



**Universidad
de La Laguna**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA, MÁQUINAS Y
RADIOELECTRÓNICA NAVAL.

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Tecnologías de desalación, generador de agua dulce.

Para acceder al título de grado en Tecnologías Marinas

Alejandro González Martín

Tutores

Alexis Dionis Melián
María del Cristo Adrián de Ganzo

Julio 2020

Dr. D. Alexis Dionis Melián, profesor titular del Área de construcciones navales perteneciente al departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

Dº Alejandro González Martín, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo de Fin de Grado nominado:

“Tecnologías de desalación, generador de agua dulce” Para la obtención del Título de Graduado en Tecnologías Marinas por la Universidad de La Laguna.

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

Para que conste y sufra efectos oportunos, expido y firmo el presente certificado en Santa Cruz de Tenerife, a 10 de Julio de 2020.

Dr.D. Alexis Dionis Melián

Fdo:.....

Director del trabajo

Dra D^a María del Cristo Adrián de Ganzo, Profesora ayudante Doctor del Área de construcciones navales perteneciente al departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D^o Alejandro González Martín, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo de Fin de Grado nominado:

“Tecnologías de desalación, generador de agua dulce” Para la obtención del Título de Graduado en Tecnologías Marinas por la Universidad de La Laguna.

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

Para que conste y sufra efectos oportunos, expido y firmo el presente certificado en Santa Cruz de Tenerife, a 10 de Julio de 2020.

D^a María del Cristo Adrián de Ganzo

Fdo:.....

Codirectora del trabajo

ÍNDICE

Índice de contenido

ÍNDICE	7
Índice de contenido	9
Índice de imágenes.	10
Índice de tablas	10
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Introducción	13
1.2 Abstract	14
II. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVOS GENERALES	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES	19
3.1 Antecedentes históricos	21
3.2 La desalinización	22
3.3 Clasificación de las tecnologías de desalinización	22
3.4 Tratamientos en la generación de agua dulce	23
IV. METODOLOGÍA	26
4.1 MATERIAL	28
4.2 METODOLOGÍA	33
V. RESULTADOS	35
5.1 Generadores de agua dulce en la Marina Mercante	37
5.1.2 Generador de agua dulce “Volcán de Tindaya”.	38
5.2 Propuesta de montaje de generador de agua dulce en el buque “Volcán de Tagoro”	45
5.3 El futuro de la destilación	51
VI. CONCLUSIONES	53
6.1 Conclusiones	55
VII. BIBLIOGRAFÍA	57
VII. Bibliografía	59

Índice de imágenes.

<i>Ilustración 1: "Buque Volcán de Tindaya".</i>	29
<i>Ilustración 2: "Motor principal estribor, acople y reductora"</i>	31
<i>Ilustración 3 : "Motor principal estribor" y "motores auxiliares".</i>	33
<i>Ilustración 5: "Generador agua dulce ACUAMAR".</i>	39
<i>Ilustración 7: "Generador de agua dulce".</i>	42
<i>Ilustración 8: "Eyector de vacío y salmuera".</i>	43
<i>Ilustración 9: "Sondeos diarios agua destilada"</i>	45
<i>Ilustración 10: "Buque Volcán Tagoro".</i>	46
<i>Ilustración 11:" Tanques de agua dulce Volcán de Tagoro".</i>	49
<i>Ilustración 12: "Consumo diario agua dulce Volcán de Tagoro"</i>	49
<i>Ilustración 13: "Generador por osmosis Osmomar OM-03"</i>	50
<i>Ilustración 14: "Macho fondo Volcán de Tagoro".</i>	51
<i>Ilustración 15: "Lugar destinado para el generador OSMOMAR".</i>	51

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Clasificación de tecnologías de desalinización.</i>	23
<i>Tabla 2: Características Buque Volcán de Tindaya.</i>	30
<i>Tabla 3: Características Propulsión Buque Volcán de Tindaya.</i>	32
<i>Tabla 4: Leyenda equipo generador</i>	42
<i>Tabla 5: Datos buque Volcán de Tagoro.</i>	47
<i>Tabla 6: Datos buque Volcán de Tagoro.</i>	48

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Este trabajo tiene como objetivo la explicación de los sistemas de desalación de agua de mar utilizados en la industria y su adaptación a los buques. Analiza la máquina desalinizadora instalada en un buque concreto y da solución a un buque que carece esta, supliendo la necesidad imperante de agua dulce en la navegación.

En la primera parte de este trabajo se aborda la generación de agua dulce con una breve introducción sobre la necesidad de la desalación de agua de mar a bordo de los buques. También se presentan las tecnologías de desalación existentes en la actualidad y los tratamientos necesarios en el proceso.

En la segunda parte este trabajo indaga en el proceso y tipo de generador de agua dulce presente en un buque concreto. En esta parte se presenta la propuesta de montaje de un generador de agua dulce en un buque que carece de este sistema, finalizando con una visión del futuro de las tecnologías y avances en la desalinización.

Por último, se presentan como conclusiones la experiencia y habilidades adquiridas gracias a la realización de este trabajo.

1.2 Abstract

This work aims to explain the seawater desalination systems used in industry and their adaptation to ships. It analyses the desalination machine installed on a particular ship and provides a solution to a ship that lacks it, supplying the prevailing need for fresh water in navigation.

In one hand we go into edible water come out through the ship's system and how much important is for any ship. In other hand we explain the technology ways that there are in the market in our days and also how to keep properly working to avoid any issue.

Secondly we focus on one ship system and how it works. This part presents the proposal to assemble a fresh water generator on a ship that lacks this system, ending with a vision of the future of technologies and advances in desalination.

Finally, the experience and skills acquired thanks to the completion of this work are presented as conclusions.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Este trabajo de fin de grado tiene como objetivos generales estudiar los métodos de desalación y su aplicación en la marina mercante.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Familiarización de los distintos métodos existentes de desalación
- Estudiar los diferentes generadores de agua dulce a bordo
- Presentación de los casos prácticos
- Conocer el futuro de la desalación

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

3.1 Antecedentes históricos

La presencia de agua dulce a bordo de cualquier artefacto naval lleva siendo una necesidad desde los inicios del ser humano en la exploración de mares y océanos. Viene a ser una paradoja, ya que pese a estar rodeado por la inmensidad del mar, no hay mayor miedo que verse sin agua potable.

