y salobre, y los procesos presentes en cada método.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Actualmente existen una gran variedad de métodos para la separación del agua y la sal. En la Tabla 3 se puede observar las diferentes tecnologías y la energía empleada. Aunque en la tabla pueda observarse más de diez tipos diferentes, no todos sirven para desalinizar agua en grandes cantidades. Los distintos métodos de desalinización están divididos en dos grupos, desalinización térmica o cambio de fase y por membranas. En el primer grupo se encuentran aquellas tecnologías en las que es necesario un aporte o extracción de energía con el fin de obtener un cambio de fase, ya sea por evaporación o congelación. Dentro de este grupo se encuentra la destilación por múltiple efecto (MED), evaporación súbita por efecto flash (MSF), desalinización por congelación (CO), y la compresión de vapor (CV) (Alcaide, 2017).

En el segundo grupo se encuentra los grupos que emplean la tecnología de membranas para separar el agua de la sal. En este grupo se encuentra la desalinización por osmosis inversa (OI) o por electrodiálisis (ED) (Alcaide, 2017).

Tabla 3. Procesos de desalinización de agua. Elaboración propia. (Fuente: Alcaide, 2017).

Proceso	Energía	Método	Simbología
Evaporación	Térmica	- Evaporación Súbita	MSF
		- Destilación de Múltiple efecto	MED
		- Termo compresión de vapor	TVC
		- Destilación solar	DS
Cristalización	Térmica	- Congelación	CO
		- Formación de Hidratos	FH
Filtración y Evaporación	Térmica	- Destilación con membranas	DC
Evaporación	Mecánica	Compresión mecánica de vapor	CV
Filtración	Mecánica	- Osmosis inversa	OI
Filtración selectiva	Eléctrica	- Electrodiálisis	ED

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

4.1. Desalación por cambio de fase

Desalación térmica

Los procesos de desalación que necesitan energía térmica o calor se comportan de forma similar que el ciclo del agua en la naturaleza, se calienta el agua salada hasta el punto de ebullición, se produce vapor que posteriormente condensado pasa a formar el agua destilada. Los métodos más empleados escala industrial para la producción de agua son:

4.1.1. Destilación por múltiple efecto (MED)

La desalinización por múltiple efecto MED consiste en hacer pasar el agua por múltiples evaporadores en serie. El proceso consiste en alimentar el sistema mediante vapor procedente de una fuente externa en la primera etapa. En esa misma etapa el agua salada es pulverizada sobre los tubos de vapor, produciéndose una evaporación en la cara de los mismos. En cada etapa se disminuye la presión, necesitando así una temperatura menor para la evaporación, y se aprovecha el calor de condensación de la etapa anterior para calentar el agua destilar en la siguiente etapa. El agua de mar que no se ha evaporado o condensado es bombeada hasta la siguiente etapa donde se volverá a pulverizar sobre los tubos que transportan el vapor formado en la etapa anterior. Finalmente, el vapor de extraído de la evaporación del agua de mar de la segunda etapa y las posteriores, condensa obteniendo agua dulce (Alcaide, 2017).

El porcentaje final de aprovechamiento de agua mediante destilación por múltiple efecto está aproximadamente entre el 30% - 40%, dependiendo de varios factores como la temperatura de entrada del vapor o la calidad de agua de alimentación. Las estaciones MED suelen tener una capacidad de producción de agua potable de 600 – 30.000 m³/día. Las primeras plantas térmicas de desalinización empleaban la tecnología MED, pero fueron rápidamente sustituidas por tecnologías MSF, debido a un menor coste y una mayor capacidad. En la Figura 2 se muestra un esquema simplificado de un proceso de destilación de múltiple efecto (Alcaide, 2017).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

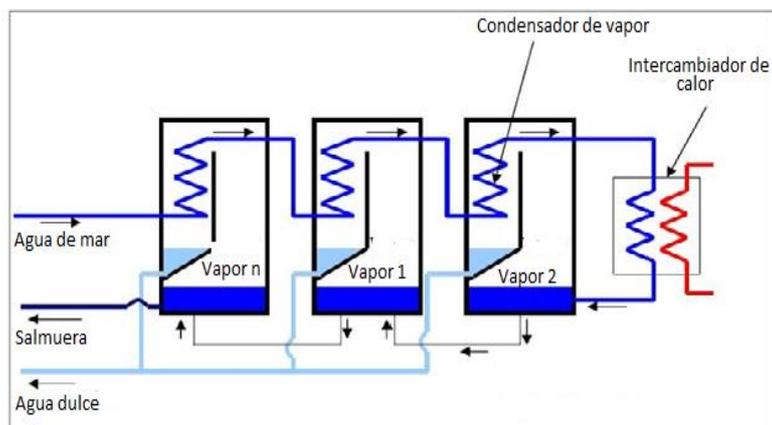


Figura 2. Funcionamiento de un sistema de destilación de múltiple efecto (MED). (fuente: Ros, 2011).

4.1.2. Destilación súbita en múltiples etapas (MSF)

El principio de funcionamiento de este método se basa en la evaporación y posterior condensación del agua de mar. Este método es muy parecido al método MED anteriormente explicado, pero con algunas diferencias (Alcaide, 2017).

En este proceso la mezcla de alimentación se calienta a través de un intercambiador de calor en el cual es necesario usar una fuente externa de calor. El agua previamente calentada entra en una cámara a una presión menor por debajo de la presión de saturación produciéndose una evaporación súbita. Dicho vapor se condensa mediante intercambiadores de calor aportando calor al agua que no se ha evaporado y pasa a la siguiente etapa donde la presión es menos a la etapa anterior (Alcaide, 2017).

El agua de alimentación se mezcla con la salmuera, originando la mezcla de alimentación con el propósito de aumentar la eficiencia del proceso y reducir el porcentaje de agua de rechazo (Alcaide, 2017).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

En la Figura 3 se muestra un esquema simplificado de desalación súbita por múltiple efecto.

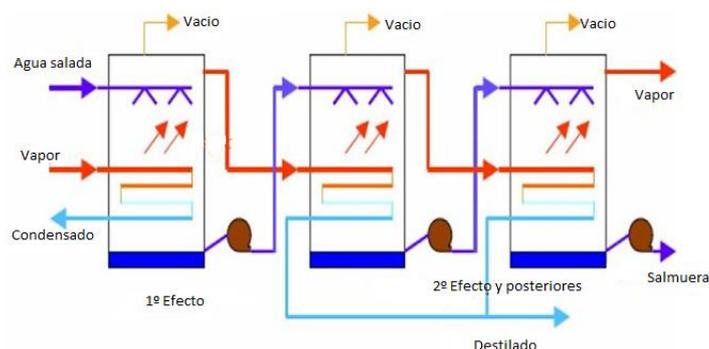


Figura 3. Desalación súbita por múltiple efecto. (Fuente:Ros, 2011).

Estos sistemas son difíciles de operar y mantener a causa de la complejidad de los sistemas de condensación, intercambiadores de calor, sistemas de purga y control del agua de rechazo (Alcaide, 2017).

La capacidad media de producción de agua de las plantas MSF varían entre 10.000 – 35.000 m³/día, dependiendo del número de etapas pudiendo variar entre 4 y 40 (Alcaide, 2017).

Actualmente, las plantas MSF han sustituido a las plantas MED llegando a ser la segunda tecnología con mayor capacidad mundial por detrás de la desalación por ósmosis inversa (OI) (Alcaide, 2017).

4.1.3. Desalinización por congelación.

Este método consiste en enfriar el agua salada bajo condiciones controladas de tal manera que se formen cristales de hielo de agua dulce, para posteriormente fundirlos y tratar el agua obtenida para hacerla apta para el uso o consumo. El sistema presenta una serie de ventajas e inconvenientes frente al método MED. Por un lado, el consumo energético y la corrosión de las instalaciones son menores. Por otro lado, la complejidad de la instalación es mayor debido a los sistemas de

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

aislamiento necesarios para mantener la temperatura de congelación y los sistemas de extracción de los cristales de hielo formados (Alcaide, 2017).

Actualmente no existe una gran implementación de este tipo de plantas desalinizadoras y se puede decir que su tecnología aún le queda camino por recorrer (Moya, 1997).

Lo que llama la atención del proceso de congelación es que la energía requerida para congelar un kg de agua es aproximadamente igual a la sexta parte de la que se necesita para evaporarla (Moya, 1997).

Existen dos técnicas de desalinización por congelación:

- Congelación por expansión. El agua de mar se pulveriza en una cámara a una temperatura de -4°C y una presión de 0,004 bares. Debido a la baja presión, el agua pulverizada se evapora, para instantes después congelarse debido a la baja temperatura. Con el fin de mantener el vacío en la cámara, es necesario extraer el vapor de agua continuamente (Alcaide, 2017).

En la Figura 4 se muestra un sistema de desalación por congelación mediante expansión.

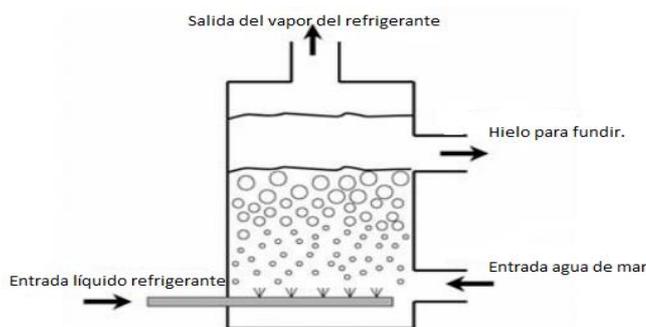


Figura 4. Sistema de desalación por congelación mediante expansión. (Fuente: Khadije El Kadi, 2017).

- Congelación mediante refrigerante. Consiste en congelar el agua con ayuda de un compuesto refrigerante que circula a través de un serpentín alrededor del recipiente donde

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

está el agua. De esta manera se consigue enfriar el agua salada formándose los cristales de agua pura en la superficie (Alcaide, 2017).

En la Figura 5 se puede observar un breve esquema de la desalación por congelación mediante refrigerante.

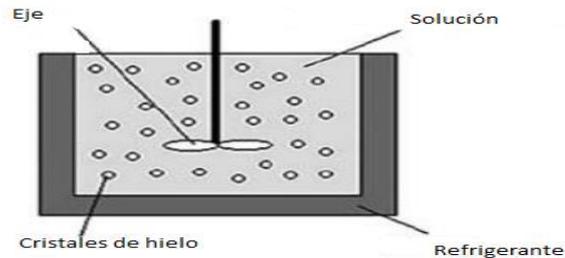


Figura 5. Esquema de un sistema de desalación por congelación mediante refrigerante. (Fuente: Khadije El Kadi, 2017).

4.1.4. Desalinización por compresión de vapor (CV)

En la Figura 6 hay tres secciones importantes: un compresor movido por un motor, evaporador que puede variar entre una o varias etapas y un intercambiador de calor.