Desde la antigüedad, debido a los primeros conocimientos del funcionamiento de la naturaleza y de la evaporación del agua, se cita un evaporador creado por Aristóteles (384 - 322 A.C.). Este servía para obtener agua a través del agua de mar para ocasiones de máxima necesidad en alta mar. Creando así el concepto de desalación. Otros autores como Tales de Mileto o Demócrito hicieron su aportación en la historia, pero no es hasta la edad moderna donde se llegan a diseñar rudimentarios alambiques para barcos del siglo XVI. Por esa época el agua dulce era almacenada y transportada, situada en las bodegas de los navíos y contenida en toneles, pipas y barriles.[6]

Debido a las cantidades necesarias, el agua dulce, era entendida como lastre y debía ser reemplazada por agua salada una vez consumida para tener una buena estiba y, por ende, no poner en peligro la estabilidad del buque.

Sin ningún tipo de tratamiento el agua contenida en barriles se empezaba a deteriorar o corromper a partir del octavo día de travesía. Para evitar esto se realizaron numerosos experimentos; el más extendido consistía en dar un tratamiento de cal viva a los recipientes, los cuales una vez limpios podían mantener el agua clara y pura hasta 6 meses.

La culminación fue la creación de un sistema que permitía extraer agua dulce del agua salada, volviendo así al concepto de desalación anteriormente mencionado.

Será en 1763 cuando el doctor Mr. Puisseux, médico de la facultad de París, hace público un sistema propio para la destilación de agua de mar a bordo de navíos.

Estos primeros procesos poseían un bajo rendimiento, y no es hasta el siglo XIX cuando este proceso se perfecciona para su aplicación en los primeros transatlánticos, ligado al advenimiento de la navegación a vapor.[3]

Siendo a mediados del siglo XX cuando se empieza a expandir la aplicación en tierra en forma de plantas desaladoras en localizaciones áridas. La primera planta instalada en Europa fue en España, concretamente en la isla de Lanzarote en el año 1964 con una producción de 2.500 m³ al día.

No es hasta finales de la década de 1960 cuando se logra crear de manera sintética la primera membrana semipermeable que abre las puertas al desarrollo de los procesos basados en la ósmosis inversa, escribiendo un nuevo capítulo en la historia de la desalación de agua de mar. [6]

3.2 La desalinización

Se entiende por desalinización a la acción o efecto de quitar la sal del agua de mar o salobres con el fin de hacerlas potables o aptas para otros fines.[12]

3.3 Clasificación de las tecnologías de desalinización

Las tecnologías de desalación se clasifican en función de varios criterios. Los principales son el cambio de fase al tratar el agua, el tipo de energía utilizado y el proceso que se ha empleado.[4]

A su vez, estos criterios de clasificación se dividen en las siguientes tecnologías:

Tabla 1: Clasificación de tecnologías de desalinización.

	ENERGÍA	PROCESO	TECNOLOGÍA
CAMBIO DE FASE	Térmica	Evaporación	Compresión térmica de vapor
			Destilación por múltiple efecto
			Destilación súbita (flash)
			Destilación solar
		Filtración y Evaporación	Destilación con membranas
Mecánica	Evaporación	Cristalización	Congelación
			Formación de hidratos
		Filtración	Compresión mecánica de vapor
SIN CAMBIO DE FASE	Eléctrica	Filtración selectiva	Ósmosis Inversa
		Química	Intercambio

Fuente: <https://blog.condorchem.com/desalacion-de-agua/>

3.4 Tratamientos en la generación de agua dulce

Al estudiar las tecnologías de desalinización se debe tener en cuenta dos aspectos cruciales del proceso de desalinización. Estos son el pretratamiento del agua salada y el postratamiento del agua dulce producida, para cumplir con los estándares requeridos para su posterior uso final.

Es necesario realizar siempre un tratamiento al agua salada para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Esto dependerá estrictamente del tipo de proceso utilizado por el generador de agua dulce.[2]

Los procesos térmicos generalmente requieren muy poco tratamiento previo, algunos de estos pretratamientos son:

- Filtración, para reducir la concentración de materia suspendida en la corriente de alimentación a valores adecuados para la operación.
- Desinfección, para reducir la formación de algas y bioincrustaciones, especialmente en las partes frías de la unidad (conductos de alimentación, filtros, etc.).

Los procesos de membrana y, en particular la ósmosis inversa, es esencial la realización de ciertos tratamientos previos, esto se debe a la sensibilidad de las membranas a tener problemas de ensuciamiento. El pretratamiento estándar del agua de alimentación para una unidad de desalinización de membrana consiste en:

- Desinfección, para reducir la formación de algas y bioincrustaciones en los componentes más críticos de la planta, como los filtros y las membranas mismas. Como muchos tipos de membranas son muy sensibles a los oxidantes, a menudo también se requiere la adición de un agente reductor (por ejemplo, sales de fosfito) que neutraliza el agente oxidante residual antes de que la alimentación ingrese al conjunto de la membrana.
- La filtración, realizada por filtros de medios o, más recientemente, por microfiltración y ultrafiltración, es necesaria para reducir el índice de densidad de sedimento presentes en el agua de alimentación, lo que garantiza una vida útil de la membrana más larga y un mantenimiento menos frecuente.
- Adición de productos químicos antiincrustantes, similares a los utilizados en las unidades térmicas, capaces de reducir, principalmente, la formación de carbonato de calcio. [4]

Los pretratamientos en plantas de ósmosis inversa a menudo pueden influir en los costos generales del agua hasta en un 30-40%, lo que pone de relieve la importancia de tal paso en la economía general del proceso.[4]

Una vez que se ha producido agua desalinizada, siempre debe verificarse su idoneidad para uso potable, civil o industrial. De hecho, los postratamientos a menudo son necesarios para garantizar el logro de los estándares requeridos para el uso final del agua producto. El tipo y la intensidad de los postratamientos dependen tanto del proceso adoptado para desalinizar el agua como del uso final del agua.

En todos los casos, el agua que se distribuirá como agua potable requiere un agente desinfectante con efecto residual (como el cloro o el hipoclorito) para garantizar la desinfección del agua durante la distribución.[2]

IV. METODOLOGÍA

4.1 MATERIAL

Para la elección de un sistema idóneo destinado a la generación de agua dulce en un buque concreto debemos conocer las características de dicho buque y las necesidades de agua dulce en los distintos procesos en los que sea necesaria, para ello utilizaremos un buque en el que se realizaron las prácticas profesionales obligatorias, este fue el “Volcán de Tindaya” como ejemplo de elección de un sistema para un buque concreto.

Un buque de tipo RO-RO/PAX, destinado al transporte de carga rodada y pasaje. perteneciente a la naviera ARMAS de pabellón español y matriculado en Las Palmas de Gran Canaria. La tripulación es española, siendo un número variable en función de las necesidades de pasaje del buque. Las principales características del buque son las siguientes:

Ilustración 1: “Buque Volcán de Tindaya”.



Fuente: www.navieraarmas.com/es/flota/volcan-de-tindaya.

METODOLOGÍA

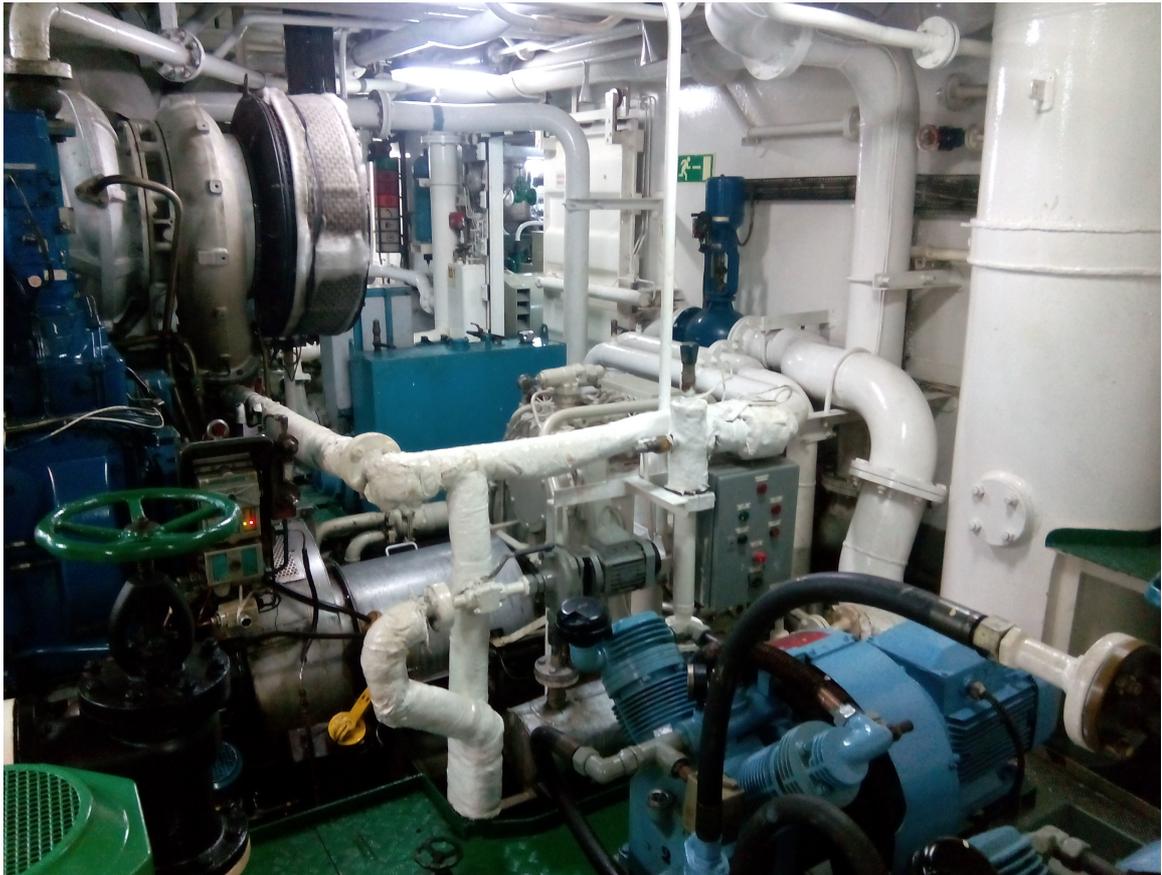
Tabla 2: Características Buque Volcán de Tindaya.

Registro	
Indicativo de llamada	ECCK
Número IMO	9268411
Puerto de Matrícula	Las Palmas de Gran Canaria
Construcción y Clasificación	
Armador	Naviera Armas S.A.
Astillero constructor	Barreras-Vigo
Año de construcción	2002
Sociedad clasificadora	Bureau Veritas
Dimensiones y pesos	
Eslora total	78,10 m
Eslora entre perpendiculares	65,50 m
Manga máxima	15,50 m
Puntal de trazado	4,80 m
Calado máximo	3,40 m
Arqueo bruto	3715 GT
Capacidad de carga	
Capacidad de turistas	120
Capacidad de pasaje	682
Velocidad	
Velocidad en servicio	15,8 Knots
Velocidad máxima	17,1 Knots

Fuente: Propia.

El sistema de propulsión del “Volcán de Tindaya” se fundamenta en dos motores del fabricante finlandés WÄRTSILA, de cuatro tiempos, media velocidad, sobrealimentados, refrigerados y de inyección directa, con un sistema de propulsión de hélice de paso variable KAMEWA de la casa ROLLS-ROYCE, además de un reductor REINTJES carente de embrague unido por acoplamiento VULCAN.

Ilustración 2: “Motor principal estribor, acople y reductora”.



Fuente: Propia.

En la siguiente tabla se exponen las características fundamentales de los equipos que componen la propulsión del buque.

Tabla 3: Características Propulsión Buque Volcán de Tindaya.