El agua bruta se precalienta a través del intercambiador de calor (1) y es totalmente introducida al ciclo, posteriormente se mezcla con una parte de la salmuera y forma la alimentación, el cual se bombea al interior del evaporador y se rocía, a través de unas toberas (2), sobre los tubos del condensador. Esta alimentación se calienta hasta alcanzar la temperatura de saturación en relación a la presión de dentro del evaporador y, al seguir absorbiendo calor una parte se evapora. Este vapor obtenido pasa primero por unas mallas separadoras de gotas llamada (demisters) y posteriormente entra en la aspiración del compresor (3), el cual lo comprime obteniendo como resultante una presión más alta, convirtiéndose en un vapor recalentado. Este vapor entra en el interior de los tubos del evaporador donde posteriormente después de perder su calor sensible se condensará, cediendo así el calor a la alimentación que está cayendo por el exterior de los tubos (4). El resultado es extraído mediante una bomba y dado que tiene calor sensible es enfriado en un

intercambiador de placas (1), calentando el agua de mar que se incorpora al ciclo (Arreguín y Martín, 2000).

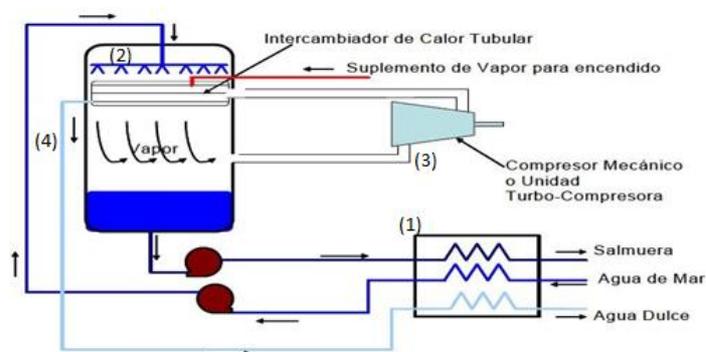


Figura 6. Funcionamiento de un evaporador por compresión mecánica de vapor (CMV). Fuente: (Roa, 2013).

4.2. Desalación por membranas

Las membranas son materiales porosos que actúan como un filtro muy específico el cual solo dejan pasar el agua (permeado), mientras que retiene los sólidos suspendidos e iones (cationes o aniones) en forma selectiva (concentrado). En la figura 7 se puede apreciar las corrientes de flujo de una membrana (Díaz, 2008).

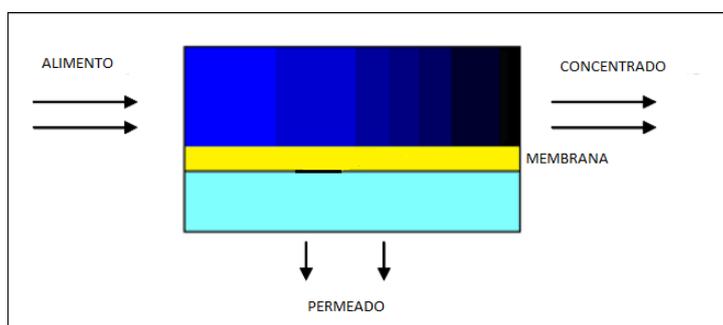


Figura 7. Esquema de las corrientes de flujo en una membrana. (Fuente: Díaz, 2008).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60Ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Para que este fenómeno se lleve a cabo es necesario tres factores: aplicar una alta presión, mantenimiento de un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico (Díaz, 2008).

Las filtraciones de membranas se pueden dividir en dos grupos, micro filtración y ultra filtración por una parte y nano filtración y ósmosis inversa por la otra (Díaz, 2008).

Las tecnologías de micro filtración y ultrafiltración se utilizan para separar partículas más grandes, debido al carácter abierto de las membranas su productividad es alta mientras que las diferencias de presión son bajas (Díaz, 2008).

Cuando se requiere desalinizar el agua, se aplican las tecnologías de nano filtración y la ósmosis inversa. Esto se debe a que las presiones con las que trabaja este sistema son mucho más altas que la requerida para micro y ultra filtración mientras que la productividad es mucho más baja (Díaz, 2008).

Además, existe una tecnología de membrana llamada electrodialísis que no pertenece a este grupo, debido a que su principio de funcionamiento es distinto, pero si posee una membrana separadora, la cual tiene un grosor aproximado de tres nanómetros (Sadhvani, 2009). En la Figura 8 podemos observar los diferentes tipos de grosores de membranas según el método de desalación.

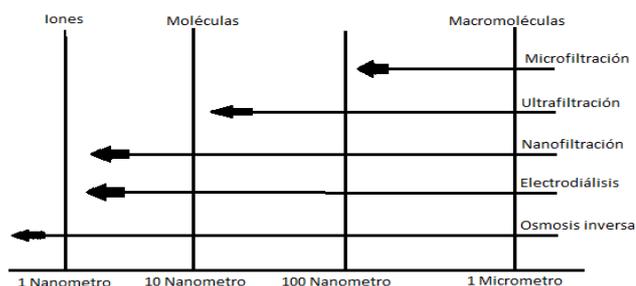


Figura 8. Grosor de membranas según el método de desalación. Elaboración propia. (fuente: Díaz 2008).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats Date: 10/09/2019 09:02:51
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
 La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia Date: 10/09/2019 13:11:28
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

4.2.1. Ósmosis Inversa

La Ósmosis es un proceso físico que ocurre constantemente en la naturaleza. Este proceso se lleva a cabo cuando dos soluciones de diferentes concentraciones están separadas por una membrana semipermeable produciéndose así, una diferencia de presiones a ambos lados de la membrana. Esta membrana permite el paso del solvente, pero no del soluto, consiguiendo que la disolución menos concentrada pase a través de la membrana hasta igualar las presiones a ambos lados. La diferencia de altura obtenido cuando ambas soluciones tienen la misma concentración se denomina presión osmótica (Alcaide, 2017).

En la Figura 9 se puede apreciar los procesos de ósmosis y ósmosis inversa.

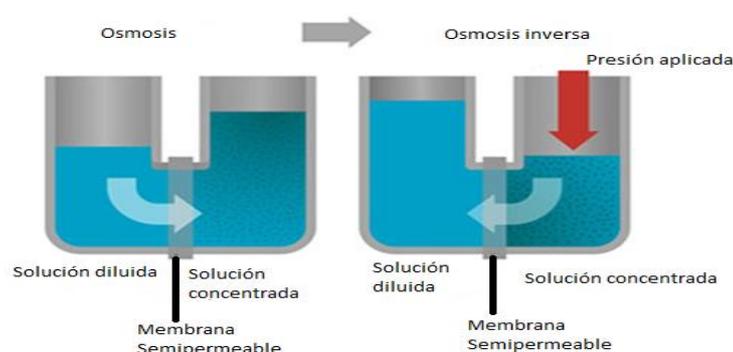


Figura 9. Principio de funcionamiento de un proceso de Ósmosis y de Ósmosis Inversa. (Fuente: Melechon, 2015).

El proceso de ósmosis inversa consiste en hacer pasar por la membrana semipermeable la solución con mayor concentración en soluto hacia el lado con menos concentración. Para que esto se lleve a cabo es necesario que ocurra un aporte de energía externa en forma de presión. Esta presión será aplicada en la zona con mayor concentración y ha de ser mayor que la presión osmótica. Dicha presión depende de la cantidad de sales disueltas en el agua y la concentración final que se desea obtener (Alcaide, 2017).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Como se puede observar en la Figura 10, la desalinización por ósmosis inversa puede diferenciarse cuatro fases (Alcaide, 2017; European unión, 2008):

1. Pretratamiento, en el cual se eliminan los sólidos en suspensión y las partículas de gran tamaño con el fin de preservar el resto del equipo de la planta.
2. Bombeo de alta presión: Después del pre tratado de las aguas se bombea el agua a alta presión y se filtra a través de unas membranas semipermeables (3) que no permiten el paso de sales disueltas.
3. Membranas de ósmosis inversa.
4. Post-tratamiento: El agua resultante del proceso no es apta para consumo humano pues es precisamente en esta etapa donde se trata mediante filtración, esterilización y adición de cloro y otras sustancias químicas.

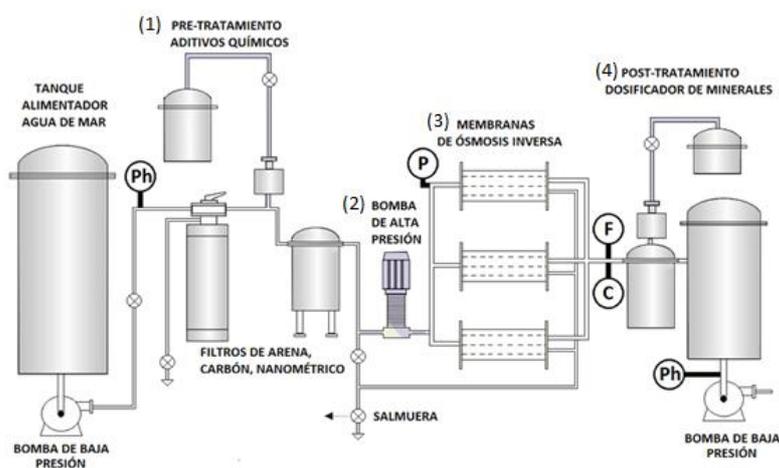


Figura 10. Diagrama de una planta de ósmosis inversa. (Fuente: Pérez, 2014).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Al no ser necesario un cambio de fase durante el proceso de ósmosis inversa, la energía requerida depende del consumo eléctrico de las bombas del proceso, mayoritariamente de las bombas de alta presión que son las encargadas de que se produzca el fenómeno de ósmosis inversa. La presión necesaria puede variar desde los 17 bar para el agua salubre, hasta los 55 – 82 bares necesarios en el agua de mar (Alcaide, 2017).

La desalinización por ósmosis inversa es el proceso más extendido en todo el mundo con un porcentaje de más de la mitad de la producción total. Además, cabe destacar el amplio rango de producción de este método ya que puede variar desde los 0,1 m³/día, en el uso doméstico y en barcos deportivos, hasta los 600.000 m³ / día en plantas destinadas a la distribución en masa (Alcaide, 2017).

4.2.2. Electrodialisis

La electrodialisis es un método de separación en el cual los iones son transferidos a través de una membrana catiónica-aniónica, hacia una solución con mayor o menor concentración, como resultado del flujo de una corriente eléctrica directa. Podemos encontrar membranas porosas solo para los cationes (aniónicos) o membranas solo para los aniones (catiónicos). Este sistema consta de una cámara separada en compartimentos que a su vez están en paralelos entre sí, con una alternancia de membranas catiónicas y aniónicas. Su funcionamiento es sencillo, se aplica una diferencia de potencial en los extremos de la celda luego entra el agua cruda a través de los espacios que hay entre las membranas, de acuerdo con el sentido de la corriente, uno de los espacios pierde salinidad mientras que el otro aumenta la suya, dando como resultado agua dulce por un lado y salmuera por el otro. Este proceso tiene un inconveniente y es que dependiendo del tipo de agua no es rentable hacer el proceso, ya que, por ejemplo, para el agua de mar, reduce su salinidad en un 40%. No se tratan por electrodialisis aguas con más de 5000 ppm (partes por millón) (Arreguín y Martín, 2000).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

En la Figura 11 Se muestra un sistema de electrodiálisis.

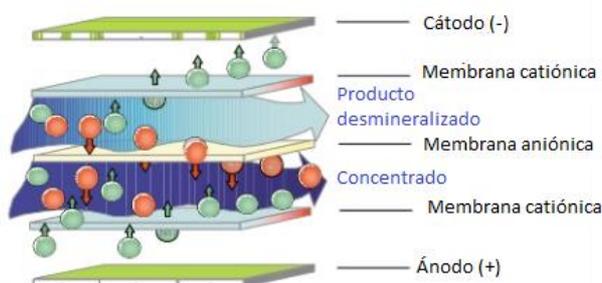


Figura 11. Esquema de un proceso de electrodiálisis. (Fuente: Toledo, 2017).

La capacidad de producción de las plantas que tienen instalado este sistema de electrodiálisis alterna entre 2 – 145.000 m³/día.

5. El agua potable en los viajes marítimos.

En la edad media (V – XV), las ansias por conquistar nuevas tierras aceleraron la búsqueda de sistemas de desalinización, sobre todo los marinos que sufrían la paradoja de pasar penalidades por la falta de agua estando rodeados de ella (Martínez, 2018).

La falta de agua suponía un gran riesgo para la tripulación, puesto que se veían en la necesidad de transportarla, lo que conllevaba a llevarla en toneles o pipas de maderas en las que solo se podía almacenar durante ocho días aproximadamente. Al noveno día, los tripulantes corrían riesgos de que el agua corrompida, fuese un caldo de cultivos de enfermedades como el cólera o la fiebre tifoidea. El contagio de estas enfermedades supondría diarrea, vómitos, fiebre alta, cefaleas, escalofríos, exantema, e incluso, llegando a la defunción en muchos casos (Durango, 2015).

Según Diego Alarcón, jefe de la unidad de desalinización Solar del CIEMAT, los barcos fueron los primeros en implementar sistemas de desalinización a bordo. Esto aportaba múltiples ventajas debido a que contribuía a la seguridad de tener suministros y, por otra, se ganaba más espacio para el transporte de mercancías y personas al no tener pipas o tanques de almacenamiento de agua. Concretamente, las primeras patentes se deben a los ingleses W. Walcot y R Fitzgerald en 1675 y 1683 (Martínez, 2018)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Llegada la navegación a vapor a finales del siglo XVIII se seguían utilizando sistemas de desalación bastante rudimentarios, el aparato que utilizaban no eran más que alambiques (Figura 12) puestos en serie para el abastecimiento de agua mediante destilación (Martínez, 2018)



Figura 12. Alambique. (Fuente: Verema, 2012).

Su funcionamiento era bastante sencillo, solo hacían falta dos marineros para la maniobra y colocar el alambique en el fogón del navío, así el agua se calentaba hasta el punto de ebullición y posteriormente se condensaba por enfriamiento a través del cuello de cisne (Durango, 2015). Este método estuvo extendido muchos años en el sector marítimo y no fue hasta mediados del siglo XX cuando, los evaporadores pasaron de los barcos a tierra, para poder desalar agua en zonas costeras donde no era posible obtenerla de otra forma. La primera patente de planta de desalación fue en 1869 y, fue ese mismo año cuando se inauguró la primera industria de destilación a vapor instalada en tierra para suministrar agua dulce a los buques del puerto. Este sistema fue muy bien aprovechado gracias a su bajo coste de instalación y en contrapuesto el inconveniente de consumir grandes cantidades de energía. Lo cual supondría un problema más adelante entre los 70 y 80 debido a las sucesivas crisis del petróleo, este problema contribuyó la aparición de la ósmosis inversa (OI). Tecnología que en la actualidad es la más extendida tanto en tierra como en el mundo marítimo (Martínez, 2018).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

5.1. Consumo medio de agua potable en un buque.

Para hablar propiamente del consumo de agua dulce en un buque es importante tener en cuenta que hay muchos tipos de buques y diferentes rutas. Por lo tanto, cada uno de ellos dota de características propias que influye en la cantidad de agua potable que se consume a bordo (Soumaya, 2013).

Según la Guía Sanitaria a bordo la utilización del agua en un buque va dirigida principalmente para el consumo directo. Es decir, agua de bebida, de preparación de comida, limpieza de los alimentos, utensilios de cocina y comedor. De forma secundaria se encuentra, el aseo personal, lavandería, limpieza de alojamientos, etc. (Soumaya, 2013).

Esta agua puede ser generada a bordo mediante la desalinización de agua de mar, pero lo más habitual, sobre todo en buques pequeños, es que sea cargada en puerto, en cuyo caso es importante asegurarse que esta tratada, sino deberá de ser tratada a bordo para asegurar su potabilidad. Del mismo modo, habrá que comprobar los tanques de almacenamiento para evitar una posible contaminación de la misma (Soumaya, 2013).

Un aspecto a tener en cuenta es que el circuito de agua potable incluye los depósitos, las bombas y el sistema de distribución, los cuales serán independientes del resto de canalizaciones del buque (Soumaya, 2013).

Al realizar el suministro de agua potable se tendrá en cuenta unas necesidades mínimas por tripulante y día de 32 litros para bebida y cocina y 88 litros/día por tripulante para lavado. Estos datos pueden incrementar dependiendo de las facilidades higiénicas, pudiendo alcanzar un consumo de 200 litros/día por tripulante (Soumaya, 2013).

Una vez obtenido los litros consumidos por cada tripulante al día, este valor se multiplicará por cada tripulante a bordo lo que dará como resultado el consumo total diario del buque (Soumaya, 2013). En la Tabla 4 se puede apreciar los resultados de dicho cálculo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Tabla 4. Cantidad de agua total que consume un buque al día según su número de tripulantes.
(Fuente: Soumaya, 2013).

Valor de V (m ³)	Nº total personas	Consumo diario de agua (L)
<587	9	1.800
>587 – 1.883	13	2.600
>1.883 – 3.327	15	3.000
>3.327 – 6.163	17	3.400
>6.163 – 7.215	18	3.600
>7.215 – 17.550	22	4.400
>17.550 – 34.396	24	4.800
>34.396 – 67.435	25	5.000
>67.435	26	5.200

6. Estado de la desalación en los buques marítimos.

Hoy en día los sistemas de desalación a bordo son indispensables en todos los buques o pequeñas embarcaciones, siendo necesario desde veleros hasta barcos de grandes dimensiones (cruceros) pues es necesario tener una fuente de producción de agua dulce ya sea para aguas técnicas (maquinaria) o potables con el fin de satisfacer las necesidades de la tripulación (García, 2017).

Las producciones de agua dulce a bordo de un buque influyen varios factores: el tipo de buque (carga o pasaje), los días de navegación, la calidad y coste del agua suministrada en puerto, coste de la producción del agua a bordo del buque, espacio disponible a bordo del buque, etc. (García, 2017).

Los procesos más utilizados para obtener agua dulce a bordo de un buque pueden ser mediante el proceso de evaporación, a través de un generador de agua dulce, o mediante ósmosis inversa, a través de membranas (García, 2013).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

El proceso de evaporación es adecuado para buques donde la necesidad de agua dulce, no es demasiado alta, como por ejemplo de carga rodada (Ro-Ro), carga de pasaje y rodada (Ro-PAX) etc. Al ser un sistema que aprovecha el calor residual del agua de refrigeración de los motores, casi todos los barcos llevan instalado a bordo un generador de agua dulce. En los casos en los que sea necesario una mayor producción de agua a bordo, por ejemplo, en buques de pasaje (cruceros), o en los casos en los que los tiempos de fondeo en puerto son altos, por ejemplo, en buques sísmicos o de investigación, la ósmosis inversa es una óptima solución.

En la actualidad muchos buques llevan instalado a bordo ambos sistemas, de este modo el agua técnica (agua destilada), destinada a equipos de la máquina, es producida por el generador de agua dulce y el agua potable, destinada al sistema sanitario, es producida por sistemas de ósmosis inversa (García, 2013).

6.1. Buques convencionales

Los buques con cargas convencionales se podrían definir como los que transportan cargas sin contenedores. Por ejemplo, contenedores plegables (Big bags) u otro tipo de carga a granel. Generalmente este tipo de buque lleva instaladas grúas para facilitar el proceso de carga y descarga (Ministerio de fomento, 2019).

Por lo tanto, estamos hablando de buques de cargamento de carga rodada (Ro-Ro), buques de pasaje y carga rodada (Ro-PAX), cargueros, buques metaneros, etc.

El generador de agua dulce descrito en este trabajo (evaporador de tubo sumergido de simple efecto) es uno de los sistemas más utilizados en los buques convencionales. Pues son conocidos por su sencillez y fácil mantenimiento, su uso es casi exclusivo de buques ya que la cantidad de agua destilada producida es menor que la cantidad de vapor de calefacción empleada, es decir su rendimiento térmico es muy bajo (López, 2015).

El agua producida de estos sistemas no suele ser usada para el consumo humano debido a que dicha agua es cargada en puerto pues, una de las características de los buques convencionales es que sus trayectos son relativamente cortos, lo suficiente como para almacenar y conservar el agua que se va a utilizar. Por lo tanto, el agua potable generada a bordo se utiliza como fluido de refrigeración (aguas técnicas) para la maquinaria del buque (López, 2015).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Los generadores de agua dulce de simple efecto tienen una capacidad de producción que puede variar entre 1.500 litros/ día a 30.000 litros/ día. Presentando una capacidad de generación de agua potable de concentración en sales menor a 4,0 p.p.m a partir de agua de mar (35.000 p.p.m) (García, 2013).

6.2. Cruceros

Un crucero es un tipo de barco pasajero de grandes dimensiones con la finalidad de realizar viajes de placer que duran varios días o semanas (Moldtrans, 2014).

En la mayoría de los casos estos tipos de buques opta por sistemas de ósmosis inversas puesto que la finalidad es producir grandes cantidades de agua potable que puede variar entre los 5 a 100 m³/hora y con una obtención de agua dulce con un 99% de pureza, lo cual la hace idónea junto a unos sistemas de desinfección y mineralización para el consumo humano (García, 2016)

En este tipo de buques el consumo de agua se incrementa desorbitadamente con respecto a buques convencionales, debido a la gran cantidad de pasajeros a bordo, pudiendo llegar a ser dependiendo del crucero, entre 3000 a 6000 personas, los más grandes (Ministerio de fomento, 2019).

La cantidad de agua necesaria para abastecer un crucero u otro tipo de buque depende de la distancia a recorrer, del tipo de navegación, de la climatología, del confort deseado de los pasajeros etc. Dentro de todos estos factores el agua puede ser destinada para limpieza personal, colada, cocina, limpieza del barco, emergencias, etc. (Ecosystems, 2019).

Teniendo en cuenta todos estos factores y realizando una media de consumo como la anteriormente explicada en la Tabla 2 podemos adecuar nuestro sistema de ósmosis inversa a la demanda requerida.

En comparación con los sistemas de evaporación, la tecnología de membranas presenta la desventaja de ser más sensible a la calidad del agua que se alimenta, y generalmente requiere de una fase de pretratamiento que puede ser más o menos complejo dependiendo del origen y características del agua alimentada. (García, 2016).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

CASO PRÁCTICO

23

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

33 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

33 / 72

7. Información general de las desaladoras de agua del Ferry “Volcán de Taburiente”

En este apartado se presentarán las instalaciones para la generación de agua potable del ferry “Volcán de Taburiente”. Se dará a conocer su funcionamiento, tipos de averías comunes, reparaciones y mantenimientos que se aplican al sistema. Este material puede ser un buen punto de partida para conocer acerca del funcionamiento y la manipulación y de un generador de agua destilada en una embarcación.