Motores principales	
Fabricante	WÄRTSILA
Tipo	8L26
Velocidad	1000 rpm
Potencia	2600
Diámetro del pistón	260 mm
Carrera	320 mm
Número de cilindros	8
Dirección de giro	Izquierdas
Orden de encendido	1,4,7,6,8,5,2,3
Hélices de paso variable	
Fabricante	ROLLS ROYCE
Tipo	Kamewa Ulstein CPP P1/4
Velocidad de la hélice	314 r.p.m
Hélices de maniobra	
Fabricante	ROLLS ROYCE
Tipo	TT-1100K-CP
Velocidad	1460 r.p.m
Potencia de motor	300 KW

Fuente: Propia.

Ilustración 3 : “Motor principal estribor” y “motores auxiliares”.



Fuente: Propia.

4.2 METODOLOGÍA

La metodología de trabajo se ha basado en la búsqueda de información en páginas web, manuales del barco, así como bibliografía con referencia al tema tratado en este trabajo, con el fin de obtener los conocimientos necesarios para la comprensión en profundidad de los sistemas de desalación.

Una vez estudiado el tema en profundidad se ha realizado el análisis de un sistema real, con ello se ha puesto en práctica los anteriormente estudiados mejorando la adquisición de conocimientos.

Tras el estudio teórico y la puesta en práctica de los conocimientos, se realiza una propuesta, con la cual se reafirma la comprensión y experiencia adquirida en la realización de este trabajo.

V. RESULTADOS

5.1 Generadores de agua dulce en la Marina Mercante

En este capítulo se realizará la descriptiva del generador de agua dulce que se encuentra a bordo del Buque Volcán de Tindaya, así como su funcionamiento, también se realiza una visualización del futuro de la destilación e innovación en este campo.

5.1.1 Fresh Water Generator

El equipo utilizado a bordo para la producción de agua dulce a partir de agua de mar se conoce como generador de agua dulce (Fresh Water Generator).

La primera experiencia que ha tenido el autor de este trabajo con la generación de agua dulce ha sido con el simulador de la marca Kongsberg, ubicado en la facultad.

En los buques se consume una cantidad considerable de agua dulce, la tripulación consume un promedio de 150 litros por persona y día, esto solo para la tripulación, teniendo en cuenta la utilización de agua dulce en otros procesos, como limpieza, trabajos de cocina e incluso para hacer funcionar maquinaria (calderas y depuradoras).[1]

En un barco cuya unidad de propulsión es una turbina de vapor, o un barco que utiliza bombas de carga impulsadas por vapor, el consumo se puede disparar sobre las 40 toneladas diarias, por estas causas dependiendo de las necesidades a bordo el generador de agua dulce cambia su tamaño y proceso utilizada en la obtención de esta materia prima.[1]

Los buques están capacitados para tomar y almacenar la suficiente agua requerida por la tripulación y pasajeros en puerto, pero en algunos casos no será la suficiente para el consumo que poseen los distintos sistemas que hacen que el buque funcione (calderas, depuradoras, refrigeración de motores).

Es muy común tomar solo un suministro mínimo de agua potable y compensar el resto de los consumos mediante la destilación de agua de mar, lo cual supone un ahorro en espacio y peso ya que el agua generada a bordo se va consumiendo.

Según mercado los principales tipos de generadores de agua dulce utilizados a bordo de los buques son:

- Generador de agua dulce de una fase tubular.
- Generador de agua dulce de placas.
- Generador de agua dulce por osmosis inversa.

En buques propulsados por turbina de vapor nos podemos encontrar generadores multietapa tipo flash, que aprovechan el vapor saturado sobrante.[1]

5.1.2 Generador de agua dulce “Volcán de Tindaya”.

El generador de agua dulce instalado en el buque Volcán de Tindaya es el AQUAMAR TIPO AQ-10/12, está construido por la empresa Gefico S.A. en La Coruña, perteneciente a la serie mediana de su gama con capacidad de producir de 10000 a 12000 litros al día.

Ilustración 5: “Generador agua dulce ACUAMAR”.



Fuente: Propia.

Se trata de un generador compacto y económico que una vez puesto en marcha es prácticamente automático, sin necesidad de ajustes para pequeñas variaciones en las condiciones óptimas de funcionamiento, es perfecto para la instalación de este buque y sus necesidades de agua dulce.

Diseñado para obtener agua destilada a partir de agua de mar, utilizando energía térmica a baja temperatura produciendo un agua con una concentración de sales menor a 2 p.p.m.

Utilizando el principio de destilación simple bajo vacío mediante tubo sumergido. La evaporación del agua a baja temperatura se realiza gracias a la depresión generada en el interior de la unidad y la energía térmica aportada por el calentador. Al poder utilizar una fuente residual de calor, posee un consumo de energía.

Todo el proceso, evaporación y condensación se realiza dentro de la unidad, el recipiente y los refuerzos internos están contruidos de una aleación curpo-níquel 90/10, externamente los refuerzos y los anclajes están contruidos de acero al carbono ST-35.

La unidad está dividida en dos compartimentos diferenciados, la cámara de condensación en su parte superior y en el inferior la cámara de evaporación, cada uno con un haz tubular, por el de condensación pasa agua salada y por el de evaporación agua de baja temperatura de los motores principales. Entre ambos compartimentos se encuentra las placas deflectoras y el filtro coalescente.

En el exterior de la unidad van montados el eyector de vacío y la bomba de extracción de agua producida.

Para el funcionamiento del sistema este precisa de un cuadro de maniobra y control, la bomba de agua salada y el equipo inhibidor de incrustaciones

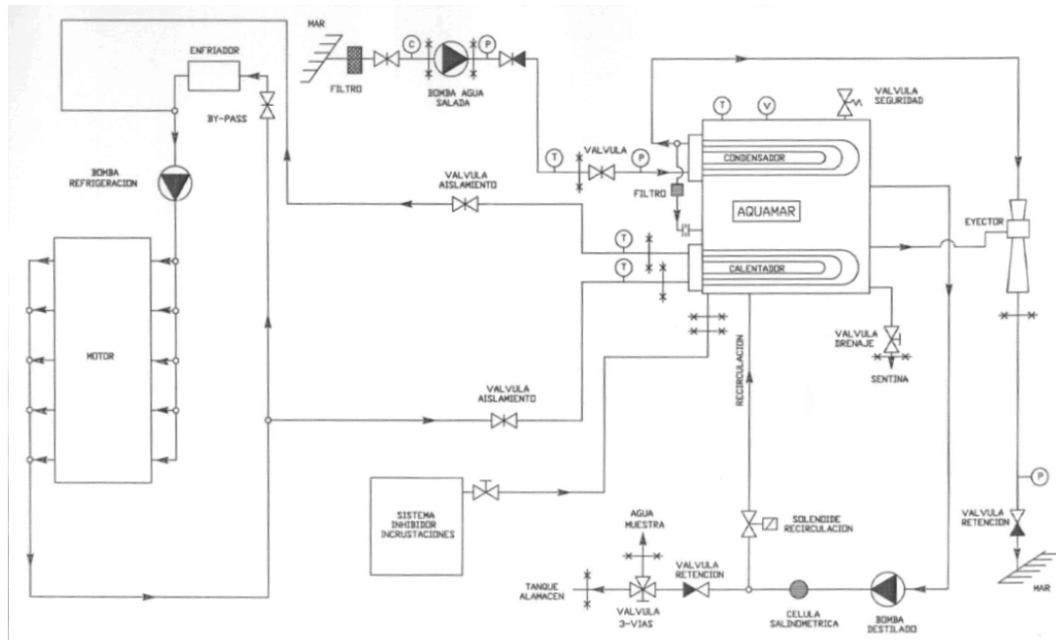
5.1.2.1 Fuente calorífica

El generador funciona con cualquier tipo de energía calorífica con temperatura comprendida entre 60°C y 91°C se puede utilizar para suministrar calor al generador, ya sea vapor, agua caliente presurizada, aceite térmico, gases de escape, electricidad, etc.

Es recomendable situar el generador cerca del medio calefactor que lo alimenta, intentando reducir al mínimo las perdidas de carga y la caída de temperatura en su transporte hacia el generador.

El generador instalado utiliza la energía térmica residual procedente del circuito de refrigeración de culatas de los motores de combustión interna que propulsan el buque.

Ilustración 6: “Esquema instalación Generador de agua dulce”.



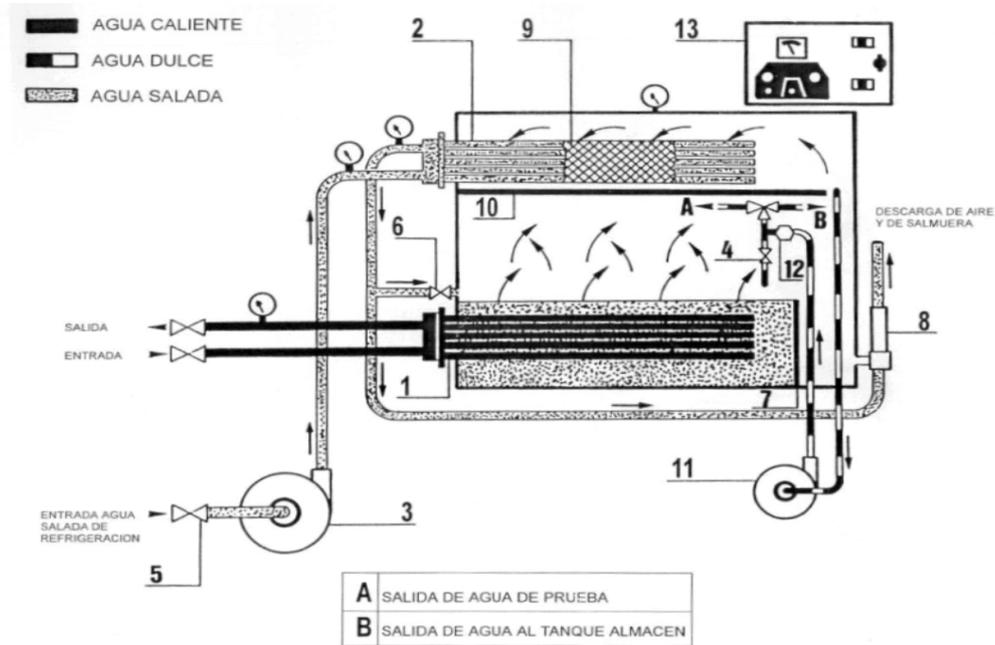
Fuente: Manual generador agua dulce ACUAMAR

5.1.2.2 Funcionamiento del generador de agua dulce

El funcionamiento del eyector se basa en el efecto Venturi, el agua salada impulsada por la bomba y tras pasar por el condensador atraviesa una tobera que reduce la sección y produce un aumento de la velocidad del fluido, este aumento de velocidad genera una caída de presión, debido a la cual es posible generar el vacío suficiente dentro de la unidad.

RESULTADOS

Ilustración 7: "Generador de agua dulce".



Fuente: Manual generador de agua dulce ACUAMAR

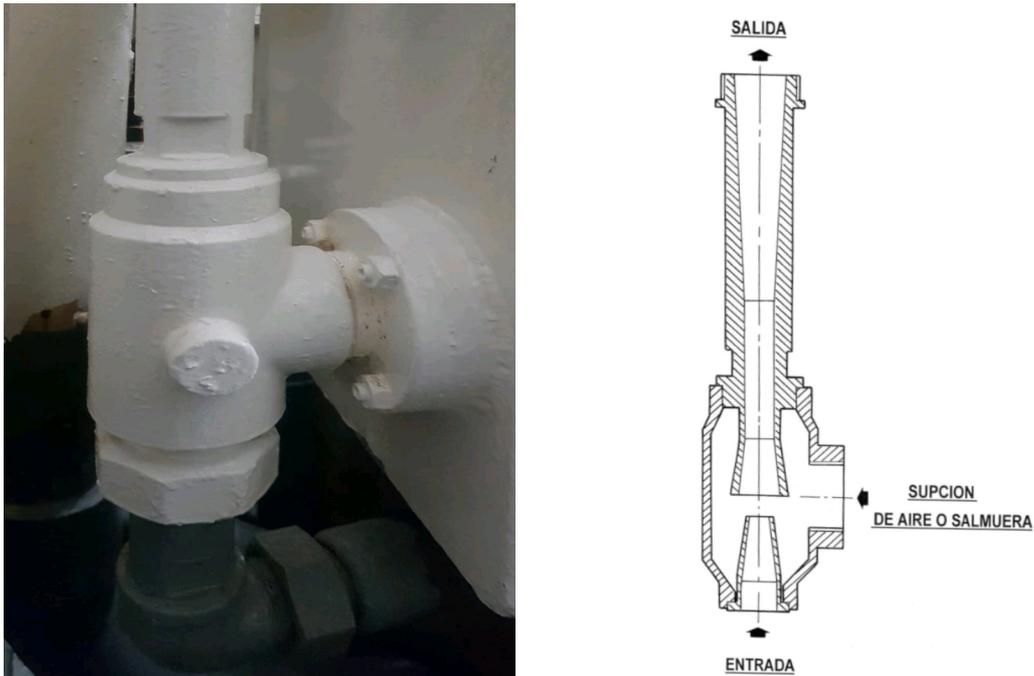
Tabla 4: Leyenda equipo generador.