En Aquamar (2005) se señala que las desalinizadoras o generadores de agua están diseñados para obtener agua destilada a partir de agua de mar. El agua producida es controlada automáticamente dando como resultado una calidad superior a $< 4,0$ p.p.m. de cloruros.

El agua resultante de la desaladora podría ser utilizada directamente para el consumo humano, pero en el caso de este buque (Volcán de Taburiente), es usada para el enfriamiento de diferentes máquinas como los motores principales y auxiliares, depuradoras, caldera y economizadores.

Este generador en particular trabaja siguiendo el principio de vaporización a vacío y tubo sumergido, es decir, el agua salada se vaporiza a baja temperatura (80°C) debido al vacío existente dentro de la unidad y al aporte de energía térmica procedente del calentador con una capacidad de producción de 16 t/24h. En cuanto a características de la unidad se puede definir como compacta, de uso económico y una vez puesta en marcha requiere pocos ajustes (Aquamar, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

En la figura 13 se puede observar la desaladora del buque “volcán de Taburiente”



Figura 13. Desaladora del buque "Volcán de Taburiente". Elaboración propia.

7.1. Características de la unidad.

Según el manual elaborado por Aquamar (2005), el consumo de este generador de agua es bastante bajo, al utilizar como fuente calorífica cualquier tipo de energía residual. El proceso de destilación tiene lugar en el interior de un recipiente rectangular, fabricado en Cuproníquel 90/10 y con esfuerzos internos del mismo material. Los refuerzos exteriores y el anclaje de la unidad son de acero al carbono.

Los elementos necesarios para la condensación y calefacción están en el interior del recipiente, el cual está dividido en 2 compartimentos: Uno superior (cámara de condensación) y otro inferior

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

(cámaras de calentamiento / vaporización). Estos 2 compartimientos están separados por placas deflectoras y por el filtro separador. (Aquamar, 2005).

Las tuberías de alimentación y demás accesorios, están situados en el exterior, ocupando el mínimo espacio, convirtiendo el generador en un equipo compacto.

El eyector de vacío/salmuera y la bomba de extracción de destilado van montados sobre la unidad.

Y por último el cuadro eléctrico de maniobra y control, la bomba de agua salada y el equipo inhibidor de incrustaciones se suministra por separado para su correcta instalación. En la Figura 14 se pueden apreciar todos estos elementos (Aquamar, 2005).

Siendo **A** la salida de salmuera a sentina y **B** la salida de agua dulce al tanque.

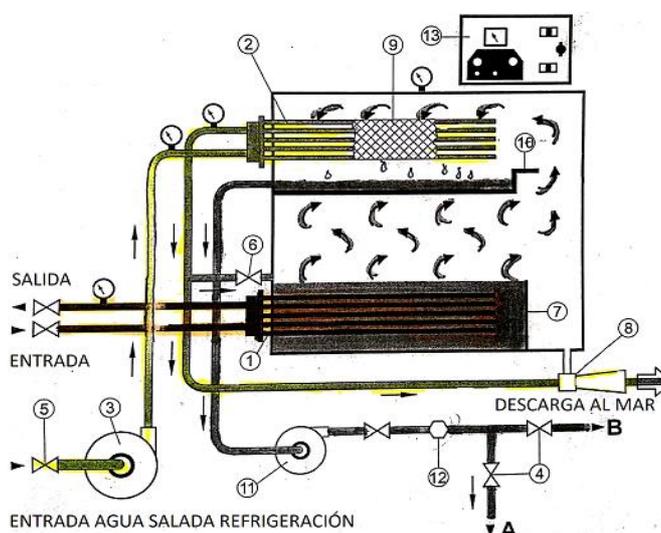


Figura 14: partes y funcionamiento de un evaporador (Fuente: Aquamar, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60Ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

En la tabla 5 se muestran todos los elementos descritos en la Figura 14.

Tabla 5. Elementos del Generador de agua dulce. (Fuente: Aquamar, 2005).

Número	Elementos
1	Intercambiador de calor
2	Condensador
3	Bomba de circulación
4	Válvula Solenoide
5	Válvula aspiración agua salada
6	Válvula de alimentación
7	Diafragma
8	Eyector vacío y salmuera
9	Separador de vapor
10	Bandeja de destilado
11	Bomba de agua dulce
12	Célula salinométrica
13	Cuadro de maniobra y control

7.2. Principio de Operación del sistema.

En Aquamar (2005) se señala que el eyector del equipo (8) funciona por el efecto Venturi. Cuando el agua, procedente de la bomba de agua salada (3), pasa a través de la tobera se produce un aumento de la velocidad debido a la reducción de la sección de paso, con la consecuente caída de presión. Mediante este efecto se puede alcanzar el vacío casi absoluto a la salida de la tobera.

El portatoberas (8), conectado al generador, actúa como cámara de vacío produciendo el vacío necesario dentro del equipo. Este vacío es el que permite bajar la temperatura de vaporización del agua en el interior de la unidad.

Cuanto mayor sea el vacío existente dentro de la unidad, menos será la temperatura de vaporización, y mayor será el rendimiento del generador de agua (hasta los límites prefijados de calidad del destilado).

El agua de calefacción, pasa por el interior de los tubos en "U" del calentador (1), situado en la parte inferior de la unidad y eleva la temperatura del agua de alimentación hasta la

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

temperatura de vaporización correspondiente al vacío existente dentro del generador (energía sensible), aportando el calor latente de vaporización requerido para obtener la producción de destilado.

Esta baja temperatura de vaporización tiene dos efectos beneficiosos:

- 1- Reduce la formación de depósitos salinos sobre el calentador al disminuir la temperatura de la pared de los tubos
- 2- La posibilidad de utilización de energía térmica a baja temperatura.

El nivel de agua en la zona de calefacción se mantiene constante por encima del haz tubular del calentador, por medio de un diafragma de nivel (7) conectado al eyector aire/salmuera (8) (extracción de salmuera).

La bomba de agua salada tiene una capacidad de alimentación de 60 m³/h, esta cantidad es al menos tres veces la producción nominal del generador y su entrada al sistema es regulada mediante una válvula de control de alimentación ubicada a la entrada de la unidad.

El agua de condensación suministrada por el circuito de refrigeración de la instalación, atraviesa el interior de los tubos del condensador situado en la parte superior del equipo.

Debido a que el proceso de vaporización es intenso y rápido, el vapor producido puede ser húmedo y arrastrar micro gotas de agua salada que disminuirán la calidad del agua producida. Para evitarlo y obtener agua de elevada pureza los vapores producidos son forzados a pasar a través de las placas deflectoras (1) donde al chocar las gotas y reducir su energía cinemática, son conducidas de nuevo a la cámara de calentamiento.

Una vez que la mayor parte de las gotas han sido separadas, se efectúa una separación más profunda en el filtro coalescente separador metálico (9), fabricado con malla de monel, donde las gotas de agua decantan a la parte baja, mientras el vapor de agua asciende hacia la cámara de condensación.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Los vapores que alcanzan la zona superior de condensación se ponen en contacto con la pared fría de los tubos del haz del condensador (2), cediendo la energía latente de condensación y, por lo tanto, condensándose.

La bandeja situada por debajo del condensador (10), recoge las gotas de destilado que se van condensando. Mediante la bomba de extracción de destilado (bomba de agua dulce) se envía en agua producida al tanque de almacén.

La unidad salino métrica (12), analiza constantemente la conductividad del agua producida, asegurándose que solamente el agua de calidad adecuada <4,0 p.p.m (o el valor ajustado), es descargada al tanque. La célula está conectada con el salinómetro, situado en el interior del cuadro eléctrico (13), el cual suministra información visual del contenido de sales (indicador de salinidad) y estado de operación (pilotos indicadores).

Suponiendo que la calidad del agua producida sea inferior al valor de ajuste de alarma, la célula detecta esta situación y envía una señal al conductivímetro, que activa la alarma de alta salinidad y abre la válvula solenoide de recirculación al equipo. A su vez, en el cuadro eléctrico, se activa la indicación luminosa de alarma.

7.3. Fuente calorífica

El generador de agua ha de situarse cerca de la fuente de agua caliente o medio calefactor que lo va alimentar, con el fin de reducir al máximo las pérdidas térmicas y caídas de presión (Aquamar, 2005).

Cualquier tipo de energía calorífica con temperatura comprendida entre 60 y 98 grados se puede suministrar calor a los Generadores.

El medio de calefacción más utilizado es la energía térmica residual procedente del circuito de refrigeración de culatas de los motores de combustión interna. También se pueden utilizar otros fluidos como medio de aporte térmico; ya sea vapor, agua caliente presurizada, aceite térmico, gases de escape, electricidad, etc. (Aquamar, 2005).

Más adelante se verán diferentes esquemas de instalación utilizando varias fuentes de calor y diversas posibilidades de conexión.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

7.4. Agua producida

El agua producida por estos generadores es de alta pureza, con un contenido inferior a dos partes por millón (p.p.m.) de cloruros disueltos.

Debido a esta calidad, el agua es apropiada para el uso doméstico, o agua técnica para su utilización en cualquier circuito industrial.

Aunque el agua producida puede ser utilizada directamente para el consumo humano, se recomienda que en la línea de descarga al tanque almacén de agua para uso doméstico, o después del hidrófobo de agua con destino al consumo humano, se instale un filtro mineralizador, el cual aportara sales minerales, obteniendo así un valor alrededor de 400 ppm de sólidos disueltos, lo apropiado para el consumo humano.

A su vez, y debido a que la vaporización del agua se efectúa a baja temperatura y la contaminación de las aguas marinas es cada día más elevada, es necesario la instalación de un sistema de desinfección/esterilización (rayos ultravioletas, dosificación de cloro, etc.), siempre y cuando el agua producida vaya a ser destinada para el consumo humano.

Este sistema está preparado para dar una producción entre 12.000 a 120.000 l/día. En la Figura 15 se puede apreciar la producción de agua destilada según la temperatura de agua de calefacción.

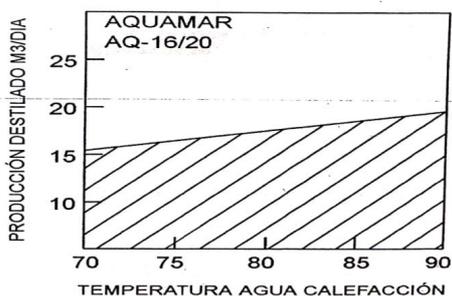


Figura 15. Gráfico de la producción de agua destilada según la temperatura de trabajo del agua de calefacción. (Fuente: Aquamar, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60Ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

8. Equipos que componen el sistema de destilación.

8.1. Recipiente de Destilación

El equipo de destilación es un cámara rectangular Figura 16, formada por varias chapas soldadas de Cupro Niquel 90/10 (Aquamar, 2005).