1.	Intercambiador de calor.	7.	Diafragma.
2.	Condensador.	8.	Eyector de vacío y salmuera.
3.	Bomba circulación.	9.	Separador de vapor.
4.	Válvula solenoide.	10.	Bandeja de destilado.
5.	Válvula de aspiración.	11.	Célula salinométrica.
6.	Válvula alimentación.	12.	Cuadro de maniobra y control.

Fuente: Manual generador de agua dulce ACUAMAR.

Gracias al eyector se puede generar el vacío dentro de la unidad. Este, permite que la temperatura de ebullición del agua salada baje, permitiendo aprovechar una fuente de baja temperatura

Ilustración 8: “Eyector de vacío y salmuera”.



Fuente: Izquierda propia y derecha manual Generador agua dulce ACUAMAR.

Cuanto mayor sea el vacío generado en su interior, menor será la temperatura necesaria para la vaporización, y aumentando el rendimiento del sistema (hasta los límites prefijados de calidad del destilado).

En la parte inferior del generador va situado el calentador del agua salada, es el encargado de aumentar la temperatura de esta hasta alcanzar la necesaria para que se produzca la evaporación suficiente que subirá hasta la cámara de condensación.

Debido a trabajar a esta baja temperatura se obtienen varios beneficios, la reducción de depósitos salinos formados sobre el calentador u en sus paredes y la capacidad de utilizar un fluido con baja energía térmica.

El nivel de agua salada de la cámara de evaporación puede mantenerse por encima del calentador gracias a un diafragma de nivel conectado al eyector aire/salmuera.

La producción del generador es aproximadamente un tercio de la agua de alimentación, esta última está regulada por una válvula de control de alimentación instalada en la entrada del sistema.

RESULTADOS

El agua salada suministrada entra en el equipo atravesando el condensador tras el cual alimenta la bandeja de evaporación, esto permite que el agua a evaporar entre con mayor temperatura que si lo hiciera directamente, antes de salir del sistema el agua salada pasa por eyector creando el vacío y arrastrando la salmuera.

Debido a la velocidad e intensidad del proceso de evaporación, la ebullición del agua salada puede arrastrar microgotas, que si llegasen a la bandeja de condensado podrían disminuir la calidad del agua generada. Para poder generar un agua de alta calidad y elevada pureza los vapores son forzados a atravesar las placas deflectoras, donde al chocar estas gotas se reduce su energía cinética y caen de nuevo en la bandeja de evaporación

Tras haber sido separadas la mayor parte de las gotas, se efectúa mediante un filtro coalescente (fabricado con malla de monel) una separación mas profunda donde las gotas de agua se condensan y decantan a la parte inferior, mientras el vapor de agua es dirigido hacia la cámara de condensación.

Estos vapores llegan al condensador que al estar mas frio y refrigerado por el agua salada a menor temperatura se condensa en su pared exterior, cediendo calor latente de condensación y produciendo un subenfriamiento del agua destilada.

Una bandeja, situada bajo el condensador, recogen las cotas que precipitan tras condensarse. La extracción del agua producida se realiza mediante una bomba, que la envía hacia el tanque de almacén.

Antes de enviar el agua producida al almacén esta pasa por la célula salinométrica la cual analiza el agua producida, cerciorándose que solo pasa el agua de calidad requerida, en nuestro caso solo el agua con una concentración <4 p.p.m. es descargada al tanque de almacenamiento. Esta célula esta conectada con un conductímetro (salinometro) el cual genera una señal que se visualiza en el cuadro de mando informando del contenida en sales del agua generada en un indicador de sales presente ene el cuadro.

En el caso que el agua generada no fuese de la calidad deseada la célula activa la seña de alta salinidad y el solenoide presente en una válvula tres vías que evita la circulación hacia el almacenamiento y manda esta agua no deseada a recircular por el generador.

5.1.2.3 Agua Producida

El agua producida por este generador es de alta pureza, con un contenido de cloruros disueltos inferior a 2 partes por millón (p.p.m.). Esta calidad permite su uso doméstico o como agua técnica para su uso industrial.

Aunque se puede utilizar directamente se recomienda la utilización de un filtro mineralizador para el agua producida y un tratamiento antibacteriológico (rayos ultravioletas, dosificación de cloro, etc.) para el agua a desalinizar, debido a la creciente contaminación de las aguas. Estos tratamientos son indicados siempre y cuando el agua sea para uso humano.

El agua producida a bordo es conducida al tanque de agua dulce, este posee un volumen de 4,17 m³ suele mantenerse entre un 90 y un 60 por ciento de su capacidad, para ello se sonda el tanque varias veces al día y dependiendo su valor se activa o no el generador de agua dulce.

Ilustración 9: "Sondeos diarios agua destilada".

VOLCAN DE TINDAYA				
	AGUA DE	AGUA	LODOS	
	CILINDROS	DESTILADA		ALMACEN
S. min.	----	----	----	----
S. nor.	----	----	----	----
S. max.	115	115	170	115
V.m ³	2	4,17	7,44	8,67
1	3	106	55	85
2	3	107	66	85
3	3	97	70	85
4	3	100	74	85
5	3	106	5	85
6	3	107	18	85
7	3	98	24	85
8	3	93	29	85
9	3	97	35	85
10	3	104	35	85

Fuente: Propia.