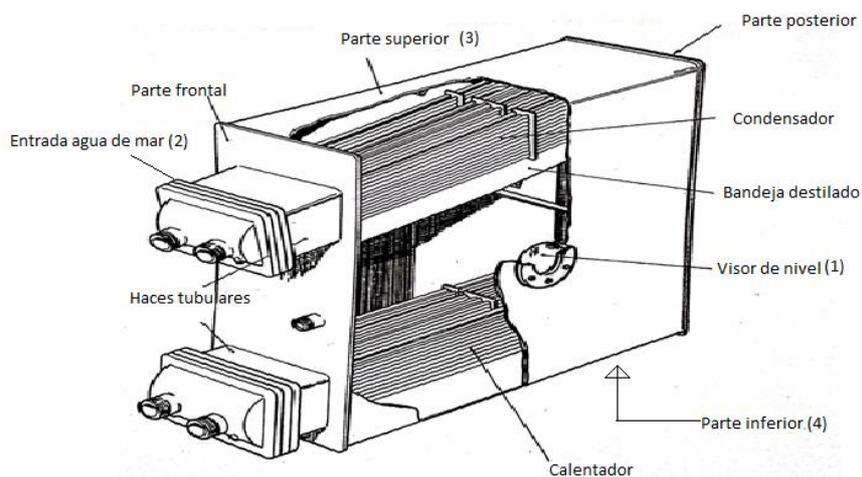


Figura 16. Cámara de vaporización y condensación. (Fuente: Aquamar, 2005).

Dentro del recipiente hay dos secciones bien diferenciadas:

- a) Cámara de vaporización
- b) Cámara de condensación

En la zona inferior se encuentra alojado el calentador, cámara de vaporización; y en la zona superior se encuentra el condensador y el filtro separador, cámara de condensación.

Las placas deflectoras, soldadas a la unidad y situadas entre ambas zonas están construidas en Cupro Niquel 90/10.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

En la entrada de agua al condensador (2), un manómetro indica la presión del circuito, la cual será como mínimo 3,2 bar.

En la parte frontal, el visor de nivel circular (1), situado por encima de los tubos del calentador permite la observación del proceso de vaporización.

En la parte superior (3) de la unidad un vacuometro que indica el vacío existente dentro del equipo, el cual tendrá un valor aproximado de 74 cm Hg.

El generador, en la parte inferior (4), dispone de una válvula de drenaje que permite el vaciado de la unidad en periodos largos de inactividad y facilita las operaciones de mantenimiento.

En un lateral de la parte superior está situada la válvula de seguridad (3). Esta válvula solo actúa en caso de avería o alineamiento defectuoso del circuito de agua salada, abriendo a la más mínima presión positiva en el interior del recipiente de destilación.

En los generadores de capacidad superior a 4000 l/día se instala una válvula de ruptura de vacío. Puesto que este generador tiene una capacidad mínima de 12000 l/día, debe de llevarla y Se situará en la parte frontal del generador por las posibles maniobras de parada.

8.2. Placas Deflectoras y Separador de Vapor

Las placas separadoras son de Cupro Niquel 90/10 y el filtro separador de Monel debido a la elevada resistencia a la corrosión de estos materiales no necesitan recambio durante toda la vida del generador (Aquamar, 2005).

8.3. Intercambiadores de Calor y Tapas

Los haces tubulares (calentador y condensador) de los sistemas de generación de agua dulce están formados por un conjunto de tubos del mismo material que están formado las placas deflectoras, expandidos sobre placas tubulares de fundición de bronce (Aquamar, 2005).

Los haces van fijados al cuerpo del generador, a través de bridas que permiten el desmontaje de los mismos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Las tapas de los haces tubulares están fabricadas en fundición de bronce.

En la Figura 17 se puede apreciar el intercambiador de calor y sus elementos que hacen posible el desmontaje del mismo.

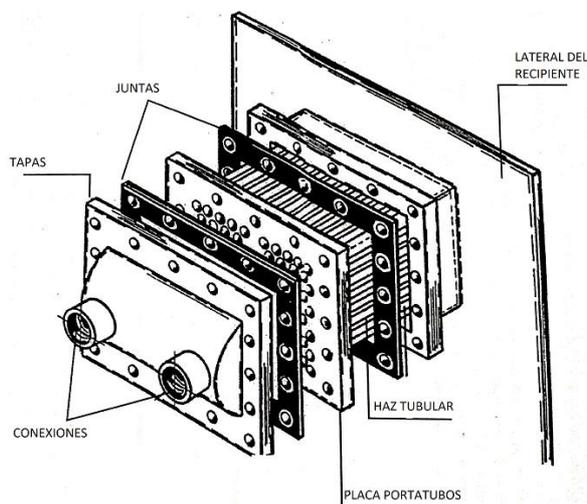


Figura 17. Elementos del intercambiador de calor. (Fuente: Aquamar, 2005).

8.4. Bomba de Agua Salada

Constructivamente, el principio de una bomba centrífuga es bastante sencillo: el líquido de entrada a la bomba se dirige al centro del impulsor y por medio de la fuerza centrífuga sale hacia la periferia. Su construcción es simple, robusta, económica y su alta velocidad permite que sea posible conectar la bomba directamente a un motor asíncrono (motor eléctrico de corriente alterna) (Aquamar, 2005).

La bomba de agua salada suministra al condensador la cantidad de agua necesaria para condensar los vapores producidos, absorbiendo el calor latente de condensación del destilado producido.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

La presión de operación estará comprendida entre 3,2 bar a 6,0 bar, en función de las características de la instalación.

En la selección de esta bomba, o del circuito de suministro, es importante tener en cuenta que: un caudal insuficiente no permitiría la obtención de la producción nominal de agua destilada, trabajando la unidad con un vacío bajo y una elevada temperatura de vaporización; y que un caudal elevado produciría la erosión de los tubos del condensador y las placas tubulares, y el subenfriamiento de la unidad obteniendo agua destilada de mala calidad (Aquamar, 2005).

La bomba de agua salada siempre se instalará por debajo de la línea de flotación en cualquier condición de carga del buque.

Para proteger la bomba de agua salada se recomienda la instalación de un filtro entre la aspiración de la bomba y la toma de agua de mar, así evitaremos cualquier elemento que pueda obstruir el circuito o dañar la bomba, siempre y cuando la toma de mar sea independiente. Si el agua es tomada de un colector general donde el agua ha sido previamente filtrada no es necesaria su instalación (Aquamar, 2005).

Aquamar señala que las características de la bomba de agua salada son:

Tabla 6. Especificaciones bomba A/S del sistema (Fuente: Aquamar, 2005).

ESPECIFICACIONES BOMBA A/S	
Tipo	Centrifuga monoblock horizontal
Potencia	11 kW
Capacidad	60 m ³ /h
Presión de descarga	45 m/55 m
Velocidad	2930 r.p.m / 3515 r.p.m

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

8.5. Eyector Aire/Salmuera.

Según Aquamar (2005) cuando el agua salada pasa a través de la tobera, debido a la reducción de la sección de paso, se produce un aumento de la velocidad con la consiguiente caída de presión, pudiendo alcanzar el vacío casi absoluto en la salida de la tobera (efecto Venturi).

A través del portatoberas, que actúa como cámara de vacío, y que está conectado por la parte alta al condensador (extracción de gases incondensables) y por la parte baja al diafragma de nivel de la cámara de calentamiento (extracción de salmuera), se produce el vacío necesario dentro del generador.

Posteriormente se produce un aumento de la presión en el tubo difusor por el fenómeno opuesto, reduciendo la velocidad al aumentar la sección de paso. La salida se conecta con la descarga al mar.

La tobera está fabricada en acero inoxidable AISI 316, que posee una elevada resistencia a la erosión. El eyector y portatoberas en Bronce.

Con el fin de que el eyector puede trabajar a pleno rendimiento, se recomienda que la presión de agua salada antes del mismo sea como mínimo de 3,2 bares. La pérdida de carga a través del eyector es de aproximadamente 2,9 bar, quedándonos una presión residual para la descarga de 0,3 bar. Si la contrapresión en la línea de descarga al mar fue superior a este valor, el eyector no trabajaría de forma adecuada (vacío pobre e inundación). Por tal motivo, es muy importante la correcta instalación de la tubería de descarga del eyector al mar, la adecuada selección de una válvula antirretorno que produzca la mínima pérdida de carga y la descarga al mar lo más cerca posible de la línea de flotación (Aquamar, 2005).

En el caso de que la contra presión que se produce en la descarga del eyector superase el valor máximo de 0,3 bar, se tendría que instalar una bomba de agua salada que permita aumentar la presión antes del eyector y así contrarrestar la contra presión (Aquamar, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

En la figura 18 se puede observar un Ejector Aire/Salmuera.



Figura 18. Ejector de aire-salmuera. Elaboración propia.

8.6. Válvula del Control de Alimentación

El equipo lleva instalada en la línea de alimentación una válvula de control de alimentación, que permite la regulación automática de la cantidad de agua salada introducida en la unidad por efecto de deformación de diafragma. Para el buen funcionamiento del equipo se requiere unas condiciones estables, que redundarán en la mejor productividad y pureza del agua destilada. Por tal motivo una alimentación constante ha de mantenerse en función de los valores del vacío y presión de alimentación (Aquamar, 2005).

El equipo lleva instalado un filtro antes de la válvula para evitar la obturación de la misma.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

8.7. Bomba de Extracción del Agua Destilada

Aquamar (2005) señala que este sistema consta de una bomba de extracción de agua destilada y dota de las siguientes características:

Tabla 7. Especificaciones bomba A/D del sistema. (Fuente: Aquamar, 2005)

ESPECIFICACIONES BOMBA A/D	
Tipo	Centrifuga monoblock horizontal
Potencia	0,75 kW
Capacidad	1,5 m ³ /h (36.000 l/día)
Altura de descarga	20 m.c.a. (columnas de agua)
Velocidad	2810 r.p.m / 3440 r.p.m

Un factor a tener en cuenta sobre las bombas es que nunca se puede permitir que trabaje en seco, pues se dañaría el cierre mecánico, entrando aire al cuerpo de la bomba, y no permitiendo la extracción de destilado del bandejero. Si a través del latiguillo de aspiración de la bomba se ven ascender burbujas de aire cuando la bomba está parada, indica que posiblemente el cierre mecánico este dañado, siendo necesario su reemplazo (Aquamar, 2005).

8.8. Sistema de Distribución de Destilado.

El agua producida por el generador es bombeada a través del sistema de distribución de destilado. Allí el agua es analizada a través de la célula salinométrica y, dependiendo de la calidad de esta, es enviada al tanque almacén, o de vuelta al evaporador en el caso de alta salinidad (Aquamar, 2005).

En la Figura 19 se dan a conocer todos los elementos que forman el sistema de distribución de destilado.

- Célula salinométrica.
- Válvulas solenoides.
- Válvula de retención destilado.
- Grifo de muestra.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

- Cuerpo distribuidor.
- Contador de producción.

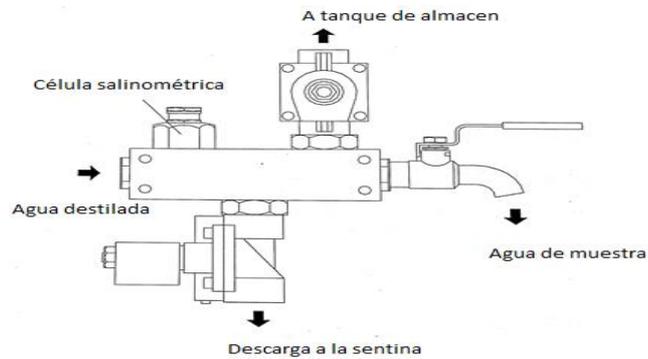


Figura 19. Sistema de descarga del agua destilada. (Fuente: Aquamar, 2005).

8.9. Cuadro Eléctrico Maniobra y Control

Cada unidad se suministra con su salinómetro, sistema de control y arrancadores para cada bomba dentro de un único cuadro eléctrico. Aquamar (2005) distinguen dos secciones dentro del mismo.

- Unidad salinométrica
- Arrancadores y protección de bombas

La unidad salinométrica analiza la calidad del agua producida constantemente, en función de su conductividad eléctrica, y proporciona las señales de control necesarias. La unidad salinométrica está básicamente formada por 3 componentes:

- Célula salinométrica.
- Indicador visual de salinidad.
- Salinómetro.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

La célula salinométrica está inmersa dentro del flujo del destilado (roscada al sistema de distribución de destilado) y la conductividad del agua es continuamente monitorizada en el indicador visual de salinidad (Aquamar, 2005).

El ajuste del punto de alarma se selecciona moviendo el potenciómetro que se refleja en la Tabla 8 adjunta. De este modo, se pueden obtener diferentes puntos de control en función de la calidad de agua producida.

Cuando la salinidad del agua excede dicho valor prefijado, el salinómetro activa la señal de alarma, se activa la solenoide, cerrando la descarga al tanque y abriendo la válvula de retorno al evaporador.

Cuando se desee comprobar la operación del salinómetro, se gira el selector hasta "0", por lo tanto, la alarma se activará y la solenoide abrirá el circuito de retorno al sistema de evaporación (Aquamar, 2005).

La calibración de la unidad salinométrica se efectuará del siguiente modo:

- Ajuste mecánico del "0": con el salinómetro desconectado girar el tornillo inferior del indicador de salinidad hasta que la aguja marque 0.
- Limpiar los electrodos de la célula.
- La calibración del salinómetro se efectúa girando el potenciómetro interior del salinómetro conectándolo al comprobador de resistencia.

La unidad de bombas puede ser maniobrada desde el cuadro eléctrico. Cada bomba está protegida individualmente a través de disyuntores magnetotérmicos, fusibles y relés térmicos instalados en el interior del cuadro (Aquamar, 2005).

Las unidades pueden suministrarse para cualquier tensión de alimentación eléctrica. La tensión de maniobra es siempre 220 V.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

Tabla 8. Valor de alarma de salinidad según la posición del potenciómetro. (Fuente: Aquamar, 2005).

Posición selector	Valor alarma salinidad (P.P.M.)
1	0 (ALARMA)
2	0(ALARMA)
3	0,5
4	3
5	5
6	9
7	16
8	50
9	130
10	200

9. Puesta en marcha del generador de agua dulce

La puesta en marcha del generador de agua dulce consta de una serie de pasos a seguir, Anexo I (Aquamar, 2005).

1. Abrir las válvulas del circuito de agua salada (V5, V6, V7, V4).
2. Abrir la válvula de ruptura de vacío (V10).
3. Conectar el interruptor general del cuadro eléctrico (C.E.).
4. Arrancar la bomba de agua salada.
5. Comprobar la presión de entrada al condensador (mínimo 3,2 bar, máximo 6 bar) mediante la válvula V4.
6. Comprobar que no hay fugas en el circuito del agua salada.
7. Cerrar la válvula de ruptura de vacío.
8. Comprobar que el vacío alcanza aproximadamente 74 cm Hg.
9. Observar que el nivel de agua cubre el haz tubular del calentador y no sobrepasa la mirilla.
Dejar la unidad en esta situación al menos 2 minutos para comprobar el perfecto funcionamiento del eyector y la alimentación.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

10. Abrir totalmente las válvulas aislamiento de agua caliente al calentador del generador (V1, V2), y cerrar progresivamente el by-pass de agua del motor (V3) hasta el valor determinado. Se ha de observar una ebullición activa y rápida a través de la mirilla.

La regulación de la producción de agua destilada se efectuará a través de la cantidad de agua caliente suministrada al generador actuando solamente sobre el by-pass del motor V3.

11. Abrir el grifo de muestra de descarga de destilado (V12) en la posición de muestra, descargando el agua producida a la sentina.
12. Dejar 5 minutos para estabilizar la unidad.
13. Arrancar la bomba de destilado.
14. Comprobar que la producción es la adecuada y que los parámetros de operación están comprendidos entre los valores adjuntados en el capítulo de operación.
15. Inicialmente el agua producida podría no ser de buena calidad, por lo tanto, la válvula solenoide (VS) estará abierta, al retorno del sistema, hasta que la salinidad sea inferior al valor de alarma fijado. Dejar la unidad en funcionamiento durante un tiempo prudencial hasta que todos los parámetros se estabilicen y la calidad del agua sea la adecuada.
16. Cuando la unidad está preparada para su utilización, abrir la válvula del tanque almacén y cerrar el grifo de muestra.

10. Parada del Generador de Agua Dulce

En el caso de la parada ha de seguir una serie de pautas, Anexo I (Aquamar, 2005).

1. Parar la bomba de extracción de destilado.
2. Abrir totalmente el by-pass de agua del motor V3.
3. Cerrar las válvulas de aislamiento agua caliente al calentador del generador V1, V2.
4. Dejar que la unidad se enfríe al menos durante 10 minutos.
5. Abrir la válvula de ruptura de vacío V10.
6. El vacuómetro marcará "0".
7. Parar la bomba de agua salada y cerrar las válvulas del circuito de agua salada V4, V5, V6, V7.
8. Desconectar el interruptor general de cuadro eléctrico.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

9. Si la parada va ser por un largo periodo de tiempo, es necesario drenar totalmente la unidad mediante la válvula V9.

11. Condiciones de Operación

Los generadores de agua dulce están diseñados para alcanzar su producción nominal con agua de mar (35.000 p.p.m.) con una temperatura máxima de 32°C. La temperatura del agua de calefacción estará comprendida entre 60°C y 98°C (Aquamar, 2005).

Los datos de operación del generador de agua descritos en la Tabla 9, varían en función de las temperaturas de agua de condensación y de calefacción. A continuación, se resumen los datos generales de operación del sistema

Tabla 9. Datos de operación del generador de agua.

DATOS GENERADOR DE AGUA	
Vacío	65 cm.Hg. a 75cm.Hg.
Presión agua salada	3,2 a 6 bar
Max. Presión descarga salmuera	0,3 bar
Temperatura vaporización	40 °C y 55 °C
Temperatura agua motor	de 60 °C a 98°C
Presión máx. agua calefacción	6,0 bar

En operación con aguas de condensación frías y si la temperatura de vaporización es inferior a 45°C, no es necesario el aporte del caudal máximo de agua al condensador, ya que la calidad del destilado producido sería baja (alarma de alta salinidad del agua producida). En esta situación, la válvula de entrada del condensador o la válvula de descarga de la bomba de eyectores, se deberá estrangular un poco hasta aumentar la temperatura de vaporización del generador y obtener una producción de destilado de la calidad adecuada. Si no es posible aumentar la temperatura de vaporización, pues la unidad se inunda al reducir la presión de entrada al condensador, se instalará una válvula de ruptura de vacío tipo aguja, abriéndola hasta aumentar la temperatura de vaporización entre 42°C y 48°C (Aquamar, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

En el modelo AQ-16/20ª como el que presenta el “Volcán Tauriente” basta con instalar una “T” en la válvula de bola de ruptura de vacío e instalar ambas válvulas sobre esa conexión. Con el fin de reducir el valor del vacío en la unidad, abrir lentamente la válvula de aguja inyectando aire en el interior del destilador hasta que el vacío alcance como mínimo un valor de 70 cm.Hg.

En la operación con aguas de condensación superiores a 25°C, las válvulas del condensador han de estar totalmente abiertas, para suministrar el caudal máximo posible al condensador y, por lo tanto, reducir la temperatura de vaporización y aumentar la producción.

En último lugar, se abrirá la línea de by-pass de agua salada entre la válvula de salida del condensador y la línea de descargas al mar. Esto permite un mayor aporte de agua al condensador en navegación por aguas cálidas (trópicos).

12. Aspectos a tener en cuenta

Tal y como se plantea en Aquamar (2005), los sistemas de desalación no se deben utilizar en aguas contaminadas y/o con elevado contenido de impurezas (puertos, proximidad de costas, navegación por ríos, estuarios, desembocaduras, etc.). Existen dos tipos de motivos principales

- Estas aguas pueden contener bacterias y otros organismos nocivos para la salud que no son destruidas en el proceso de destilación que se realiza en el generador. Por lo cual, no son aptas para el consumo humano.
- El alto contenido de sólidos (arenas, fangos o cualquier sustancia abrasiva), podría dañar algunos componentes del generador de agua por la erosión producida por dichas sustancias sobre: cierres mecánicos, impulsores de bombas, tobera, eyector, placa de expansión condensador o tuberías de conexión; ocasionando un desgaste rápido de dichos componentes. Además, es frecuente que se ensucien interiormente los tubos del condensador y exteriormente los del calentador con la consiguiente pérdida de producción de la unidad.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

13. Averías más comunes en los sistemas de destilación.

En la tabla 10 se dan a conocer una serie de averías que suelen ser las más comunes en los generadores de agua dulce, también se muestran las posibles causas y las posibles soluciones a los problemas que se producen durante la operación del sistema.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Tabla 10. Posibles averías, causas y solución. (Fuente: Aquamar, 2005.)

AVERÍA	CAUSA	SOLUCIÓN
ALTA SALINIDAD DEL AGUA PRODUCIDA (> 4PPM).	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada producción - Célula salinométrica defectuosa - Salinómetro mal calibrado - Salinómetro defectuosos - Fuga de algún tubo del condensador - Baja temperatura de vaporización - Alta temperatura de vaporización 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajustar producción - Comprobar que la célula está bien y limpiarla si lo requiere. - Recalibrar - Reemplazar - Taponar los tubos que pierden - Instalar valvula de ruptura de vacío - Limpiar filtro separador
BAJA PRODUCCIÓN.	<ul style="list-style-type: none"> - Toma de aire en el latiguillo aspiración bomba destilado - Cierre mecánico defectuoso - Válvula solenoide sucia - Válvula de retención defectuosa o sucia - Vacío insuficiente - Aportación de agua caliente escasa - Filtro separador sucio - Válvula alimentación desgastada - Generador sucio - Instalación defectuosa 	<ul style="list-style-type: none"> - Corregir fuga - Reemplazar - Limpiar - Limpiar o reemplazar - Comprobar parámetros de operación - Regular by-pass motor - Limpiar - Cambiar - Limpiar - Revisar
VACÍO ESCASO	<ul style="list-style-type: none"> - Baja presión agua salada - Vacuometro defectuoso - Eyector gastado - Tobera sucia o gastada - Toma aire en el equipo - Valvula de retención o defectuosa o sucia - Valvula alimentación desgastado 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar circuito de agua salada - Cambiar - Cambiar - Limpiar o cambiar - Frisar - Limpiar o reemplazar - Reemplazar la válvula alimentación constante
NIVEL ALTO DE SALMUERA	<ul style="list-style-type: none"> - Baja presión agua salada - Eyector gastado - Tobera sucia o gastada - Toma aire en tubo salmuera - Valvula de retención defectuosa - Flujo alimentación muy alto - Tubo salmuera obstruido 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar circuito de agua salada - Cambiar - Limpiar o cambiar - Frisar - Limpiar o reemplazar - Reemplazar valvula alimentación limpiar

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

14. Inspección y Mantenimiento

Es aconsejable inspeccionar regularmente la totalidad del generador de agua dulce para detectar a tiempo posibles anomalías.