El consumo medio de agua de este tanque oscila entre 300 y 500 litros al día dependiendo del uso de depuradoras, vapor de la caldera, o algún trabajo que requiera agua dulce. en este buque el agua del generador solo se utiliza como agua técnica y no para su consumo.

5.2 Propuesta de montaje de generador de agua dulce en el buque “Volcán de Tagoro”

Como uso práctico de los conocimientos adquirido a la hora de realizar este trabajo se ha expuesto y analizado el generador instalado en el buque Volcán de Tindaya donde el autor de este trabajo realizó sus prácticas.

Por último, se propone la instalación de un generador de agua dulce mediante ósmosis en el buque Volcán de Tagoro, perteneciente también a Naviera Armas S.A.

Ilustración 10: “Buque Volcán Tagoro”.



Fuente: www.canaryports.es

Esta propuesta viene dada ya que dicho buque no posee ningún generador de agua dulce a bordo. Actualmente el buque realiza la travesía S/C de Tenerife - Las Palmas de Gran Canaria y se le suministra de agua de servicio dos veces al día mediante una cuba desde el muelle.

Para evitar dicho suministro se propone la instalación de un generador de agua dulce a bordo, mediante el sistema de ósmosis inversa. El generador elegido se ha considerado el ideal por su producción, espacio que ocupa y el escaso mantenimiento que requiere.

Para la elección del sistema a utilizar lo primero que se ha tenido en cuenta son las características que posee el buque, al igual que el caso ya estudiado se trata de un buque destinado al transporte de carga rodada y pasaje, pero en este caso un ferry rápido tipo catamarán.

Tabla 5: Datos buque Volcán de Tagoro.

Registro	
Número IMO	9830111
Indicativo de llamada	EBSB
Puerto de Matrícula	Las Palmas de Gran Canaria
Construcción y Clasificación	
Armador	Naviera Armas S.A.
Astillero constructor	Incat Tasmania
Año de construcción	2019
Sociedad clasificadora	Bureau Veritas

Fuente: Propia.

RESULTADOS

Tabla 6: Datos buque Volcán de Tagoro.

Dimensiones y pesos	
Eslora total	111
Manga máxima	30,91
Calado máximo	4,10 m
Arqueo bruto	10870 GT
Propulsión	
Motores Principales	4x MAN 28/33 D STC 20v
Capacidad de carga	
Capacidad de turistas	390
Capacidad de pasaje	1184
Velocidad	
Velocidad en servicio	32 Knots
Velocidad máxima	35 Knots

Fuente: Propia.

El buque posee como almacenamiento de agua dulce dos tanques de 5.000 litros cada uno que suplen la necesidad de agua de todo el buque tanto agua técnica como para consumo humano, los tanques de almacenamiento se encuentran en un espacio vacío situado en el lado de estribor y en proa.

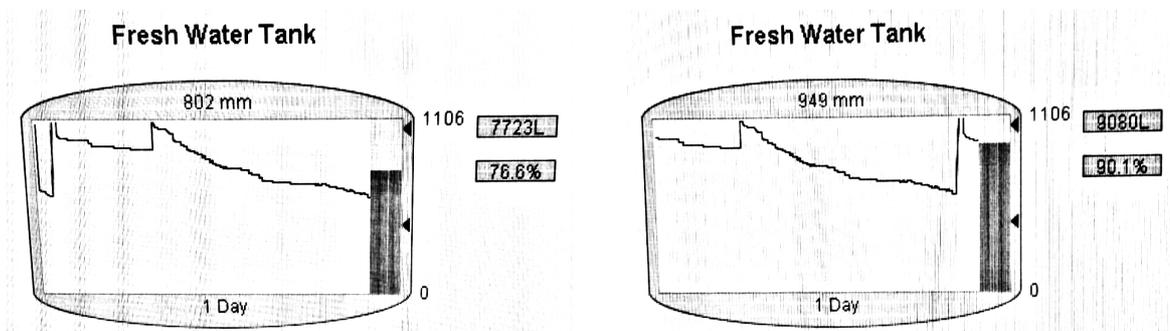
El consumo diario de agua dulce es de 8.000 a 4.000 litros al día, en este caso el consumo es prácticamente en su totalidad para uso humano.

Ilustración 11: "Tanques de agua dulce Volcán de Tagoro".



Fuente: Propia.

Ilustración 12: "Consumo diario agua dulce Volcán de Tagoro".



Fuente: Propia.

El generador seleccionado es de la marca Osmomar de la serie OM-03, esta serie del generador posee cinco modelos con capacidades desde los 3000 litros diarios a los 24000 litros diarios todos ellos con las mismas dimensiones, la única variación es el número de membranas.

RESULTADOS

Para el consumo de agua a bordo se hace más que suficiente la producción generada por el modelo OM-03-15, provisto de 4 membranas y con una producción de 14.000 a 16.000 litros al día.

Ilustración 13: "Generador por osmosis Osmomar OM-03".



Fuente: <http://ntorreiro.es/>

La capacidad de producción se podría ampliar añadiendo hasta dos membranas más, ocupando el mismo espacio, y llegando a producir hasta 24.000 litros al día.

Este generador de agua dulce es idóneo por sus dimensiones, ya que el lugar que se ha pensado para él no es muy amplio, el generador podría situarse justo debajo de los tanques de almacenamiento de agua dulce puesto que hay espacio suficiente, la conexión con el tanque de almacenamiento no podría ser más sencilla y tenemos cerca el colector de agua salada (macho de fondo). Solo hace falta llevar una línea de alimentación de corriente al lugar de instalación.