Comprobar, periódicamente, el estado de las juntas, cierres mecánicos de las bombas y de las conexiones para evitar fugas y pérdidas de vacío en el generador.

Mantener la mirilla de la unidad lo más limpia posible, para observar el funcionamiento de la unidad y el estado de limpieza del calentador.

No es posible establecer un periodo de tiempo para las operaciones de mantenimiento de la unidad dado las diferentes condiciones de operación en cada instalación. Como regla general proponemos un sistema de mantenimiento en función de la alteración de los siguientes parámetros:

- Producción.
- Caudal agua condensación.
- Presión bomba agua salada.
- Vacío/ Temperatura de vaporización
- Calidad de destilado.

Cuando alguno de estos parámetros varíe sin causa justificada, tomar la acción de mantenimiento reflejada en la tabla 10 de averías. A partir de los datos obtenidos será posible establecer una programación de mantenimiento predictivos.

A continuación, se describen las operaciones de mantenimiento de los componentes de la instalación.

14.1. Sistema de Agua Salada.

En la tabla 11 se muestra una serie de tareas o comprobaciones que deben de realizarse diariamente en el sistema de agua salada

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Tabla 11. Comprobaciones rutinarias. (Fuente: Aquamar, 2005).

ACCIÓN	INTERVALO
- Sobre calentamiento del motor eléctrico de la bomba de agua salada.	Diario
- Presión en el manómetro de entrada al condensador	Diario
- Perdidas por el cierre mecánico	Diario

14.2. Sistema de agua destilada.

En la tabla 12 se muestra una serie de tareas o comprobaciones que deben de realizarse diariamente en el sistema de agua destilada

Tabla 12. Tareas rutinarias de un sistema de agua destilada. (Fuente: Aquamar, 2005).

ACCIÓN	INTERVALO
- Calidad del agua producida.	Diario
- Perdidas por el cierre mecánico bomba destilado	Diario
- sobrecalentamiento del motor eléctrico de la de bomba destilado	Diario
- Comprobación y limpieza de célula salinométrica.	6 meses

1. Perdidas por el cierre mecánico bomba destilado:

Si el cierre mecánico está generando pérdidas se puede deber a que la bomba está trabajando en seco por lo que entraría aire al cuerpo de la bomba dificultando la extracción de aire del bandejero. Si a través del latiguillo de aspiración de la bomba se ven ascender burbujas de aire cuando la bomba esta parada, indica que posiblemente el cierre mecánico este dañado y se deba reemplazar por otro nuevo de la siguiente manera:

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

- Antes de realizar cualquier trabajo de deberá de avisar con una etiqueta sobre el cuadro eléctrico “UNIDAD EN MANTENIMIENTO” además de desconectar el interruptor general del cuadro eléctrico.
- Cerrar la valvula de descarga de destilado.
- Abrir el tapón de venteo de la bomba (56)
- Quitar los tornillos de la tapa (53A) y retirarla.
- Comprobar el estado de la junta tórica de la tapa (49) y cambiarla si es necesario.
- Fijar el rotor del motor eléctrico (52) con una llave “Allen” por el lado del ventilador.
- Desenroscar la tuerca de apriete del impulsor (57), sujetando el eje por el lado del ventilador
- Desenroscar el impulsor (51) del eje y sacarlo, teniendo en cuenta que no se debe tirar porque va roscado.
- Sacar el cierre mecánico (47) y limpiar la superficie del asiento con el cuerpo de la bomba y el eje.

En la figura 20 se pueden distinguir las diferentes partes de una bomba, descritas anteriormente.

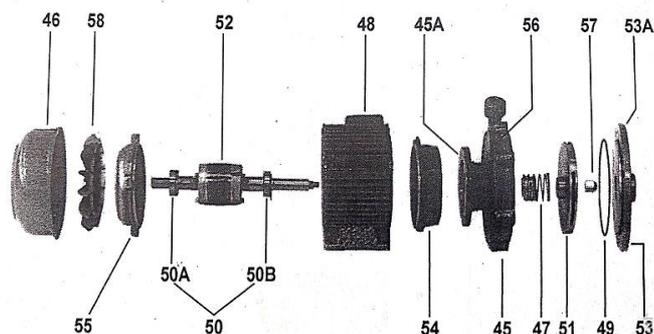


Figura 20. Partes de una bomba agua destilado. (Fuente: Aquamar, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

2. Sobrecalentamiento del motor eléctrico bomba destilado:

La mayoría de los fallos de aislamientos de deben al sobrecalentamiento del motor eléctrico. Para que esto no suceda se debe verificar que:

- Percatarse si se percibe un sonido chirriante cuando el motor está conectado, pues cabe la posibilidad de que los rodamientos estén desgastados y se tengan que cambiar.
- Se deberá cerciorar que el motor se acopla con sus valores de corrientes ideales.
- Que no está siendo forzado en un ambiente de altas temperaturas, pues esto causaría que la tasa a la que el calor pueda conducirse se reduzca a un ritmo alarmante.

En la figura 21 se puede observar un motor eléctrico desmontado. En la cual se aprecia las diferentes partes del motor, Rotor, Estator, Carcasa, Rodamientos y bornera.



Figura 21. Motor eléctrico. Fuente propia.

3. Comprobación y limpieza de célula salinométrica:

- Desconectar el interruptor general del cuadro eléctrico y sacar los fusibles de alimentación, para evitar cualquier tipo de accidente se debe de colocar un cartel sobre el cuadro eléctrico

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60Ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

que indique que se está efectuando un mantenimiento “UNIDAD EN MANTENIMIENTO”.

- Desembornar la conexión eléctrica de la célula.
- Una vez esté la célula libre, desenroscar del manifold del sistema de distribución de destilado.
- Con una lija fina limpiar los electrodos de la célula.
- Montar de nuevo en orden inverso.

14.3. Prueba hidráulica.

Si existen evidencias de pérdidas de vacío en el equipo o pérdidas de agua a través de las juntas o cierres, se recomienda una prueba hidráulica de la carcasa a una presión máxima de 1,0 bar.

Con esa presión revisar cuidadosamente la unidad. La presión de prueba para el interior de los haces tubulares será como máximo a 6 bar.

15. Mantenimiento y precauciones eléctricas.

Cada 4000 horas se comprueba el ajuste del salinómetro, así como el cuadro eléctrico.

15.1. Cuadro eléctrico

Para proceder al mantenimiento de los cuadros eléctricos de la desaladora se debe de proceder de la siguiente forma:

- Antes de cualquier operación en el cuadro asegurarse de eliminar el suministro eléctrico a este.
- Limpiar el interior.
- Comprobar el estado de las conexiones eléctricas.
- Comprobar que los contactores están en buen estado, comprobando así, su movilidad, una posible rotura etc.
- Inspección visual del estado de los cables, componentes y fallos de aislamientos.
- Medir y apuntar la continuidad eléctrica (tierra) entre el cuadro y la estructura del buque.
La lectura no puede ser mayor de 0.05 MOhmio.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

- Medir y apuntar la resistencia de aislamiento entre la terminal y tierra: La lectura será superior a 1 MOhmio.
- Girar la rueda del salinómetro hasta el valor 1. En ese momento la alarma de alta salinidad se activará cambiando.
 - Color del diodo del Salinómetro pasando de verde a rojo.
 - La lámpara verde de salinidad se apaga.
 - La lámpara roja de salinidad se enciende.
 - La salida de tensión a la bocina tiene tensión (si instalada).
 - La alarma remota de salinidad se activa (si instalada)
 - La solenoide de agua a la sentina o recirculación se activa.
 - La solenoide de agua al tanque se desactiva (si instalada)
- La calibración de la unidad salinométrica se efectuará del siguiente modo:
 - Ajuste mecánico del “cero”: con el salinómetro desconectado girar el tornillo inferior del indicador de salinidad hasta que la aguja marque 0.
 - Limpiar los electrodos de la célula.
 - La calibración del salinómetro se efectuará girando el potenciómetro interior del salinómetro conectándolo al comprobador de resistencia.

16. Control y monitoreo de los procesos de desalación del buque Volcán de Taburiente.

Los componentes de control y monitoreo descritos a continuación hacen del sistema de desalación un proceso más seguro y fiable para el buen funcionamiento del mismo, así mismo garantiza una gran calidad del agua producida (Aquamar, 2005).

1. **Cuadro eléctrico** → Todo sistema que precise protección y control de máquinas necesita un cuadro eléctrico en sus instalaciones. En la Figura 22 se puede observar el cuadro eléctrico correspondiente al evaporador del buque Volcán de Taburiente.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

El cuadro eléctrico del sistema de desalación del buque “Volcán de Taburiente” desempeña una función muy importante en cuanto a la protección y control de motores eléctricos mayoritariamente y su correspondiente unidad salinométrica.



Figura 22. Cuadro eléctrico. Elaboración propia.

2. **Visor de nivel** → El visor de nivel del sistema se podría decir que es una medida de control rudimentaria que sirve para verificar el proceso de vaporización. En la figura 13 se puede identificar en la parte baja del evaporador.
3. **Célula salinométrica** → La célula salinométrica situada en la línea de descarga de la bomba de extracción de destilado, examina toda el agua producida, asegurándose de que solamente el agua de calidad adecuada <4,0 p.p.m es conducida al tanque. Dicha célula está conectada con un salinómetro situado en el interior del cuadro eléctrico el cual suministra información del contenido de sal (indicador de salinidad). Si la calidad del agua es inferior a la deseada la célula detecta esta situación y manda una señal al conductivímetro que activa la situación de alarma abriendo la válvula solenoide de recirculación.
4. **Válvula solenoide** → La válvula solenoide o Electroválvula está diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto. La válvula se mueve gracias una bobina solenoide que al tener una corriente eléctrica se activa el embolo dejando pasar el fluido. Estas válvulas no tienen más que dos posiciones, todo y nada.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Este sistema de desalación posee una válvula solenoide que se encuentran en el circuito de agua destilada, cuya función depende de la unidad salinométrica que está analizando constantemente el agua producida y en el caso de que esta sea inferior al valor de ajuste de la alarma, manda una señal al conductivímetro que activa la alarma de alta salinidad y abre la válvula solenoide de recirculación al equipo.

5. **Termómetros** → Este sistema de control se encuentra en diferentes puntos del circuito con la finalidad de medir y tener controlado las temperaturas del sistema.

A lo largo del circuito se pueden encontrar cuatro termómetros:

- En la entrada y salida del calentador están situados uno en cada línea. En la línea de entrada la temperatura ronda entre 70 y 90°C y en la línea de salida la temperatura es variable, disminuyendo por la pérdida de calor entregada al sistema.
- En el circuito de agua salada de entrada al condensador se localiza otro termómetro con un valor entre 22 y 26 °C.
- Y por último se encuentra uno en el propio generador (Figura 23) con la finalidad de medir la temperatura dentro del recipiente, la cual ronda los 40 °C.



Figura 23. Termómetro del generador de agua dulce. Elaboración propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivís Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

6. **Manómetros** → La presión es un factor fundamental en el sistema que nos atañe, pues es necesario llevar un control para que todo funcione correctamente. Se pueden localizar tres manómetros:

- En la salida de la bomba de agua salada. Comprendida entre (0 a 10 bar)
- en la presión de entrada al condensador, como mínimo 3,2 bar.
- y la presión de salida de los gases incondensables después del eyector (0,3 bar)

En la figura 24 se puede observar el manómetro de entrada al condensador.