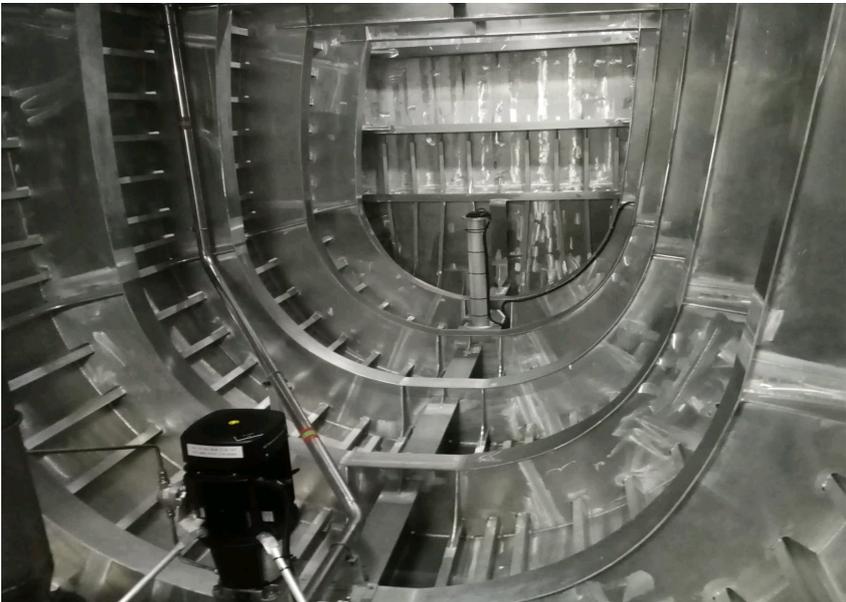
Debido a la pureza del agua generada sería idóneo la colocación de un filtro mineralizador a la salida de los tanques hacia los consumos, directamente en la línea de abastecimiento del hidroforo.

Ilustración 14: “Macho fondo Volcán de Tagoro”.



Fuente: Propia.

Ilustración 15: “Lugar destinado para el generador OSMOMAR”.



Fuente: Propia.

5.3 El futuro de la destilación

La desalinización ocupa cada día un lugar más destacable en nuestras vidas, sobretodo en la de los marinos y en la de poblaciones con déficit de agua potable. Por ello existen empresas e instituciones dedicadas a aumentar su producción y eficiencia. A continuación, se nombran y explican brevemente algunas cuyos proyectos consideramos constituyen el futuro de la generación de agua potable.

En primer lugar, hay que destacar un proceso desarrollado por el MIT que podría convertir la salmuera concentrada en productos químicos útiles, haciendo más eficiente la desalinización.[10]

En segundo lugar, mencionar a los investigadores de la Universidad de Monash que han desarrollado una tecnología que produce agua limpia a partir de agua salada mediante un sistema de generación de vapor solar en que eliminan la sal casi al 100%.[11]

En tercer lugar, los científicos del Laboratorio Berkeley, perteneciente al departamento de Energía de Estados Unidos, han encontrado unos criterios de diseño prometedores para lo que denominan líquidos iónicos “sensibles a la temperatura” para separar el agua de la sal avanzando así en la desalación por ósmosis forzada.[10]

Por último, cabe destacar el proyecto DESEACROP, llevado a cabo por la técnico, Patricia Terrero, cuyo objetivo es el uso de la desalación del agua de mar para el riego de sistemas hidropónicos cerrados, demostrando las ventajas agronómicas y económicas del agua desalada en la agricultura.[10]

VI. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

Tras la realización de este trabajo se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La necesidad del agua dulce para el ser humano y el uso de la desalinizadora para desarrollo de zonas con bajos recursos hidrológicos
- El importante papel del agua dulce tanto para la vida humana en el mar como para su uso en el funcionamiento diario de un buque.
- En la actualidad se hace cada día mas importante la necesidad imperativa de preservar los recursos hídricos, evitando la contaminación de estos y el desperdicio de los mismos.
- Crear conciencia de los procesos que conlleva la obtención de un elemento tan esencial como el agua.
- Indagar y conocer los distintos procesos de desalinización que existen y como estas tecnologías siguen evolucionando y mejorando.
- La importancia de la utilización de energías residuales o renovables en la obtención de agua dulce.
- El rendimiento de los sistemas con el fin de evitar consumos de energía innecesarios.
- La utilización de casos prácticos reales hace mas fácil la adquisición de conocimientos.

En estas ultimas líneas me gustaría agradecer, al Dr. D. Alexis Dionis Melián y a la Dra D^a María del Cristo Adrián de Ganzo por su tiempo invertido en la realización de este trabajo, a la naviera Armas por permitirme realizar las practicas a bordo de sus buques y en especial a los trabajadores de maquinas del Volcán de Tindaya, por ultimo y no con menos importancia a mi familia.

VII. BIBLIOGRAFÍA

VII. Bibliografía

- [1] Casanovas, C. (2013). *Análisis comparativo de los generadores de agua destilada del LNG/C Cataluña Spirit*, TFG. Facultat de nàutica de Barcelona.
- [2] Cipollina, A., Micale, G., & Rizzuti, L. (2009). *Seawater desalination* (pp. 1-212), Berlin, Springer.
- [3] Ciscar, F. (1791). *Reflexiones sobre las máquinas y maniobras del uso de abordó* (pp. 106-115), Madrid, La imprenta Real.
- [4] Zarza, E. (1997). *Desalinización de agua de mar mediante energías renovables, plataforma solar de Almería - CIEMAT*.
- [4] López, M J. (2015). *Diseño de planta de tratamiento de agua potable por osmosis inversa para un buque de pasaje*, TFG. Escuela Técnica Superior de Náutica Universidad de Cantabria.
- [5] Cordero, A. (2015). *Cálculo y diseño del sistema de agua dulce en un buque tanque*, TFG. Escuela Técnica Superior de Náutica Universidad de Cantabria.
- [6] Suárez, A. (2005). *Condicionantes ecológicos, sociales y técnicos en la construcción de la desaladora de la Aldea*. Galdar, Gran Canaria, infonortedigital.
- [7] <https://www.alfalaval.com/industries/marine-transportation/marine/fresh-water-generation/>
- [8] <https://www.nauticexpo.es/fabricante-barco/desalinizador-buque-20217.html>
- [9] http://ntorreiro.es/files/osmomar_om_03_web.pdf

[10] <https://www.iagua.es/blogs/agueda-garcia-durango/5-investigaciones-que-cambiaran-futuro-desalacion>

[11] <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/desarrollado-metodo-desalinizacion-que-podria-otorgar-agua-potable-miles>

[12] <https://dle.rae.es/>

[13] <https://blog.condorchem.com/desalacion-de-agua/>