Figura 24. manómetro de entrada al condensador. Fuente propia.

1. **Caudalímetro** → El circuito del evaporador a tratar, lleva un caudalímetro encargado de medir la cantidad de caudal que va al tanque de destilado.
2. **Manovacuumetro** → Un Manovacuumetro sirven para medir la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, pues en el sistema que nos atañe, hay localizado uno a la entrada de la bomba, el cual sus valores rondan (-1 a 3) en la aspiración.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

3. **Válvula de seguridad** → Es una medida de seguridad que solo se utiliza en el caso de avería o alineamiento defectuoso del circuito de agua salada, abriendo a la más mínima presión positiva en el interior del recipiente de destilación.
4. **Válvula de drenaje** → Disponible en nuestro sistema, situada en el lateral de la cámara de vaporización y permite el vaciado de la unidad en periodos largos de inactividad además de facilitar las operaciones de mantenimiento.
5. **Vacuometro** → En este sistema hay un vacuometro situado en la parte superior de la cámara de vaporización (Figura 25) con la finalidad de llevar un control del vacío dentro de la unidad, el cual ronda aproximadamente 70 cm Hg.



Figura 25. Vacuometro del generador de agua dulce. Fuente propia.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/	
Document Id: 2114098	Verification code: 60ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28

17. Conclusiones

1. El agua producida en el evaporador debido a su pureza puede ser utilizada directamente para el consumo humano con un tratamiento previo, pero en el caso de este buque (Volcán de Taburiente), es usada para el enfriamiento de diferentes máquinas como los motores principales y auxiliares, depuradoras, caldera y economizadores.
2. A la hora de captar aguas para el proceso de desalación, se deberá hacer en aguas profundas y nunca en puertos, proximidades, costas, ríos, etc. De este modo se evitará recoger aguas contaminadas que conllevará un deterioro del sistema y una mala calidad de producción del agua.
3. En el circuito de desalación del buque “Volcán de Taburiente” existen una gran variedad de sistemas de control de todo tipo, como pueden ser válvulas, sensores, cuadro eléctrico, etc. Todas estas medidas de control hacen posible el buen funcionamiento del proceso de desalación.
4. Para un correcto funcionamiento del sistema de desalación a bordo se requiere un control continuo de sus instalaciones. Existen ciertos parámetros del sistema como la producción, el caudal del agua, presiones del sistema, vacío interior del evaporador o la calidad del destilado que si producen un cambio repentino en sus valores puede indicar que algún componente del circuito esté fallando.
5. En los sistemas de desalación tratados en el estudio, los tipos de mantenimientos que se aplican en gran medida son los mantenimientos preventivos y correctivos. La aplicación de un mantenimiento predictivo en este tipo de instalaciones pudiese prevenir posibles averías, aunque por su gran robustez no es uno de los sistemas del barco que más lo requiera.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Conclusions

1. The wáter obtained can be suited for human consumption if it goes through a purification treatment. However, in this ship (Volcán de Taburiente), the wáter is used for cooling down different equipment, such as: the central and auxiliary engines, the sewage treatment plant, the boiler and the economizer.
2. Water collection for desalination purposes must be collected in Deep waters. And never near harbors, coast, rivers, and such. This method ensures that no polluted wáter will get into the system, which can deteriorate the equipment and lead to a poor-quality wáter production.
3. There is a solid control system for the desalination process in “Volcan de Taburiente” ship. The system includes a wide variety of devices such as: sensors, valves, electric controls and more. The strict control system and devices ensures a successful desalination process.
4. In order to ensure a successful desalination process, regular maintenance of the facilities and systems is required. Some parameters such as wáter level, pressure, vacuum in evaporator or wáter filtering quality must be observed at all times, since a sudden change usually indicates that the circuit is failing.
5. The desalination systems discussed in the study, the types of maintenance that are largely applied are preventive and corrective maintenance. The application of predictive maintenance in this type of facilities could prevent possible breakdowns, although its robust is not one of the ship’s systems that most require it.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Anexos.

58

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

68 / 72

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

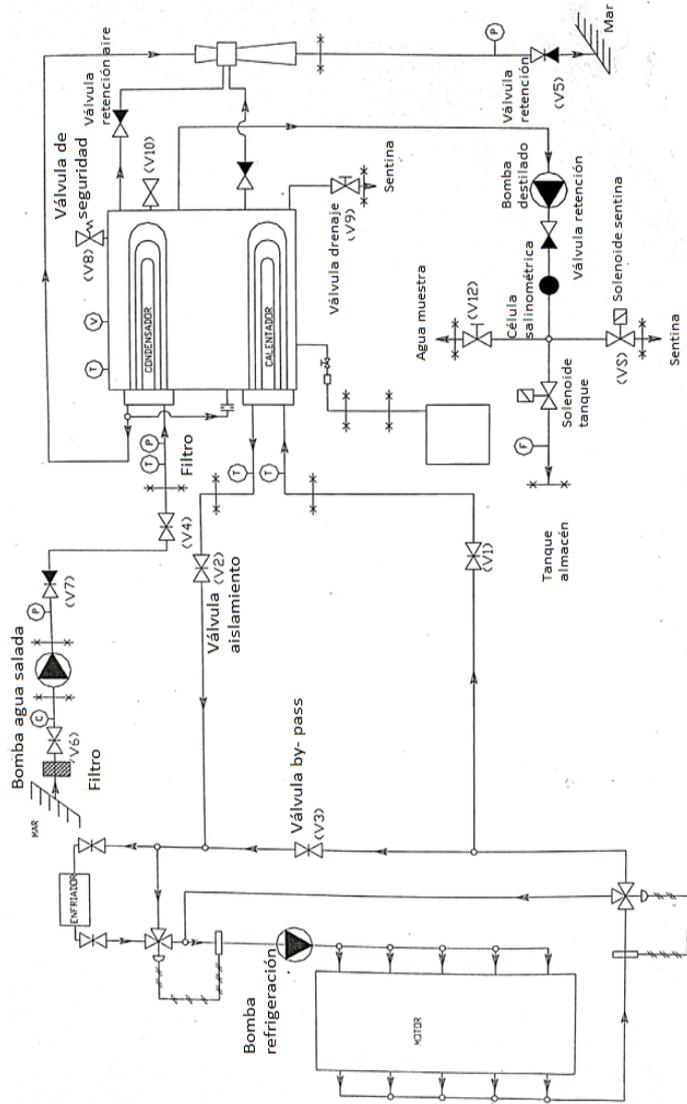
Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

68 / 72

ANEXO I
DIAGRAMA DE FLUJO DE UN GENERADOR



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60Ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Agua en el mundo. Estadísticas del agua en México. Edición 2011, 114-126.
- Alcaide, S, A. (2017). Estudio comparativo de los principales procesos de desalinización y diseño de una planta desalinizadora de agua mediante ósmosis inversa con una capacidad de 10.000 M3 /DÍA. (Tesis de pregrado). Escuela técnica superior de ingeniería Icai. Madrid.
- Álvarez, S, G y Benavides, S, M. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis inversa y Energía fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, región de Coquimbo. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe: Centro del agua para zonas áridas y semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) y el programa Hidrológico Internacional (PHI). Disponible en: http://www.cazalac.org/publico/fileadmin/templates/documentos/Documento_Tecnico_PHI_-_Nro_33.pdf.
- Aquamar. (2005). Manual del Generador de agua dulce del buque "Volcán de Taburiente".
- Arreguín, C, F y Martín, D, A. (2000). Desalinización del agua. Repositorio institucional del IMTA, 15(1), 21-29.
- Buenaventura, A. (2015). La energía del cambio. ABENGOA. Disponible en: <http://www.laenergíadelcambio.com/breve-historia-de-la-desalacion/>
- Cubas, L, R, S y Díaz, P, Z, L, F. (2014). Proyecto de pre-factibilidad para instalar una planta de producción de agua potable por osmosis inverta a partir de agua de mar en el distrito de Pimentel (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional Pedro Luis Gallo, Lambayeque, Peru.
- Díaz, S, A. (2008). Aplicación de la tecnología de membranas de nano filtración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. (Tesis doctoral). Universidad Rey Juan Carlos Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Barcelona.
- Ecosistems (2019). ¿Cuánta agua necesitamos a bordo de un barco? <https://ecosistems.com/cuanta-agua-necesitamos-bordo-barco/>.
- European unión. (2008). Autonomous Desalination System concep for seawater and brackish wáter in total áreas renewable energies – potential, technologies, field experience, socio-technical and socio-economic impacts. Adira Handbook.
- García de Durango, A. (2015). Agua y sal: La historia de la desalación: Redacción iagua. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/aguada-garcia-durango/15/10/23/agua-y-sal-historia-desalacion>.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114047 Verification code: yV2HAs+7

Signed by: Deivis Ávila Prats
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Document Id: 2114098 Verification code: 60ui2Q83

Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Date: 10/09/2019 13:11:28

- García, S, R. (2013). Generador de agua dulce (Evaporador condensador). Definición y puesta en Marcha. Ingeniero marino. <https://ingenieromarinero.com/generador-de-agua-evaporador-condensador/#.XTgpcuhKjIU>.
- García, S, R. (2016). Sistema de osmosis inversa a bordo. Ingeniero marino. <https://ingenieromarinero.com/sistema-de-osmosis-inversa-como-generador-de-agua-dulce/#.XTgyQehKjIU>.
- García, S, R. (2017). Generadores de agua dulce. Evaporador sumergido y tipo flash. Ingeniero marino. <https://ingenieromarinero.com/generadores-de-agua-dulce-tubos-sumergidotipo-flash-y-disposiciones-multietapa/#.XTgwouhKjIV>.
- Grupo Moldtrans (2014). Transporte marítimo: tipos de buques en función de carga. <https://www.moldtrans.com/transporte-maritimo-tipos-de-buques-en-funcion-del-tamano-de-la-carga/>.
- López, M, J, M. (2015). Diseño de planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje. (Tesis de pregrado). Escuela Técnica Superior de Náutica. Cantabria.
- Martínez, Q, A. (2018). Análisis de la planta desaladora de Gibraltar y optimización de sus recuperadores de energía. (Tesis de pregrado). Universidad politécnica de Madrid. Madrid.
- Ministerio de fomento (2019). Analisis, información y divulgación sobre la aportación del transporte por carretera a la intermodalidad. El lenguaje del transporte intermodal
vocabulario ilustrado.
https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/01_lenguaje_transporte_intermodal.pdf.
- Moya, Z, E. (1997). Desalinización de agua del mar mediante energías renovables. Plataforma solar de Almería- CIEMAT.
- Objetivos de desarrollo sostenible (2019). Agua limpia y saneamiento. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>.
- Sadhvani, H, S. (2009). Diseño de una planta de electrodiálisis (tesis de pregrado).
- Soumaya, B, G. (2013). Análisis económico y comparativo de la producción de agua dulce mediante un generador a bordo de un buque mercante. (Tesis de pregrado). Facultad náutica de Barcelona. Barcelona.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114047	Verification code: yV2HAs+7
Signed by: Deivis Ávila Prats UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 09:02:51

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: https://sede.ull.es/validacion/</i>	
Document Id: 2114098	Verification code: 60Ui2Q83
Signed by: Graciliano Nicolás Marichal Plasencia UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Date: 10/09/2019 13:11:28